

Ю. А. Митиков

# НАДДУВ БАКА РАКЕТЫ С РГ-1 ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМ ГАЗОМ

*Проведены исследования высокотемпературной генераторной системы наддува бака ракеты-носителя с РГ-1. Предложены оптимальные режимы.*

**Ключевые слова:** генераторная система наддува, бак с РГ-1.

## 1. Введение

Исследование посвящено изысканию новых высокоэффективных систем наддува (СН) баков с РГ-1 двигательных установок (ДУ) ракет-носителей (РН), использующих самый распространенный окислитель — жидкий кислород. СН являются важной и своеобразной составляющей космического комплекса [1]. Они во многом определяют конструктивную сложность не только самой РН (следовательно, и ее стоимость и надежность), а, что не менее важно, еще и космодрома с испытательной базой [2].

В настоящее время все больше стран стремятся оказывать пусковые услуги. Конкуренция в этой области техники далее будет только возрастать, и побеждать в ней будет тот, кто обеспечит меньшую стоимость вывода 1 кг полезной нагрузки на опорную орбиту с требуемой надежностью.

## 2. Постановка проблемы

Если для баков с кислородом РН известны простые автономные (не использующие ресурсов старта) испарительные [3] и политропные СН [4], то для баков с РГ-1 применяются сложные, тяжелые гелиевые газобаллонные СН [5, 6]. Целью исследования — внедрение в практику ракетостроения конструктивно простых, эффективных высокотемпературных газогенераторных (на основных компонентах топлива) СН, которые блестяще себя зарекомендовали на МБР (компоненты топлива АТ и НДМГ) СССР. Применение таких СН на космических РН позволило бы существенно упростить конструкции ракеты, стартовой позиции и испытательной базы, снизить стоимость запуска спутника при повышении надежности. Основная проблема, препятствующая внедрению генераторных СН баков с РГ-1, — наличие большого процента сажи в продуктах сгорания (ПС) при освоенных в этих системах температурах (до 850 °С) [7], которая может забить внутрибачковые устройства, фильтры, форсунки.

## 3. Основная часть

**3.1. Анализ литературных источников по теме исследования.** При наддуве бака генераторным газом

внутри его происходят крайне сложные процессы, которые надо представлять и описывать для проведения расчетов параметров СН. В начале наддува струя газа внедряется в поверхность топлива. В зоне внедрения (каверна) происходят интенсивные тепло-массообменные процессы. При однорежимных газоводах происходит резкое падение давления газа в баке [8]. Оптимизации условий ввода газа наддува в баки посвящена работа [9]. Определению геометрических размеров каверны, систематизации данных по режимам взаимодействия и величинам определяющих скоростей посвящена работа [10]. В исследовании [11] даны рекомендации по расчету скорости газа наддува по высоте бака (дальности струи) при неизотермичности более 3 с учетом осевой перегрузки. В работе [12] показано, что для баков большого удлинения (больше 1,5) существенную роль на распространение струи начинает играть стесняющее действие конструкции бака. В исследовании [13] отражена роль предпускового наддува в исходном состоянии системы на момент старта носителя. Работы [14] обобщают указанные исследования в виде методики расчета параметров СН.

**3.2. Результаты исследований.** Термодинамические расчеты показывают, что максимальное значение газовой постоянной ПС ~ 530 Дж/кг · град наблюдается при температуре в газогенераторе ~ 1770 К (рис. 1). Отклонение от этой температуры в любую сторону приводит к падению газовой постоянной.

При наддуве бака с такой температурой ПС на входе температура их внутри бака по известным причинам заметно меньше. Как видно из рис. 2, где приведены результаты равновесного охлаждения

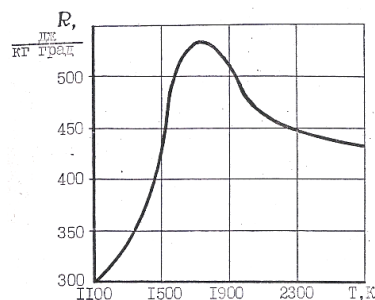


Рис. 1. Зависимость газовой постоянной R от температуры ПС

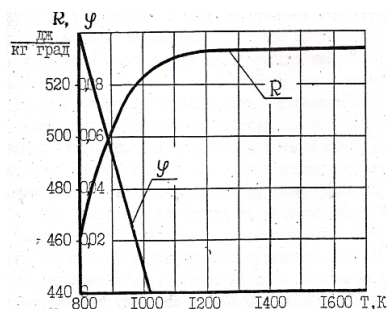


Рис. 2. Равновесное охлаждение ПС:  
φ — массовая доля углерода

ПС, при температуре ниже 1100 К происходит рост доли углерода в ПС и снижение величины их газовой постоянной. Давление ПС влияния на ее величину практически не оказывает.

Рассмотрение кинетики химических реакций показывает, что реакции, приводящие к образованию сажи, происходят за  $\Delta t \sim 2,5$  с в температурном диапазоне 1100–670 К. Таким образом, задача получения «чистых» продуктов сгорания с максимально возможной работоспособностью сводится к быстрому ( $\Delta t \leq 1$  с) охлаждению ПС в баке. Эта задача вполне разрешима.

В настоящее время в СН достигнута температура продуктов сгорания  $\sim 1120$  К. Попытки использовать более горячий газ приводили к перегреву верхнего алюминиевого днища. Однако и эта проблема разрешима.

Сравнение результатов расчетов параметров предложенной нами генераторной СН и самой эффективной из применяемых на сегодняшний день сверххолодной гелиевой [15] (по методике [14]) I ступени РН показывает, что при прочих равных условиях выигрыш в массе полезной нагрузки составляет не менее 30 кг (для двухступенчатой РН среднего класса). Это открывает путь заметного упрощения схемы РН, ее стартовой позиции и испытательной базы.

**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. Митиков Ю. А. Пути повышения надежности и безопасности эксплуатации ракетных комплексов [Текст] / Ю. А. Митиков, В. А. Антонов, М. Л. Волошин, А. И. Логвиненко // Авиационно-космическая техника и технология. — 2012. — № 3(90). — С. 30–36.
3. Митиков Ю. А. Возможности наддува бака с РГ-1 жидким кислородом [Текст] / Ю. А. Митиков, А. Ю. Загаевский // Проблемы высокотемпературной техники. — 2012. — № 1. — С. 87–92.
4. Митиков Ю. А. Определение уровня кипящего топлива в баке ракеты-носителя [Текст] / Ю. А. Митиков // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. — 2012. — № 2(54). — С. 44–48.
5. Мітіков Ю. О. Надходне польотне наддування баків з вуглеводневим паливом ракет-носів [Текст] / Ю. О. Мі-

6. Митиков Ю. А. Совершенствование газобаллонной системы полетного наддува [Текст] / Ю. А. Митиков, А. И. Артамонов // Вісник НТУ «ХПІ». — 2012. — № 26. — С. 16–21.
7. Галась М. И. Системы основного наддува топливных баков ракет с углеводородным топливом типа керосин. Автономная обработка [Текст]: уч. пособ. / М. И. Галась, Ю. А. Митиков. — Д.: ГKB «Южное», ДГУ, 1990. — 37 с.
8. Мітіков Ю. О. Рекомендації по проектуванню газоводів баків великого подовження [Текст] / Ю. А. Митиков, М. В. Поляков // Збірник наукових праць ХУПС. — 2012. — Вип. № 2(31). — С. 130–135.
9. Митиков Ю. А. Оптимизация скорости ввода горячего гелия в бак с кислородом [Текст] / Ю. А. Митиков, С. А. Куда // Вісник НТУ «ХПІ». — 2012. — № 34. — С. 9–16.
10. Митиков Ю. А. К вопросу определения диаметра кратера при взаимодействии струи газа с жидкой фазой [Текст] / Ю. А. Митиков, Л. В. Пронь // Известия ВУЗов. Черная металлургия. — 1981. — № 3. — С. 45–47.
11. Митиков Ю. А. Расчет параметров неизотермической струи в баке [Текст] / Ю. А. Митиков, В. А. Мосейко // В кн.: Рабочие процессы в двигателях. Тем. сб. науч. тр. МАИ. — 1980. — С. 51–52.
12. Митиков Ю. А. Определение коэффициентов стеснения неизотермических турбулентных струй [Текст] / Ю. А. Митиков, С. А. Куда // Проектирование сложных технических систем. Сб. н. тр. ИТМ АН УССР. — 1989. — С. 153–155.
13. Митиков Ю. А. Системное проектирование предпускового наддува баков с кислородом [Текст] / Ю. А. Митиков // Системные технологии. — 2012. — № 1(78). — С. 152–157.
14. Митиков Ю. А. Расчетно-экспериментальное исследование системы сверх холодного наддува [Текст] / Ю. А. Митиков // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. — 2012. — т. XIII. — С. 61–69.
15. Способ наддува топливного бака [Текст]: пат. 51806 Украина: МПК В64D 37/24 / Шевченко Б. А., Митиков Ю. А., Логвиненко А. И. — № 2000031474; заявл. 15.03.00; опубл. 16.02.02.

**НАДДУВАННЯ БАКУ РАКЕТІ З РГ-1 ВІДНОВНЮВАЛЬНИМ ГАЗОМ**

**Ю. О. Мітіков**

Проведено дослідження високотемпературної генераторної системи наддуву бака ракети-носія з РГ-1. Запропоновано оптимальні режими роботи.

**Ключові слова:** генераторна система наддуву, бак з РГ-1.

*Юрій Олексійович Мітіков, завідувач кафедру двигунобудування Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара, кандидат технічних наук, доцент, тел.: (067) 565-00-05, e-mail: mitikov@yandex.ru.*

**TANK PRESSURIZATION ROCKETS WITH RP-1 REDUCING GAS**

**Y. Mitikov**

The study of high-generator pressurization system booster tank with RP-1 was done. Optimum operating conditions are given.

**Keywords:** generator pressurization system, the tank with RP-1.

*Yuri Mitikov, head of the Department of engine Oless Gonchar Dnipropetrovsk National University, Ph. D., Associate Professor, mel.: +38 067 565-00-05, e-mail: mitikov@yandex.ru.*