



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 82991

(13) C2

(51) МПК (2006)

F02C 7/26

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

(54) СИСТЕМА УПОРСКУВАННЯ ПАЛИВОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В КАМЕРУ ЗГОРАННЯ ГАЗОТУРБІННО-ГО ДВИГУНА

1

2

(21) 20040807189

(22) 31.08.2004

(31) 0310379

(32) 02.09.2003

(33) FR

(46) 10.06.2008, Бюл.№ 11, 2008 р.

(72) КАЗАЛЕН МІШЕЛЬ, БЬОЛЬ ФРЕДЕРІК

(73) СНЕКМА МОТЕРС

(56) US 3110294, 12.11.1963

US 6453660, 24.09.2002

US 5784889, 28.07.1998

US 5640841, 24.06.1997

(57) 1. Система упорскування паливоповітряної суміші в камеру згорання газотурбінного двигуна, яка має у своєму складі:

порожнисту трубчасту конструкцію для витікання паливоповітряної суміші до камери згорання, засоби упорскування палива, розміщені на передньому кінці порожнистої трубчастої конструкції, засоби вдування повітря, розміщені за засобами упорскування палива, яка **відрізняється** тим, що додатково має у своєму складі:

засоби генерування холодної плазми, встановлені у напрямі потоку за засобами вдування повітря для генерування активних часток в потоці паливоповітряної суміші та здійснення попереднього подрібнення молекул ~~засоби генерування холодної плазми~~ за засобами генерування холодної плазми залежно від режиму роботи газотурбінного двигуна.

2. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що додатково має у своєму складі паливну форсунку, розміщену на передньому кінці порожнистої трубчастої конструкції, яка забезпечує можливість упорскувати паливо у порожнисту трубчасту конструкцію по суті у осьовому напрямі, внутрішній повітряний завихрювач, розміщений у напрямі потоку за паливною форсункою, який забезпечує можливість вдувати повітря у порожнисту трубчасту конструкцію по суті у радіальному напрямі, зовнішній повітряний завихрювач, розміщений у напрямі потоку за внутрішнім повітряним завихрювачем, який забезпечує можливість вдувати повітря у порожнисту трубчасту конструкцію по суті в радіальному напрямі, пристрій Вентурі, вбудований між внутрішнім повітряним завихрювачем і зовнішнім повітряним завихрювачем, і конусну

насадку, розміщену у напрямі потоку за зовнішнім повітряним завихрювачем.

3. Система за п. 2, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені навколо заднього кінця пристрою Вентурі.

4. Система за п. 2, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені навколо переднього кінця конусної насадки.

5. Система за п. 2, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені навколо заднього кінця пристрою Вентурі і навколо переднього кінця конусної насадки.

6. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що додатково має паливну форсунку, розміщену на передньому кінці порожнистої трубчастої конструкції, яка забезпечує можливість упорскувати паливо у порожнисту трубчасту конструкцію по суті у осьовому напрямі, внутрішній повітряний завихрювач, розміщений у напрямі потоку за паливною форсункою, який забезпечує можливість вдувати повітря у порожнисту трубчасту конструкцію по суті у радіальному напрямі, зовнішній повітряний завихрювач, розміщений у напрямі потоку за внутрішнім повітряним завихрювачем, який забезпечує можливість вдувати повітря у порожнисту трубчасту конструкцію по суті в радіальному напрямі, перший пристрій Вентурі, вбудований між внутрішнім повітряним завихрювачем і зовнішнім повітряним завихрювачем, другий пристрій Вентурі, розміщений у напрямі потоку за зовнішнім повітряним завихрювачем, і конусну насадку попереднього змішування, розміщену у напрямі потоку за другим пристроєм Вентурі.

7. Система за п. 6, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені навколо заднього кінця конусної насадки попереднього змішування.

8. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що додатково має:

паливну форсунку, яка має у своєму складі першу трубчасту частину, яка оточує другу трубчасту частину з утворенням кільцевого проходу між першою трубчастою частиною і другою трубчастою частиною, підтримуюче кільце, яке оточує першу трубчасту частину паливної форсунки з утворенням кільцевого проходу між підтримуючим кільцем і паливною форсункою, конусну насадку,

(13) C2

(11) 82991

(19) UA

розміщену у напрямі потоку в продовження підтримуючого кільця, повітряні живильні отвори, які виходять у кільцевий прохід між підтримуючим кільцем і паливною форсункою, які забезпечують можливість вдувати повітря до заднього кінця згаданої першої трубчастої частини паливної форсунки, повітряні живильні канали, які виходять до переднього кінця другої трубчастої частини паливної форсунки і паливні живильні канали, які виходять у кільцевий прохід між першою трубчастою частиною і другою трубчастою частиною, які забезпечують можливість упорскувати паливо між першою трубчастою частиною і другою трубчастою частиною.

9. Система за п. 8, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені навколо заднього кінця другої трубчастої частини паливної форсунки.

10. Система за п. 8, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені навколо заднього кінця першої трубчастої частини паливної форсунки.

11. Система за п. 8, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми розміщені

навколо заднього кінця першої трубчастої частини паливної форсунки і навколо заднього кінця підтримуючого кільця.

12. Система за будь-яким із пп. 1-11, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми мають принаймні одну пару електродів, під'єднаних до генератора змінного струму.

13. Система за п. 12, яка **відрізняється** тим, що електроди у складі пари електродів узгоджені один з одним у радіальному напрямі.

14. Система за п. 12, яка **відрізняється** тим, що електроди у складі пари електродів розміщені на різних радіусах.

15. Система за будь-яким із пп. 3, 4, 7, 9, 10, яка **відрізняється** тим, що засоби генерування холодної плазми мають у своєму складі електромагнітну обмотку, під'єднану до генератора змінного струму.

16. Система за будь-яким із пп. 12-15, яка **відрізняється** тим, що генератор змінного струму виконаний з можливістю виробляти електричні імпульси тривалістю від 2 до 50 нс.

Даний винахід в загальному плані відноситься до систем упорскування паливоповітряної суміші в камеру згорання газотурбінного двигуна. Більш конкретно, він відноситься до системи упорскування, оснащеної генератором холодної плазми, здатним регулювати реактивність паливоповітряної суміші під час її упорскування в камеру згорання.

Класичний процес розробки та оптимізації камери згорання газотурбінного двигуна має за основну мету досягнення розумного балансу між робочими характеристиками камери (такими, як повнота згорання, область сталості, запалювання і повторне запалювання, тривалість горіння без зривання) залежно від призначення літака, на якому встановлений газотурбінний двигун, і низьким викидом у атмосферу шкідливих речовин (таких, як оксиди азоту, монооксид вуглецю, вуглеводні, які не згоріли). Для цього можна варіювати характер і параметри системи упорскування паливоповітряної суміші у камеру згорання, розподілення повітря змішування в камері згорання і динаміки паливоповітряної суміші в камері.

Типова камера згорання газотурбінного двигуна має у своєму складі декілька систем: систему упорскування паливоповітряної суміші у жарову трубу, систему охолодження і систему змішування. Горіння організується, в основному, у першій частині жарової труби (первинній зоні), в якій воно стабілізується за допомогою зон рециркуляції паливоповітряної суміші, які утворюються витіканням повітря, що виходить із системи упорскування. У цій первинній зоні жарової труби реалізуються різні фізичні процеси: упорскування палива та його розпилення на дрібні краплі, випаровування крапель, змішування пари палива з повітрям і хімічні реакції окислювання палива киснем повітря. У другій частині труби (в зоні змішування) хімічна актив-

ність більш низька, причому потік розбавляється за рахунок подачі через відповідні отвори повітря змішування.

Для зниження викиду шкідливих речовин, а саме, оксидів азоту (типу  $\text{NO}_x$ ), відомі спроби виключити зони жарової труби, де температура перевищує приблизно 1800K. Для цього необхідно, щоб полум'я горіння перебувало в умовах багаточисельної паливоповітряної суміші. Збіднення паливоповітряної суміші в зоні жарової труби, де відбуваються хімічні реакції, можна досягти, наприклад, шляхом збільшення витрати повітря, яке бере участь в процесі горіння. У цьому випадку забезпечують випаровування палива і його все більше змішування з повітрям до того, як суміш буде подана до полум'я у зоні горіння. Таким чином забезпечується збіднення полум'я горіння.

Однак збільшення витрат повітря недостатньо для повного усунення зон стехіометричного змішування всередині зони горіння. В загальному випадку збіднення горіння спричиняє підвищену вразливість полум'я горіння до зривання (припинення горіння), так що вже не можуть бути забезпечені фази роботи двигуна в режимі малого газу.

Для вирішення цієї проблеми спеціалісти по двигунах розробили концепцію так званого "ступінчастого згорання", яка може бути реалізована у двох варіантах: у вигляді камери згорання з подвійною ступінчастою головкою і так званих "багатоточечних" систем упорскування.

Камери згорання з двоступінчастою головкою являють собою камери, в яких паливні форсунки розподілені на головці, яку називають "політною", і на головці, яку називають "злітальною". Політна головка працює постійно і дає можливість уникнути зривання полум'я горіння, в той час як злітальна головка спроектована для зниження викидів типу

NO<sub>x</sub>. Хоча таке вирішення і здається задовільним, камера згорання з подібною головкою залишається складною в керуванні і громіздкою, якщо врахувати подвійну кількість паливних форсунок порівняно зі звичайною камерою згорання з простою головкою.

Так звані "багатоточечні" системи упорскування паливоповітряної суміші являють собою системи, в яких подача повітря і палива здійснюється через множинну незалежних каналів і регулюється залежно від режиму роботи газотурбінного двигуна. Головна незручність таких багатоточечних систем упорскування полягає у складності різних паливних контурів і системи регулювання.

Відоме також вирішення за [патентом США №6453660], в якому багатоточечна система упорскування оснащена генератором гарячої плазми. Згідно з даним документом, кінець основної паливної форсунки оснащений пристроєм генерування гарячої плазми. Енергетичний розряд відбувається у потоці палива, що дає можливість іонізувати і забезпечувати часткову дисоціацію молекул палива. Однак така система є не досить задовільною. З одного боку, багатоточечна архітектура залишається складною і важкою в управлінні. З іншого боку, енергетичний розряд відбувається тільки в основному потоці палива, що обмежує ефективність системи упорскування в аспекті ризику зривання полум'я горіння.

Головна задача, до вирішення якої спрямований даний винахід, полягає в усуненні згаданих труднощів і в створенні такої системи упорскування паливоповітряної суміші в камеру згорання, яка дає можливість підвищити стійкість полум'я горіння до зривання горіння і при цьому зберігає просту архітектуру і обмежує викиди шкідливих речовин.

Згідно з винаходом вирішення поставленої задачі досягається за рахунок створення системи упорскування паливоповітряної суміші в камеру згорання газотурбінного двигуна, яка має у своєму складі порожнисту трубчасту конструкцію для витікання паливоповітряної суміші до камери згорання, засоби упорскування палива, розміщені на передньому кінці порожнистої трубчастої конструкції, і засоби вдування повітря, розміщені у напрямі потоку паливоповітряної суміші за засобами упорскування палива. Система за винаходом характеризується тим, що вона додатково має у своєму складі засоби генерування холодної плазми, розміщені у напрямі потоку за засобами вдування повітря з метою генерування активних часток в потоці паливоповітряної суміші і здійснення попереднього подрібнення молекул паливоповітряної суміші, і засоби керування засобами генерування холодної плазми залежно від режиму роботи газотурбінного двигуна.

Генератор холодної плазми дає можливість адаптувати характеристичний час хімічних реакцій залежно від режиму роботи газотурбінного двигуна. Регулювання характеристичного часу хімічних реакцій забезпечується за допомогою створення і введення активних часток (радикалів та збуджених часток) в потік паливоповітряної суміші і за допомогою попереднього подрібнення молекул повітря та палива.

За рахунок цього створена можливість підвищення стійкості полум'я горіння до зривання, тобто, забезпечується стабільність горіння, особливо на малих робочих швидкостях газотурбінного двигуна, з одночасним обмеженням викиду шкідливих речовин.

Засоби генерування холодної плазми можуть однаково добре адаптуватись до систем упорскування як аеромеханічного, так і аеродинамічного типу.

Засоби генерування холодної плазми можуть мати у своєму складі принаймні одну пару електродів, під'єднаних до генератора змінного струму, який працює під керуванням засобів керування.

В альтернативному варіанті і залежно від їх розміщення засоби генерування холодної плазми можуть мати у своєму складі електромагнітну обмотку, під'єднану до генератора змінного струму, який також працює під керуванням засобів керування.

Таким чином, даний винахід можна легко використовувати у відомих системах упорскування паливоповітряної суміші без їх суттєвої модифікації.

Засоби генерування холодної плазми можуть бути зв'язані з однією або з усіма системами упорскування однієї і тієї ж самої камери згорання, що дає можливість покращити робочі характеристики існуючих камер згорання.

Систему упорскування за винаходом можна також використовувати для тих робочих точок газотурбінного двигуна, в яких горіння стабілізоване, і дає можливість збільшити повноту згорання в цих точках. Так, наприклад, стосовно точки повторного запуску на висоті в режимі авторотації об'єм полум'я має бути достатнім для забезпечення повноти згорання, необхідної для прискорення газотурбінного двигуна. У цих умовах даний винахід дає можливість зменшити об'єм зони горіння та знизити масу газотурбінного двигуна.

Крім того, розширюючи межі, які визначають зривання горіння в камері згорання, вирішення за винаходом дає можливість обійтись без паливного контура політної головки для камер з подвійною ступінчастою головкою, а також для камер з багатоточечними системами упорскування.

І, нарешті, даний винахід дає можливість спростити системи запалювання камери згорання шляхом інтегрування цієї функції в систему упорскування. Дійсно, запалювання в такому випадку здійснюється засобами генерування холодної плазми, які живляться енергією, достатньою для цієї мети, і мають здатну до адаптації частоту. За рахунок цього можна обійтись без традиційного запалювання за допомогою свічей і уникнути пов'язаних з ними проблем (охладження корпусу і наконечника свічей, перехід у охолодженні зони горіння, терміну служби свічі та інш.).

Інші властивості та переваги даного винаходу стануть зрозумілими із наступного опису, який містить посилання на додані креслення, які ілюструють приклади здійснення винаходу, що не вносять будь-яких обмежень. На кресленнях:

Фіг.1 зображує у подовжньому розрізі систему упорскування відповідно до одного прикладу здійснення винаходу.

Фіг.2А та 2В ілюструють два варіанти розміщення засобів генерування холодної плазми в системі упорскування за винаходом.

Фіг.3 зображує у подовжньому розрізі систему упорскування відповідно до іншого прикладу здійснення винаходу.

Фіг.4 зображує у подовжньому напрямі систему упорскування в наступному прикладі здійснення винаходу.

Фіг.1 зображує у подовжньому напрямі систему упорскування паливоповітряної суміші згідно з одним прикладом здійснення винаходу. У цьому прикладі система упорскування відноситься до аеромеханічного типу.

Система 10 упорскування з подовжньою віссю Х-Х утворена, по суті, трубчастою конструкцією для витікання паливоповітряної суміші до зони горіння камери 12 згорання газотурбінного двигуна. Ця паливоповітряна суміш призначена для згорання в камері 12 згорання.

Камера 12 згорання являє собою, наприклад, камеру кільцевого типу. Вона обмежена двома кільцевими стінками (на Фіг.1 не показані), які розміщені на відстані одна від одної у радіальному напрямі відносно осі газотурбінного двигуна і з'єднані між собою на передньому кінці днищем 14 камери. У днищі 14 виконана множина вікон 16, рівномірно розподілених по колу навколо осі газотурбінного двигуна. У кожному вікні 16 змонтована система 10 упорскування відповідно до винаходу.

Гази, які генеруються при згоранні паливоповітряної суміші, течуть всередині камери 12 згорання до її задньої частини і потім відводяться до турбіни високого тиску (не наведена), розміщеної на виході камери згорання.

У вікні 16 за допомогою втулкової частини 20 встановлений кільцевий дефлектор 18. Він встановлений паралельно до днища 14 камери і виконує функцію теплового екрана захисту від полум'я згорання.

У втулковій частині 20 встановлена конусна насадка 22, яка утворює раструб, що розширюється. Конусна насадка 22 має стінку 22а, яка розходить у раструбом у напрямі потоку і утворює продовження циліндричної стінки 22b, розміщеної коаксіально до подовжньої осі Х-Х системи 10 упорскування. За рахунок кута конусності насадка 22 дає можливість розподіляти паливоповітряну суміш в первинній зоні жарової камери. Раструбна стінка 22а конусної насадки 22 містить множину отворів 24 впуску повітря у жарову камеру. Ці отвори 24 дають можливість знову центрувати течію паливоповітряної суміші навколо подовжньої осі Х-Х на виході раструба.

Конусна насадка 22 оснащена кільцевим фланцем 25, паралельним до днища 14 камери. Як і дефлектор 18, цей фланець 25 утворює тепловий екран між випромінюванням від полум'я згорання і конусною насадкою 22. Фланець охолоджується ударними струменями повітря, які проходять через наскрізні отвори 25а у раструбній стінці 22а конусної насадки 22.

Циліндрична стінка 22b конусної насадки 22 оточує пристрій 26 Вентурі, внутрішній подовжній профіль якого має звуження і розширення. Пристрій 26 Вентурі розділяє потоки повітря від внутрішнього завихрювача 28 і зовнішнього завихрювача 30. На своїй передній стороні пристрій 26 Вентурі має радіальний фланець 26а, який розділяє внутрішній завихрювач 28 і зовнішній завихрювач 30.

Внутрішній завихрювач 28 є завихрювачем радіального типу. Він розміщений у напрямі потоку перед пристроєм 26 Вентурі і подає внутрішній радіальний повітряний потік всередину цього пристрою. Зовнішній завихрювач 30 також є завихрювачем радіального типу. Він розміщений у напрямі потоку перед циліндричною стінкою 22b конусної насадки 22 і подає зовнішній радіальний повітряний потік між пристроєм 26 Вентурі і циліндричною стінкою 22b конусної насадки 22. Внутрішній і зовнішній завихрювачі 28 і 30 закручують потік паливоповітряної суміші, тим самим підсилюючи турбулентність і боковий зсув потоку для того, щоб сприяти розпилюванню палива та його змішуванню з повітрям.

Передній кінець внутрішнього завихрювача 28 жорстко закріплений за допомогою держака 32, в якому є кільцева канавка 34, відкрита в сторону подовжньої осі Х-Х системи упорскування. В цю канавку входить опорна втулка 36 для встановлення в ній заднього кінця паливної форсунки 38 у положенні центрування на подовжній осі Х-Х системи упорскування. Опорна втулка 36 може зміщуватись радіально у кільцевій канавці 34 для вибору зазорів, спричинених тепловими напруженнями, яким піддаються різні компоненти системи 10 упорскування.

У тій частині опорної втулки 36, яка перебуває у контакті з паливною форсункою 38, виконана множина наскрізних отворів 40, рівномірно розподілених по колу навколо подовжньої осі Х-Х системи упорскування. Ці отвори 40 виконують функцію продування паливної форсунки 38, запобігаючи утворенню коксу на її задньому кінці.

Таким чином, опорна втулка 36, внутрішній та зовнішній завихрювачі 28 та 30, пристрій 26 Вентурі та конусна насадка 22 утворюють порожнисту трубчасту конструкцію 41 системи 10 упорскування, в якій тече паливоповітряна суміш.

Паливна форсунка 38 на своєму передньому кінці жорстко з'єднана з важелем форсунки (не наведений). Після проходження через даний важіль паливо розпилюється форсункою 38 у конус розпилювання, який частково ударяє у пристрій 26 Вентурі. Розпилене паливо змішується з повітрям, яке подається внутрішнім і зовнішнім завихрювачами 28 та 30 і через отвори 24 конусної насадки 22.

На виході із конусної насадки 22 паливо розпилюється на дрібні краплі під дією ефекту аеродинамічного бокового зсуву, спричиненого різницею між швидкостями потоків рідини та газів. Таким чином формується паливоповітряна суміш, яка упорскується в камеру 12 згорання.

Згідно з винаходом, система 10 упорскування додатково має у своєму складі засоби генерування

холодної плазми з метою створення активних часток у потоці паливоповітряної суміші і здійснення попереднього подрібнення молекул паливоповітряної суміші. Передбачені також засоби керування цими засобами генерування холодної плазми залежно від режиму роботи газотурбінного двигуна.

У прикладі виконання системи упорскування за Фіг.1 засоби генерування холодної плазми можуть бути розміщені або навколо заднього кінця пристрою 26 Вентурі (розміщення А), або навколо переднього кінця конусної насадки 22 (розміщення В), або навколо заднього кінця пристрою 26 Вентурі і навколо переднього кінця конусної насадки 22 (розміщення С).

Фіг.2А ілюструє варіант розміщення А засобів генерування холодної плазми, який відповідає їх розміщенню навколо заднього кінця пристрою 26 Вентурі. На цьому кресленні схематично показаний у вигляді кола кінець пристрою 26 Вентурі на вигляді ззаду.

У цій компоновці засоби генерування холодної плазми виконані у вигляді принаймні однієї пари електродів 42, розміщених по колу заднього кінця пристрою 26 Вентурі. Електроди 42 з'єднані проводами 44 з генератором 46 змінного струму, яким керує описана далі система 48 керування.

У прикладі виконання за Фіг.2А електроди 42 розміщені на одному діаметрі пристрою 26 Вентурі, тобто, узгоджені один з одним у радіальному напрямі. Однак, як показано штриховими лініями, дані електроди (позначені у цьому випадку як 42') можуть бути зміщені із цього узгодженого положення і розміщені на різних радіусах пристрою 26 Вентурі.

Залежно від характеру і технічних вимог конкретного варіанту використання можна використовувати більше, ніж одну пару електродів. У цьому випадку електроди розподілені з деякою кутовою відстанню, наприклад, рівномірно, по колу пристрою Вентурі. При встановленні декількох пар електродів ці пари можуть одержувати живлення від генератора 46 змінного струму одночасно або послідовно.

В альтернативному варіанті при розміщенні на задньому кінці пристрою Вентурі засоби генерування холодної плазми можуть бути виконані також у вигляді електромагнітної обмотки, зв'язаної з генератором змінного струму. У цьому, не показаному, варіанті електромагнітна обмотка намотана на зовнішню поверхню пристрою Вентурі.

Розміщення засобів генерування холодної плазми навколо переднього кінця конусної насадки 22 (розміщення В) аналогічне описаному розміщенню А, так що його опис не наводиться.

Фіг.2В ілюструє розміщення С засобів генерування холодної плазми навколо заднього кінця пристрою 26 Вентурі і навколо переднього кінця конусної насадки 22. На цьому кресленні пристрій 26 Вентурі і конусна насадка 22 мають круглий поперечний переріз і розміщені співвісно.

У даній компоновці засоби генерування холодної плазми виконані у вигляді принаймні двох електродів, один з яких розміщений на колі заднього кінця пристрою 26 Вентурі, а другий - на колі переднього кінця конусної насадки 22. Електроди

42 також з'єднані проводами 44 з генератором 46 змінного струму, яким керує система 48 керування.

У прикладі виконання за Фіг.2В електроди 42 розміщені на одному радіусі кільця, утвореного заднім кінцем пристрою 26 Вентурі і переднім кінцем конусної насадки 22, тобто, їх положення взаємно узгоджені у радіальному напрямі. Однак, як це показано штриховими лініями, дані електроди (позначені в цьому випадку як 42') можуть бути зміщені із цього узгодженого положення і розміщені на різних радіусах кільця.

Таким же чином, як і для описаних вище компоновок, залежно від характеру і технічних вимог конкретного випадку використання, можна застосовувати більше, ніж одну пару електродів. У цьому випадку розміщення пар електродів по колу пристрою Вентурі може відрізнятися від їх розміщення на конусній насадці. Пари електродів також можуть одержувати живлення одночасно або послідовно.

У двох описаних компоновках за Фіг.2А та 2В пари електродів (або електромагнітні обмотки) дають можливість створювати за допомогою генератора 46 змінного струму, зв'язаного з системою 48 керування, електричний розряд у паливоповітряній суміші, яка тече між електродами (або всередині електромагнітної обмотки).

Коли паливоповітряна суміш пересікає електричний розряд, молекули повітря та палива іонізуються і частково дисоціюють з утворенням радикалів типу  $C_xH_y$  ( $C_2H_2$ ,  $CH_4$  та інш.). Подібним чином кисень повітря дисоціює і іонізується (з утворенням  $O^+$  та інш.). Це попереднє подрібнення молекул повітря і палива полегшує остаточний розпад молекул в процесі горіння.

Робочі характеристики генератора 46 змінного струму (тривалість електричних імпульсів, напруга, частота повторення та інші) задаються системою 48 керування залежно від режиму роботи газотурбінного двигуна, від виду активних часток (радикалів та збуджених часток), які бажано одержати, від бажаного ступеню попереднього подрібнення молекул повітря і палива і від заданого режиму функціонування (запуск, повторний запуск на висоті, розширення області стійкості, активний контроль зони горіння та інш.).

Зокрема, генератор 46 змінного струму дає можливість генерувати плазму, яку називають "холодною". Порівняно з так званими "гарячими" плазмами холодні плазми відрізняються електричним розрядом типу "стрімера", тобто, поширенням фронту іонізації. Холодні плазми характеризуються також порушенням термодинамічної рівноваги, при якій температура електронів, які утворюються під час електричного розряду, дуже висока порівняно з температурою паливоповітряної суміші, яка пересікає електричний розряд. Головна позитивна якість такої особливості полягає в тому, що вона дає можливість створювати активні радикали у потоці паливоповітряної суміші з незрівняно меншими енергетичними затратами порівняно з гарячими плазмами.

Генератор 46 змінного струму, який забезпечує генерування холодної плазми, формує електричні імпульси тривалістю від 2 до 50 нс, переваж-

но від 2 до 30 нс. Для порівняння, генератор електричного струму для створення гарячої плазми у типовому випадку подає електричні імпульси тривалістю порядку 100 мс.

У тому випадку, коли потрібен активний контроль зони горіння, система 48 керування може використовувати дані, одержані в режимі реально-го часу із внутрішнього простору камери згорання.

Так, наприклад, може бути передбачений зв'язок системи 48 керування з датчиком нестабільності, уміщеним у камері згорання. Такий датчик нестабільності вимірює тиск (або будь-який інший параметр) всередині камери згорання і передає виміряні значення в систему керування в режимі реального часу. Згідно з іншим прикладом виконання можна зв'язати систему керування з оптичним датчиком полум'я горіння, який дає можливість в режимі реального часу інформувати систему керування у випадку зривання цього полум'я.

Далі буде описана система упорскування палива відповідно до іншого прикладу здійснення, наведеного на Фіг.3. У цьому прикладі система також відноситься до аеромеханічного типу, так що будуть детально описані тільки її відмінності від системи за Фіг.1. Зокрема, порівняно з системою за Фіг.1 дана система є системою упорскування "бідної попередньо змішаної попередньо випареної суміші".

Як і в описаному прикладі виконання, система 50 упорскування з подовжньою віссю Y-Y утворена, по суті, порожнистою трубчастою конструкцією 51 для витікання паливоповітряної суміші до зони горіння камери 12 згорання газотурбінного двигуна.

У вікні 16, виконаному у днищі 14, за допомогою втулкової частини 54 встановлений кільцевий дефлектор 52. Конусна насадка 56, яка утворює трубу випаровування і попереднього змішування, встановлена у втулковій частині 54. Конусна насадка 56 має задню стінку 56a, яка розходить-ся рас-трубом у напрямі потоку і утворює продовження проміжної стінки 56b, яка звужується. Згадана проміжна стінка 56b продовжує, по суті, циліндричну стінку 56c, розміщену коаксіально до подовжньої осі Y-Y системи упорскування.

У доповнення до функцій, описаних у попередньому прикладі виконання, конусна насадка 56 дає можливість подавати у жаровий простір гомогенну бідну паливоповітряну суміш для того, щоб уникнути встановлення у зоні горіння стехіометричних умов, які породжують емісії типу NO<sub>x</sub>.

Конусна насадка 56 оточує перший пристрій 58 Вентурі, який служить для спрямування повітря, яке проходить через отвори 60 в циліндричній стінці 56c на передньому кінці конусної насадки 56. Це повітря призначене для охолодження конусної насадки 56 при проходженні вздовж її внутрішньої поверхні.

Перший пристрій 58 Вентурі оточує другий пристрій 62 Вентурі, внутрішній профіль якого має звуження і розширення. Другий пристрій 62 Вентурі розділяє потоки повітря від внутрішнього радіального завихрювача 64 і зовнішнього радіального завихрювача 66. Внутрішній завихрювач 64 подає

внутрішній радіальний повітряний потік всередину другого пристрою 62 Вентурі, а зовнішній завихрювач 66 подає радіальний повітряний потік між першим та другим пристроями 58, 62 Вентурі.

Паливна форсунка 68, відцентрована на подовжній осі Y-Y системи упорскування, розміщена перед внутрішнім завихрювачем 64. Вона закріплена на системі упорскування за допомогою опорної втулки 70.

Опорна втулка 70, внутрішній та зовнішній завихрювачі 64 та 66, пристрої 58, 62 Вентурі та конусна насадка 56 утворюють порожнисту трубчасту конструкцію 51 системи 50 упорскування, в якій тече паливоповітряна суміш.

У цьому прикладі виконання засоби генерування холодної плазми, які дають можливість генерувати активні частки в потоці паливоповітряної суміші і здійснювати попереднє подрібнення молекул суміші, розміщені навколо заднього кінця конусної насадки 56 (розміщення D, показане на Фіг.3).

Розміщення D засобів генерування холодної плазми навколо заднього кінця конусної насадки 56 відповідає розміщенню, показаному на Фіг.2A. Як уже було описано, засоби генерування холодної плазми виконані у вигляді принаймні однієї пари електродів, розміщених по колу заднього кінця конусної насадки, або у вигляді електромагнітної обмотки.

Зрозуміло, що варіанти компоновки, описані стосовно Фіг.2A, можна застосовувати також до цього розміщення, а електроди (або електромагнітна обмотка) зв'язані з генератором змінного струму, керованим системою керування.

У цьому прикладі здійснення розміщення D засобів генерування холодної плазми дає можливість, з одного боку, збільшити область стійкості зони горіння шляхом розширення меж, які визначають зривання горіння бідної паливоповітряної суміші і, з іншого боку, керувати зоною горіння таким чином, щоб знизити її чутливість до факторів нестійкості горіння.

У випадку контролю зони горіння, як було згадано вище, можна встановити датчик нестабільності або оптичний датчик полум'я горіння, зв'язаний з системою активного керування генератором змінного струму.

Далі буде описана система упорскування палива відповідно до ще одного прикладу здійснення за Фіг.4. У цьому прикладі система упорскування є системою аеродинамічного типу.

Як і в попередніх прикладах здійснення, система 72 упорскування з подовжньою віссю Z-Z утворена, по суті, порожнистою трубчастою конструкцією 73 для витікання паливоповітряної суміші до зони горіння камери 12 згорання газотурбінного двигуна.

У вікні 16, виконаному у днищі 14, за допомогою втулкової частини 76 встановлений дефлектор 74. Конусна насадка 78 встановлена у втулковій частині 76 і має стінку, що розходить-ся рас-трубом назад у напрямі потоку.

На своєму передньому кінці конусна насадка 78 подовжена підтримуючим кільцем 80, яке охоплює і підтримує паливну форсунку 82, відцентровану на подовжній осі Z-Z системи упорскування.

Паливна форсунка 82 має у своєму складі першу трубчасту частину 84, розміщену коаксіально до подовжньої осі Z-Z системи 72 упорскування. Ця перша трубчаста частина 84 визначає перший внутрішній вісьовий об'єм 86, відкритий для паливоповітряної суміші на своєму задньому кінці.

Зовнішня поверхня першої трубчастої частини 84 і внутрішня поверхня підтримуючого кільця 80 визначають розміщений між ними перший кільцевий прохід 88. Наскрізнi повітряні живильні отвори 89, виконані у підтримуючому кільці 80, відкриті до зовнішньої поверхні паливної форсунки 82 і виходять у перший кільцевий прохід 88. Ці отвори 89 дають можливість вдувати повітря до заднього кінця першої трубчастої частини 84, по суті, у вісьовому напрямі.

Внутрішня поверхня першої трубчастої частини 84 паливної форсунки 82 оточує другу трубчасту частину 90, яка також розміщена коаксіально до подовжньої осі Z-Z системи упорскування. Між першою трубчастою частиною 84 і другою трубчастою частиною 90 утворений другий кільцевий прохід 92. Крім того, друга трубчаста частина 90 утворює другий вісьовий внутрішній об'єм 94, відкритий у вісьовий внутрішній об'єм 86 першої трубчастої частини 84.

Паливна форсунка 82 має у своєму складі також повітряні живильні канали 96, відкриті до зовнішньої поверхні форсунки і які виходять у другий вісьовий внутрішній об'єм 94 на передньому кінці другої трубчастої частини 90. Ці повітряні живильні канали 96 також дають можливість вдувати повітря до заднього кінця другої трубчастої частини 90 по суті у вісьовому напрямі.

На своєму передньому кінці паливна форсунка 82 містить принаймні один вхід для подачі палива, виконаний у вигляді циліндричної порожнини 98. Ця циліндрична порожнина живиться паливом від важеля паливних форсунок (не показаний).

Паливні живильні канали 100 відкриті у згадану циліндричну порожнину 98 і виходять у другий кільцевий прохід 92. Таким чином, паливні живильні канали 100 дають можливість упорскувати

паливо між першою трубчастою частиною 84 і другою трубчастою частиною 90.

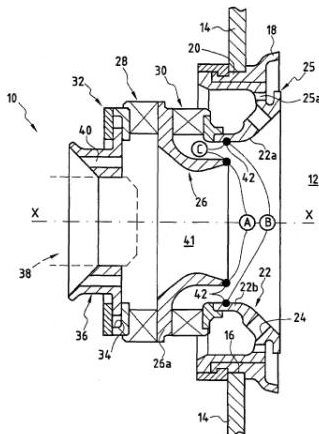
Таким чином, паливна форсунка 82, підтримуюче кільце 80 і конусна насадка 78 утворюють порожнисту трубчасту конструкцію 73 системи 72 упорскування.

У цій системі упорскування паливо, яке упорскується, розпилюється під дією зусилля зсуву, утвореного повітрям. Плівка палива формується на рівні другого кільцевого проходу 92. На сходженні з другою трубчастою частиною 90 ця плівка піддається дії повітря, яке виходить із повітряних живильних каналів 96, перед тим, як на виході із першої трубчастої частини 84 вона має бути піддана дії повітря, що виходить із першого кільцевого проходу 88.

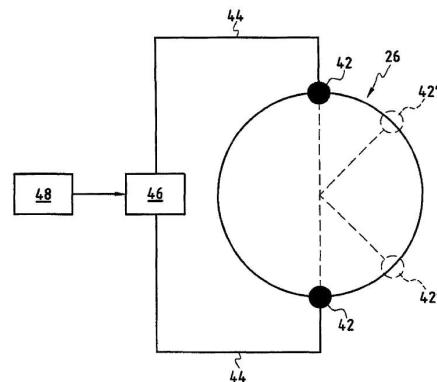
У цьому прикладі здійснення засоби генерування холодної плазми можуть бути розміщені у трьох різних зонах: навколо заднього кінця другої трубчастої частини 90 (розміщення Е), навколо заднього кінця першої трубчастої частини 84 (розміщення F) або ж навколо заднього кінця підтримуючої втулки 80 і навколо заднього кінця першої трубчастої частини 84 (розміщення G).

Розміщення Е навколо заднього кінця другої трубчастої частини 90 і розміщення F навколо заднього кінця першої трубчастої частини 84 відповідають прикладу розміщення за фіг. 2А і не будуть детально описані. У обох випадках засоби генерування холодної плазми можуть бути виконані у вигляді принаймні однієї пари електродів або у вигляді електромагнітної обмотки.

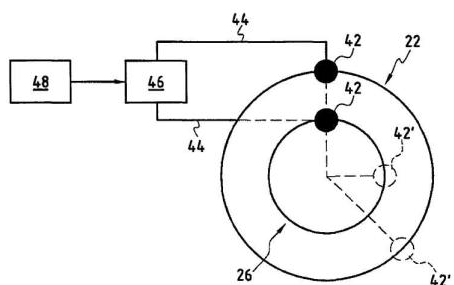
Розміщення G навколо заднього кінця підтримуючої втулки 80 і навколо заднього кінця першої трубчастої частини 84 відповідає розміщенню, показаному на Фіг.2В, і не буде детально описане. У цьому випадку засоби генерування холодної плазми можуть бути виконані у вигляді принаймні однієї пари електродів. Зрозуміло, що варіанти компоновки, описані стосовно Фіг.2А та 2В, можна застосовувати також до варіантів Е, F, G розміщення, а електроди (або електромагнітна обмотка) зв'язані з генератором змінного струму, яким керує система керування.



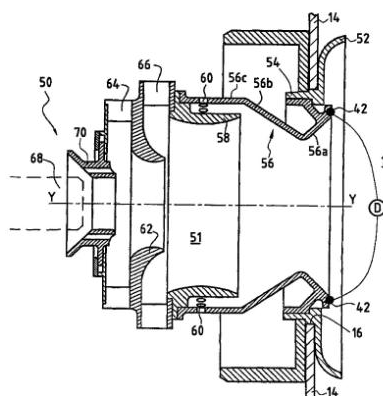
ФІГ. 1



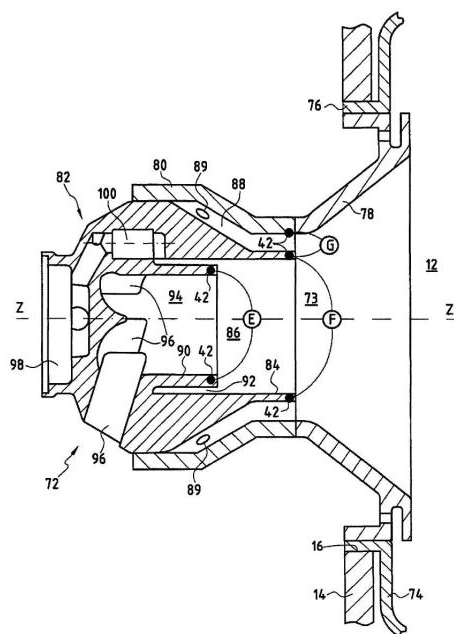
ФІГ. 2А



ФІГ. 2В



ФІГ. 3



ФІГ. 4