

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246836 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **440937**

(22) Data zgłoszenia: **2022.04.13**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.10.16 BUP 42/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.03.17 WUP 11/2025**

(51) MKP:

B05B 1/08 (2006.01)

B05B 1/30 (2006.01)

B05B 1/02 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
**POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO
ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:
PAWEŁ GIL, Rzeszów, PL
RAFAŁ GAŁEK, Rzeszów, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Piotr Okarmus, Rzeszów, PL

(54) Tytuł:

Generator strugi syntetycznej

PL 246836 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest generator strugi syntetycznej, mający zastosowanie zwłaszcza do rozpraszania ciepła w urządzeniach elektronicznych.

Generator strugi syntetycznej jest urządzeniem zbudowanym z trzech głównych elementów: dyszy, komory oraz elementu generującego zmiany objętości komory np. głośnika. Głośnik zasilany sygnałem sinusoidalnym cyklicznie zwiększa lub zmniejsza objętość komory, powodując cykliczne zasysanie i wypychanie płynu roboczego (najczęściej jest to powietrze) przez dyszę. Przy spełnieniu odpowiednich warunków kryterialnych opisanych w publikacji Holman et al. pt.: „Formation criterion for synthetic jets”, AIAA Journal, 43(10), 2110–2116, 2005 możliwe jest wytworzenie strugi syntetycznej, czyli ścieżki wirów pierścieniowych, które zasysają 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.

Struga syntetyczna może być wykorzystywana do rozpraszania ciepła w szczególności przy chłodzeniu uderzeniowym tj. nakierowaniu strumienia na gorącą powierzchnię lub radiator oraz w połączeniu z przepływami laminarnymi. Większość publikacji z zakresu chłodzenia strugą syntetyczną omówionych np. w pracy Krishan et al. pt.: „Synthetic jet impingement heat transfer enhancement a review”, Applied Thermal Engineering, 149, 1305–1323, 2019 dotyczy konfiguracji, w których struga syntetyczna generowana jest w temperaturze otoczenia i kierowana na gorącą powierzchnię lub radiator.

W publikacji Gil & Wilk pt.: „Heat transfer coefficients during the impingement cooling with the use of synthetic jet”, International Journal of Thermal Sciences, 147, 106132, 2020 zademonstrowano, że optymalna z punktu widzenia wymiany ciepła odległość pomiędzy elementem chłodzonym a wylotem dyszy generatora strugi syntetycznej wynosi 5-krotność średnicy wewnętrznej dyszy. W zastosowaniach, w których ograniczeniem projektowym są wymiary urządzenia chłodzącego, a ilość dostępnej dla niego przestrzeni jest niewielka, zachowanie tej odległości może stanowić problem. Jego rozwiązanie zaproponowano w opisie patentowym PL 237224 B przedstawiającym alternatywną konstrukcję generatora strugi syntetycznej charakteryzującą się umiejscowieniem źródła ciepła np. radiatora w komorze generatora strugi syntetycznej, co pozwala na istotne ograniczenie wymiarów urządzenia chłodzącego.

Celem wynalazku jest opracowanie generatora strugi syntetycznej z dyszami rozpraszającymi ciepło umożliwiającą intensyfikację wymiany ciepła drogą konwekcji wymuszonej, wymagającego niewielkiej przestrzeni, a także przystosowanego do chłodzenia elementów, które nie mogą być umieszczone wewnątrz komory generatora.

Generator strugi syntetycznej, zawierający komorę, po jednej stronie której jest podstawa, zawierająca membranę obejmującą co najmniej część jej powierzchni, a po stronie przeciwnej co najmniej jedną dyszę, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera element chłodzony a dysza jest na tym elemencie chłodzonym, zaś komora jest pomiędzy elementem chłodzonym a podstawą, a ponadto komora ma korpus, który jest pomiędzy elementem chłodzonym a podstawą oraz jest z nimi połączony i stanowi ścianki boczne komory.

Korzystnie co najmniej jedna dysza ma rozwiniętą wewnętrzną powierzchnię lub wewnętrzne ożebrowanie.

Dalsze korzyści uzyskiwane są, jeśli stosunek długości l dyszy do jej średnicy d wynosi mniej niż 10.

Następne korzyści uzyskiwane są, jeżeli generator zawiera głośnik, a membrana podstawy stanowi membranę tego głośnika.

Kolejne korzyści uzyskiwane są, jeżeli element chłodzony jest z materiału o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła.

Dzięki zastosowaniu generatora według wynalazku możliwe jest uzyskanie wartości współczynnika przejmowania ciepła na ściankach dyszy wyższego niż wartości osiągane w typowych konfiguracjach generatorów strugi syntetycznej, w których struga uderza w obiekt chłodzony zlokalizowany w pewnej odległości x od dyszy. Rozwiązanie pozwala na uzyskanie wysokich wartości liczby Nusselta odpowiadających sytuacji intensywnej wymiany ciepła w drodze konwekcji wymuszonej.

Generator strugi syntetycznej, według wynalazku, w przykładzie wykonania został bliżej wyjaśniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia wykres prezentujący wyniki pomiarów promieniowych profili prędkości skutecznej w różnych odległościach osiowych od dyszy generatora, fig. 2 – generator w przekroju wzdłużnym, fig. 3 – zasadę działania generatora, fig. 4 do 7 – dysze o rozwiniętej powierzchni bocznej w przekroju, w wariantach wykonania.

Generator strugi syntetycznej, według wynalazku, w pierwszym przykładzie wykonania ma komorę 1, która jest pomiędzy podstawą 2 w postaci membrany 3 a dyszą 4, która jest na elemencie chłodzonym 5 w postaci płyty. Komora 1 ma korpus 6 w postaci elementu dystansowego, który jest pomiędzy podstawą 2 a elementem chłodzonym 5. Korpus 6 ma zamknięty przekrój poprzeczny oraz ścianki prostopadłe do powierzchni podstawy 2 oraz elementu chłodzonego 5 od strony wnętrza komory 2, oraz jest połączony śrubami po jednej stronie, na swoich krawędziach, z podstawą 2 a po drugiej z elementem chłodzonym 5. Generator zawiera głośnik 7, a membrana 3 stanowiąca co najmniej część podstawy 2 jest membraną 3 tego głośnika 7. Dysza 4 ma rozwiniętą wewnętrzną powierzchnię i została wykonana poprzez wywiercenie otworu przelotowego w elemencie chłodzonym 5, a następnie wywiercenie pięciu otworów o tej samej średnicy, w równej odległości od środka pierwszego otworu oraz względem siebie, na planie pięciokąta. Odległość kolejnych otworów od pierwszego z otworów jest mniejsza od średnicy pierwszego otworu. Stosunek długości l dyszy 4 do jej średnicy d wynosi mniej niż 10. Element chłodzony 5 jest z materiału o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła w postaci stopu miedzi.

Generator strugi syntetycznej według wynalazku, w drugim przykładzie wykonania ma dysze 4 o rozwiniętej wewnętrznej powierzchni o przekroju poprzecznym w kształcie krzyżyka, wykonaną poprzez wywiercenie czterech otworów rozłożonych symetrycznie względem punktu centralnego oraz połączenie otworów położonych naprzeciwko siebie względem punktu centralnego poprzez frezowanie. Element chłodzony 5 jest z miedzi.

Generator strugi syntetycznej według wynalazku, w trzecim przykładzie wykonania ma dysze 4 o rozwiniętej powierzchni o przekroju poprzecznym w kształcie prostokąta o zaokrąglonych rogach, z żebrami na wewnętrznych ściankach. Dysza 4 jest wykonana poprzez wywiercenie sześciu otworów rozmieszczonych na planie prostokąta, z których trzy rozmieszczone są naprzeciw trzech pozostałych i połączone są ze sobą poprzez frezowanie, a jeden jest usytuowany w poprzek pozostałych oraz przechodzi przez ich środki. Element chłodzony 5 jest ze stopu aluminium.

Generator strugi syntetycznej według wynalazku, w czwartym przykładzie wykonania ma dysze 4 o kształcie dziesięcioramiennej gwiazdy. Dysza 4 jest wykonana poprzez wywiercenie jednego otworu centralnego, a następnie wyfrezowanie w kierunku zewnętrznym promieniowych rowków, frezem o średnicy wyraźnie mniejszej od średnicy otworu centralnego. Element chłodzony 5 jest z aluminium.

Poniżej opisano zasadę działania generatora strugi syntetycznej według wynalazku.

Strumień ciepła 8, wewnątrz chłodzonego elementu 5, płynie ku dyszy 4 generatora. Dzieje się tak ponieważ w dyszy 4 ma miejsce intensywne chłodzenie jej ścianek drogą konwekcji wymuszonej przez przepływający płyn o zmiennym w czasie zwrocie wektora prędkości. Ciepło przekazane w ten sposób do płynu zostaje wraz z nim usunięte z sąsiedztwa elementu chłodzonego 5 przez strugę syntetyczną 9 tworzącą się na zewnątrz komory 1 generatora.

Wysokie wartości współczynnika przejmowania ciepła możliwe do osiągnięcia na ściankach dyszy 4 spowodować mogą sytuację, w której współczynnik ten nie będzie parametrem ograniczającym całkowitą ilość ciepła możliwą do rozproszenia, a będzie nim pole powierzchni wymiany ciepła, a więc pole powierzchni ścianek dyszy 4. Dzięki zastosowaniu dysz 4 o kształtach zapewniających rozwiniętą powierzchnię boczną albo posiadających wewnętrzne ożebrowanie zwiększone zostało pole powierzchni wymiany ciepła.

Istotne jest zastosowanie względnie krótkich dysz charakteryzowanych wartością parametru $l/d < 10$, gdzie l to długość dyszy, zaś d to średnica wewnętrzna dyszy 4. Ponieważ dysza 4 o takich proporcjach jest w istocie krótkim kanałem z oscylującym gradientem ciśnienia, zachodzi w niej intensywna konwekcyjna wymiana ciepła, natomiast struga syntetyczna 9, która tworzy się na krawędzi dyszy umożliwia odprowadzenie ciepłego powietrza, które zostało ogrzane od jej ścianek. Z dziedziny wymiany ciepła znany jest fakt występowania rozbiegu hydraulicznego i termicznego na wlocie do kanałów, w których ma miejsce przepływ ciągły. Dla odpowiednio krótkiego kanału obszar rozbiegu obejmować może przeważającą część jego długości. W warunkach takich warstwa przyścienna jest relatywnie cienka, co skutkuje wysokimi wartościami liczby Nusselta odpowiadającymi sytuacji intensywnej wymiany ciepła na drodze konwekcji wymuszonej. Ponieważ w dyszy 4 generatora strugi syntetycznej następuje cykliczna zmiana kierunku przepływu, obszar rozbiegu w cyklu zasysania występuje po przeciwnej stronie dyszy 4 niż w cyklu wypychania. Zmienność lokalizacji obszaru rozbiegu stanowi dodatkowy aspekt nieustalonego charakteru zjawisk cieplnych i przepływowych wewnątrz dyszy 4 i potencjalnie może powodować, że konwekcyjna wymiana ciepła będzie w tym przypadku nawet bardziej intensywna

niż w kanałach z przepływami ciągłymi. Wartości współczynnika przejmowania ciepła na ściankach dyszy 4 będą ponadto wyższe niż wartości osiągane w typowych konfiguracjach generatorów strugi syntetycznej, w których struga syntetyczna 9 uderza w chłodzony obiekt usytuowany w pewnej odległości x od niej. Na taki stan rzeczy wskazują wyniki pomiarów promieniowych profili prędkości skutecznej w różnych odległościach osiowych od dyszy generatora strugi syntetycznej przedstawione na fig. 1. Symbol r oznacza współrzędną promieniową, x – współrzędną osiową, d – średnicę wewnętrzną dyszy, zaś U_{rms} – prędkość skuteczną. Widać wyraźnie, że najwyższa wartość prędkości skutecznej występuje w samej dyszy ($x/d = 0$), zaś wraz z rosnącą odległością od dyszy prędkość maleje.

Wykaz oznaczeń

- 1 – komora
- 2 – podstawa
- 3 – membrana
- 4 – dysza
- 5 – element chłodzony
- 6 – korpus
- 7 – głośnik
- 8 – strumień ciepła
- 9 – struga syntetyczna

Zastrzeżenia patentowe

1. Generator strugi syntetycznej, zawierający komorę, po jednej stronie której jest podstawa zawierająca membranę, obejmującą co najmniej część jej powierzchni, a po stronie przeciwnej co najmniej jedną dyszę, **znamienny tym**, że zawiera element chłodzony (5) a dysza (4) jest na tym elemencie chłodzonym (5), zaś komora (1) jest pomiędzy elementem chłodzonym (5) a podstawą (2), a ponadto komora (1) ma korpus (6), który jest pomiędzy elementem chłodzonym (5) a podstawą (2) oraz jest z nimi połączony i stanowi ścianki boczne komory (1).
2. Generator według zastrz. 1, **znamienny tym**, że co najmniej jedna dysza (4) ma rozwiniętą wewnętrzną powierzchnię lub wewnętrzne ożebrowanie.
3. Generator według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że stosunek długości l dyszy (4) do jej średnicy d wynosi mniej niż 10.
4. Generator według jednego z zastrz. od 1 do 3, **znamienny tym**, że zawiera głośnik (7) a membrana (3) podstawy (2) stanowi membranę (3) tego głośnika (7).
5. Generator według jednego z zastrz. od 1 do 4, **znamienny tym**, że element chłodzony (5) jest z materiału o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła.

Rysunki

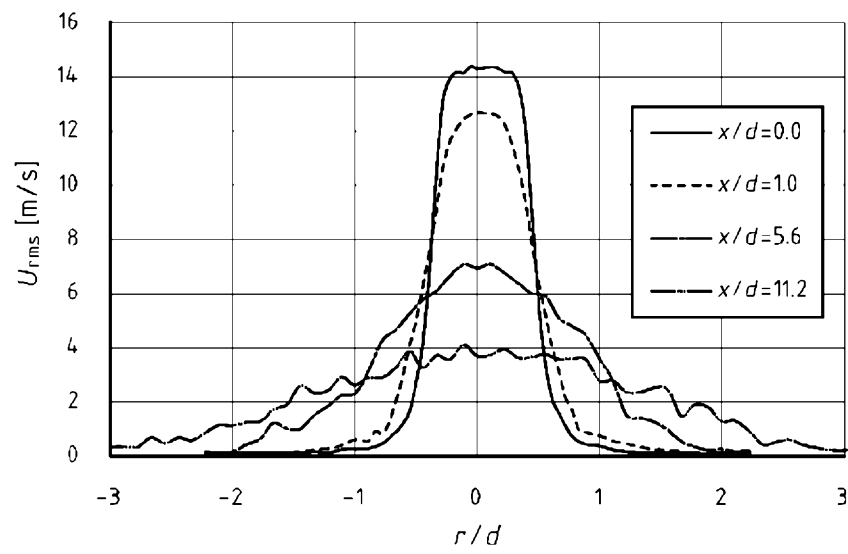


Fig. 1

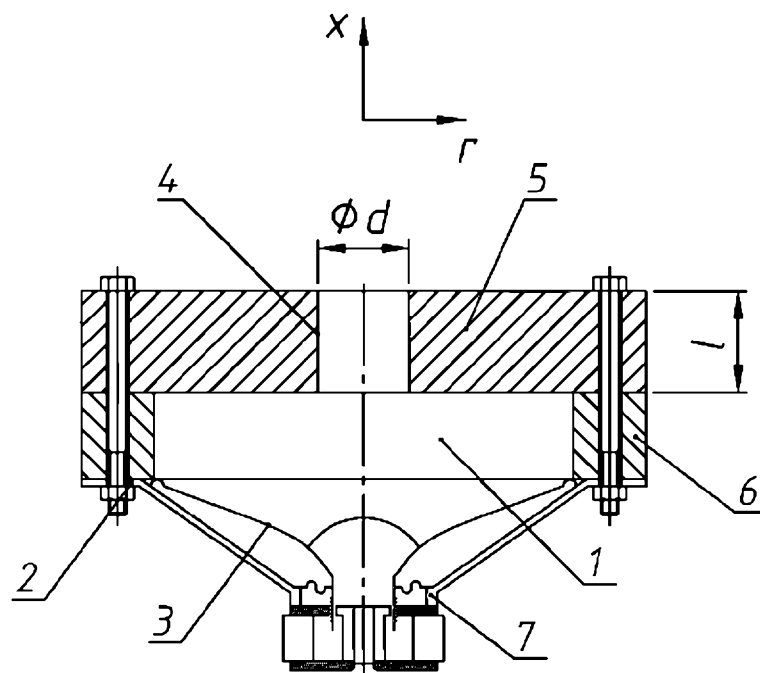
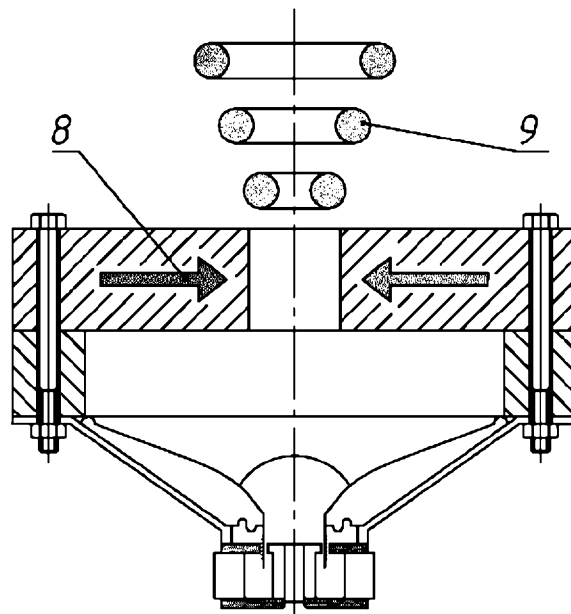
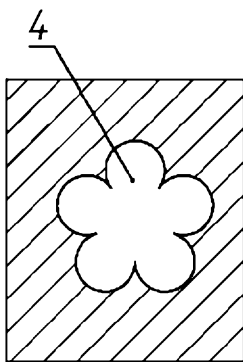
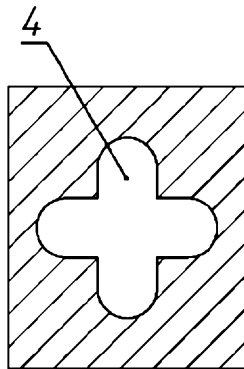
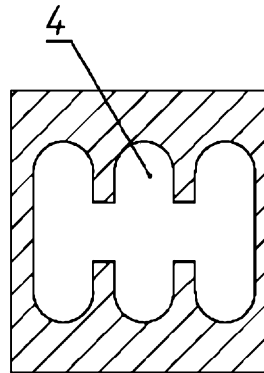
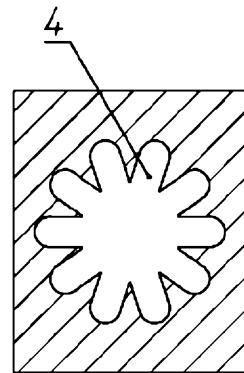


Fig. 2

*Fig. 3**Fig. 4**Fig. 5**Fig. 6**Fig. 7*