

Митиков Ю. А.,
Андреевский М. В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НАДДУВА БАКА ВПРЫСКОМ ГОРЯЧЕГО КЕРОСИНА

Проведено математическое моделирование параметров новой системы наддува бака с керосином ракеты-носителя. Дизайн системы: давление в баке поддерживается гелиевой сверххолодной системой. В свободный объем бака впрыскивается горячий керосин. Определено поведение основных параметров системы. Выявлены влияющие факторы. Оценена эффективность системы на примере I ступени носителя среднего класса (~ 10 кг полезной нагрузки).

Ключевые слова: бак с керосином, наддув гелием, впрыск горячего керосина.

1. Введение

В настоящее время в качестве топлива двигательных установок (ДУ), особенно первых ступеней, ракет-носителей (РН) наибольшее распространение находят жидкий кислород и углеводородное горючее типа керосин [1]. Для наддува топливных баков ДУ с указанными компонентами широко применяются гелиевые газобаллонные системы наддува (СН). На РН «Зенит», «Маяк», «Русь-М», Antares, Atlas-5 для наддува баков с керосином применяются сверххолодные системы; на РН Falcon-9, «Ангара» используются горячие. Особо следует отметить, что и те, и другие СН на протяжении всей своей истории применения использовались и продолжают использоваться в классическом первоначальном виде без каких-либо попыток улучшения параметров. Исключение составляют лишь конструкции газоводов, в понимании влияния которых на внутрибаковые процессы произошло существенное продвижение вперед [2–4].

Совсем еще недавно, 20 лет тому назад, только супердержавы могли себе позволить запуски объектов в космос. А по состоянию на 2013 год спутники уже более 50 стран летают над Землей. Заурядным стало понятие «студенческий спутник». Десять стран и Европейское космическое агентство сегодня самостоятельно запускают свои аппараты в космос. Иран, далеко не лидер в научно-технической и финансовых сферах, стал шестой страной в мире, вернувшей из космоса животное (интересный маркетинговый ход — персидскую кошку). Большинство развитых стран имеют свои программы освоения космического пространства. Космическая отрасль становится одним из приоритетных направлений деятельности в большинстве стран мира.

2. Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

Рано или поздно количественные изменения должны были перерасти в качественные. И, по мнению ряда аналитиков [5], с выходом на космическую арену частных компаний США, в первую очередь SpaceX и Orbital Science, они уже произошли. Указанные компании в рекордно короткие сроки обеспечили собственными носителями доставку грузов на МКС по столь низкой

цене, что в пору говорить о демпинге [6]. Тут следует также отметить тот факт, что в тендере, объявленном правительством США на доставку грузов на МКС, участвовало более 20 венчурных компаний.

При таких реалиях существенно возрастает конкуренция на рынке предоставления пусковых услуг. Очевидно, что побеждать в этой борьбе будет тот, кто обеспечит меньшую цену выведения 1 кг полезной нагрузки на опорную орбиту при общепринятой надежности. В настоящее время в ракетно-космической технике начинают пересматриваться подходы, сложившиеся в этой отрасли в период стремления государств выхода в космос любой ценой.

В этой связи заметно возрастает актуальность работ, направленных на оптимизацию параметров систем носителей, на нахождение наиболее эффективных схемных решений при требуемой надежности. Уместно отметить в этой связи, что конечная масса систем наддува (СН), которые являются предметом дальнейших исследований, может достигать 7 % конечной массы ступени [7, 8]. Это очень большая величина. И тут, несмотря на большую историю применения гелиевых газобаллонных систем, есть еще ряд вопросов, нуждающихся в современном решении.

3. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья

Рассмотрим более детально схему горячей СН (рис. 1), т. к. в ней достаточно ярко проявляются все свойства газобаллонного наддува. Целью рассмотрения будет не только констатация фактов, а определение мест возможных улучшений и поиск наиболее простых путей их реализации.

На рис. 1 приведена типичная принципиальная схема горячей газобаллонной СН бака горючего I ступени РН. Как видно из приведенной схемы, система состоит из баллонов 1 высокого давления с гелием, размещенных в баке 2 с жидким кислородом. Этим достигается снижение масс системы хранения рабочего тела наддува за счет увеличения его плотности. Баллоны соединены трубопроводами 3 с температурными компенсаторами 4 помощью элементов автоматики 5 с теплообменником 6 двигателя, расположенного в хвостовом отсеке.

Теплоносителем теплообменника служит генераторный газ, отбираемый после турбины ТНА маршевого ДУ. Далее подогретый гелий по трубопроводу 7 (как правило, проложенному внутри бака и без теплоизоляции) с температурными компенсаторами 8 вводится в свободный объем бака горючего 9.

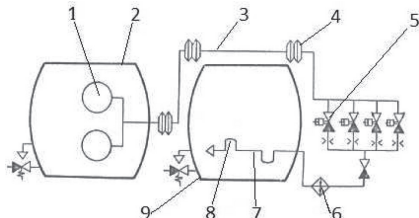


Рис. 1. Принципиальная схема горячей СН бака горючего: 1 — баллоны с гелием; 2 — бак с жидким кислородом; 3 — холодный трубопровод; 4, 8 — температурные компенсаторы; 5 — элементы автоматики; 6 — теплообменник ДУ; 7 — горячий трубопровод; 9 — бак горючего

Основным недостатком горячей газобаллонной СН является сложность проведения автономной отработки системы в натуральных условиях. Дело в том, что теплоноситель теплообменника ДУ, особенно окислительный генераторный газ, является уникальным, и получить его вне двигателя практически невозможно. Поэтому все динамические тепловые процессы (выход теплообменника на режим по температуре, отклики его на дросселирование ДУ, на увеличение расхода гелия по командам от системы управления) при автономной отработке не поддаются физическому моделированию. При такой схеме нагрева гелия его реальная среднemasсовая температура на входе, например, в бак окислителя ДУ с дожиганием окислительного газа I ступени РН «Энергия», не превышает 140 °С [1]. Горячим такой наддув можно считать лишь условно.

Несколько выше параметры гелиевой СН при работе ЖРД по схеме без дожигания восстановительного генераторного газа. В этом случае температура теплоносителя на входе в теплообменник несколько выше, а дросселирование (форсирование) ЖРД практически не отражается на температуре рабочего тела наддува. Однако проблемы с автономной отработкой системы, пусть и в меньшей мере, остаются.

Вторым недостатком горячих газобаллонных СН является большая остаточная масса гелия в баллонах (30 + 35 % от начальной массы для ДУ первых ступеней). Это объясняется большим гидросопротивлением «длинных» трактов наддува (как «горячих», так и «холодных») с теплообменником.

Указанных выше недостатков горячих газобаллонных СН лишена так называемая «сверххолодная» система, предложенная в 1977 г. [9]. Название она получила из-за того, что холодными к тому времени называли СН, использующие рабочее тело с температурой на уровне начальной температуры заправленного топлива в бак. Принципиальная схема такой системы приведена на рис. 2.

Как видно из приведенной схемы, гелий из баллонов 1, размещенных в баке 2 с жидким кислородом, наикратчайшим путем через межбачковый отсек по магистрали 3 с элементами автоматики 4 через газопровод 5 вводится в свободный объем бака 6 с горючим. Теплообменником для гелия тут служит бак горючего

массой в несколько тонн, и горючее, массой в несколько десятков тонн. При правильной организации теплообменных процессов в свободном объеме бака можно добиться конечной среднemasсовой температуры гелия, которая отличается от начальной температуры горючего всего лишь на 10–15 градусов. При этом баллоны могут быть опорожнены практически полностью. Автономная отработка таких систем проводится практически в натуральных условиях без особых проблем.

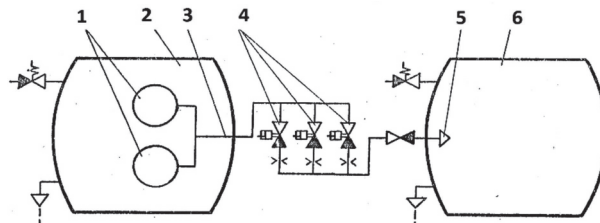


Рис. 2. Принципиальная схема сверххолодной СН бака горючего: 1 — баллоны с гелием; 2 — бак с жидким кислородом; 3 — магистраль наддува; 4 — агрегаты автоматики; 5 — газопровод; 6 — бак с горючим

Единственным параметром в сверххолодной СН, нуждающемся, по мнению авторов, в улучшении, является температура гелия в баке. Ее интересно было бы увеличить, минимально усложняя схему. Собственно говоря, и при горячем наддуве топливного бака ДУ, работающей по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа, температуру газа в баке желательно было бы увеличить.

4. Формулирование целей статьи

При экспериментальной отработке любых газобаллонных СН [7] было обращено внимание на влияние температуры компонента топлива при прочих равных условиях на уровень давления газа в баке — чем выше температура топлива, тем выше давление газа в баке. Этот факт и послужил основой для предложенной модернизации СН.

Целью проведенных исследований было повышение температуры гелия в баке горючего при работе сверххолодной СН с минимальными доработками конструкции ДУ. Рассмотрим дизайн предложенной модернизированной сверххолодной СН бака горючего [10]. Его идея заключается в увеличении среднemasсовой температуры гелия в свободном объеме за счет ресурсов, имеющихся в составе двигательной установки. На рис. 3 приведена принципиальная схема такой системы.

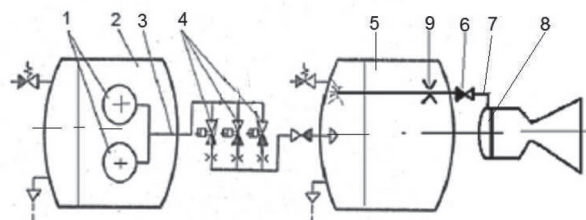


Рис. 3. Принципиальная схема модернизации сверххолодной СН: 1 — баллоны с гелием; 2 — бак с жидким кислородом; 3 — магистраль наддува; 4 — регулирующие расход гелия агрегаты автоматики; 5 — бак с горючим; 6 — клапан; 7 — магистраль с керосином; 8 — форсуночная головка; 9 — дозирующий расход керосина элемент

Работает система следующим образом. При работающей сверххолодной системе наддува (агрегаты автоматики, дозирующие расход гелия, подключаются в тестовом примере на ~0 с и ~25 с работы ДУ) из района форсуночной головки 8 (горючее с наибольшей температурой) отбирается горючее и вводится по магистральной 7 в свободный объем бака 5 в распыленном виде. Гелий в баке дополнительно нагревается и создает более высокое давление.

5. Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов

Было проведено математическое моделирование параметров предложенной модернизированной СН применительно к баку I ступени носителя среднего класса по апробированной методике [11]. Согласно принятой модели керосин распылялся в свободном объеме бака, суммарная поверхность капель принималась равной удвоенной поверхности зеркала (это позволяет иметь запас). Массообменные процессы в свободном объеме бака не учитывались, т. к. при температуре керосина на входе в бак 150 °С конечная среднemasсовая температура газа в баке находится на уровне 10 °С (рис. 5).

На рис. 4 и рис. 5 приведены давление газа в баке горючего и среднemasсовая температура гелия в свободном объеме бака по времени работы ДУ при расходе керосина в бак 1,5 кг/с, и уменьшенных запасах гелия на одну треть по сравнению с прототипом. На 110 с полета (наиболее характерное время максимального потребного давления газа в баке) расход керосина в бак прекращался. При указанном сочетании параметров потребное давление газа в баке обеспечивалось.

Увеличение расхода в бак горячего керосина согласно расчетам повышает давление газа в баке, однако может привести к необоснованным тепловым остаткам топлива. Увеличение температуры керосина, подаваемого в бак, также ведет к повышению давления газа в баке.

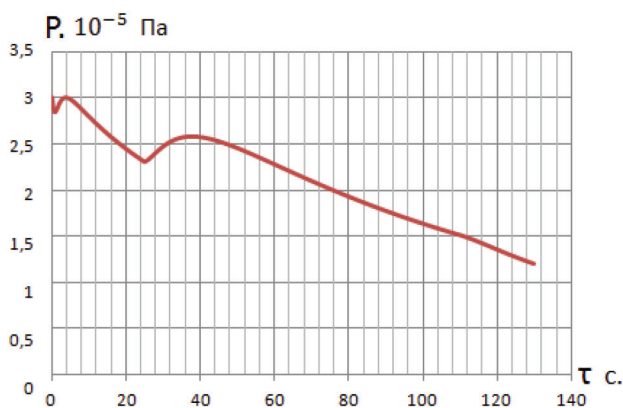


Рис. 4. Изменение давления газа в баке по времени работы ДУ

Необходимо отметить, что и при горячей газобаллонной СН впрыск горячего керосина в свободный объем бака приводит к позитивному результату.

Проведенные авторами проработки реализации предложенного способа наддува применительно только к первой ступени РН среднего класса, показывают выигрыш в полезной нагрузке не менее 10 кг.

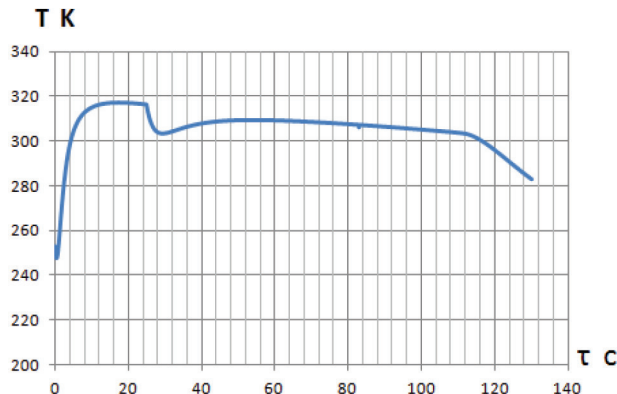


Рис. 5. Изменение среднemasсовой температуры газа в баке по времени работы ДУ

6. Выводы из данного исследования

Проведено математическое моделирование параметров новой газобаллонной СН бака с углеводородным горючим ДУ путем впрыска горячего керосина (например, из форсуночной головки камеры) в распыленном виде в свободный объем бака. Все интересующие параметры зафиксированы в требуемых пределах. Отмечено влияние расхода горячего керосина и его температуры на рост давления газа в баке.

Предложенная конфигурация СН позволяет на примере I ступени носителя уменьшить при прочих равных условиях потребности в гелии на треть.

По расчетам авторов внедрение предложенной модернизированной газобаллонной СН может позволить увеличить массу выводимой полезной нагрузки более чем на 10 кг. При нынешней стоимости выведения 1 кг полезной нагрузки на опорную орбиту в диапазоне \$20 ÷ 50 тыс., трех пусках РН в год и времени эксплуатации ракетного комплекса 40 лет, получается заметный экономический эффект.

Начатые исследования целесообразно продолжить в направлении оптимизации условий ввода горячего керосина в бак и определения итоговой температуры верхнего слоя керосина в топливном баке.

Литература

1. Митиков, Ю. А. Газобаллонные системы наддува и ракеты-носители нового поколения [Текст] / Ю. А. Митиков // Космическая техника. Ракетное вооружение. — 2012. — № 1. — С. 179–185.
2. Кендл, Д. Влияние перемешивания в подушке на характеристики системы наддува [Текст] / Д. Кендл // Вопросы ракетной техники. — 1971. — № 6. — С. 22–25.
3. Митиков, Ю. А. Проблемы использования высокотемпературного газа для наддува топливных баков двигательных установок нового поколения и пути их решения [Текст] / Ю. А. Митиков, Н. Ф. Свириденко // Технічна механіка. — 2013. — № 1. — С. 68–77.
4. Митиков, Ю. А. Использование вихревых колец для наддува топливных баков двигательных установок ракет-носителей [Текст] / Ю. А. Митиков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 5/7(59). — С. 30–35.
5. Набирает обороты бизнес малых спутников [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/ URL: ebul.ru/dl/digest-046f.pdf.
6. НАСА запускает программу создания частных пилотируемых кораблей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/ URL: ebul.ru/dl/digest-046f.pdf.

7. Беляев, Н. М. Системы наддува топливных баков ракет [Текст] / Н. М. Беляев. — М. : Машиностроение, 1976. — 335 с.
8. Ring, Elliot. Rocket Propellant and Pressurization Systems [Text] / Elliot Ring. — PrenticeHall, Inc., Englewood-Cliffs, N. J. — 1964. — 404 p.
9. А. с. № 112091 СССР, МКИ F 02k 11/00, B64D 37/24. Способ наддува топливного бака [Текст] / Шевченко Б. А., Митиков Ю. А. Заявник та патентовладелец ДП «КБ «Південне». — № 2216292/23; заявл. 09.03.77; опубл. 05.01.78. — 4 с.
10. МПК В 64 D 37/00. Способ и система газобаллонного наддува баку з висококиплячим паливом установки [Текст] : заявка № а 201309167 Україна / Митіков Ю. О., Андрієвський М. В. Заявник та патентовладелец Митіков Ю. О. — заявл. 22.11.13. — 5 с.
11. Митиков, Ю. А. Расчетно-экспериментальное исследование системы сверххолодного наддува [Текст] / Ю. А. Митиков // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. — 2012. — т. XIII. — С. 61–69.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НАДДУВАННЯ БАКУ УПРИСКУВАННЯМ ГАРЯЧОГО ГАСУ

Проведено математичне моделювання параметрів нової системи наддування баку з газом ракети-носія. Дизайн системи: тиск в баку підтримується гелієвою надхолодною системою. У вільний об'єм бака впорскується гарячий газ. Визначено

поведінку основних параметрів системи. Виявлено впливові фактори. Оцінена ефективність системи на прикладі I ступеня носія середнього класу (~ 10 кг корисного навантаження).

Ключові слова: бак з газом, наддування гелієм, упорскування гарячого гасу.

Митиков Юрій Алексеевич, кандидат технічних наук, професор, кафедра двигателестроєння, Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара, Україна, e-mail: mitikov@ya.ru.

Андрієвський Михайло Віталійович, кафедра двигателестроєння, Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара, Україна, e-mail: guitarrock@meta.ua.

Мітіков Юрій Олексійович, кандидат технічних наук, професор, кафедра двигунобудування, Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара, Україна.

Андрієвський Михайло Віталійович, кафедра двигунобудування, Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара, Україна.

Mitikov Yuriy, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Ukraine, e-mail: mitikov@ya.ru.

Andriyevskiy Mykhailo, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Ukraine, e-mail: guitarrock@meta.ua

УДК 65.012.14:637.523.2.004.12

**Нечепуренко К. Б.,
Пивоваров П. П.**

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СІЧЕНИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРОВАНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Одним із найважливіших завдань сучасної науки є одержання матеріалів із заданими механічними властивостями та структурою. Перспективною сировиною для виробництва структурованих продуктів є використання емульсій альгінатів із залишками кальцію. На даному етапі розвитку харчової технології використовується широкий спектр нових технологій, до яких належить емульгування різної сировини, а саме полісахариди, для отримання принципово нових продуктів.

Ключові слова: емульсія, структуроутворення, натрію альгінат, емульгуюча властивість.

1. Вступ

Сучасні тенденції розвитку науки про харчування пов'язані зі створенням наукових принципів підвищення харчової цінності добових раціонів. На сьогоднішній день вітчизняні харчові і переробні підприємства шляхом використання інтелектуальних та фінансових інвестицій прагнуть впроваджувати нові прогресивні технології і на їх базі реалізувати сучасні процеси отримання харчової продукції. Удосконалення технології кулінарних виробів у зв'язку з вимогами сьогодення є актуальною задачею.

2. Постановка проблеми

В традиційних технологіях продукції ресторанного господарства дуже часто використовується емпіричний підхід до підбору інгредієнтів, без урахування широких

можливостей технологічних систем. При виробництві сичених м'ясних виробів в якості жировмішуючої сировини використовують свинячий шпик, свинячу грудинку, жир-сирець яловичий, свинячий, баранячий, кінський, харчові топлени жири [1]. Серед інших підходів технології, що описується, є використання жирів не тваринного, а рослинного походження, насамперед олії рослинної з соняшника. Також можливе використання і інших аерованих та дезодорованих олій (кукурудзяної, оливкової, кунжутної, горіхової та ін.).

Сутність інноваційної складової полягає в промисловій переробці м'ясної сировини з отриманням гетерогенних харчових систем, які за своїм хімічним складом максимально наближені до натурального продукту. Це пов'язано з тим, що використання сичених виробів не є новим для харчової галузі, але на цей час вона не має достатнього розповсюдження як в нашій країні так і у світі.