

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **239213**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421972**

(51) Int.Cl.
F02K 1/78 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **21.06.2017**

(54)

Dysza wylotowa silnika turbowentylatorowego

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

02.01.2019 BUP 01/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

15.11.2021 WUP 33/21

(73) Uprawniony z patentu:

**PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA
W CHEŁMIE, Chełm, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JÓZEF ZAJĄC, Stany Nowe, PL
DARIUSZ PARTYKA, Lublin, PL
TOMASZ MUSZYŃSKI, Chełm, PL
PIOTR RÓŻAŃSKI, Chełm, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Maciej Nowicki

PL 239213 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest dysza wylotowa wentylatora albo silnika odrzutowego o charakterystycznym kształcie przekroju poprzecznego opisana funkcją matematyczną, która określa postać obszaru wyrównanego rozkładu ciśnień wywołanych przez strumień gazów przepływających nowego typu dyszą.

Przykładowo, z opisu zgłoszenia patentowego EP2239420A2 znane są dysze wylotowe silnika odrzutowego zawierające kierownice strug, służące do redukcji hałasu i zwiększenia wymiany ciepła.

Znane jest rozwiązanie konstrukcyjne kierownic w dyszy wylotowej przedstawione w dokumencie US3092205A, w którym dysza wylotowa zaopatrzona jest w podłużne faliste kierownice strugi wylotowej umieszczone na całym obwodzie dyszy, których skutkiem jest znaczna redukcja hałasu.

W rozwiązaniu przedstawionym w dokumencie US3174282A przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne ukształtowania dyszy wylotowej, redukujące hałas, opisane w zgłoszeniu patentowym. W rozwiązaniu tym zastosowano niesymetryczne kanały powodujące mieszanie strumienia zimnego i gorącego w części dolnej, ograniczające w bardzo niewielkim stopniu przepływ i powodujące niewielki spadek sprawności. Dysza ta została tak ukształtowana, że mniejsza prędkość strumienia w części dolnej jest kompensowana zwiększonym natężeniem przepływu.

W rozwiązaniach przedstawionych w opisach patentowych US6360528B1 oraz US6532729B2 przedstawione są konstrukcyjne ukształtowania dyszy wylotowej w postaci tak zwanych szewronów (trójkątnych końcówek umieszczonych na obwodzie dyszy wylotowej) Rozwiązania te umożliwiają zmniejszenie hałasu oraz śladu termicznego przy niewielkim poziomie mieszania zimnego i gorącego przepływu i niewielkich stratach sprawności.

Z opisu zgłoszenia patentowego WO2014200401A1 znana jest zmienna dysza wylotowa do silnika odrzutowego. Dysza zawiera część przednią, elementy klapowe, które są obrotowo połączone z silnikiem odrzutowym za pośrednictwem części górnej. Elementy klapowe zawierają część dolną tworzącą dolną krawędź liniową. Mechanizmy uruchamiające mają na celu dostosowanie wspomnianych elementów klapowych do zmiany powierzchni przekroju poprzecznego dysz pomiędzy dwoma możliwymi pozycjami. Elementy klapowe są skośne. Dysza zawiera elementy klapowe formujące kształt, do tworzenia obszaru przekroju poprzecznego, oraz sąsiednie elementy klapowe, mające powierzchnie ślizgowe, w ciągły kontakt podczas wspomnianej zmiany.

Z opisu zgłoszenia patentowego EP3032032A1 znana jest wylotowa kratka prowadząca ze ścianą zewnętrzną, ścianą wewnętrzną do tworzenia kanału pierścieniowego i do prowadzenia strumienia gorącego gazu oraz z co najmniej jedną łopatką kierującą, która jest umieszczona pomiędzy ścianami zewnętrzną i wewnętrzną. Co najmniej jeden przekrój zmniejszający przewężenie jest umieszczony pomiędzy przednią krawędzią łopatki prowadzącej oraz dolnym końcem ściany wewnętrznej. Co najmniej jedno przewężenie bezwzględne znajduje się w obszarze pomiędzy krawędzią natarcia a dolnym końcem usytuowanym bliżej krawędzi spływu łopatki kierującej niż końca.

Z opisu zgłoszenia patentowego US2005060984A1 znana jest zbieżno-rozbieżna dysza turboodrzutowa zawierająca napędzane kłapy rozbieżne, popychacze rozbieżne kłapy umieszczone pomiędzy napędzonymi kłapami i elementy służące dostarczaniu powietrza chłodzącego do kłap popychacza. Wspomniane kłapy popychacza mają konstrukcję skrzynkową i posiadają boczne otwory służące dostarczaniu powietrza chłodzącego w kierunku wewnętrznej powierzchni wspomnianych kłap napędzanych w taki sposób, aby ograniczyć nagrzewanie się tych kłap podczas pracy turboodrzutowca.

Z opisu zgłoszenia patentowego US4989406A znany jest zespół turbiny, który zawiera pierścieniową owiewkę i podzespół rozporki zapewniający wytrzymałość mechaniczną zespołowi turbiny i podporę dla tylnego łożyska wirnika. Łatwo demontowalny zespół pierścieniowej łopatki prowadzącej wylotu jest zamontowany z tyłu zespołu owiewki i rozporki w celu odwirowania gazów wydechowych, które opuszczają zespół turbiny. Tylnie zamontowanie łopatek kierujących wylotu pozwala na osiowo krótszą i lżejszą konstrukcję silnika turbinowego, która usuwa większe zawirowania na wlocie niż w poprzednich konstrukcjach, przy równych lub mniejszych stratach ciśnienia.

W artykule pt. „*The Schwarz type inequality for harmonic mappings of the unit disc with boundary normalization*”, autorstwa Dariusza Partyki i Józefa Zająca, przedstawiono szereg wyników dotyczących klasy H odwzorowań harmoniczych F określonych w kole jednostkowym D i o wartościach w tym kole. Odwzorowania te spełniają dodatkowo warunek normalizacyjny mówiący, że dla każdego $k = 0, 1, 2$, oraz prawie każdego $z \in T_k := \{e^{i\theta} : 2k\pi/3 \leq \theta \leq 2(k+1)\pi/3\}$ granica radialna funkcji F w punkcie z należy do sektora kąтового wyznaczonego przez zbiór wypukły rozpięty przez początek

układu współrzędnych i łuk T_k , $k = 0, 1, 2$. Podstawowym wynikiem zamieszczonym w tym artykule jest twierdzenie podające dokładne oszacowanie wielkości $|F(z)|$ dla $z \in D$ i dla wszystkich $F \in H$. Podane są funkcje ekstremalne realizujące znak równości tego oszacowania. Dalsze rozwinięcie tych badań zaowocowało wyznaczeniem zakresu zmienności zera dla klasy H , czyli zbioru $\{F(0) : F \in H\}$, co posłużyło do określenia kształtu przekroju poprzecznego dyszy z trzema symetrycznie rozmieszczonymi prowadnicami wzdłużnymi. Zasadność użycia takiego kształtu dyszy została pozytywnie zweryfikowana empirycznie.

Wynalazek jest kontynuacją prac nad zmniejszeniem oporów przepływu, jego stabilizacji i redukcji hałasu powstającego w dyszach wylotowych, które zostały podane w opisie zgłoszenia patentowego PL420965A1 pt. „Dysza wylotowa silnika odrzutowego/wentylatora”. Przedmiotowa dysza charakteryzuje się tym, że zawiera trzy kierownice strug, o wysokości do 30% wartości promienia dyszy, usytuowane na zewnętrznym pierścieniu, co 120° . Ich zadaniem jest redukcja zawirowań powstających za pracującymi łopatkami, zmniejszenie strat ciśnienia i oporów ruchu, a także zmniejszenie hałasu jego pracy, jaki powstaje przy wysokich obrotach turbiny.

Problemem technicznym do rozwiązania jest uzyskanie możliwie równomiernego rozkładu ciśnień wewnątrz dyszy wylotowej.

Przedmiotem wynalazku jest dysza wylotowa silnika turbowentylatorowego zwłaszcza dysza wylotowa pierścienia wentylatora lub dysza wylotowa gorącego traktu gazowego silnika zawierająca trzy odpowiednio usytuowane kierownice strug gazu.

Istotą wynalazku jest to, że przekrój poprzeczny dyszy posiada kształt opisany we współrzędnych biegunowych (r, θ) zależnością $r = R\rho(\theta)$, gdzie R jest promieniem okręgu opisanego na przekroju poprzecznym dyszy, **zaś** ρ jest funkcją określoną wzorem:

$$\rho(\theta) := \begin{cases} \cos \theta, & \text{gdy } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{12}, \\ \frac{\cos^2 \frac{\pi}{12}}{\sin\left(\frac{\pi}{3} + \theta\right)}, & \text{gdy } \frac{\pi}{12} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}, \\ \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right), & \text{gdy } \frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}. \end{cases}$$

oraz

$$\rho(\theta) := \rho\left(\theta - \frac{n\pi}{3}\right), \quad \text{gdy } \frac{n\pi}{3} \leq \theta \leq \frac{(n+1)\pi}{3} \quad \text{dla } n=1,2,3,4,5.$$

Podstawową korzyścią wynikającą z zastosowania przedmiotowego wynalazku jest to, że podany kształt dyszy wylotowej wraz z trzema kierownicami strug, zapewnia dość równomierny rozkład ciśnień wewnątrz strugi. Przekłada się to na zredukowanie strat związanych z zawirowaniami powstającymi w wyniku nierównomiernego rozkładu ciśnienia wewnątrz strugi i na jej brzegu, co ma miejsce w przypadku dyszy klasycznej.

Przedmiot wynalazku został w szczególności przystosowany do zabudowy na silniku turbowentylatorowym dwuprzepływowym. Wyjaśniają to figury rysunku.

Fig. 1 – schemat konstrukcji kształtu przekroju poprzecznego dyszy z kierownicami strumienia,

Fig. 2 – zarys przekroju poprzecznego dyszy wylotowej z kierownicami strumienia opisany funkcją $\rho(\theta)$.

Fig. 3 – przekrój wzdłużny silnika turbowentylowanego z kierownicami strug i kształtem dyszy wylotowej według niniejszego zgłoszenia,

Fig. 4 – widok z tyłu silnika turbowentylowanego z kierownicami strug i kształcie dyszy wylotowej według niniejszego zgłoszenia.

Przedmiot wynalazku w przykładzie zabudowy na silniku turbowentylatorowym dwuprzepływowym jest uwidoczniony na fig. 3 i 4, na którym poszczególne elementy przedstawiają:

1. – kierownica wentylatora,
2. – kierownica dyszy wylotowej traktu turbiny gazowej,

3. – łopatką wentylatora/wieniec łopat wentylatora,
4. – łopatki turbiny/wieniec łopat turbiny,
5. – obudowa wentylatora,
6. – zimny trakt powietrza z wentylatora,
7. – gorący trakt gazowy,
8. – wsporniki obudowy wentylatora.

Dysza wylotowa gorącego traktu gazowego silnika odrzutowego w przykładzie pokazanym na rysunku zawiera trzy kierownice strug a jej przekrój poprzeczny posiada kształt opisany zależnościami:

$r = R\rho(\theta)$, gdzie R jest promieniem okręgu opisanego na przekroju poprzecznym dyszy, zaś ρ jest funkcją określoną uprzednio podanym wzorem.

Idea zastrzeżonego rozwiązania oparta jest na wynikach badań teoretycznych jakie zaprezentowano w pracy *Harmonic mappings of the unit disc with boundary normalization*, dotyczącej własności geometrycznych funkcji w klasie H . Kontynuacja tych badań doprowadziła do wyznaczenia zakresu zmienności zera dla klasy H , czyli zbioru $S := \{F(0) : F \in H\}$. Brzeg zbioru S określa kształt przekroju poprzecznego dyszy. Dodatkowo zastosowano trzy symetrycznie rozmieszczone prowadnice wzdłużne w celu minimalizacji turbulencji gazów przepływających przez dyszę. Pozytywna weryfikacja empiryczna takiego rozwiązanie pozwala przypuszczać, że rozważana klasa H odwzorowań harmonicznych może dobrze modelować matematycznie deformacje strumienia gazów przepływających rurą, otrzymanych metodą przekrojową. Wówczas użycie brzegowej normalizacji w klasie H można interpretować jako redukcję klasy wszystkich deformacji przepływu poprzez redukcję do tożsamości trójparametrowej grupy automorfizmów konforemnych koła jednostkowego D na siebie.

Kształt dyszy jest precyzyjnie opisany funkcją ρ , którą można wyznaczyć według podanej uprzednio procedury dla obwodu zamkniętego. Zastosowanie trzech prowadnic wzdłużnych strumienia w dyszy wylotowej powoduje wyrównywanie się rozkładu ciśnień w przekroju poprzecznym dyszy, co przekłada się na zredukowanie strat związanych z zawirowaniami od nierównomiernego rozkładu ciśnienia wewnątrz strugi i na jej brzegu.

Przekrój poprzeczny posiada kształt opisany zależnościami:

$$r = R\rho(\theta),$$

gdzie R jest promieniem okręgu opisanego na przekroju poprzecznym dyszy, zaś ρ jest funkcją określoną wzorem:

$$(1) \quad \rho(\theta) := \begin{cases} \cos \theta, & \text{gdy } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{12}, \\ \frac{\cos^2 \frac{\pi}{12}}{\sin\left(\frac{\pi}{3} + \theta\right)}, & \text{gdy } \frac{\pi}{12} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}, \\ \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right), & \text{gdy } \frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}, \end{cases}$$

Na pozostałej części przedziału $0 \leq \theta \leq 2\pi$, funkcję $\rho(\theta)$ określa się przy pomocy:

- i) odbicia względem $\theta = 0$, przyjmując $\rho(-\theta) = \rho(\theta)$, dla $\theta \in R$,
- oraz
- ii) przesunięcia argumentu $\rho\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) = \rho(\theta)$, dla $\theta \in R$.

Dodatkowo $\max \rho(\theta) = \frac{2}{3}$, gdy $\theta \in R$. Konfiguracja ta podlega promieniowemu rozszerzeniu w formie $R\rho(\theta)$, $R \neq 0$.

Wzór na $\rho(\theta)$ określa krzywą obwiedniową przedstawioną na fig. 1 rysunku, której postać geometryczna – wykres, może być otrzymana jako obwiednia układu sześciu symetrycznie rozmieszczonych kół o promieniu $1/3$, przechodzących przez początek układu współrzędnych prostokątnych.

Dokonując zamiany współrzędnych biegunowych (R, θ) na współrzędne prostokątne (x, y) , wzór określający krzywą zamkniętą $R\rho(\theta)$, gdzie funkcja $\rho(\theta)$ jest określona wzorem (1) z przedłużeniami, jest równoważny dwunastu równaniom:

$$\left(x - \frac{R}{2}\right)^2 + y^2 = \frac{R^2}{4}, \quad R \cos \frac{\pi}{12} \leq x \leq R;$$

$$x \sin \frac{\pi}{3} + y \cos \frac{\pi}{3} = R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{3\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{\pi}{12};$$

$$\left(x - \frac{R}{2} \cos \frac{\pi}{3}\right)^2 + \left(y - \frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3}\right)^2 = \frac{R^2}{4}, \quad R \cos \frac{5\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{3\pi}{12}, \quad y \geq \frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3};$$

$$y = R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{7\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{5\pi}{12};$$

$$\left(x + \frac{R}{2} \cos \frac{\pi}{3}\right)^2 + \left(y - \frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3}\right)^2 = \frac{R^2}{4}, \quad R \cos \frac{9\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{7\pi}{12}, \quad y \geq \frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3};$$

$$x \sin \frac{\pi}{3} - y \cos \frac{\pi}{3} = -R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{11\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{9\pi}{12};$$

$$\left(x + \frac{R}{2}\right)^2 + y^2 = \frac{R^2}{4}, \quad -R \leq x \leq R \cos \frac{11\pi}{12};$$

$$x \sin \frac{\pi}{3} + y \cos \frac{\pi}{3} = -R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{13\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{15\pi}{12};$$

$$\left(x + \frac{R}{2} \cos \frac{\pi}{3}\right)^2 + \left(y + \frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3}\right)^2 = \frac{R^2}{4}, \quad R \cos \frac{15\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{17\pi}{12}, \quad y \leq -\frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3};$$

$$y = -R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{17\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{19\pi}{12};$$

$$\left(x - \frac{R}{2} \cos \frac{\pi}{3}\right)^2 + \left(y + \frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3}\right)^2 = \frac{R^2}{4}, \quad R \cos \frac{19\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{21\pi}{12}, \quad y \leq -\frac{R}{2} \sin \frac{\pi}{3};$$

$$x \sin \frac{\pi}{3} - y \cos \frac{\pi}{3} = R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{21\pi}{12} \leq x \leq R \cos \frac{23\pi}{12}.$$

Alternatywnie kształt linii można opisać poprzez jeden fragment złożony z dwóch odcinków i jednego łuku okręgu:

$$x \sin \frac{\pi}{3} + y \cos \frac{\pi}{3} = R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{\pi}{6} \leq x \leq R \cos \frac{\pi}{12};$$

$$\left(x - \frac{R}{2}\right)^2 + y^2 = \frac{R^2}{4}, \quad R \cos \frac{\pi}{12} \leq x \leq R;$$

$$x \sin \frac{\pi}{3} - y \cos \frac{\pi}{3} = R \cos^2 \frac{\pi}{12}, \quad R \cos \frac{\pi}{6} \leq x \leq R \cos \frac{\pi}{12},$$

który obraca się o kąt $n\pi/3$, $n = 1, 2, 3, 4, 5$, względem początku układu.

Przyjmując $\alpha := \cos \frac{\pi}{12} = \frac{1}{2} \sqrt{2 + \sqrt{3}}$ widoczne jest, że powyższe trzy równania można zapisać w postaci:

$$x\sqrt{3}+y=2Ra^2, \quad R\frac{\sqrt{3}}{2}\leq x\leq Ra;$$

$$\left(x-\frac{R}{2}\right)^2+y^2=\frac{R^2}{4}, \quad Ra\leq x\leq R$$

$$x\sqrt{3}-y=2Ra^2, \quad R\frac{\sqrt{3}}{2}\leq x\leq Ra.$$

Przyjmując dodatkowo $b := \cos \frac{5\pi}{12} = \frac{1}{2}\sqrt{2-\sqrt{3}}$ widoczne jest, że początkowe dwanaście równań można zapisać w postaci:

$$\left(x-\frac{R}{2}\right)^2+y^2=\frac{R^2}{4}, \quad Ra\leq x\leq R;$$

$$x\sqrt{3}+y=2Ra^2, \quad R\frac{\sqrt{2}}{2}\leq x\leq Ra;$$

$$\left(x-\frac{R}{4}\right)^2+\left(y-\frac{R}{4}\sqrt{3}\right)^2=\frac{R^2}{4}, \quad Rb\leq x\leq R\frac{\sqrt{2}}{2}, \quad y\geq\frac{R}{4}\sqrt{3};$$

$$y=Ra^2, \quad -Rb\leq x\leq Rb;$$

$$\left(x+\frac{R}{4}\right)^2+\left(y-\frac{R}{4}\sqrt{3}\right)^2=\frac{R^2}{4}, \quad -R\frac{\sqrt{2}}{2}\leq x\leq -Rb, \quad y\geq\frac{R}{4}\sqrt{3};$$

$$x\sqrt{3}-y=-2Ra^2 \quad -Ra\leq x\leq -R\frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$\left(x+\frac{R}{2}\right)^2+y^2=\frac{R^2}{4}, \quad -R\leq x\leq Ra;$$

$$x\sqrt{3}+y=-2Ra^2, \quad -Ra\leq x\leq -R\frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$\left(x+\frac{R}{4}\right)^2+\left(y+\frac{R}{4}\sqrt{3}\right)^2=\frac{R^2}{4}, \quad -R\frac{\sqrt{2}}{2}\leq x\leq -Rb, \quad y\leq-\frac{R}{4}\sqrt{3};$$

$$y=-Ra^2, \quad -Rb\leq x\leq Rb;$$

$$\left(x-\frac{R}{4}\right)^2+\left(y+\frac{R}{4}\sqrt{3}\right)^2=\frac{R^2}{4}, \quad Rb\leq x\leq R\frac{\sqrt{2}}{2}, \quad y\leq-\frac{R}{4}\sqrt{3};$$

$$x\sqrt{3}-y=2Ra^2, \quad R\frac{\sqrt{2}}{2}\leq x\leq Ra.$$

Zastrzeżenie patentowe

1. Dysza wylotowa silnika turbowentylatorowego zwłaszcza dysza wylotowa pierścienia wentylatora lub dysza wylotowa gorącego traktu gazowego silnika zawierająca trzy odpowiednio usytuowane kierownice strug gazu, **znamienna tym**, że jej przekrój poprzeczny posiada kształt opisany zależnościami:

$$r = R\rho(\theta),$$

gdzie R jest promieniem okręgu opisanego na przekroju poprzecznym dyszy, zaś ρ jest funkcją określoną wzorem:

$$\rho(\theta) := \begin{cases} \cos \theta, & \text{gdy } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{12}, \\ \frac{\cos^2 \frac{\pi}{12}}{\sin\left(\frac{\pi}{3} + \theta\right)}, & \text{gdy } \frac{\pi}{12} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}, \\ \cos\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right), & \text{gdy } \frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}. \end{cases}$$

oraz

$$\rho(\theta) := \rho\left(\theta - \frac{n\pi}{3}\right), \quad \text{gdy } \frac{n\pi}{3} \leq \theta \leq \frac{(n+1)\pi}{3} \text{ dla } n=1,2,3,4,5.$$

Rysunki

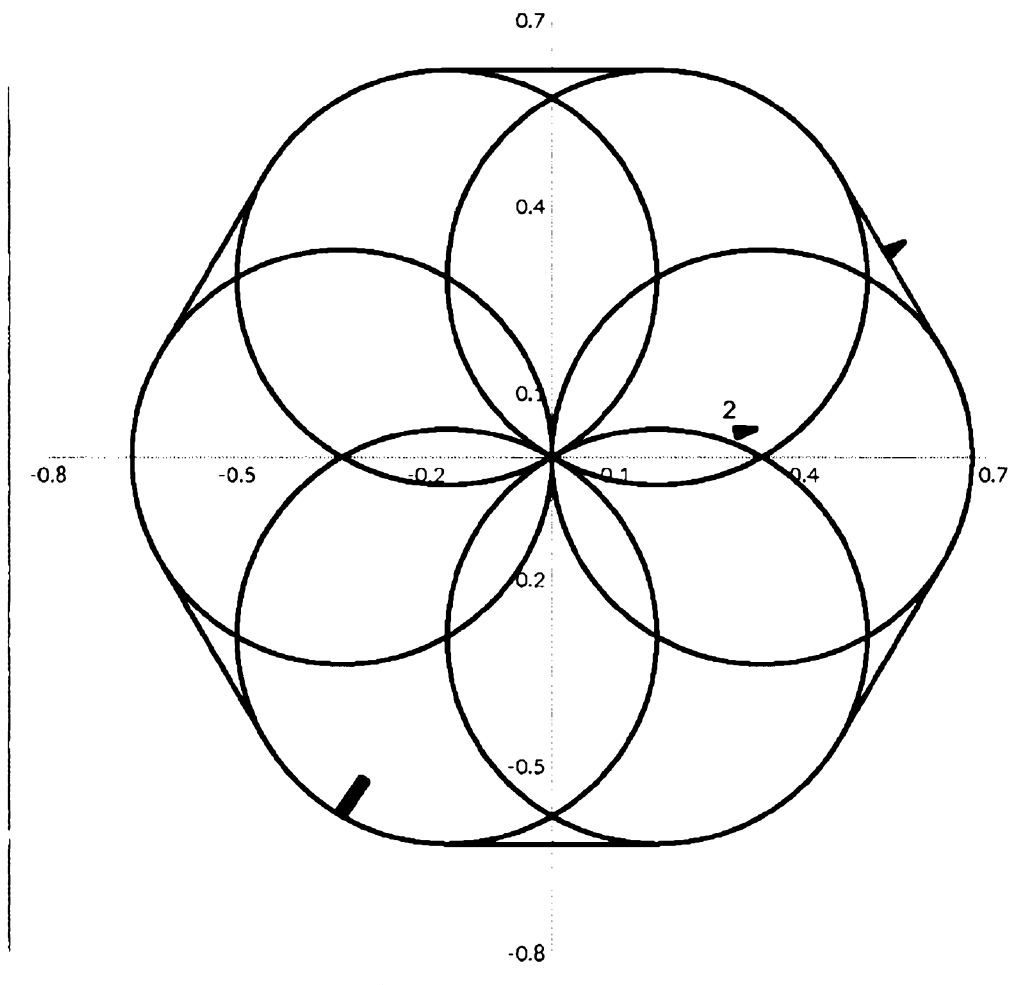


Fig. 1.

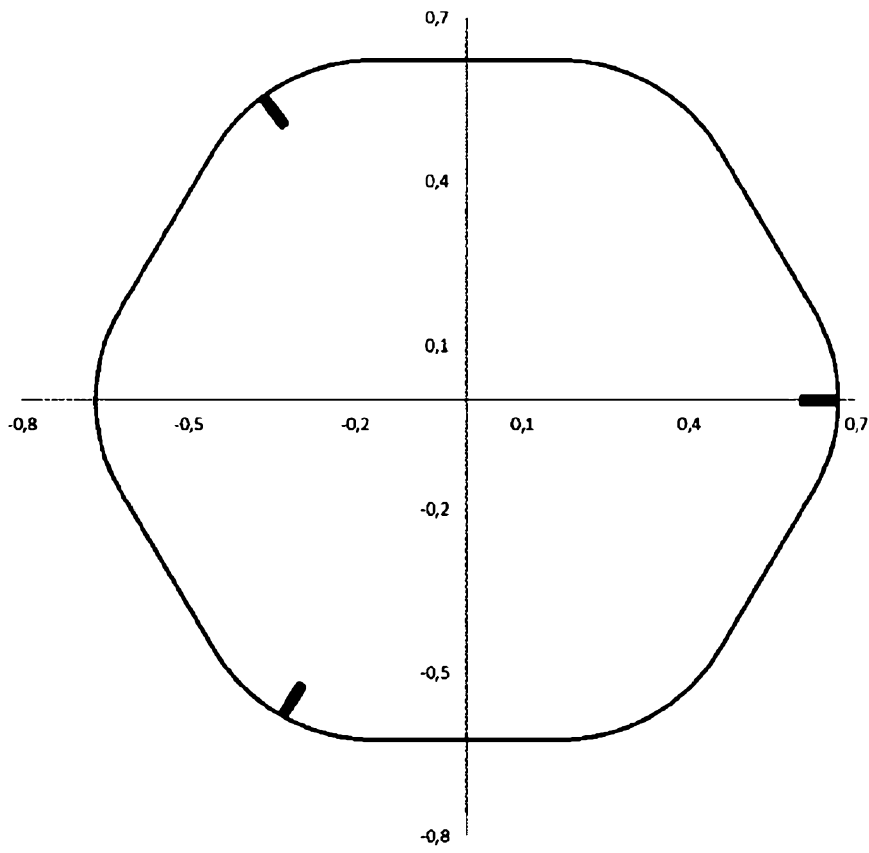


Fig. 2.

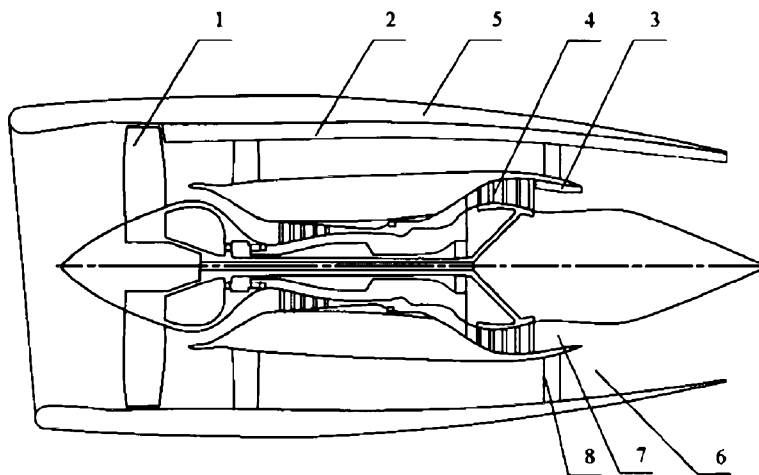


Fig. 3.

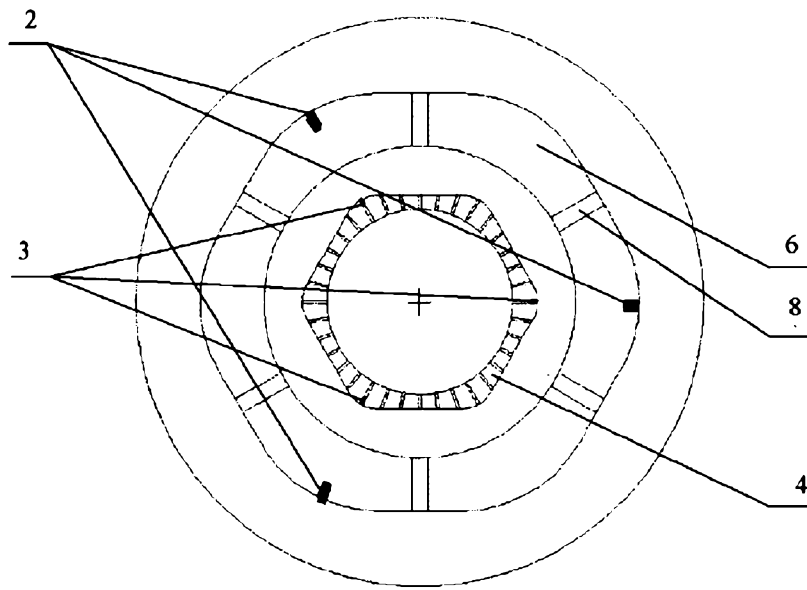


Fig. 4.