

Rotacyjny naddźwiękowy silnik cieplny z komorą spalania z wirującą falą detonacyjną

Przedmiotem wynalazku jest rotacyjny naddźwiękowy silnik cieplny z komorą spalania z wirującą falą detonacyjną, wykorzystujący sprężanie falami uderzeniowymi przez zestaw kompresorów falowych, przeznaczony do napędu pojazdów nawodnych i lądowych oraz poduszkowców, pomp, sprężarek i generatorów elektrycznych, w tym do napędu generatorów elektrycznych w samochodów elektrycznych, stanowiąc jednostkę zwiększającą ich zasięg i uniwersalność

Z patentu US 6298653 znana jest konstrukcja rotacyjnego silnika cieplnego z pojedynczym wirnikiem i kanałami zmieniającymi swój przekrój w kierunku promieniowym.

Patent US 7337606 przedstawia klasyczny układ jednowirnikowego rotacyjnego silnika naddźwiękowego (Rotary Ramjet Engine) z kanałami sprężającymi, komorami spalania i dyszami wylotowymi generującymi moment na wale.

Z polskiego opisu patentowego P-424280 znany jest rotacyjny silnik cieplny, w którym wirnik główny o przepływie osiowym, zawierający na swoim obwodzie układ przepływowy złożony z wewnętrznych kanałów sprężających po stronie wlotowej, oraz komór spalania i dysz wylotowych po stronie wylotowej, ma wewnętrzne kanały sprężające rozdzielone łopatkami tworzącymi kompresory falowe wytwarzające fale uderzeniowe sprężające powietrze doprowadzane do komór spalania, a osadzony współosiowo w korpusie dodatkowy wirnik o przepływie osiowym ma część turbinową napędzaną spalinami opuszczającymi wirnik główny. Dodatkowy wirnik stanowi wirnik swobodny, o kierunku obrotu przeciwnym do kierunku obrotu wirnika głównego, przy czym część turbinowa, usytuowana po stronie wylotowej wirnika głównego, jest połączona sztywno z częścią sprężającą usytuowaną po stronie wlotowej wirnika głównego.

Proces sprężania przy pomocy fal uderzeniowych wymaga uzyskania napływu powietrza lub gazu w okolice kanału sprężającego z prędkością przewyższającą lokalną prędkość dźwięku względem tego kanału. W polskim zgłoszeniu patentowym P-424280 zastosowano dwa wirniki obracające się w przeciwnych kierunkach. W takim układzie wirniki obracają się z mniejszymi prędkościami obrotowymi ale względna prędkość potrzebna do dynamicznego sprężania jest wystarczająco wysoka. Komory spalania w których spalanie zachodzi w ruchomej fali detonacyjnej realizują proces spalania w bardzo krótkim czasie co przekłada się na znacznie niższą emisję tlenków azotu. Celem wynalazku jest wykorzystanie takiej komory spalania w silniku rotacyjnym o podwyższonej sprawności i obniżonej emisji tlenków azotu.

Rotacyjny naddźwiękowy silnik cieplny z komorą spalania z wirującą falą detonacyjną, posiadająca korpus z kolektorem dolotowym i wylotowym oraz ułożyskowany w korpusie wał napędowy, na którym jest osadzony wirnik główny złożony z części sprężającej i części turbinowej o przepływie promieniowym, przy czym część sprężająca ma tarczę kompresorową sprężarki naddźwiękowej z łopatkami po stronie wlotowej wirnika, a część turbinowa ma tarczę turbinową z łopatkami po stronie wylotowej wirnika na wylocie z komory spalania, według wynalazku charakteryzuje się tym, że komora spalania utworzona jest pomiędzy nieruchomą tarczą separującą wtryskiwaczy paliwa a ruchomą tarczą turbinową z łopatkami po stronie wylotowej wirnika, przy czym nieruchoma tarcza separująca wtryskiwaczy paliwa jest zaopatrzona w kanały paliwa i pierścieniowy wtryskiwacz stanowiący dno komory spalania, przy czym tarcza kompresorowa sprężarki naddźwiękowej z łopatkami wraz z nieruchomą tarczą separującą wtryskiwaczy paliwa tworzą układ kanałów sprężających powietrze i komorę sprężonego powietrza, przez które sprężone powietrze przepływa do komory spalania wokół wtryskiwaczy paliwa w pierścieniowym wtryskiwaczu.

Korzystnym jest, jeżeli na zewnętrznej powierzchni tarczy turbinowej uformowane są łopatki wentylatora chłodzącego.

Inny rotacyjny naddźwiękowy silnik cieplny z komorą spalania z wirującą falą detonacyjną, posiadający korpus z kolektorem dolotowym i wylotowym oraz ułożyskowany w korpusie wał napędowy, na którym jest osadzony wirnik główny złożony z części sprężającej i części turbinowej o przepływie promieniowym, przy czym część sprężająca ma tarczę kompresorową sprężarki naddźwiękowej z łopatkami po stronie

wlotowej wirnika, a część turbinowa ma tarczą turbinową z łopatkami po stronie wylotowej wirnika na wylocie z komory spalania, według wynalazku charakteryzuje się tym, że komora spalania utworzona jest pomiędzy tarczą turbinową a drugą płytą separującą, a od strony wału napędowego ograniczona jest przez pierwszy rowkowany pierścień z dyszami powietrza, fragment pierścienia zasilającego wtryskiwaczy paliwa z kanałami paliwowymi i drugi rowkowany pierścień z dyszami powietrza, przy czym dysze powietrza są połączone przez otwory w pierścieniu zasilającym wtryskiwaczy paliwa z komorą sprężonego powietrza utworzoną przez tarczę kompresorową i pierwszą płytę separującą, zaś kanały paliwowe są połączone z kanałem zasilania wydrążonym w wale napędowym wirnika głównego.

Korzystnym jest, jeżeli pierwszy rowkowany pierścień ma promieniowe rowki wykonane na przeciwległych powierzchniach tworzące dwa zespoły dysz powietrza, chłodzących i zasilających.

Korzystnym jest, jeżeli drugi rowkowany pierścień ma promieniowe rowki wykonane na przeciwległych powierzchniach tworzące dwa zespoły dysz powietrza, zasilających i chłodzących.

Korzystnym jest, jeżeli na zewnętrznej powierzchni tarczy turbinowej uformowane są łopatki wentylatora chłodzącego.

Korzystnym jest, jeżeli silnik posiada osadzony współosiowo w korpusie wirnik pomocniczy o przepływie promieniowym o kierunku obrotów przeciwnym do obrotów wirnika głównego, zawierający sprężarkę poddźwiękową z łopatkami otaczającymi część sprężającą wirnika głównego i dodatkową turbinę akcyjną napędzaną spalinami opuszczającymi wirnik główny.

Korzystnym jest także, jeżeli wirnik pomocniczy jest osadzony na wale pomocniczym łożyskowanym w obsadzie łożyskowej uformowanej w lewej części korpusu, w skład wirnika pomocniczego wchodzi dysk do którego przymocowany jest dwu-segmentowy pierścień sprężarki poddźwiękowej z łopatkami, połączenia łącznikiem zewnętrznego segmentu dwu-segmentowego pierścienia sprężarki poddźwiękowej z wewnętrznym segmentem dwu-segmentowego pierścieniem dodatkowej turbiny akcyjnej, oraz zewnętrznego segmentu dwu-segmentowego pierścienia dodatkowej turbiny akcyjnej połączonego z wewnętrznym segmentem dwu-segmentowego pierścienia łopatkami dodatkowej turbiny akcyjnej.

Rozwiązanie według wynalazku zawiera wirnik główny ze sprężarką naddźwiękową, komorę spalania z turbiną detonacyjną, oraz komorę separatora ciepłego oddzielającą komorę spalania od sprężarką naddźwiękowej. Komora spalania jest utworzona przez stałe części wirnika głównego i wiruje wraz z wirnikiem głównym. Takie rozwiązanie umożliwia zwiększenie sprawności silnika dzięki eliminacji wycieków sprężonego powietrza doprowadzanego do komory spalania, które w klasycznych rozwiązaniach występują na szczelinach pomiędzy kolejnymi stopniami sprężania a komorą spalania. Powietrze po sprężeniu w kanałach sprężarki naddźwiękowej wpływa do wirującej wraz z wirnikiem komory spalania z wirującą w niej falą detonacyjną, gdzie następuje proces dalszego nieustalonego wzrostu ciśnienia wywołanego ruchem fali detonacyjnej i procesami spalania w niej występującymi i dalej nieustalonego rozprężania realizując termodynamiczny proces opisany cyklem Humphreya charakteryzującym się największą teoretyczną sprawnością. Proces spalania w fali detonacyjnej jest bardzo szybki, co obniża ilość tlenków azotu powstających przy wysokich temperaturach. Częstotliwość obiegu detonacyjnej komory spalania przez falę detonacyjną wynosi 1.5-2 kHz. Prędkość obrotowa komory spalania jest rzędu 300 rad/s co powoduje iż hałas generowany przez wirującą falę detonacyjną występuje na zewnątrz silnika w paśmie ultradźwięków, poza pasmem słyszalnym, co redukuje jedną z wad komory spalania z wirującą falą detonacyjną.

Zastosowanie układu dwóch wirników, obracających się względem siebie w przeciwnym kierunku, pozwala na zredukowanie prędkości obrotowych przy jakich pracować będzie zarówno wirnik główny jak i wirnik pomocniczy, utrzymując względną prędkość przepływu czynnika roboczego względem wirnika głównego i wirnika pomocniczego na poziomie naddźwiękowym, co zapewnia wysoką wartość stosunku ciśnienia powietrza sprężonego do ciśnienia na wlocie do silnika. Niskie obroty wirników pozwalają na zastosowanie łożyskowania na łożyskach kulkowych lub rolkowych upraszczając konstrukcję silnika. Niskie obroty wirników powodują powstawanie stosunkowo niskich obciążeń tarcz wirników siłami odśrodkowymi, w szczególności łopatek i kanałów turbin napędzających każdy z wirników pracujących przy wysokich temperaturach spalin, co obniża wymagania stawiane własnościom wytrzymałościowym materiałów z których wykonane są wirniki.

W silniku rotacyjnym z układem dwóch wirników częstotliwość obiegu komory spalania przez falę detonacyjną wynosi 1.5-2 kHz. Prędkość obrotowa komory spalania

jest rzędu 150 rad/s co powoduje, iż hałas generowany przez wirującą falę detonacyjną występuje na zewnątrz silnika w paśmie ultradźwięków, poza pasmem słyszalnym, co redukuje jedną z wad komory spalania z wirującą falą detonacyjną.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia silnik w przekroju poprzecznym z jednym wirnikiem i nieruchomymi wtryskiwaczami paliwa, fig. 2 przedstawia silnik w przekroju poprzecznym z jednym wirnikiem i ruchomymi wtryskiwaczami paliwa, fig. 3 przedstawia silnik z fig. 2 w częściowym przekroju w perspektywie, fig. 4 przedstawia części silnika z fig. 2 w perspektywie, fig. 5 przedstawia silnik z dwoma wirnikami, a fig. 6 przedstawia silnik z fig. 5 w częściowym przekroju w perspektywie,

Jak przedstawiono na fig. 1, silnik z jednym wirnikiem i nieruchomym układem wtrysku paliwa ma wirnik główny 0 złożony z części turbinowej oraz części sprężającej. Część turbinowa ma tarczę turbinową 7 o przepływie promieniowym, usytuowaną po stronie wylotowej wirnika. Część sprężająca ma tarczę kompresorową 2 sprężarki naddźwiękowej usytuowanej po stronie wlotowej wirnika. Łopatki 17 sprężarki naddźwiękowej tworzą kompresor falowy wytwarzający fale uderzeniowe sprężające powietrze doprowadzane do komory 38 sprężonego powietrza i dalej do komory spalania 37 wokół wtryskiwaczy paliwa w pierścieniowym wtryskiwaczu 41.

Konstrukcja wirnika głównego składa się z dwóch tarcz: tarczy kompresorowej 2 sprężarki naddźwiękowej z łopatkami 17 i tarczy turbinowej 7 z łopatkami 18 turbiny detonacyjnej. Pomędzy ruchomymi tarczami 2, 7 wirnika 0 znajduje się nieruchoma tarcza separująca 45 wtryskiwaczy paliwa, z kanałami paliwa 42 i pierścieniowym wtryskiwaczem 41, na obwodzie którego znajdują się wtryskiwacze paliwa. Komora spalania 37 z wirującą falą detonacyjną utworzona jest pomiędzy nieruchomą tarczą separującą 45 wtryskiwaczy paliwa, z kanałami paliwa 42 doprowadzonymi do pierścieniowego wtryskiwacza 41, stanowiącego dno komory spalania 37, a pomiędzy ruchomą tarczą turbinową 7 z łopatkami 18 turbiny po stronie wylotowej wirnika. Paliwo dostarczane jest przez nieruchomy przewód paliwowy 40, poprowadzony kanałami paliwa 42 przez wnętrze nieruchomej tarczy separującej 45 wtryskiwaczy paliwa do pierścieniowego wtryskiwacza 41. Wał napędowy 9 wirnika głównego 0 ułożyskowany jest w prawej części 13 korpusu silnika w zestawie łożysk tocznych 12 złożonym z łożysk kulkowych i baryłkowych. Lewa część 22 korpusu jest przymocowana do kolektora dolotowego 16.

Powietrze wpływa do silnika przez kolektor dolotowy 16 a wypływa ze spalinami przez kolektor wylotowy 14. Tarcza kompresorowa 2 sprężarki naddźwiękowej z łopatkami 17 wraz z nieruchomą tarczą separującą 45 wtryskiwaczy paliwa tworzą układ kanałów sprężających powietrze i komorę sprężonego powietrza 38, przez które sprężone powietrze przepływa do komory spalania 37 wokół wtryskiwaczy paliwa w pierścieniowym wtryskiwaczu 41. W komorze spalania mieszanina powietrza i paliwa ulega spalaniu w ruchomej fali detonacyjnej obiegającej dno komory spalania w kierunku, w którym obraca się wirnik z komorą spalania. Po rozruchu silnika wirnik główny 0 obraca się z prędkością zapewniającą uzyskiwanie przez krawędzie wlotowe łopatek 17 sprężarki naddźwiękowej prędkości przekraczających lokalną prędkość dźwięku w powietrzu pobieranym z kolektora dolotowego 16. Powietrze przepływając pomiędzy łopatkami 17 sprężarki naddźwiękowej w postaci fal uderzeniowych ulega sprężeniu i dalej przepływa przez komorę sprężonego powietrza 38 wokół wtryskiwaczy paliwa do komory spalania. Miesza się tam z paliwem dostarczonym przez wloty paliwa we wtryskiwaczach paliwa pierścieniowego wtryskiwacza 41 i opływającym wtryskiwacze paliwa powietrzem. W komorze spalania mieszanina powietrza i paliwa ulega sprężeniu przez ruchomą falę detonacyjną i samozapłonowi. Ruchomy front fali detonacyjnej obiega dno komory spalania z prędkością rzędu 1500 m/s zapalając kolejno tworzącą się w sposób ciągły mieszaninę palną w pobliżu dna komory spalania. Powstające w sposób ciągły w ruchomej fali detonacyjnej gazy spalinowe rozprężając się częściowo przepływają w głąb komory spalania i są ostatecznie rozprężane w kierunku obwodowym generując na łopatkach 18 turbiny część momentu napędzającego wirnik główny 1. Dalej spaliny wypływają z silnika kolektorem wylotowym 14. Rozruch silnika cieplnego następuje za pomocą innego napędu w postaci silnika lub prądnicy elektrycznej połączonej z wałem napędowym 9. Po rozpędzeniu wirnika głównego 0 do odpowiedniej prędkości zapewniającej samozapłon mieszanki, silnik rozruchowy zostaje odłączony a wał napędowy 9 odbiera energię mechaniczną generowaną przez silnik cieplny podczas pracy.

Przedstawiony na fig. 1 silnik ma bardzo prostą, kompaktową konstrukcję. Do efektywnego działania wymaga jednak wysokich obrotów wirnika a szczeliny pomiędzy łopatkami 17 sprężarki, nieruchomą tarczą separującą 45 wtryskiwaczy paliwa oraz łopatkami 18 turbiny umożliwiają przecieki sprężonego powietrza i spalin o wysokim ciśnieniu co powoduje obniżenie sprawności silnika. Przyjęty układ konstrukcyjny uniemożliwia dalsze usprawnienia silnika. Takie rozwiązanie ze względu na jego prostotę

może być jednak używane do awaryjnego napędu generatorów elektrycznych lub pomp cieczy.

Inny silnik przedstawiony na fig. 2-4, różni się od silnika z fig. 1 tym, że posiada ruchomy układ wtrysku paliwa.

Jak przedstawiono na fig. 2-4, silnik z jednym wirnikiem i wirującymi wtryskiwaczami paliwa ma bardziej skomplikowaną budowę. Podstawowym elementem silnika jest wirnik główny 1 złożony z części turbinowej oraz z części sprężającej. Część turbinowa ma tarczę turbinową 7 z łopatkami 18 tworzącymi kanały o przepływie promieniowym, usytuowaną po stronie wylotowej wirnika. Część sprężająca ma tarczę kompresorową 2 sprężarki naddźwiękowej usytuowanej po stronie wlotowej wirnika. Łopatkami 17 sprężarki naddźwiękowej tworzą kompresor falowy wytwarzający fale uderzeniowe sprężające powietrze doprowadzane przez komorę sprężonego powietrza do komory spalania 37.

Konstrukcja wirnika głównego 1 składa się z czterech tarcz: tarczy kompresorowej 2 sprężarki naddźwiękowej z łopatkami 17, dwóch płyt separujących 3, 4 komory separatora cieplnego 19, tarczy turbinowej 7 z łopatkami 18 turbiny detonacyjnej, pierwszego rowkowanego pierścienia 5 z przelotowymi dyszami powietrza do komory spalania, pierścienia zasilającego 6 wtryskiwaczy paliwa osadzonego na wale głównym 9, separującego dysze wlotowe powietrza i wloty paliwa, drugiego rowkowanego pierścienia 10 z przelotowymi dyszami powietrza do komory spalania. Detonacyjna komora spalania jest utworzona przez drugą płytę separującą 4, tarczę turbinową 7 z łopatkami 18 turbiny detonacyjnej, oraz pierwszy rowkowany pierścień 5 i pierścień zasilający 6 wtryskiwaczy paliwa drugi rowkowany pierścień 10. Paliwo dostarczane jest przez przewód paliwowy 23, poprowadzony przez wnętrze wału napędowego 9 i promieniowe kanały paliwowe 11 w pierścieniu zasilającym 6 wtryskiwaczy paliwa do komory spalania 37. Pierścień zasilający 6 wtryskiwaczy paliwa ma otwory 39 umożliwiające przepływ powietrza w poprzek pierścienia pomiędzy kanałami paliwowymi 11. Wał napędowy 9 wirnika głównego 1 ułożyskowany jest w prawej części 13 korpusu silnika w zestawie łożysk tocznych 12 złożonym z łożysk kulkowych i baryłkowych. Pierwszy rowkowany pierścień 5 ma promieniowe rowki wykonane na przeciwległych powierzchniach tworzące dwa zespoły dysz powietrza, chłodzących i zasilających. Pierwszy zespół kieruje strumieniem powietrza w stronę płyty separującej 4 w celu jej schłodzenia. Drugi zespół kieruje strumieniem powietrza obok powierzchni pierścienia zasilającego 6 wtryskiwaczy paliwa

powyżej wlotów paliwa w celu wytworzenia przy dnie komory spalania mieszanki paliwowej. Drugi rowkowany pierścień 10 ma promieniowe rowki wykonane na przeciwległych powierzchniach tworzące dwa zespoły dysz powietrza, zasilających i chłodzących. Pierwszy zespół tych dysz kieruje strumienie powietrza obok powierzchni pierścienia zasilającego 6 powyżej wlotów paliwa w celu wytworzenia przy dnie komory spalania mieszanki paliwowej. Drugi zespół tych dysz kieruje strumienie powietrza w stronę tarczy turbinowej 7 w celu schłodzenia jej wewnętrznej powierzchni.

W celu schłodzenia tarczy turbinowej 7, w prawej części 13 korpusu silnika są wykonane wloty wentylacyjne 20, przy kolektorze wylotowym są wykonane wyloty wentylacyjne 21, a na zewnętrznej powierzchni tarczy turbinowej 7 uformowane są łopatki 8 wentylatora chłodzącego zapewniające obieg chłodnego powietrza w tej części silnika. Komora separatora cieplnego 19 oddziela komorę spalania 37 od sprężarki naddźwiękowej i zapewnia separację cieplną gorącej i chłodnej części wirnika głównego 1. Natomiast pierścień separujący 15 zapewnia separację cieplną gorącego kolektora wylotowego 14 od chłodnego kolektora dolotowego 16.

Powietrze wpływa do silnika przez kolektor dolotowy 16 a wypływa ze spalinami przez kolektor wylotowy 14. Tarcza kompresorowa 2 sprężarki naddźwiękowej z łopatkami 17 wraz z pierwszą płytą separującą 3 tworzą układ kanałów sprężających powietrze i komorę sprężonego powietrza 38, przez które sprężone powietrze przepływa do dysz powietrza i do komory spalania. W komorze spalania mieszanina powietrza i paliwa ulega spalaniu w ruchomej fali detonacyjnej obiegającej dno komory spalania w kierunku, w którym obraca się wirnik z komorą spalania. Po rozruchu silnika wirnik główny 1 obraca się z prędkością zapewniającą uzyskiwanie przez krawędzie wlotowe łopatek 17 sprężarki naddźwiękowej prędkości przekraczających lokalną prędkość dźwięku w powietrzu pobieranym z kolektora dolotowego 16. Powietrze przepływając pomiędzy łopatkami 17 sprężarki naddźwiękowej w postaci fal uderzeniowych ulega sprężeniu i dalej przepływa przez komorę sprężonego powietrza 38 i równolegle przez dysze w pierwszym rowkowanym pierścieniu 5 oraz otwory 39 w pierścieniu zasilającym 6 i dysze w drugim rowkowanym pierścieniu 10 do komory spalania 37. Miesza się tam z paliwem dostarczonym przez wloty paliwa istniejące w pierścieniu zasilającym 6 separującego dysze powietrza. W komorze spalania 37 mieszanina powietrza i paliwa ulega sprężeniu przez ruchomą falę detonacyjną i samozapłonowi. Ruchomy front fali detonacyjnej obiega dno komory spalania z prędkością rzędu 1500 m/s zapalając kolejno

tworzącą się w sposób ciągły mieszaninę palną w pobliżu dna komory spalania. Powstające w sposób ciągły w ruchomej fali detonacyjnej gazy spalinowe rozprężając się częściowo przepływają w głąb komory i są ostatecznie rozprężane w kierunku obwodowym generując na łopatkach 18 turbiny detonacyjnej część momentu napędzającego wirnik główny 1. Dalej spaliny wypływają z silnika kolektorem wylotowym 14. Rozruch silnika cieplnego następuje za pomocą innego napędu w postaci silnika lub prądnicy elektrycznej połączonej z wałem napędowym 9. Po rozpędzeniu wirnika głównego 1 do odpowiedniej prędkości zapewniającej samozapłon mieszanki, silnik rozruchowy zostaje odłączony a wał napędowy 9 odbiera energię mechaniczną generowaną przez silnik cieplny podczas pracy.

Silnik przedstawiony na fig. 5-6 różni się od silnika z fig. 2 tym, że posiada dodatkowy wirnik pomocniczy.

Jak przedstawiono na fig. 5-6, silnik z dwoma wirnikami i ruchomymi wtryskiwaczami zawiera wirnik główny 1 złożony z części turbinowej oraz z części sprężającej, oraz wirnik pomocniczy.

Konstrukcja wirnika głównego 1 składa się z czterech tarcz: tarczy kompresorowej 2 sprężarki naddźwiękowej z łopatkami 17, pierwszej płyty separującej 3, drugiej płyty separującej 4, oraz tarczy turbinowej 7 z łopatkami 18 usytuowanymi na wylocie komory spalania 37, pierwszego rowkowanego pierścienia 5 z przelotowymi dyszami powietrza, pierścienia zasilającego 6 wtryskiwaczy paliwa oraz drugiego rowkowanego pierścienia 10 z przelotowymi dyszami powietrza. Podstawę komory spalania tworzy pierwszy rowkowany pierścień 5, fragment pierścienia zasilającego 6 wtryskiwaczy paliwa z kanałami paliwowymi 11, osadzony na wale napędowym 9, oraz drugi rowkowany pierścień 10 z przelotowymi dyszami powietrza. Paliwo dostarczane jest poprzez przewód paliwowy 23, poprowadzony przez wnętrze wału napędowego 9, i promieniowe kanały paliwowe 11 w pierścieniu zasilającym 6 wtryskiwaczy paliwa zakończonymi wlotami paliwa do komory spalania 37.

Wirnik pomocniczy składa się z dysku 33, wewnętrznego segmentu dwusegmentowego pierścienia 28 sprężarki poddźwiękowej, zamocowanego na obwodzie dysku 33, łopatek 29 sprężarki poddźwiękowej łączących oba segmenty dwusegmentowego pierścienia 28, połączenia łącznikiem 43 zewnętrznego segmentu dwusegmentowego pierścienia 28 sprężarki poddźwiękowej z wewnętrznym segmentem dwusegmentowego pierścieniem 30 dodatkowej turbiny akcyjnej, oraz zewnętrznego segmentu

dwu-segmentowego pierścienia 30 dodatkowej turbiny akcyjnej połączonego z wewnętrznym segmentem dwu-segmentowego pierścienia 30 łopatkami 31. Łopatki 29 sprężarki poddźwiękowej otaczają część sprężającą wirnika głównego 1. Łopatki 31 dodatkowej turbiny akcyjnej otaczają część turbinową wirnika głównego 1.

Wały wirników są osadzone w dwóch oddzielnych zestawach łożysk tocznych 12, 35, złożonych z łożysk kulkowych i baryłkowych. Wirnik główny 1 ułożyskowany jest na prawym zestawie łożysk tocznych 12 w prawej części 13 korpusu silnika o zwiększonej średnicy. Wirnik pomocniczy ułożyskowany jest na lewym zestawie łożysk tocznych 35 w lewej części korpusu 27.

Wirnik pomocniczy wiruje napędzany spalinami wypływającymi z wirnika głównego 1 wokół łopatek 18 turbiny detonacyjnej do dodatkowej turbiny akcyjnej wirnika pomocniczego z łopatkami 31. Nadmiar energii mechanicznej wytwarzanej przez wirnik pomocniczy jest odbierany jest na zewnątrz silnika przez wał pomocniczy 35.

Wirnik główny 1 wiruje w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania wirnika pomocniczego co powoduje, iż powietrze sprężone i zawirowane przez łopatki 29 sprężarki poddźwiękowej, będącej elementem składowym wirnika pomocniczego, trafia z prędkością naddźwiękową na łopatki 17 sprężarki naddźwiękowej będącej elementem składowym wirnika głównego 1. Powietrze sprężone przez układ fal uderzeniowych sprężarki naddźwiękowej przepływa do komory sprężonego powietrza 38 i dalej do komory spalania 37 poprzez dysze powietrza, chłodzące i zasilające, wykonane promieniowo na obwodzie pierwszego 5 i drugiego 10 rowkowanego pierścienia. Gorąca i chłodna część wirnika głównego 1 jest oddzielona przez komorę separatora cieplnego 19. Paliwo dostarczane jest do silnika przez przewód paliwowy 23, poprowadzony przez wnętrze wału napędowego 9. Powietrze wpływa do silnika przez kolektor dolotowy 26 a wypływa ze spalinami przez kolektor wylotowy 24. Moment obrotowy generowany przez silnik odbierany jest przez dwa wały 9, 35 obracające się w przeciwnych kierunkach.

W celu schłodzenia tarczy turbinowej 7, w prawej części 13 korpusu silnika są wykonane wloty wentylacyjne 20 zaś przy kolektorze wylotowym 24 są wykonane wyloty wentylacyjne 21, a na zewnętrznej powierzchni tarczy turbinowej 7 uformowane są łopatki 8 wentylatora chłodzącego zapewniające obieg powietrza w tej części silnika. Strzałki przy wlotach wentylacyjnych 20 i wylocie wentylacyjnym 21 pokazują kierunek przepływu powietrza chłodzącego. Komora separatora cieplnego 19 zapewnia separację cieplną gorącej i chłodnej części wirnika głównego 1. Natomiast separator cieplny 15 zapewnia

separację cieplną gorącego kolektora wylotowego 14 od chłodnego kolektora dolotowego 16.

Po rozruchu silnika mieszanina powietrza i paliwa jest spalana w komorze spalania 37 tworzącej front wirującej fali detonacyjnej. Ruchomy front fali detonacyjnej obiega dno komory spalania z prędkością rzędu 1500 m/s zapalając kolejno tworzącą się w sposób ciągły mieszaninę palną w pobliżu dna komory spalania. Powstające cyklicznie gazy spalinowe przepływają w głąb komory, i są ostatecznie rozprężane w kierunku obwodowym generując na łopatkach 18 turbiny detonacyjnej moment napędzający wirnik główny 1. Dalej spaliny z dużą prędkością przepływają przez kanały dodatkowej turbiny akcyjnej wirnika pomocniczego generując na nim moment obrotowy i napędzając poddźwiękowy układ sprężania znajdujący się na tym wirniku. Moment obrotowy generowany przez silnik odbierany jest przez dwa wały 9, 35, napędowy i pomocniczy, obracające się w przeciwnych kierunkach.

RZECZNIK PATENTOWY

  
mgr inż. Jerzy Woźnicki