



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123831** (13) **C2**

(51) МПК (2021.01)

B64D 37/24 (2006.01)**F02K 9/50** (2006.01)**B64D 37/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**(21)** Номер заявки: **а 2018 11746****(22)** Дата подання заявки: **28.11.2018****(24)** Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **10.06.2021****(41)** Публікація відомостей
про заяву: **11.03.2019, Бюл.№ 5****(46)** Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **09.06.2021, Бюл.№ 23****(72)** Винахідник(и):**Мітіков Юрій Олексійович (UA),
Корячко Костянтин Вікторович (UA)****(73)** Володілець (володільці):**ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49010 (UA)****(56)** Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

Газоводы топливных баков жидкостно-
ракетных двигателей. Подходы к
проектированию. Современная
классификация. / Ю.А. Митиков, Е.Ю.
Любарский // Збірник наукових праць НУК. -
2016. - № 1. - С. 41-46
GB 898276 A, 06.06.1962
KR 100868075 B1, 11.11.2008
UA 110134 C2, 25.11.2015

(54) СПОСІБ НАДДУВАННЯ ПАЛИВНОГО БАКА РУШІЙНОЇ УСТАНОВКИ ГАРЯЧИМ ГАЗОМ**(57)** Реферат:

Винахід належить до галузі ракетно-космічної техніки і може бути використаний для наддування високотемпературним газом паливних баків рушійних установок (РУ) ракет-носіїв (РН). В першу чергу, це стосується циліндричних баків великого подовження, які характерні для баків окислювача РН.

Задачею винаходу є вилучення провалу тиску газу в баку в початковий момент наддування, не перевищення допустимої температури верхнього днища бака і зниження потрібної маси робочого тіла наддування шляхом підвищення його середньої масової температури у вільному об'ємі баку в польоті за рахунок більшої зони змішування.

Задача вирішується тим, що в способі, який включає введення гарячого газу наддування у вільний об'єм паливного бака, захист поверхні палива від гарячого струменя, відповідно до винаходу, гарячий газ наддування вводять у вільний об'єм паливного бака з вільної поверхні палива в баку в напрямку його верхнього днища. Іншою відмінністю запропонованого способу є те, що в процесі роботи рушійної установки фіксують рівень подачі газу до бака, витримують паузу, протягом якої продовжують вводити газ в напрямку верхнього днища бака, далі вводять газ в напрямку нижнього днища бака.

Спосіб дає можливість використання для наддування газу з температурою понад 1500 °С. При цьому потрібна маса газу наддування зменшується при інших рівних умовах на ~50 %.

UA 123831 C2

Винахід належить до галузі ракетно-космічної техніки і може бути використаний для наддування гарячим газом паливних баків рушійних установок (РУ) ракет-носіїв (РН). В першу чергу, це стосується циліндричних баків великого подовження, які характерні для баків окислювача перших ступенів. Це пояснюється тим, що у більшості застосовуваних паливних пар

5 відношення маси окислювача до маси пального (коефіцієнт k_m) становить $\sim 2,5$. Тому баки окислювача довше баків пального.

В даний час як паливо РУ сучасних РН, особливо їх перших ступенів, широко-застосовуються (і плануються до застосування) низькокиплячий окислювач - рідкий кисень, і висококипляче пальне типу гас (РГ-1, Т-1, Т-6, метан, синтин, далі - гас). В силу ряду причин як
10 робоче тіло наддування (РТН) найбільше поширення знайшов гелій. Достатньо перелічити РН "Зеніт" (Україна); Antares (США, Україна); Atlas-V, Falcon-9 (США); Electron (Нова Зеландія); сімейство РН "Союз-2" (наддування азотом), "Ангара" (Росія). Також все ширше використовується і так зване "зелене паливо" - перекис водню і гас (спирт, $k_m = 6 \div 8$, бак окислювача ще довше) [1].

15 До теперішнього часу постійно присутня тенденція використовувати все більш гарячі РТН, що сприяє зниженню їх потрібної маси і спрощенню як РУ, так і стартової позиції. Наприклад, для наддування бака з паливом на МБР 18М (відомої як "Сатана") досягнута температура генераторного газу на вході в бак ~ 1150 К.

При використанні гелію його перед подачею до бака нагрівають в теплообміннику (ТО) РУ
20 для підняття його працездатності. Зараз відомі рішення для суттєвого підняття температури гелію перед введенням його в бак. Запропоновано як теплоносії використовувати окислювальний генераторний газ максимально доступної в складі РУ температури - одразу після газогенератора (~ 550 °С на номінальному режимі роботи РУ РД-191) [2]. Раніше в ТО використовували генераторний газ тільки після турбін більш низької температури. Також відоме
25 рішення, в якому як теплоносії в ТО гелій запропоновано застосовувати високотемпературний генераторний газ, отриманий в твердопаливному газогенераторі [3].

При використанні для наддування високотемпературного робочого тіла в початковий момент часу роботи системи наддування (СН), коли зріз пристрою вводу газу знаходиться в безпосередній близькості від вільної поверхні палива, виникає досить серйозна проблема. У
30 циліндричні несучі баки РН такий газ вводять обов'язково струменем з помітною швидкістю уздовж їх поздовжніх осей від верхнього алюмінієвого днища. Мета такого рішення - відведення "розпеченої" хмари газу вглиб бака, перемішування його з газом і парами вільного об'єму, зменшення теплового потоку у днище бака [4]. Таке рішення сприяє зниженню температури газу біля верхнього днища бака і, головне, самого верхнього днища бака.

35 Однак в цьому випадку на початку роботи СН струмінь глибоко впроваджується в компонент палива, остигає. Пари, які знаходяться в струмені, конденсуються. Відбувається різкий провал тиску газу в баку [5]. А, як відомо, саме запуск двигуна і початок його роботи є найвідповідальніший момент функціонування всього ракетного комплексу. Найбільше аварій РН відбувається саме в цей час [6]. До сих пір проблему вирішували збільшенням витрат газу наддування.
40

Відомий спосіб введення в паливні баки гарячого газу наддування у вигляді турбулентних вихрових кілець [7]. При цьому способі можливо повністю перемішувати газ у вільному обсязі бака (вирівнювати температуру газу) і не деформувати вільну поверхню палива в баку. Однак прийнятні конструкції генераторів вихрових кілець на сьогоднішній день не розроблено. Це
45 унеможливує його впровадження.

Найбільш близьким з числа відомих до технічного рішення, що заявляється, за технічною суттю і результатом, який досягається, є спосіб наддування бака гарячим газом, який реалізується в пристрої [8], [9, рис. 1б]. В ньому в початковий момент наддування дзеркало палива захищають від струменя газу плаваючим кулькою-відбивачем, яку центрують
50 напрямними по осі струменя. Після опускання рівня палива кульку-відбивач відводять від осі поширення струменя газу. З цього часу струмінь поширюється безперешкодно в напрямку нижнього днища бака.

Недоліком відомого способу є його низька ефективність в циліндричних баках РН, яка полягає в наступному. При введенні гарячого газу (особливо гелію) від верхнього днища до поверхні палива на струмінь газу в польоті діє повздовжнє перевантаження. Воно посилює
55 виштовхуючу силу (силу Архімеда). Цей ефект істотно зменшує далекобійність струменя в другій фазі наддування після відведення кульки-відбивача [10]. Як відомо, сила, що виштовхує струмінь (особливо велика вона для гарячого гелію в баку з рідким киснем - найбільша різниця щільності), і стиснення бака істотно зменшують далекобійність гарячого струменя меншої
60 щільності [11].

Корінним недоліком всіх відомих способів введення гарячого газу в паливні баки є те, що напрямок введення газу і дія поздовжнього перевантаження в польоті збігаються. Це призводить до того, що архімедова виштовхуюча сила стабільно гальмує поширення струменя в баку. Причому, в польоті це гальмування набагато сильніше. Для осесиметричних струменів

швидкість газу по осі струменя дорівнює [12]: $v_x = v_0 m \frac{v_0}{n} k_n$, де v_0 , F_0 - швидкість газу і площа у випускному перерізі пристрою введення; n , m - коефіцієнти форми влаштування введення; $k_n = \sqrt{1 \pm 1,3 \cdot Ar_x}$ - коефіцієнт неізотермічності; $v_x^2 T_{окр}$ - критерій Архімеда;

$T_{окр}$ - температура газу поза струменем в баку; n_x - поздовжнє перевантаження; Δt_x - перепад температур газу на осі струменя і в баку; x - відстань від випускного перерізу пристрою введення; g - прискорення вільного падіння. Плюс у формулі для k_n береться в разі одного напрямку введення газу і сили Архімеда.

Таким чином, перемішування газу у його вільному об'ємі відбувається при будь-якому відомому способі введення гарячого РТН в бак в його незначній верхній частині [13]. Це може привести до перегріву алюмінієвого верхнього днища бака і стримує використання перспективного високотемпературного наддування, яке потребує меншої маси РТН.

Задачею винаходу є вилучення провалу тиску газу в баку в початковий момент наддування, не перевищення допустимої температури верхнього днища бака і зниження потрібної маси робочого тіла наддування шляхом підвищення його середньої масової температури в вільному об'ємі баку в польоті за рахунок більшої зони змішування.

Задача вирішується тим, що в способі, який включає введення гарячого газу наддування у вільний об'єм паливного бака, захист поверхні палива від гарячого струменя, відповідно до винаходу, гарячий газ наддування вводять у вільний об'єм паливного бака з вільної поверхні палива в баку в напрямку його верхнього днища. Іншою відмінністю запропонованого способу є те, що в процесі роботи рушійної установки фіксують рівень подачі газу до бака, витримують паузу, протягом якої продовжують вводити газ в напрямку верхнього днища баку, далі вводять газ в напрямку нижнього днища бака.

Реалізується запропонований спосіб наступним чином. На початку роботи СН гаряче РТН вводять в вільний об'єм бака в напрямку верхнього днища з дзеркала палива з поплавка. Таке рішення радикально захищає верхній шар палива від потрапляння на нього гарячого струменя наддування. Частину верхнього днища, напроти випускного перерізу пристрою, покривають керамічною теплоізоляцією товщиною кілька десятків мікронів. Треба підкреслити, що введення РТН в напрямку верхнього днища включає не тільки повний збіг осі введення і поздовжньої осі бака, а й введення під гострим кутом до поздовжньої осі бака. Це подовжує шлях струменя і знижує її швидкість. За рахунок коливання вільної поверхні палива в польоті буде змінюватися і напрямок введення струменя РТН з поплавка. Це виключає локальний вплив струменя на одне місце на верхньому днищі бака.

Для підведення до місця введення гарячого газу використовують еластичні термостійкі матеріали, наприклад кевлар. Для збільшення зони перемішування (використання максимально гарячого РТН) виконують наступну операцію. Коли далекобійність струменя РТН стане менше відстані від дзеркала палива до верхнього днища можна зафіксувати рівень введення газу і витримати паузу. При цьому РТН продовжувати вводити в сторону верхнього днища. Коли рівень палива опуститься на безпечну відстань, рівну, наприклад, далекобійності струменя проти сил Архімеда, введення гарячого РТН організують в напрямку нижнього днища бака. Це можна зробити за допомогою клапана-перемикача. Наведені прийоми показують можливість реалізації запропонованого способу сучасними технічними засобами.

Слід особливо відзначити, що запропонований спосіб забезпечує більшу зону перемішування газу в баку в польотних умовах в порівнянні із наземним відпрацюванням. Це дозволяє мати запас по тиску газу в баку за рахунок більш високої його середньої масової температури. Після кількох льотних випробувань можна зменшити витрату газу на наддування. У прототипі реалізується протилежна картина.

Розрахунки ефективності запропонованого способу проведені за апробованою методикою [5]. Вони показують можливість використання для наддування газу з температурою понад 1500 °С. При цьому потрібна маса газу наддування зменшується при інших рівних умовах на - 50 %. Наприклад, для блока І ступеня РН "Енергія" це еквівалентно зняттю дев'яти 132-х літрових балонів з гелієм.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ:

1. Андриевский М.В., Митиков Ю.А., Шамровский Д.А. Особенности организации охлаждения камеры сгорания двигателей, использующих в качестве окислителя перекись водорода высокой концентрации/ Авиационно-космическая техника и технология. - 2017. - № 5(140). - С. 60-65.
2. Ключева О.Г. Создание унифицированного теплообменника однокамерного жидкостного ракетного двигателя / Труды НПО "Энергомаш". - №25. - 2007. - С. 286-301.
3. Спосіб наддування паливних баків рушійних установок ракет-носіїв: пат. 108414 Україна: МПК В64D 37/00/ 2015 р.
4. Митиков Ю.А., Свириденко Н.Ф. Проблемы использования высокотемпературного газа для наддува топливных баков двигательных установок нового поколения и пути их решения / Технічна механіка. - 2013. - № 1. - С. 68-77
5. Митиков Ю.А., Иваницкий Г.М. Расчет параметров системы наддува с учетом взаимодействия струи газа с компонентом топлива/ Холодильна техніка і технологія. 2012, №3, с. 46-50.
6. Гахун Г.Г. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. - М.: Машиностроение. -1989. - С. 64-66.
7. Спосіб і пристрій наддува паливного бака ракети-носія високотемпературним газом, що генерується у внутрішньобаковому просторі: пат. 108530 Україна: МПК F02k 9/42/2015 р.
8. А.С. № 190290 СССР, МКИ В64D 37/24. Устройство для наддува топливного бака горячим газом / 1983 р.
9. Митиков Ю.А., Любарский Е.Ю. Газоводы топливных баков ЖРД. Подходы к проектированию. Современная классификация / Сб. наук, праць НУК. - 2016. - № 1. - С. 41-46.
10. Митиков Ю.А. Подход к физическому моделированию параметров систем высокотемпературного наддува топливных баков двигательных установок при старте ракет-носителей / Авиационно-космическая техника и технология. - 2015. - № 5(122). - С. 5-10.
11. Митиков Ю.А., Куда С.А. Определение коэффициентов стеснения неизотермических турбулентных струй / Проектирование сложных технических систем: Сб. науч. тр. ИТМ АН УССР. - Киев: Наукова думка, 1989. - С. 153-155.
12. Гримитлин М.И., Тимофеева О.Н. и др. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов. М.: Машиностроение, 1978. - С. 13-17.
13. Митиков Ю.А., Куда С.А. Влияние скорости ввода горячего гелия на параметры системы наддува топливного бака большого удлинения / Сб. наук, праць НУК. - 2015. - № 3. - С. 28-31.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Спосіб наддування паливного бака рушійної установки гарячим газом, який включає введення гарячого газу наддування у вільний об'єм паливного бака, захист поверхні палива від гарячого струменя, який **відрізняється** тим, що гарячий газ наддування вводять у вільний об'єм паливного бака з вільної поверхні палива в бак в напрямку його верхнього днища.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що в процесі роботи рушійної установки фіксують рівень подачі газу до бака, витримують паузу, протягом якої продовжують вводити газ в напрямку верхнього днища бака, далі вводять газ в напрямку нижнього днища бака.