



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57103 (13) C2

(51) 7 F02K7/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЕЖЕКТОРНИЙ ПРЯМОСТРУМІННИЙ ПОВІТРЯНО-РЕАКТИВНИЙ ДВИГУН

1

2

(21) 2000031439

(22) 07 08 1998

(24) 16 06 2003

(86) PCT/US98/16431, 07 08 1998

(31) 08/909,509

(32) 12 08 1997

(33) US

(46) 16 08 2003, Бюл. № 6, 2003 р

(72) Боєнлін Джон, US, Бендот Жозеф, US

(73) СПЕЙС АКСЕЗ, ЛПС, US

(56) US 2663142 22 12 1953

US 2995893 15 08 1981

US 3323304 06 06 1967

US 3812672 28 05 1974

(57) 1 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун для літальних апаратів, який містить ввід з відносно малою площею перерізу, змішувач, ежектор, дифузор, камеру згоряння, систему постачання палива, вихлопне сопло та центральний обтічник, встановлений аксіально уздовж повздожньої осі у камері згоряння та вихлопному соплі, який відрізняється тим, що змішувач розташований у ввіді перед дифузorzом, в зоні перетину змішувача із вводом розташований блок інжектора, утворюючи ежектор та систему постачання потоку, з'єднану з блоком інжектора, дифузор розташований за змішувачем по ходу потоку, площа перерізу дифузора розширюється відносно змішувача по потоку, камера згоряння має більшу площу перерізу, ніж змішувач, вихлопне сопло має площу перерізу, яка розширюється відносно камери згоряння, далі за камерою згоряння по ходу потоку, з точкою стискання дроселя між камерою згоряння та вихлопним соплом, а на центральному обтічнику у вихлопному соплі змонтована перемінна система регулювання вихлопного сопла

2 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 1, який відрізняється тим, що блок інжектора містить кільце інжектора з кількома вихлопними соплами інжектора, причому головні осі вихлопних сопел інжектора паралельні повздожній осі двигуна, а сусідні сопла інжектора розташовані навперемінно радіально під кутом, спрямованим у бік повздожньої осі двигуна та у протилежний бік відповідно, а кільця інжектора спираються на кілька розпірок, прикріплених до внутрішньої стінки двигуна

3 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 2, який відрізняється тим, що вихлопні сопла інжектора являють собою прорізи й мають пряму та зсунуту грані, що утворюють між собою горловину

4 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 1, який відрізняється тим, що система постачання палива являє собою камеру згоряння інжектора, розташовану ззовні ежектора

5 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 4, який відрізняється тим, що має теплообмінну систему для зрідження та зберігання зрідженого повітря, яке слугує окислювачем у камері згоряння інжектора

6 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 1, який відрізняється тим, що блок інжектора містить кільце інжектора, оснащене кількома камерами впорскування, кожна з яких з'єднана з вихлопним соплом інжектора, причому кільце інжектора спирається на кілька розпірок, прикріплених до внутрішньої стінки двигуна, а система постачання палива постачає плинні паливо та окислювач

7 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 6, який відрізняється тим, що головна вісь вихлопного сопла інжектора паралельна повздожній осі двигуна, а сопла розташовані навперемінно радіально під кутом, спрямованим у бік повздожньої осі двигуна та у протилежний бік відповідно

8 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 7, який відрізняється тим, що вихлопні сопла інжектора являють собою прорізи й мають пряму та зсунуту грані, що утворюють між собою горловину

9 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 6, який відрізняється тим, що має теплообмінну систему для зрідження та зберігання зрідженого повітря, яке слугує окислювачем у камері згоряння інжектора

10 Ежекторний прямострумінний повітряно-реактивний двигун за п 1, який відрізняється тим, що містить блок напрямних поплаток, що складається з напрямної лопатки з опорою на кілька розпірок, прикріплених до внутрішньої стінки двигуна, та центрального обтічника, який встановлений до дифузора в зоні течії плинну, а система поста-

(13) C2

(11) 57103

(19) UA

чання палива на зверненому по течії плинні кінці напрямної лопатки має кілька сопел для випуску палива, з'єднаних із джерелом палива

11. Ежекторний прямотруминний повітряно-реактивний двигун за п. 1, який відрізняється тим,

Винахід стосується силового пристрою для літальних апаратів, як от літаків, аерокосмічних апаратів, керованих та некерованих ракет. Удосконалений двигун являє собою сполучення ежекторних та прямотруминних елементів, що забезпечує ефективність роботи двигуна у широкому діапазоні швидкостей - від нульової до гіперзвукових.

У літературі описано чимало варіантів конструкції прямотруминних повітряно-реактивних двигунів та використання інжекторів у таких двигунах з утворенням ежектора, який співпрацює з прямоточним циклом двигуна. Втім, досі не створено реально працюючих ежекторних прямотруминних повітряно-реактивних двигунів, здатних діяти в інтервалі швидкостей польоту від нульової до гіперзвукових.

Ежекторний прямотруминний повітряно-реактивний двигун обіцяє переваги поряд зі звичайним повітряно-реактивним двигуном, наприклад, у величині статичної тяги на рівні моря та тяги двигуна у польоті на малих висотах. За однакових умов польоту ежекторний прямотруминний повітряно-реактивний двигун забезпечує більшу тягу двигуна, ніж звичайний. Це набуває особливого значення при надзвуковому розгоні літального апарату та у польоті на гіперзвукових швидкостях, коли тяга прямотруминного двигуна може виявитися недостатньою. Поліпшене згоряння завдяки підвищеному тиску та вищій температурі у камері згоряння дозволяє політ на більших висотах, ніж зі звичайним двигуном. Ежекторний прямотруминний повітряно-реактивний двигун дозволяє також впорскувати надлишок окислювача, збагачуючи ним камеру згоряння, що додатково посилює тягу.

Пропонувалися різні шляхи форсування реактивних або прямотруминних реактивних двигунів, які описані, наприклад, у патенті США № 5129227 від 14 липня 1992 р. та у патенті США № 5327721 від 12 липня 1994 р. У патенті США № 5129227 пропонується подавати збагачене паливо до зони змішування у паливопроводі, утворюючи таким чином ежектор. Ступінь еквівалентності та температура впорскуваного газу регулюються, аби уникнути згоряння у змішувальному паливопроводі. Швидкісний потік уздовж стінок паливопроводу також керується конструкцією інжектора, не дозволяючи поширенню згоряння за межі камери згоряння.

Патент США № 3327721 пропонує досить складну систему, яка поліпшує захоплення плинного середовища порівняно з відомими рішеннями. Керований інжектор чередує напрямки потоку первинного палива до ежектора так, що захоплюється вторинне плинне середовище. Коливання первинного струму створюють обмін енергією між первинним та вторинним потоками у тяговому ка-

мері, що перемінна система регулювання вихлопного сопла містить рухому засувку, встановлену аксіально на центральному обтічнику в камері згоряння, та засіб регулювання положення рухомої засувки.

налі у майже нев'язкому режимі.

Способи змішування плинних середовищ або гіперзмішування описані в патенті США № 4257224 від 24 березня 1981 р. та у статті Річарда Б. Фанчера "Ежектори для посилення тяги з низьким співвідношенням площ" у журналі *Journal of Aircraft*, vol. 9, No 3, March 1972, pp 243-248. У патенті США № 4257224 запропоновано спосіб та пристрій для поліпшення змішування двох плинних середовищ із застосуванням активного елемента біля початку зони змішування. Обидва середовища приводять у коливання навколо осі, по суті перпендикулярної осі потоку в зоні змішування.

У статті Фанчера обговорюються різні способи гіперзмішування та описується конструкція експериментального ежектора. У цій конструкції використовується первинне сопло, розділене на 24 елементи завдовжки $1\frac{1}{2}$ дюйми (37мм) кожний. Кожний з елементів надає масі, що виходить з нього, складову швидкості, перпендикулярну як головній осі сопла, так і осі потоку плинні, напрямом цієї бокової складової швидкості у кожного елемента різний.

У цьому винаході запропоновано сполучення прямотруминного повітряно-реактивного двигуна, який має рухому засувку у вихідному соплі, інжектор, що складається з прорізних сопел з попереминою орієнтацією відносно поздовжньої осі або осі плинні двигуна й розташований на вхідному кінці зони змішування, та можливість створювати зовнішню або внутрішню відносно прямотруминного двигуна камеру згоряння, де виробляється газ для інжектора. Щоб ежекторний прямотруминний повітряно-реактивний двигун міг працювати на літальних апаратах, які оперують в інтервалі швидкостей від нульової до гіперзвукових, можна застосувати цикл зрідженого повітря, коли інжектор використовує охолоджувальні властивості рідкого водню, який зберігається в апараті, для охолодження атмосферного повітря, котре слугує окислювачем у камері згоряння. Накопичений надлишок зрідженого повітря може застосовуватися для підсилення повітряного потоку, який надходить з атмосфери, на висоті, де тиск потоку атмосферного повітря недостатній для підтримання горіння у камері згоряння.

Головною метою винаходу є створення конструкції ежекторного прямотруминного повітряно-реактивного двигуна, здатного працювати в діапазоні швидкостей від нульової до гіперзвукових. Інша ціль полягає в тому, щоб такий двигун міг працювати на висотах від рівня моря до 150000 футів (30км).

Інші цілі даного винаходу стануть очевидними з вивчення докладного опису та креслень, що наводяться нижче.

На фіг 1 представлений вид у перспективі головних елементів потоку плинних середовищ ежекторного прямоструминного повітряно-реактивного двигуна у розрізі, щоб показати внутрішню будову, та із встановленим ззовні зсувним вводом

Фіг 2 показує схематичний розріз ежекторного прямоструминного повітряно-реактивного двигуна зі зрізаним вводом

На фіг 3 представлений вид у плані інжектора, набраного з багатьох кілець, з прорізними вихідними соплами

На фіг 4 зображена частина кільця інжектора з вихлопними соплами, які то відсунуті від осі головного потоку, то наближені до неї

Фіг 4 зображує розріз кільця інжектора, де камера впорскування та вихлопне сопло інжектора відсунуті від центру змішувача

Фіг 6 представляє переріз кільця інжектора, де камера впорскування та вихлопне сопло наближені до центру змішувача

Фіг 7 - вид у плані напрямних лопаток дифузора з інжекторами палива

На фіг 8 схематично зображений генератор гарячого газу ежектора, розташований у блоці інжектора

На фіг 9 показано, як приховане тепло палива - рідкого водню - використовується для вироблення окислювача - зрідженого повітря

Фіг 10 схематично зображує варіант здійснення винаходу, в якому генератор гарячого газу ежектора розташований ззовні блоку інжектора і гарячий газ спрямовується до камери інжектора

Ежекторний прямоструминний повітряно-реактивний двигун - то вдосконалений прямоструминний двигун, що складається з вводу, змішувача, дифузора, камери згоряння та вихлопного сопла, тобто елементів чи блоків, розташованих у певному порядку від вводу до вихлопного сопла. Двигун може мати будь-яку форму, придатну для встановлення на літальному апараті та забезпечення праці його елементів у робочому циклі. У найбільш прийнятному варіанті здійснення винаходу двигун має круглий переріз з прямокутним вхідним обтічником. Кільцевий блок інжектора з камерами впорскування розташований на вхідному кінці змішувача перпендикулярно до повздовжньої осі двигуна, утворюючи ежекторний елемент. Кільцевий елемент інжектора може бути поєднаний з камерою згоряння інжектора або з генератором гарячого газу ззовні змішувача, який виробляє газ для впорскування крізь - сопла інжектора або прорізи у кільці інжектора до змішувача.

Інжектори подачі палива до камери згоряння знаходяться на вихідному кінці напрямних лопаток, встановлених у дифузійній секції. Напрямні лопатки допомагають швидше розігнати потік газу у дифузори так, щоб плин не відривався від поверхні дифузора. На обтічнику центрального корпусу встановлена рухома заглушка, яка дозволяє регулювати по осі вихідний отвір камери згоряння та площу вихлопного сопла відносно точки стиску дроселя. Рухома заглушка управляє режимом тиску двигуна, регулюючи місце нормального стрибку ущільнення на вході з метою оптимального згоряння у двигуні шляхом визначення точки мінімальної площі течії крізь дросель. Методика управ-

ління дозволяє оптимізувати потрібну площу та місце нормального стрибку ущільнення так, щоб поліпшити коефіцієнт корисної дії та корисну тягу.

На фіг 1-3 ежекторний прямоструминний повітряно-реактивний двигун 1 має ввід 2, змішувач 4 з ежектором 3, дифузори 5, камеру згоряння 6, точку стиску дроселя 7 та вихлопне сопло 8, які поєднані між собою уздовж повздовжньої осі або осі течії плин. У найбільш прийнятному варіанті здійснення винаходу всі елементи розташовані в цілому симетрично уздовж повздовжньої осі двигуна 9. Втім, у залежності до розташування прямоструминного двигуна 1 у конкретному літальному апараті такі елементи, як вихлопне сопло 8, можуть бути скошені, викривлені або зігнуті відносно інших елементів так, щоб спрямовувати вихідний потік. У типовому прямооточному повітряно-реактивному двигуні 1 за межами шляху течії плин виконані кільця жорсткості, фланці та затяжки в одностінній вісесиметричній конструкції, надаючи необхідної жорсткості для стримування конструкційних зусиль та міцного закріплення двигуна у літальному апараті. В залежності від робочого середовища та часу праці двигуна може стати необхідним охолодження його елементів та ізолювання плівка на зовнішній або внутрішній стінці двигуна. Наприклад, камера згоряння 6 та точка стиску дроселя 7 можуть мати засоби охолодження, як от дільниці на стінці двигуна, де паливо - рідкий водень - може завертатися з метою охолодження двигуна й водночас розігріву палива для поліпшення згоряння.

В ежекторній дільниці 3 змішувача 4 знаходиться інжекторний блок 10 з одного чи кількох інжекторних кілець 11, встановлених на шляху течії плин за допомогою розпірок 12. Інжекторні кільця 11 можуть являти собою прямооточні порожнисті трубки з вихлопними соплами 13 впорскування або прорізи в них, але найкраще інжекторне кільце 11 являє собою кільцеву конструкцію з розташованими навкруги інжекторних кілець 11 камерами впорскування 25, як показано на фіг 4 - 6. Головна вісь вихлопного сопла 13 інжектора проходить паралельно повздовжній осі течії плин в двигуні, скеровуючи середовище, яке виходить з сопла, до загального потоку. Втім, вихлопні сопла 13 інжектора розташовані наперері одне до одного під кутом, зсунутим або скошеним від паралелі до повздовжньої осі двигуна, як показано на фіг 4 - 6.

Щодо фіг 2 - 6, в одному досвіді вихлопні сопла 13 інжектора були виконані у вигляді прорізів таким чином, що в сусідніх прорізах повздовжні осі спрямовані під кутом 15° радіально у бік та протилежно повздовжній осі 9 двигуна наперері. Проріз виконано так, що вихлопне сопло 13 інжектора має грань 37, паралельну до повздовжньої осі 9 двигуна, та зсунуту грань 38, отже, сопло утворює горловину 39 потрібного перерізу для роботи ежектора 3. Це додає газів, що виходить, складову швидкості, перпендикулярну до повздовжньої осі 9 двигуна та вводу 2 плин. В результаті плин з сусідніх сопел напереріно впорскується у напрямку до внутрішньої стінки 14 двигуна та його повздовжньої осі 9 у зоні змішування 4. Поперемінне розташування вихлопних сопел 13 інжектора

забезпечує прискорене змішування плинну, що виходить з кільця 11 інжектора, із захопленням або розкрученим повітрям з вводу 2. Це дозволяє скоротити довжину зони змішування 4 ежекторного прямоструминного повітряно-реактивного двигуна 1. В одному з досвідів використовувалося одне кільце інжектора 11 на змішувач довжиною 13 дюймів (330мм) та діаметром 8 дюймів (203мм), що дозволило суттєво зменшити довжину двигуна. У цьому досвіді інжектор-камера згоряння 15 чи генератор гарячого газу знаходився ззовні змішувача 4, а гази згоряння відводилися до кільця інжектора 11 й випускалися крізь вихлопні сопла 13 інжектора або прорізи у ньому (фіг 10).

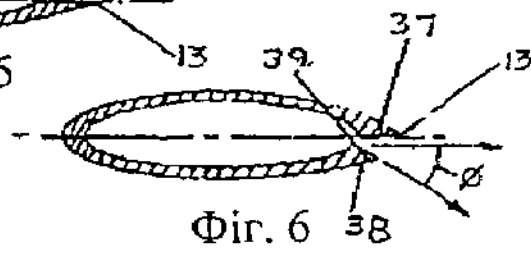
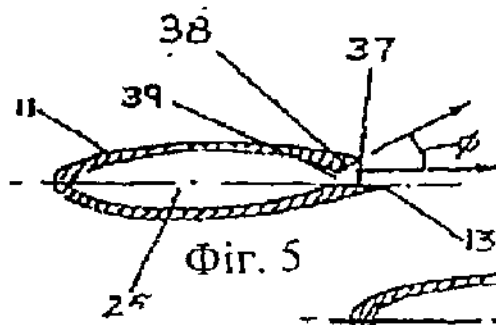
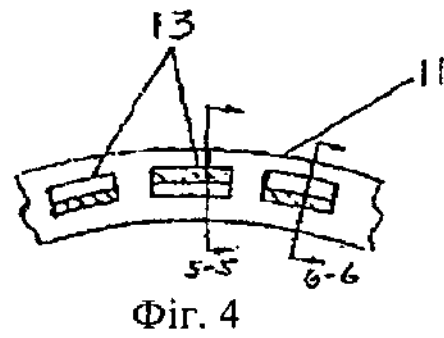
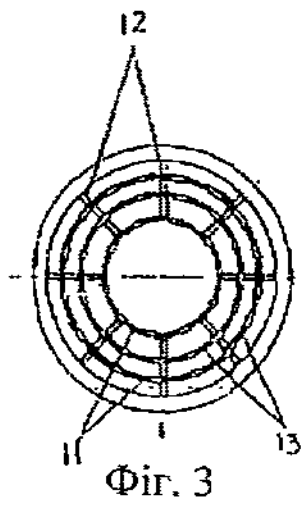
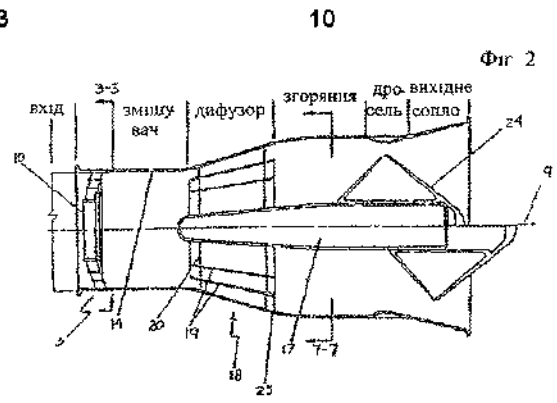
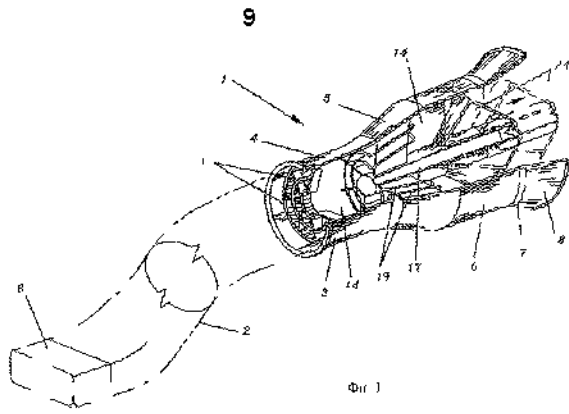
На фіг 8 - 10 показано, що для створення струму енергетичного газу до блоку інжектора 11 його поєднано з будь-яким джерелом плинну з метою утворення струму плинну з вихлопних сопел 13 інжектора для забезпечення роботи ежектора 3, який захоплює повітря для достатньої кількості плинну, щоб змішати його з паливом у камері згоряння 6 і таким чином підвищити ефективність праці ежекторного прямоструминного повітряно-реактивного двигуна 1. При нормальній роботі паливо, наприклад, водень, та окислювач, наприклад, повітря, можна використовувати у стехіометричних співвідношеннях у камері згоряння 15 інжектора ззовні ежекторного прямоструминного повітряно-реактивного двигуна 1, утворюючи потік стиснутого енергетичного газу, який газоходами 30 скеровується до блоку інжектора 10, або ж згоряння може проходити усередині блоку інжектора 10, у камерах 15 інжектора, куди допливають паливо та окислювач.

Як видно з фіг 9, рідкий водень може зберігатися в паливному апараті, оснащеному ежекторним прямооточним повітряно-реактивним двигуном 1. Для найбільш ефективного використання паливного апарату повітря може надходити з докільця. Рідкий водень може використовуватися у теплообмінній системі 36 для зрідження повітря з метою тимчасового зберігання та використання під час роботи паливного апарату замість того, щоб завантажувати та зберігати величезну кількість зрідженого повітря або іншого окислювача на апараті перед польотом. Теплообмінна система 36 одержує рідкий водень 34 або паливо з паливного бака апарату за допомогою паливного насоса 26, який нагнітає стиснуте паливо до блоку зрідження повітря 27. Повітря надходить до вхідної камери 31 зрідженого повітря й відкачується до блоку зрідженого повітря 27, де конденсується та надходить до збірника. Насос 35 збірника підвищує тиск та закачує зріджене повітря 33 до баку або до вхідної камери 28 рідкого повітря двигуна. Водень 32, що відходить, звичайно подається до приймача 29 палива двигуна.

Як зображено на фіг 1 - 2, ежекторний прямоструминний повітряно-реактивний двигун 1 має вхідний обтічник 16 та ввід 2, які забезпечують

правильну геометрію забирання у робочому діапазоні швидкостей, включаючи елементи корпусу паливного апарату, з метою підготовки повітря, що забирається. Центральний обтічник 17 призначений для дифузора 5, камери згоряння 6 та вихідного сопла 8 з метою підвищення КПД, хоча глибина його входження до дифузора 5 залежить від призначення. Щоб сприяти швидкому розширенню плинну в дифузорі 5, можна використати блок напрямних лопаток 18. Блок напрямних лопаток 18 складається з однієї чи кількох конічно-циліндричних напрямних лопаток 19, аксіально встановлених на шляху течії плинну в дифузорі 5 на розпірках 20. У цьому варіанті паливні інжектори 21 можуть являти собою паливні сопла 22 на виході 23 напрямних лопаток 19. Паливні сопла 22 можуть впорскувати паливо паралельно по вздовжній осі 9 двигуна або бути поперемінно зсунутими так, щоб забезпечити змішування середовищ таким чином, як описано для вихлопних сопел 13 інжектора.

З метою подальшого підвищення ефективності змішування та згоряння на центральному обтічнику 17 встановлена рухома засувка 24, яка має спеціальний засіб або дозволяє регулювання положення засувки 24 за допомогою тяги, поєднаної зі штоком (не показаний) у центральному обтічнику 17 й положення управляється системою керування двигуна. Засувка пересувається уздовж по вздовжньої осі 9 двигуна. При регулюванні положення засувки 24 відносно точки стиску дроселя 7 змінюється площа перерізу камери згоряння 6, а відтак міняється площа перерізу та місцезнаходження ділянки мінімальної площі течії дроселя, що дозволяє регулювати аеродинамічне місце стрибка ущільнення. Очевидно, при цьому також змінюється геометрія вихлопного сопла 8. На фіг 2 рухома засувка 24 показана розрізаною, щоб було видно два положення. Рухома засувка 24 є одним з засобів забезпечення перемінної геометрії для регулювання місцезнаходження точки мінімальної площі течії в горловині сопла, при цьому також регулюються аеродинамічне місцезнаходження нормального вхідного стрибка ущільнення, а швидкість плинну та його тиск усередині двигуна залежать від умов роботи ежекторного прямоструминного повітряно-реактивного двигуна 1. Звичайно рухома засувка 24 охолоджується набігаючим паливом, наприклад, рідким воднем, крізь охолоджувальні канали в засувці 24 перед впорскуванням палива до камери згоряння 6. Застосування вихідного сопла 8 з перемінною площею дроселя дозволяє двигунові працювати за максимальної ефективності вводу 2, що забезпечує у змішувачі 4 наближення до значення числа Маха, але не досягнення його. Застосування вихідного сопла 8 з перемінною площею дроселя гарантує відсутність локального дроселювання у змішувачі 4 або дифузорі 5.



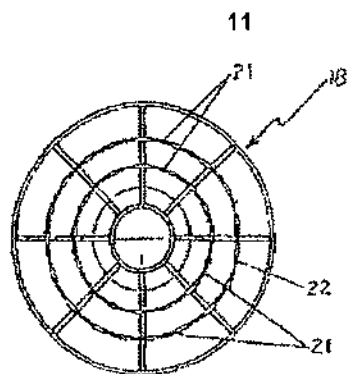


Fig. 7

57103

12

