

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242321 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **434707**

(22) Data zgłoszenia: **2020.07.17**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.01.24 BUP 04/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.13 WUP 07/2023**

(51) MKP:

F02K 9/96 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
JAN KINDRACKI, Grodzisk Mazowiecki, PL
ŁUKASZ MEŻYK, Warszawa, PL
PRZEMYSŁAW PASZKIEWICZ, Ropienka, PL
KRZYSZTOF WACKO, Tomaszów Lubelski, PL
PRZEMYSŁAW WOŹNIAK, Warszawa, PL
STANISŁAW SIATKOWSKI, Radzionków, PL

(74) Pełnomocnik:
Oliwia Czarnocka, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Laboratoryjne stanowisko do badań właściwości stałych raketowych materiałów pędnych

PL 242321 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest laboratoryjne stanowisko (mikrosilnik raketowy) do badań podstawowych właściwości stałych raketowych materiałów pędnych.

Znane są rozwiązania techniczne opisane w Raporcie Technicznym RTO-MP-091 (rozdział 34) Organizacji Badawczo-Technicznej (RTO) Organizacji Traktatu Północnoatlantyckiego (NATO). Raport ten zawiera m.in. wytyczne rekomendowane przy procesie projektowania stanowisk badawczych dot. badania szybkości palenia stałego raketowego materiału pędnego. Ponadto opisuje laboratoryjne silniki raketowe elaborowane ładunkiem (ziarnem) stałego materiału pędnego, posiadające centralny kanał przelotowy. Wspomniany raport opisuje, iż projektowane silniki laboratoryjne w małej skali składają się z komory spalania w kształcie grubościennej rury i w większości przypadków z dwóch kołnierzy. Przedni moduł powinien stanowić zamknięcie komory spalania, z kolei tylny moduł zawierać dyszę wylotową. Rozłączne połączenie części centralnej silnika laboratoryjnego (komora spalania) z przednim i tylnym modułem umożliwiają szybsze przygotowanie stanowiska do przeprowadzenia eksperymentów. Taka konstrukcja ułatwia również czyszczenie elementów składowych oraz pozwala na wielokrotne używanie silnika.

W przypadku stosowania ziaren o czołowej powierzchni spalania, układ zapłonnikowy montowany jest w tylnym kołnierzu (moduł zawierający sekcję dyszy wylotowej). Ze względów bezpieczeństwa często stosuje się mechanizm upustu ciśnienia z komory spalania w sytuacji niekontrolowanego wzrostu podczas trwania eksperymentu. Układ upustowy z wymienną membraną bezpieczeństwa może być zamontowany zarówno w przedniej, tylnej, jak i centralnej części korpusu silnika. Tylny kołnierz stanowi sekcję dyszy wylotowej, z kolejno: stożkową częścią zbieżną, przekrojem krytycznym oraz częścią rozbieżną dyszy. Często moduł przystosowany jest do umieszczania w gardzieli dyszy wymiennej wkładki stanowiącej przekrój krytyczny. Wkładka zwykle wykonywana jest z grafitu. W zależności od rodzaju badanego materiału pędnego, czasami stosowane są inne materiały, takie jak: stal, molibden, czy wolfram.

Mikrosilnik raketowy może być wykorzystywany do testowania materiałów pędnych o różnych konfiguracjach ziarna, które można podzielić na trzy grupy:

- ziarna z centralnym kanałem przelotowym o przekroju kołowym, gwiazdy, krzyża etc., płaskie lub stożkowe, z inhibitowaną lub nieinhibitowaną powierzchnią zewnętrzną;
- ziarna cylindryczne o czołowej powierzchni spalania (ang. end-burning grains);
- ziarna w kształcie prostopadłościanów o nieinhibitowanych powierzchniach.

Konfiguracje ziaren z 1 i 2 grupy cechują się neutralną charakterystyką pracy silnika raketowego, gdzie główna część przebiegu ciągu pozostaje stała, co zwykle przekłada się na stałe ciśnienie w komorze spalania. Pozwalają na określenie zależności funkcyjnej pomiędzy szybkością spalania a ciśnieniem w komorze spalania. Zmiana przekroju krytycznego dyszy pozwala na określenie liniowej szybkości spalania w pożądanym zakresie ciśnienia i temperatury. Konfiguracje ziaren z grupy 3 są stosowane w układzie gdzie w czasie jednego eksperymentu otrzymywanych jest kilka punktów pomiarowych (ang. multiple points firing method).

Ponadto znany ze stanu techniki, opisu patentowego PL 222747 B1 jest laboratoryjny silnik raketowy do określania masowej szybkości spalania ładunku stałego paliwa raketowego w postaci nieekranowanego (nieinhibitowanego powierzchniowo) prostopadłościanu umieszczonego w komorze spalania silnika raketowego, połączonej z gniazdem na czujnik ciśnienia, zaś na końcach połączonej z przednią pokrywą zamykającą oraz tylną pokrywą mieszczącą dyszę, posiadający układ zapłonowy inicjujący spalanie ładunku materiału pędnego.

Natomiast w dokumencie patentowym PL 217675 B1 ujawniony jest laboratoryjny silnik raketowy do badań stałych raketowych, materiałów pędnych z centralnym kanałem przelotowym zbudowany z komory spalania w kształcie grubościennej tulei połączonej rozłącznie z przednim i tylnym modułem. Przedni i tylny moduł obejmuje zamknięcie od przodu komory spalania, zapłonnik, czujnik ciśnienia, zabezpieczającą nakrętkę perforowaną leżącą w osi komory spalania, dociskając od zewnątrz membranę zabezpieczającą do zamknięcia komory spalania, zaś tylny moduł obejmuje dyszę.

Problem techniczny jaki zaobserwowali twórcy to niepowtarzalność parametrów materiału pędnego, wytwarzanego w warunkach laboratoryjnych lub półprzemysłowych, spowodowany małą ilością próbek wykonanych z materiału dla pojedynczego procesu przygotowawczego materiału pędnego.

Celem wynalazku jest opracowanie rozwiązania, które zapewni minimalizację ilości materiału pędnego używanego podczas pojedynczego eksperymentu, co pozwala na wykonanie ich większej ilości i poprawienia dokładności wyników z wykorzystaniem metod statystycznych. Rozwiązanie, zapewnia odwzorowanie w stosunku niemal 1:1 wielkości ziarna używanego w badaniach laboratoryjnych oraz w produkcie końcowym. Pozwala to na przetestowanie geometrii docelowej już na etapie prac laboratoryjnych. Proponowane rozwiązanie z wymienną wkładką dyszową, pozwala na określenie przebiegu ciągu silnika na bardzo wczesnym etapie prac badawczych.

Przedmiotem wynalazku jest laboratoryjne stanowisko (mikrosilnik raketowy) do badań podstawowych właściwości stałych raketowych materiałów pędnych. Stanowisko badawcze umożliwia przeprowadzenie badań eksperymentalnych w celu określenia zależności funkcyjnej pomiędzy liniową szybkością spalania a ciśnieniem w komorze spalania dla stałego raketowego materiału pędnego. Wartość ciśnienia w komorze spalania może być regulowana poprzez zmianę przekroju krytycznego dyszy wylotowej. Zastosowanie na opisanym stanowisku pośredniej metody pomiaru ciągu (np. metoda baffle-plate), pozwala na wyznaczenie impulsu właściwego (parametr określający ilość energii zgromadzonej w materiale pędnym, która może być użyta do napędu). Obie wielkości są jednymi z najważniejszych parametrów opisujących właściwości stałych raketowych materiałów pędnych. Ich znajomość umożliwia prawidłowe zaprojektowanie silnika raketowego.

Na podstawie szybkości spalania oraz geometrii ziarna możliwe jest określenie czasu pracy projektowanego mikrosilnika. Wyznaczona eksperymentalnie, zależność funkcyjna jest niezbędna także podczas projektowania do wyboru właściwego ciśnienia pracy, co z kolei bezpośrednio wpływa na konstrukcję silnika.

Laboratoryjne stanowisko do badań właściwości stałych raketowych materiałów pędnych zawiera, co najmniej komorę spalania dyszę wylotową, układ upustu ciśnienia oraz układ pomiaru ciśnienia, króciec zaworu bezpieczeństwa posiadający płytkę ciśnieniową, zawór bezpieczeństwa rozpraszający gazy wlotowe, podsypkę prochową w postaci pastylki, przy czym, komora spalania w kształcie koszyczka jest zintegrowana z rusztem, a materiał pędny mocowany jest trzema wkrętami gwintowanymi. Natomiast rowek kolektorowy o przekroju prostokątnym na zewnętrznej ścianie komory spalania z jednej strony połączony jest z króćcem czujnika ciśnienia oraz króćcem zaworu bezpieczeństwa, posiadającym płytkę ciśnieniową i końcówkę rozpraszającą gazy wylotowe. Dysza wylotowa zamontowana jest w przednim gnieździe korpusu oraz dociskana do korpusu poprzez docisk precyzyjnie osadzany na dwóch kołkach ustalających. Natomiast inicjator elektryczny osadzany jest w gnieździe nakrętki domykającej, z wymienną wkładką oraz podsypką prochową w postaci pastylki, a całość umieszczona jest w tylnym gnieździe korpusu.

Korzystnie, wkładka inicjatora elektrycznego posiada otwór centralny na przewody elektryczne oraz jest uszczelniona dwoma uszczelkami o-ring w konfiguracji tłokowej.

Korzystnie, dysze wylotowe posiadają różne średnice krytyczne.

Korzystnie, dysza wylotowa jest wymienna.

Korzystnie, pomiędzy dyszą wylotową, a dociskiem zamontowana jest membrana stanowiąca zatyczkę dyszy.

Korzystnie, membrana jest wykonana z folii polipropylenowej.

Korzystnie, membrana jest wykonana z folii miedzianej.

Korzystnie, membrana jest wykonana z folii mosiężnej.

Korzystnie, membrana jest wykonana z folii stali nierdzewnej.

Korzystnie, wspomniana komora spalania posiada rowek o przekroju prostokątnym na całym obwodzie komory doprowadzający gazy spalinowe do króćca czujnika ciśnienia oraz króćca zaworu bezpieczeństwa.

Korzystnie, rowek kolektorowy posiada otwory o sumarycznym polu przekroju porzecznego co najmniej dwa razy większym niż pole przekroju większego z dwóch kanałów wewnętrznych króćców pomiaru ciśnienia lub zaworu bezpieczeństwa.

Korzystnie, wkręty gwintowane ustalają pozycję centralną ziarna materiału pędnego w komorze spalania.

Korzystnie, pastylka podsypki prochowej wykonana jest w kształcie walca o wysokości mniejszej niż średnica pastylki podsypki prochowej.

Korzystnymi skutkami niniejszego wynalazku są:

- uniwersalność i modułowość konstrukcji pozwalająca na zastosowanie różnych podzespołów poprawiających komfort pracy, skracając czas przygotowania stanowiska (czyszczenie, zakładanie ziarna materiału pędnego, inicjatora, itp.),
- łatwość aplikacji badanych ładunków materiału pędnego o różnej geometrii i wymiarach, dzięki konstrukcji komory spalania,
- ułatwienie procesu zapłonu poprzez zastosowanie specjalnego „koszyczka” z integralnym rusztem na ziarno materiału pędnego,
- poprawa bezpieczeństwa prowadzenia badań, dzięki rusztowi zapobiegającemu groźnemu zjawisku zatkania dyszy przez oderwany kawałek materiału pędnego i w konsekwencji zniszczeniu stanowiska oraz zastosowaniu zaworu bezpieczeństwa z wymienną płytką bezpieczeństwa pozwalającą na upust ciśnienia z komory spalania w przypadku niekontrolowanego wzrostu podczas eksperymentu,
- wymienność modułu dyszy wylotowej pozwalającej na łatwe sterowanie ciśnieniem w komorze spalania, przy czym przy uszkodzeniu bądź wypaleniu geometrii przekroju krytycznego umożliwia łatwą jej wymianę, gdzie średnica krytyczna odnosi się do najwęższego przekroju w dyszy wylotowej. Od niej zależą parametry pracy silnika (np. ciśnienie pracy w komorze spalania),
- stanowisko umożliwia prowadzenie prac badawczych dla liniowej szybkości spalania stałego materiału pędnego w małej skali, co wiąże się z redukcją kosztów w odniesieniu do materiału pędnego,
- materiał pędny nie wymaga specjalnego przygotowania (inhibicji powierzchni), co prowadzi do obniżenia kosztów przygotowawczych badań,
- stanowisko badawcze umożliwia zastosowanie różnych inicjatorów elektrycznych, co sprzyja także obniżeniu kosztów eksploatacyjnych a także zastosowanie inicjatorów będących na stanie danego laboratorium badawczego,
- zastosowanie inicjatora w postaci spłonki elektrycznej i oddzielnego ładunku prochowego pozwala na dostosowanie wielkości energii do wymagań danego materiału pędnego,
- z otrzymanego przebiegu ciśnienia w prosty sposób otrzymuje się czas palenia ziarna, co służy obliczaniu wartości liniowej szybkości spalania.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest przedstawiony na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia laboratoryjne stanowisko mikrosilnika raketowego (widok w trzech-czwartych, w rzucie aksonometrycznym), a

Fig. 2 przedstawia stanowisko w widoku rozstrzelonym.

Laboratoryjne stanowisko do badań właściwości stałych raketowych materiałów pędnych według wynalazku przeznaczone jest do określenia zależności funkcyjnej pomiędzy liniową szybkością spalania a ciśnieniem w komorze spalania oraz pośrednio do określenia impulsu właściwego badanego stałego raketowego materiału pędnego z wykorzystaniem metody pomiaru ciągu „baffle plate”. Stanowisko zaprojektowano w sposób umożliwiający prowadzenie eksperymentów szybkości palenia dla szerokiego zakresu możliwych ciśnień w komorze spalania. Wynalazek składa się z kilku podstawowych sekcji: komora właściwa, sekcja pomiaru ciśnienia w komorze spalania, układ upustu ciśnienia w przypadku niekontrolowanego wzrostu ciśnienia w komorze podczas trwania eksperymentu, sekcja dyszy wylotowej wraz z membraną dyszową oraz sekcja układu inicjującego zapłon materiału pędnego.

Centralną część wynalazku stanowi korpus (1), sztywno zamocowany w uchwycie (20) oraz umieszczona w nim komora spalania (2) wraz z ziarnem materiału pędnego (6), posiadający co najmniej jeden, centralny kanał przelotowy. Komora spalania (2) w kształcie „koszyczka”, zakończona jest integralnym rusztem i posiada na ściankach bocznych trzy gwintowane otwory (gwint metryczny M3) do wkręcenia docisków gwintowanych (19). Dokręcenie zapewnia utrzymanie centralnej pozycji ziarna materiału pędnego (6) na początku eksperymentu, co ułatwia proces zapłonu na całej dostępnej powierzchni ziarna. Ruszt o odpowiednio dobranej ilości otworów przelotowych względem przekroju średnicy krytycznej dyszy, zapobiega groźnemu zjawisku zatkania dyszy wylotowej przez oderwany kawałek ziarna i w konsekwencji zniszczeniu stanowiska badawczego. Komora spalania (2) wyposażona jest ponadto w zewnętrzny rowek kolektorowy (21) pozwalający na zbieranie gazów spalinowych i dostarczenie ich do korpusu (1), a następnie do króćca ciśnienia (16) oraz króciec (7) zaworu bezpieczeństwa (9) z końcówką rozpraszającą gazy spalinowe.

Korpus (1) wyposażony jest w króciec do pomiaru ciśnienia (16) z przyłączem procesowym gwintem G1/4 cala oraz zawór bezpieczeństwa (9) z wymienną płytką ciśnieniową (8). Płytkę umieszczoną w zaworze bezpieczeństwa w przypadku przekroczenia określonego ciśnienia dopuszczalnego, ulega pęknięciu, w efekcie otwierając dodatkowy otwór wentylacyjny, zmniejszając w ten sposób ciśnienie w komorze spalania. Zastosowany układ upustowy przeciwdziała możliwości zniszczenia stanowiska badawczego. Wymienna dysza wylotowa (3) umieszczana jest w przednim gnieździe korpusu (1), dociskana za pomocą docisku (4) i dokręcana specjalną nakrętką czołową (5). Docisk płyty dyszowej (4) osadzany jest precyzyjnie w korpusie z wykorzystaniem dwóch kołków ustalających (18). Przestrzeń między wymienną dyszą (3) a dociskiem (4) stanowi płaszczyznę mocującą dla membrany (17), pełniącej funkcję zatyczki dyszowej (17). Zatyczka ta ma na celu utrzymanie odpowiedniej wartości ciśnienia w komorze spalania w momencie inicjowania procesu spalania, co znaczenie ułatwia rozruch komory spalania oraz przyczynia się do zwiększenia dokładności pomiaru czasu spalania. W przypadku niskich ciśnień w komorze spalania, zatyczka dyszowa (17) umożliwi rozpoczęcie pracy mikrosilnika rakietowego. Odpowiednie dobranie zatyczki dyszowej, pozwala na zmniejszenie czasu narastania ciśnienia w komorze silnika (2), poprawiając charakterystyki zapłonowe, co z kolei ma kluczowy wpływ na dalszy przebieg procesu spalania i osiągi silnika rakietowego.

Po przeciwnej stronie korpusu (1) znajduje się sekcja inicjatora zapłonu, którego zadaniem jest zainicjowanie procesu spalania w możliwie jak najkrótszym czasie i w sposób powtarzalny w kolejnych eksperymentach. Ze względu na zastosowanie wymiennej wkładki (12), w której mocowany jest inicjator elektryczny (11), możliwe jest zastosowanie kilku rodzajów tego inicjatora o różniących się wymiarach geometrycznych, do których należy jedynie wykonać przejściówkę dostosowującą geometrię wkładki do danego inicjatora elektrycznego. Według wynalazku do inicjowania zapłonu zastosowano spłonkę elektryczną (11) oraz podsypkę prochu czarnego w postaci sprasowanej pastylki w kształcie dysku (10). We wkładce zapalnika (12), posiadającej centralny kanał umożliwiający przeprowadzenie przewodów zasilających, umieszcza się spłonkę elektryczną (11) oraz montowaną na wcisk pastylkę prochową (10). Tak przygotowana wkładka zapalnika (12), posiadająca zewnętrzny gwint metryczny wykonany w węższej części detalu oraz uszczelnienie o-ringiem z Vitonu®, umieszczana jest w nakrętce domykającej (13), stanowiącej zamknięcie przedniej sekcji stanowiska badawczego. Wkładka zapalnika (12) jest dociskana do nakrętki domykającej (13) przez nakrętkę (14) i umieszczoną pomiędzy podkładkę (15). Konstrukcja modułu inicjującego zapłon zapewnia izolowane wyprowadzenie przewodów elektrycznych na zewnątrz oraz stabilne umiejscowienie pastylki prochowej (10).

Lista oznaczeń odsyłających

1	Korpus
2	Komorę spalania-koszyczek
3	Płyta dyszowa
4	Docisk płyty dyszowej
5	Nakrętka czołowa
6	Ziarno – materiał pędny
7	Króciec zaworu bezpieczeństwa
8	Płytkę ciśnieniową
9	Zawór bezpieczeństwa
10	Pastylka prochowa
11	Spłonka elektryczna
12	Wkładka zapalnika
13	Nakrętka domykająca
14	Nakrętka
15	Podkładka
16	Króciec pomiaru ciśnienia
17	Membrana dyszowa
18	Kołek ustalający
19	Wkręt gwintowany M3
20	Uchwyt stanowiska
21	Rowek kolektorowy

Zastrzeżenia patentowe

1. Laboratoryjne stanowisko do badań właściwości stałych raketowych materiałów pędnych zawierające, co najmniej komorę spalania dyszę wylotową, układ upustu ciśnienia oraz układ pomiaru ciśnienia, króciec zaworu bezpieczeństwa posiadający płytkę ciśnieniową, zawór bezpieczeństwa rozpraszający gazy wlotowe, podsypkę prochową w postaci pastylki, **znamiennie tym**, że komora spalania (2) w kształcie koszyczka jest zintegrowana z rusztem, a materiał pędny mocowany jest trzema wkrętami gwintowanymi (19), przy czym rowek kolektorowy (21) o przekroju prostokątnym na zewnętrznej ścianie komory spalania (2) z jednej strony połączony jest z króćcem (16) czujnika ciśnienia oraz króćcem zaworu bezpieczeństwa (7), posiadającego płytkę ciśnieniową (8) oraz zawór bezpieczeństwa (9) rozpraszający gazy wylotowe, dysza wylotowa (3) zamontowana jest w przednim gnieździe korpusu (1) oraz dociskana do korpusu (1) poprzez docisk (4) precyzyjnie osadzany na dwóch kołkach ustalających (18), przy czym inicjator elektryczny (11) osadzany jest w gnieździe nakrętki domykającej (13), z wymienną wkładką (12) oraz podsypką prochową w postaci pastylki (10) i całość umieszczana jest w tylnym gnieździe korpusu (1).
2. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1, **znamiennie tym**, że wkładka (12) inicjatora elektrycznego posiada otwór centralny na przewody elektryczne, przy czym wkładka (12) uszczelniona dwoma uszczelkami o-ring w konfiguracji tłokowej.
3. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1, **znamiennie tym**, że dysze wylotowe (3) posiadają różne średnice krytyczne.
4. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1–3, **znamiennie tym**, że dysza wylotowa (3) jest wymienna.
5. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1, 3 – 4, **znamiennie tym**, że pomiędzy dyszą wylotową (3) a dociskiem (4) zamontowana jest membrana (17) stanowiąca zatyczkę dyszy.
6. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 5, **znamiennie tym**, że membrana (17) jest wykonana z foli polipropylenowej.
7. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 5, **znamiennie tym**, że membrana (17) jest wykonana z foli miedzianej.
8. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 5, **znamiennie tym**, że membrana (17) jest wykonana z foli mosiężnej.
9. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 5, **znamiennie tym**, że membrana (17) jest wykonana z foli stali nierdzewnej.
10. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1, **znamiennie tym**, że komora spalania (2) posiada rowek o przekroju prostokątnym na całym obwodzie komory doprowadzający gazy spalinowe do króćca (16) czujnika ciśnienia oraz króćca (7) zaworu bezpieczeństwa.
11. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 10, **znamiennie tym**, że rowek kolektorowy (21) posiada otwory o sumarycznym polu przekroju porzecznego co najmniej 2 razy większym niż pole przekroju większego z dwóch kanałów wewnętrznych króćców pomiaru ciśnienia lub zaworu bezpieczeństwa.
12. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1, **znamiennie tym**, że wkręty gwintowane (19) ustalają pozycję centralną ziarna materiału pędnego w komorze spalania (2).
13. Laboratoryjne stanowisko wg zastrz. 1, **znamiennie tym**, że pastylka podsypki prochowej (10) wykonana jest w kształcie walca o wysokości mniejszej niż średnica pastylki podsypki prochowej (10).

Rysunki

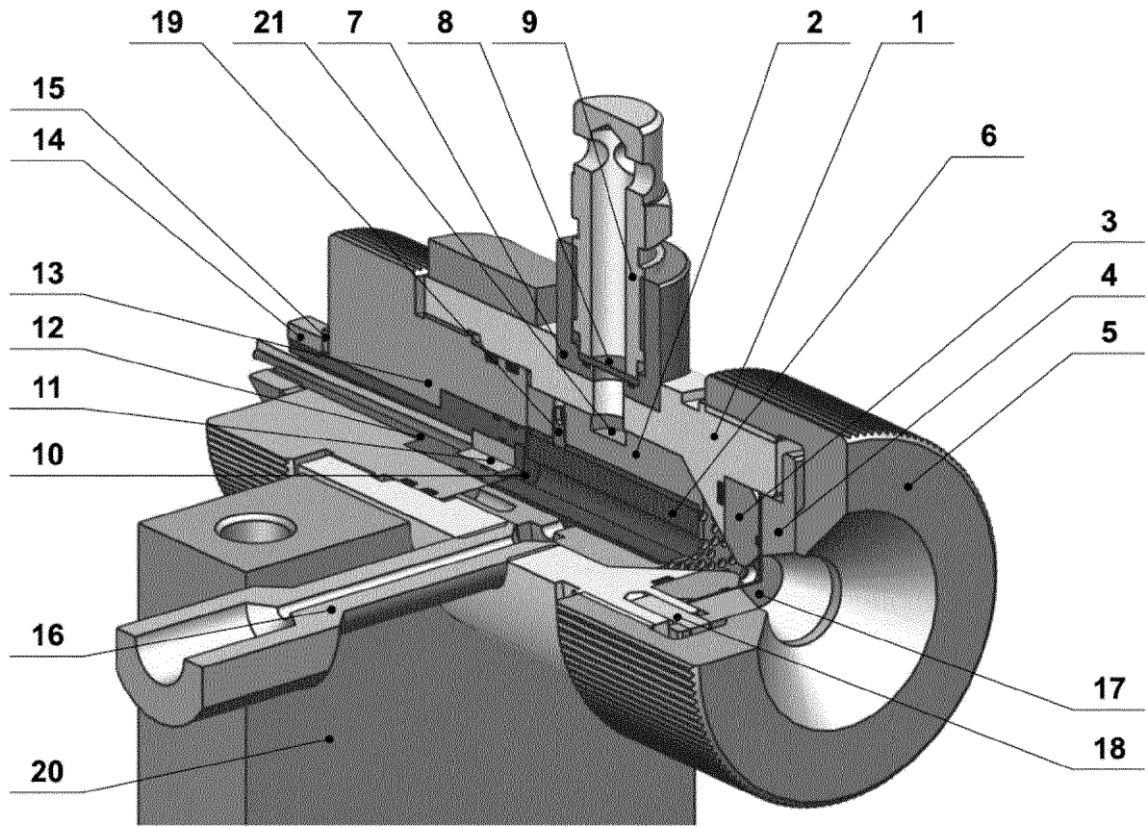


Fig. 1

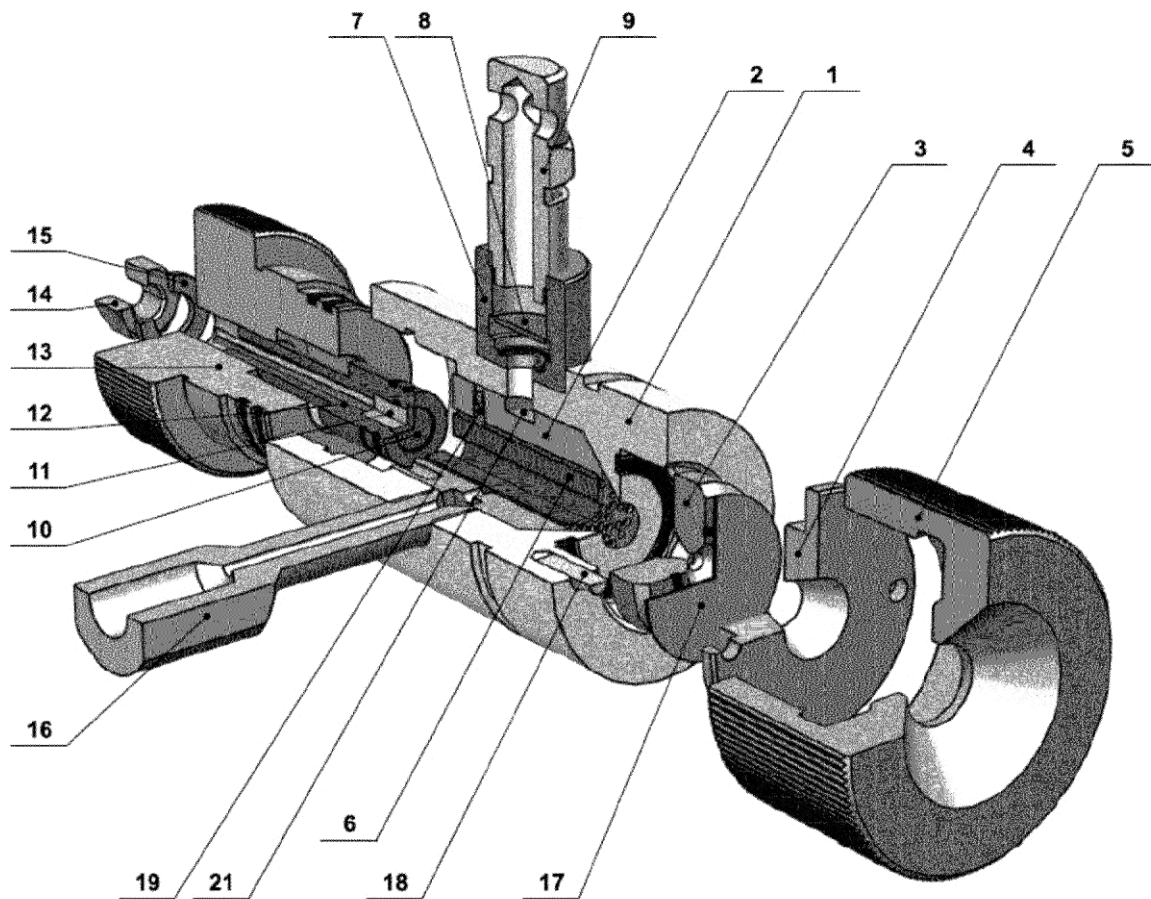


Fig. 2