

УДК 621.642.17

Ю.О. Мітіков

Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпропетровськ

НАДХОЛОДНЕ ПОЛЬОТНЕ НАДДУВАННЯ БАКІВ З ВУГЛЕВОДНЕВИМ ПАЛЬНИМ РАКЕТ-НОСІЇВ

Показана ефективність надхолодного гелієвого наддування баків перших ступенів ракет-носіїв з РГ-1. Надано аналіз експериментальних досліджень

Ключові слова: надхолодне гелієве наддування, паливні баки, РГ-1, ракети-носії, експериментальні данні.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Як показано в роботі [1], в світовому ракетобудуванні найбільше поширення для наддування баків двигунних установок (ДУ) перших ступенів ракет-носіїв (РН), що використовують рідкий кисень і вуглеводневе пальне типу гас (РГ-1, синтин, Т-1, метан, далі РГ-1), найбільшого поширення знайшли гарячі газобалонні гелієві системи. У цій же роботі зроблено висновок про те, що можливості помітного поліпшення їх параметрів на сьогодні практично висчерпано.

У першу чергу це пояснюється досить низькою номінальною температурою теплоносія на вході в теплообмінник ДУ (окислювальний генераторний газ після турбіни маршового двигуна). На сучасному двигуні РД-171М вона становить 380°C, причому реалізується ця температура менше половини часу роботи ДУ в силу його багаторазового планового дроселювання (в схемах старих ДУ, наприклад, F-1 РН «Сатурн-5», що використовують відновлювальний генераторний газ, ця температура була на ~ 200°C вище).

Низька температура теплоносія в поєднанні з прогресивними методами управління польотом призводять до того, що середньомасова температура гелію на вході в паливні баки перших ступенів носіїв не перевищує 140°C. Для бака з РГ-1 таке наддування важко назвати гарячим.

Наприклад, на МБР останніх поколінь розробки КБ «Південне» використовувався генераторний газ для наддування баків пального з температурою ~ 850°C.

При цьому тиск газу в баках було більш ніж в два рази вище, ніж, наприклад, в баку пального I ступеня РН «Зеніт», а на момент старту газ в баку і його верхнє днище вже були розігріті хімічним передпусковим наддуванням.

Далі, в силу великого гідроопору довгих трактів наддування (включаючи теплообмінник), реалізується помітне залишковий тиск гелію в балонах, як правило, до 2 МПа. Іншими словами, до 30% гелію залишається в балонах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на що спирається автор. Виникає питання – чи можна поліпшити характеристики гелієвої системи польотного наддування баків, парируючи перераховані мінуси?

Розглянемо це питання більш докладно. Істотно знизити кінцевий тиск гелію в балонах, зменшуючи гідроопір довгих трактів наддування з теплообмінником при класичній компоновці СН (балони у верхньому баку з киснем, теплообмінник в хвостовому відсіку) навряд чи можливо. Помітно підняти температуру теплоносія (окислювальний генераторний газ після турбіни маршового двигуна) також вельми проблематично. Однак ці обидва напрями, на наш погляд, не є тупиковими, заслуговують глибокої проробки і повинні стати предметом окремого розгляду.

Аналіз теплової картини газу в паливних баках носіїв [2 – 4], показав, що для баків з РГ-1, можливий і інший шлях підвищення ефективності гелієвих СН. Цей шлях, заснований на використанні закономірностей конвективного теплообміну, струменевих газових течій, їх настилення на перешкоди, взаємодії струменя газу з поверхнею рідкої фази.

Метою цієї роботи є обґрунтування шляхи підвищення ефективності гелієвих газобалонних СН баків пального перших ступенів ракет-носіїв, де в якості теплообмінника можна використовувати багатотонні конструкції баків і саме гас.

Основний розділ

Нами був запропонований новий спосіб наддування баків з РГ-1 [2, 3], що отримав назву надхолодний. З огляду на діючу класифікацію СН з температури робочого тіла наддування [5], інакше його назвати важко, через те, що холодним вже було названо наддування, при якому температура робочого тіла на вході у бак приблизно дорівнює температурі палива.

Принципова схема запропонованої нами надхолодної СН приведена на рис. 1. Як видно з запропонованої схеми, гелій з балонів 1, що розміщені в баці з рідким киснем 2, найкоротшим шляхом через

трубопровід 3 через між баковий відсік за допомогою агрегатів автоматики 4 вводиться через спеціальний газоввід 5 в верхню точку бака пального 6.

В баці гелій за рахунок інтенсивного теплообміну з його конструкцією і паливом нагрівається і створює необхідний тиск.

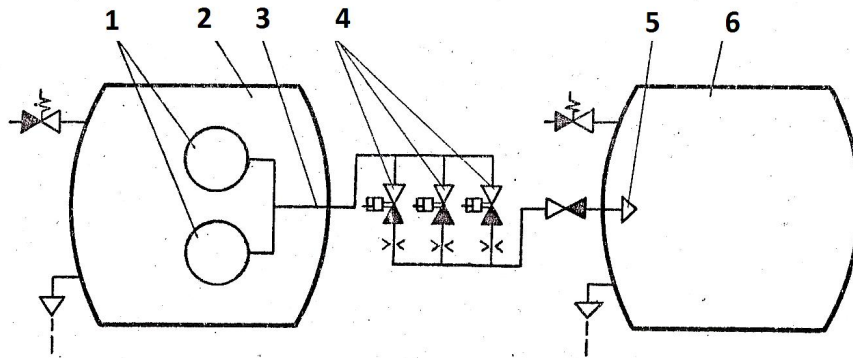


Рис. 1. Принципова схема надхолодой СН:

1 – балони з гелієм; 2 – бак з рідким киснем; 3 – магістраль наддування;
4 – агрегати автоматики; 5 – газоввід; 6 – бак пального

Передумовою для створення надхолодної СН з'явився аналіз наступних фактів:

1. Температура неізотермічної струменя по її довжині досить швидко наближається до температури навколишнього її середовища. Вже через 20 – 30 калібрів надлишкова температура газу в струмені зменшується в 7 – 10 разів [6]. Так, при діаметрі вихідного перерізу газоввода 50 мм і температурі гелію на вході в бак -200°C , температурі газу в баці 0°C , через 1,5 м від вихідного перетину газоввода середньомасова температура газу в струмені буде вище -20°C .

2. При впровадженні в рідку фазу струменя газу з достатньою швидкістю утворюється розвинена поверхня теплообміну в каверні, яка перевищує поверхню гладкою каверни в сотні разів.

3. Остигаючі верхні шари палива інтенсивно опускаються вглиб бака як отримали велику щільність. Цей процес посилює поздовжнє перевантаження і аеродинамічний нагрів пристінкового шару палива, який спливає під дією сили, що виштовхує на поверхню пального, інтенсифікуючи перемішування палива. Якщо при наддуванні гарячим газом прогрітий шар палива накопичується (стратифіцирується) у її вільній поверхні в баку, то при сверххолодному наддуванні це явище не відбувається.

4. Среднемасовая температура газу у вільних обсягах паливних баків при льотних випробуваннях газобалонних холодних систем виходить вище температури газу на вході в бак на $50 - 80^{\circ}\text{C}$, або на $\sim 5 - 10^{\circ}\text{C}$ вище початкової середньомасової температури пального в баці на момент старту носія.

Вперше надхолодна СН баків з РГ-1 була досліджена на експериментальній установці, яка включала в себе [4]:

– сталевий циліндричний бак діаметром 1700 мм і об'ємом 17 м^3 ;

– системи подачі гелію з температурою навколишнього середовища і $t \leq -183^{\circ}\text{C}$;

– системи зливу РГ-1

– системи вимірювання тиску газу в баку, температур газу в баці, верхнього днища, циліндричної частини бака, РГ-1 на виході з бака, перепаду тиску на фільтрі у видатковій магістралі та ін.

В ході досліджень вирішувалися такі завдання:

1. Визначення ефективних коефіцієнтів тепловіддачі від компонента палива і стінки бака до газу наддування при різних пристроях введення газу.

2. Визначення температури РГ-1 в баку і на виході з видаткової магістралі.

3. Визначення температури газу в баку і його конструкції за часом наддування.

4. Визначення впливу початкової температури РГ-1 на параметри газу в баці.

5. Исследование агрегатного стану верхнього шару РГ-1.

Циклограма робіт була максимально наближена до штатних умов, найбільш характерним для I та II ступенів сучасних РН. Перша група випробувань проведена при рівні тисків газу в баці $\sim 0,15 \text{ МПа}$ і часу зливу палива з бака $\sim 90 - 100 \text{ с}$, друга – при рівні тисків газу в баці $\sim 0,3 \text{ МПа}$ і часу зливу $\sim 500 \text{ с}$. Останні порції пального зливалися з бака зі зменшеною витратою для більш точного визначення його температури.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку

Основні результати проведених експериментальних досліджень такі:

– середньомасова температура газу в баці при його наддуванні гелієм з температурою $\sim -190^{\circ}\text{C}$ на момент закінчення зливу відрізняється від початко-

вої температури пального, заправленого в бак, всього на 10 – 15°C (час зливу пального ~ 90 – 100 с, рівень тиску ~ 0,15 МПа);

– перепад тиску (на фільтрі у видатковій магістралі) до кінця зливу не змінювався, тобто загустіння або замерзання пального не відбувалося;

– зменшення температури верхнього шару пального в баку на момент закінчення зливу (за температурними замірами у видатковій магістралі) не зафіксовано;

– помічено значний вплив конструкції пристрою введення гелію в бак на температуру газу в баку, і, відповідно, на тиск газу.

Отримані експериментальним шляхом коефіцієнти тепловіддачі від газу наддування до конструкції бака і поверхні палива, дозволили розрахувати параметри штатних надхолодних СН баків пального I та II ступенів РН «Зеніт», бака пального I ступеня РН «Енергія».

Результати розрахунків показали, що тією кількістю гелію, запасеної на борту для гарячої системи, забезпечується той же рівень тиску газу в баках і при над холодному наддуванні. Деяке зниження середньомасової температури газу в баці (навіть без урахування аеродинамічного нагріву стінки бака і палива) цілком компенсується практично повним спорожненням балонів. При цьому надхолодна СН має наступні незаперечні переваги в порівнянні з гарячою:

– можливість проведення автономної відпрацювання СН практично в натурних умовах;

– виключення зі складу ДУ дорогого, складного теплообмінника;

– суттєве зменшення обсягу автономної відпрацювання СН за рахунок зменшення кількості факторів, що впливають (розкид температури гелію після теплообмінника);

– звуження діапазону зміни тиску газу в баці, а, отже, зниження настройки ПК та ін.

Важливо відзначити і те, що за рахунок виключення з конструкції СН теплообмінника ДУ, довгих трубопроводів наддування з температурними компенсаторами, кріпленням, потовщень баків (у місцях кріплення трубопроводів), знизилася маса РН. Наприклад, на I ступені РН «Зеніт» реальне зниження маси СН склало до 30% в порівнянні з варіантом гарячого наддування.

Достовірність отриманих результатів та ефективність надхолодного наддування для умов I та II ступенів РН підтверджена льотними випробуваннями.

Список літератури

1. Митиков Ю.А. Газобаллонные системы наддува и ракеты-носители нового поколения / Ю.А. Митиков // *Космическая техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст.* 2012. – Вып. 1 – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное». – С. 179-185.

2. Способ наддува топливного бака: авторское свидетельство 112091 СССР, МКИ В64D37/24 / Б.А. Шевченко, Ю.А. Митиков. № 2216292; заявлено 09.03.1977; опубл. 05.01.1978.

3. Способ наддува топливного бака: патент 51806 Украина, МПК В64D37/24 // Б.А. Шевченко, Ю.А. Митиков, А.И. Логвиненко. – №2000031474; заявл. 15.03.2000; опубл. 16.02.2002.

4. Галась М.И. Системы основного наддува топливных баков ракет с углеводородным топливом типа керосин. Автономная отработка: уч. пособ. / М.И. Галась, Ю.А. Митиков. – Днепропетровск: ГКБ «Южное», ДГУ, 1990. – 37 с.

5. Беляев Н.М. Системы наддува топливных баков ракет. – М.: Машиностроение, 1976. – 336 с.

6. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов / М.И. Гримитлин, О.Н. Тимофеева, В.М. Эльтерман и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 272 с.

Надійшла до редколегії 11.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Січовий, Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, Дніпропетровськ.

СВЕРХХОЛОДНЫЙ ПОЛЁТНЫЙ НАДДУВ БАКОВ С УГЛЕВОДОРОДНЫМ ГОРЮЧИМ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Ю.А. Митиков

Показана эффективность сверххолодного гелиевого наддува баков первых ступеней ракет-носителей с РГ-1. Приведен анализ экспериментальных исследований.

Ключевые слова: сверххолодный гелиевый наддув, топливные баки, РГ-1, ракеты-носители, экспериментальные данные.

SUPERCOLD IN-FLIGHT PRESSURIZATION OF TANKS WITH HYDROCARBON FUEL IN LAUNCH VEHICLES

Y. A. Mitikov

The efficiency of the supercold pressurization of first stages of the rocket that use RP-1 was shown. The results of the experimental researches are given.

Keywords: supercold helium наддув, fuel tanks, RG-1, rockets-transmitters, experimental information.