

УДК 629.7.036.5

На підставі аналізу теплових режимів функціонування газобалонних систем наддування паливних баків ракет-носіїв наведено можливі шляхи підвищення їх ефективності – зменшення початкової і збільшення кінцевої температури гелію в баллонах

Ключові слова: газобалонні системи наддування, підвищення кінцевої температури гелію

На основе анализа тепловых режимов функционирования газобаллонных систем наддува топливных баков ракет-носителей приведены возможные пути повышения их эффективности – уменьшения начальной и повышения конечной температуры гелия в баллонах

Ключевые слова: газобаллонные системы наддува, повышение конечной температуры гелия

On account of analysis of thermal conditions of operations gas-bottle fuel tank pressurization system of launch vehicles the possible ways to improve their efficiency – the reduction initial and increase final temperature of the helium balloons are given

Keywords: gas-bottle pressurization system, increasing the final temperature of helium

Постановка проблеми в общем виде и ее связь с важными практическими задачами

Характерной особенностью двадцать первого столетия является то, что всё больше стран выходят на мировой рынок оказания услуг по запуску спутников и космических объектов различного назначения. Далее эта тенденция будет только усиливаться. В связи с этим, особую актуальность приобретают работы, направленные на совершенствование систем ракетно-космической техники, на повышение их эффективности и конкурентоспособности. В конечном итоге, такие работы должны способствовать снижению стоимости запуска 1 кг полезной нагрузки на орбиту при требуемой надежности.

В настоящее время в мировой ракетной технике широкое применение находят компоненты топлива жидкий кислород и углеводородное горючее типа керосин (Т-1, РГ-1, синтин, метан, далее – РГ-1). Достаточно привести примеры ракет-носителей (РН), которые используют данную топливную пару – «Зенит», «Ангара», «Русь-М», «Атлас III», «Антарес», KSLV-1. Все указанные выше носители используют для наддува топливных баков газобаллонные гелиевые системы.

Гелиевые системы наддува (СН), несмотря на их конструктивную сложность и достаточно большую массу, за десятилетия их применения показали себя с положительной стороны. Гелий – инертный газ, не вступает в химические реакции с конструкционными материалами и топливом, имеет после водорода наибольшую работоспособность, пожаробезопасен, не конденсируется при контакте с жидким кислородом, технологии его добычи, транспортировки и перекачки изучены и отработаны. Гелиевые СН на сегодняшний

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЗОБАЛЛОННОЙ СИСТЕМЫ ПОЛЕТНОГО НАДДУВА

Ю. А. Митиков

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой*
Контактный тел.: 067-565-00-05
E-mail: mitikov@yandex.ru

А. И. Артамонов*

Контактный тел.: 067-119-38-04
E-mail: pluton@mail.ru

*Кафедра двигателестроения

Днепропетровский национальный университет
имени Олеса Гончара
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, 49010

день наиболее изучены, разработаны, и не требуют для проектирования высокого уровня разработчиков. Это придает им привлекательности и в значительной степени способствует распространению в странах, только что вступивших на путь создания ракетно-космической техники.

Особо следует подчеркнуть, что СН среди других систем ракетного комплекса занимают своеобразное и важное место. Дело тут даже не в том, что конечная масса СН может достигать до 7% конечной массы отработавшей ступени [1]. Их тип, конструкция, логика работы во многом определяют структуру, конструктивную сложность, надежность не только самой РН, но и всего ракетного комплекса в целом, включая космодром, стендовую и производственную базы.

В этом смысле гелиевые СН не являются примером наилучшего технического решения [2]. В работе [3] показано, что потенциальные возможности заметного улучшения их параметров за шестидесятилетнюю историю применения на сегодняшний день практически исчерпаны. Ожидать существенного прогресса здесь не приходится. Отчасти это объясняется и тем, что разработчики систем питания недостаточно внимания уделяют повышению характеристик СН. Например, на трех последних международных конгрессах по астронавтике (Точжон, Прага, Кейптаун) вопросам наддува баков современных РН был посвящен всего лишь один вопрос из полутора тысяч представленных. Причем, он был посвящен не новым идеям наддува, а только возможности (точнее, невозможности) моделирования параметров систем наддува при наземной отработке.

Учитывая, что космодромы с подземными хранилищами гелия и всей потребной инфраструктурой

уже построены во многих странах мира, и то, что уже созданы носители с гелиевыми СН, которые будут еще эксплуатироваться десятки лет, было бы полезным, во-первых, привлечь внимание к проблемным вопросам гелиевых СН и, во-вторых, разработать некоторые простые (в конструктивном смысле) пути повышения их эффективности.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы

Проанализируем типичную схему горячей газо-баллонной гелиевой СН с целью определения процессов, происходящих внутри системы (рис. 1).

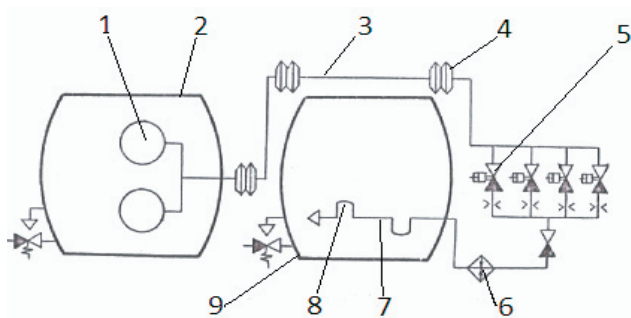


Рис. 1. Принципиальная схема горячей СН бака горючего:
 1 – баллоны с гелием; 2 – бак с жидким кислородом;
 3, 7 – трубопроводы; 4, 8 – температурные компенсаторы;
 5 – элементы автоматики; 6 – теплообменник ДУ;
 9 – бак горючего

Перед стартом РН гелий из подземных хранилищ заблаговременно подается в баллоны 1, размещенные в баке 2 с жидким кислородом. При работе ДУ гелий из баллонов по трубопроводу 3 с температурными компенсаторами 4 через агрегаты автоматики 5 с дозирующими элементами поступает в теплообменник 6 ДУ. После нагрева он по трубопроводу 7 с температурными компенсаторами 8 вводится в верхнюю точку бака 9.

Такое техническое решение позволяет разместить необходимое для наддува бака количество гелия в 2,3 раза меньшем объеме баллонов (с учетом коэффициента сжимаемости гелия [4]), по сравнению с расположением их в межбаковом или двигательном отсеках при температуре окружающей среды (около 0°C). Следует отметить и то, что титановый сплав баллонов при криогенной температуре заметно упрочняется.

Однако размещение баллонов с гелием в баке с жидким кислородом имеет и отрицательные последствия. Так, сокращается полезный объем бака. Для примера, это сокращение для I ступени РН «Зенит» составляет ~ 1,7 м³, что эквивалентно уменьшению заправки (в тех же габаритах носителя) почти на 2 т топлива. Далее, при опорожнении баллонов температура гелия в них существенно уменьшается. Особенно это заметно на первых ступенях РН, время работы которых составляет немногим более двух минут (быстрое опорожнение баллонов). На момент выключения ДУ температура гелия в баллонах первых ступеней РН составляет 30 – 40 К. При достаточно большом гидросопротивлении трактов наддува с теплообменником

конечное давление гелия в них не удастся реализовать ниже 25 – 30 x10⁵ Па.

Низкие конечная температура и заметное остаточное давление гелия в баллонах приводят к тому, что около 20% (!) рабочего тела наддува остается неиспользованным, увеличивая конечную массу ступени РН. Это является большим недостатком горячих гелиевых СН, который воспринимается разработчиками на протяжении уже шестидесяти лет как данность.

Известна схема гелиевого газобаллонного наддува [5], т.н. сверххолодная, в которой успешно решен вопрос практически полного опорожнения баллонов. Такая система конструктивно проста (по сравнению с горячей системой) и эффективна для наддува бака горючего, где роль теплообменника для холодного гелия (среднемассовая температура на входе в бак составляет ~60К) играет горячее нормальной температуры в количестве нескольких десятков тонн, и топливный бак, подверженный аэродинамическому нагреву, массой в несколько тонн. Для бака окислителя такая система наддува неэффективна, т.к. гелий и жидкий кислород имеют практически одинаковые температуры.

Известна из литературы новая более эффективная конструкция пластинчатого теплообменника [6], в которой в качестве теплоносителя используется окислительный генераторный газ. Применение такого теплообменника в составе ДУ (РД-191), как отмечают авторы, позволяет сократить ее массу на ~20кг. Иных проблем газобаллонной системы эта конструкция не решает.

В работе [7] приведены весьма оптимистичные экспериментальные результаты по определению оптимальной скорости ввода горячего газа наддува в свободные объемы баков удлинением 0,8. Эксперименты проводились с постоянным расходом и температурой газа на входе в бак, а также с постоянным расходом модельной жидкости из бака. Как использовать полученные результаты для баков иного удлинения (бак окислителя I ступени РН «Зенит» имеет удлинение более 5) в натуральных условиях (существенно переменные по времени работы ДУ расход и температура газа наддува, меняющийся расход компонента из бака и др.) в работе не указано.

Других работ, направленных на повышение эффективности газобаллонных систем наддува в интересующем нас направлении, нам не известно.

Постановка задачи исследований

Целью настоящей работы является повышение эффективности гелиевых газобаллонных СН топливных баков ДУ РН на компонентах топлива жидкий кислород и РГ-1.

Для достижения поставленной цели воспользуемся классическим путем, на который непосредственно выводит нас уравнение состояния газа применительно к гелию в баллонах СН, а именно – уменьшение его начальной температуры (на момент включения двигателя) и повышение его конечной температуры (на момент выключения двигателя). Это должно позволить, при прочих равных условиях, больше гелия заправить в баллоны к моменту старта РН и меньше его оставить в них на момент выключения ДУ.

Таким образом, требуемое количество гелия для наддува баков можно будет разместить в меньшем числе баллонов. Весь вопрос заключается в том, как это сделать предельно рационально, какие максимально доступные и простые ресурсы необходимо задействовать для достижения поставленной цели.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов

Как известно, еще со времен проектирования (начало пятидесятых годов прошлого столетия) легендарной королевской МБР Р-7 (современная широко используемая модификация – «Союз-2») не было проблем в оснащении стартовой позиции агрегатами заправки ракет жидким азотом. Именно на этой ракете баки окислителя и горючего надувались, и надуваются, по сей день в полете газифицированным в теплообменнике ДУ азотом, заправляемым на борт в жидком состоянии. В силу своей конструктивной сложности (специальный редуктор, насос жидкого азота, система выдавливания азота в насос) и не особой эффективности (снижение напора топливных насосов) она дальнейшего развития не получила и, насколько известно авторам, далее не использовалась.

Компоновки хвостовых отсеков космических носителей, как известно, не такие плотные, как у боевых ракет. Поэтому принципиально не должно составить проблемы размещение баллонов с гелием для наддува именно в хвостовом отсеке РН. Для РН «Союз-2» это вообще естественно. Причем, баллоны необходимо расположить внутри емкости, которую до заправки РН сжатыми газами следует заполнить жидким азотом. Перед самым же стартом носителя (перед началом работы СН) необходимо слить этот жидкий азот за борт РН. В этом случае мы получаем гелия в баллоне на момент старта РН на ~12% больше, чем в случае размещения баллонов в жидком кислороде. Другими словами, баллонов необходимо в предложенном варианте на 12% меньше.

Например, для I ступени РН «Зенит» данное техническое решение позволяет уменьшить количество стандартных 132 л баллонов с гелием на 1 штуку. При этом еще и существенно уменьшается длина (гидросопротивление) холодных гелиевых трактов от баллонов до теплообменника по сравнению с традиционным размещением баллонов в верхнем баке РН, а теплообменника – в хвостовом отсеке. Уменьшение гидросопротивления трактов приводит к более полному опорожнению баллонов, т.е. уменьшению

конечной массы гелия в них. Далее, освобождается от баллонов бак окислителя (1,7 м³), что позволяет дополнительно при тех же габаритах РН дополнительно заправить 2 т топлива.

При использовании же для наших целей переохлажденного азота, начальная масса гелия в баллонах увеличивается на ~25% (!) по сравнению с размещением баллонов с гелием в кипящем кислороде. При заправке РН сжатыми газами через хвостовой отсек также снижается и масса трактов заправки баллонов гелием.

После слива жидкого азота баллоны с гелием оказываются в воздушной среде с температурой на ~200 градусов выше, чем в случае их размещения в кипящем кислороде. Расчет по методике [4] показывает, что в этом случае при прочих равных условиях в результате теплообмена гелий в баллонах нагреется дополнительно не менее чем на 200, что практически отыгрывает начальное размещение баллонов в более холодной среде.

Оценка эффективности предложенного технического решения применительно к I ступени двухступенчатой РН «Зенит», показывает, что при его реализации полезная нагрузка (масса спутника) может быть увеличена на 30 кг.

Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших работ в данном направлении

Рассмотренное техническое решение позволяет улучшить параметры любой гелиевой газобаллонной СН современной ДУ, использующей компоненты топлива жидкий кислород и РГ-1. При его реализации на I ступени двухступенчатой РН «Зенит» выигрыш в полезной нагрузке может составить до 30 кг. Наиболее просто предложенное техническое решение реализуется на РН «Союз-2», где в хвостовом отсеке уже имеется в наличии жидкий азот. Для оценки его эффективности применительно к данному носителю необходимо учесть увеличение напора основных компонентов топлива и давления в камере сгорания (повышение удельного импульса), возникающее из-за исключения с вала ТНА насоса для жидкого азота и возможность работы камер сгорания двигателя РД-107 при повышенных давлениях без высокочастотной неустойчивости.

Для повышения эффективности предложенного технического решения целесообразно рассмотреть возможности более интенсивного нагрева баллонов с гелием после слива жидкого азота. Для этого необходимо провести ревизию источников тепла в хвостовых отсеках современных РН.

Литература

1. Беляев, Н.М. Системы наддува топливных баков ракет [Текст] / Н.М.Беляев. М.: Машиностроение, 1976. – 336 с.
2. Митиков, Ю.А. Газобаллонные системы наддува и ракеты-носители нового поколения [Текст] / Ю.А.Митиков // Журн. Космическая техника. Ракетное вооружение. – 2012. – №1. – Д.: ГП КБ Южное. – С. 179 – 185.
3. Митиков, Ю.А. Пути повышения надежности и безопасности эксплуатации ракетных комплексов [Текст] / Ю.А.Митиков, В.А.Антонов, М.Л. Волошин, А.И.Логвиненко // Журн. Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – №2. – Х.: ХНУ ХАИ. – С. X–х.

4. Присняков, В.Ф. Определение параметров гелия при опорожнении емкости с учетом сжимаемости и сопротивления магистрали [Текст] / В.Ф. Присняков, М.И. Галась, А.И. Логвиненко, В.А. Мосейко // Журн. Проблемы высокотемпературной техники. – 1981. – №1. – Д. : ДНУ. – С.86 – 94.
5. Мітіков, Ю.О. Надходне польотне наддування баків з вуглеводневим паливним ракет-носіїв [Текст] / Ю.О. Мітіков // Журн. Системи озброєння та військова техніка. – 2012. – Вип.Х – Х.: ХУПС. – С.х–х.
6. Бедов, Ю.А. Создание усовершенствованного пластинчатого агрегата наддува [Текст] / Ю.А. Бедов, Е.А. Белов, В.Ю. Богущев, О.Г. Клюева и др. // Журн. Труды НПО Энергомаш. – 2004. – № 22. М. : НПО Энергомаш. – С.132 –146.
7. Козлов, А.А. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок [Текст] : учебн. / А.А.Козлов, В.Н. Новиков, Е.В.Соловьев. – М. : Машиностроение, 1988. – 352 с.
8. Спосіб и система наддува топливного бака [Текст] : Заявка на патент №201218723 Україна : МПК В64D 37/24. / Митиков Ю.А. ; заявитель Митиков Ю.А. ; заявлено 25.04.12.

УДК 621.43:504

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РУШІЙНИХ УСТАНОВОК АВТОМОБІЛІВ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ НАЙБІЛЬШ ЕКОЛОГІЧНИХ

У статті розглянуто основні типи сучасних автомобільних рушійних установок, проаналізовано їх вплив на навколишнє середовище та виявлено найбільш екологічні

Ключові слова: автомобіль, двигун, екологічність

В статье рассмотрены основные типы современных автомобильных двигательных установок, проанализировано их влияние на окружающую среду и выявлены наиболее экологичные

Ключевые слова: автомобиль, двигатель, экологичность

In the article the basic types of modern car engines are considered, their influence at the environment is examined and the most ecological of them are detected

Keywords: car, engine, ecological compatibility

І.І. Ісьєміні

Асистент*

Контактний тел.: (057) 733-78-18

E-mail: isyem@mail.ru

А.С. Баканов

Завідувач демонтажно-монтажної лабораторії сучасних легкових автомобілів

Циклова комісія «Автомобілі»

Харківський автотранспортний технікум ім. С. Орджонікідзе
пл. Конституції, 28, м. Харків, Україна, 61003

Контактний тел.: 097-850-87-12

E-mail: andrej-bakanov@yandex.ru

С.А. Кірсенко*

Контактний тел.: 063-681-45-46

*Кафедра металоріжучого обладнання і транспортних систем
Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

1. Вступ

В останні десятиріччя все гостріше постає питання про зниження забруднення навколишнього середовища. Одним з джерел забруднення є автомобільний транспорт.

Внаслідок бурних темпів розвитку економіки та промисловості в ХХ ст. автомобіль давно припинив бути розкішню та отримав значне поширення. З кожним роком кількість автомобілів, які використовуються населенням, збільшується, та зростає вміст вихлопних газів у повітрі.

2. Мета статті

Мета статті полягає в аналізі існуючих рушійних установок автомобілів для виявлення найбільш екологічних.

3. Основний матеріал

Двигун – джерело механічної енергії, яка необхідна для руху автомобіля. Для отримання механічної енергії в двигуні автомобіля один вид енергії