

УДК 629.1

М. П. САЛО¹, Г. М. ИВАНИЦКИЙ¹, А. Г. НАЛЕТА¹, А. В. СИЧЕВОЙ²¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»² Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара, Украина

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВА ДЛЯ ЖРД КОСМИЧЕСКИХ СТУПЕНЕЙ

Приведены некоторые факторы ухудшения эксплуатационных характеристик топлив, обусловленные растворенным в нем газом. Предложен способ локализации образования свободных газовых включений. Отмечено, что среди наиболее распространенных методов его достижения является топливоподготовка – принудительное газовое кипение под вакуумом. В качестве альтернативы рассмотрен простой технологический способ – замещение азота гелием, что снижает возможную несплошность топлива при работе ЖРД. Метод позволяет объединить ряд операций. Выработаны рекомендации по конструктивной схеме барботажных коллекторов установки топливоподготовки. Рассматриваемая технология позволит исключить вакуум-насосы, упростить систему заправки, а соответственно снизить и ее стоимость.

Ключевые слова: газосодержание, топливоподготовка, барботаж, десорбция, сорбция, коэффициент массообмена, азот, гелий, пузыри, отверстия в барботажных коллекторах.

Введение

Высокие тяговые характеристики и надежность работы двигательных установок космических ступеней (ДУ КС) в значительной мере зависят от качества применяемых компонентов жидкого ракетного топлива (КЖРТ).

Одним из таких параметров является род и количество растворенного газа в топливе. При несоответствии предельных концентраций заданным требованиям эксплуатационные и энергетические характеристики топлив существенно ухудшаются, что впоследствии может оказать негативное влияние на работоспособность ступени.

Особо актуален этот вопрос для ДУ КС с многократным включением жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), в которых могут реализоваться условия для выделения растворенного газа и образования двухфазных потоков. Например [1], наличие 1% свободных газовых включений в топливе снижает коэффициент быстроходности насоса на 13%, а их увеличение до 3...5% приводит к срыву устойчивости работы насосов, неустойчивости рабочего процесса в двигателе, забросам давления в камере сгорания и другим неисправностям.

Таким образом, для нормальных условий функционирования ДУ КС предельные концентрации растворенных газов в топливах строго регламентируются.

В условиях производства, хранения и транспортирования ракетные топлива: азотный тетраоксид (АТ), несимметричный диметилгидразин

(НДМГ) содержат растворенный газ – азот [2-4], количество которого определяется условиями эксплуатации и может колебаться в пределах от 0,18 до 0,31 кг/м³.

Эти уровни газосодержания, как правило, оказываются непригодными для ДУ КС с многократным включением ЖРД. Для ступеней, эксплуатирующихся в условиях, близких к невесомости, значение остаточной концентрации растворенного азота составляет менее 0,04 кг/м³. Помимо этого предъявляются требования по исходному газонасыщению гелием, концентрация которого колеблется в пределах от 0,0035 до 0,006 кг/м³ [5].

В работе [6] показано, что применение компонентов топлива имеющих такое сочетание растворенных газов существенно снижает возможность образования свободных газовых включений, а также позволяет понизить минимально-необходимые давления на входе в двигатель.

Подтверждение нормальных условий работы ДУ КС в части отсутствия свободных газовых включений связано с определением характеристик массообменных процессов растворения – выделения газов насыщения в топливных баках и расходных магистралях.

Определение этих характеристик в земных условиях требует соответствующего стендового оснащения и большого объема специальных экспериментальных работ.

Альтернативным решением является топливоподготовка, представляющая комплекс мероприятий в системах заправки ракет-носителей, направленный

на достижение требуемых параметров топлива перед заправкой.

1. Методы подготовки топлив

В мировой практике для решения данной задачи применяется ряд технологических методов, позволяющих дегазировать либо насытить КЖРТ газами. На рис. 1 представлены наиболее распространенные методы подготовки топлив по данным [7].



Рис. 1. Методы подготовки топлив

Среди приведенных методов наиболее широкое распространение получил метод принудительного газового кипения под вакуумом с последующим гелированием топлива в малогабаритных емкостях объемом до 5 м^3 . Ограничения, накладываемые на такие объемы емкостей, определяются, с одной стороны, количеством заправляемого топлива, а с другой – производительностью вакуум-насосов [5].

На современном этапе возникла задача глубокого дегазирования больших масс топлива ($\sim 16\text{ м}^3$) в крупногабаритных емкостях. В рассматриваемом случае в связи с большим объемом подготавливаемого топлива и большой стоимостью вакуум-насосов необходимой производительности ($\approx 500\ 000\$$), вакуумирование нерационально, что создает определенные трудности в методических подходах к обеспечению дегазирования и определению требований параметров конструкции барботажных систем.

2. Замещение азота гелием

Применительно к оперативным задачам топливopодготовки, с учетом имеющейся тенденции к пускам ракет-носителей из экваториальной зоны (Морской старт, Куру, Алкантара) с постоянно высоким уровнем температуры окружающей среды, необходима разработка новых высокоэффективных

технологий, совмещающих интенсивность десорбции газов из топлива и сорбции с минимальными потерями рабочего тела (топлива, сжатых газов).

В этих условиях представляется наиболее перспективным замещение легкорастворимого газа азота труднорастворимым гелием путем барботажа при поддержании минимально возможного давления гелия в свободном объеме емкости. С целью исключения парового кипения при барботаже АТ с температурой более плюс 20°C рекомендуется регулировать давление путем сброса и наддува по линии от p_s до $p_s + p_i$ (p_s – давление насыщенных паров топлива МПа (рис. 2), p_i – парциальное давление газа в свободном объеме емкости, МПа). При температуре менее либо равно плюс 20°C регулирование сводится к поддержанию давления от $p_{\text{атм}}$ до $p_{\text{атм}} + p_i$ ($p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, МПа), то же рекомендуется и для НДМГ в любом диапазоне температур (за счет пониженного давления насыщенных паров).

p_s , МПа

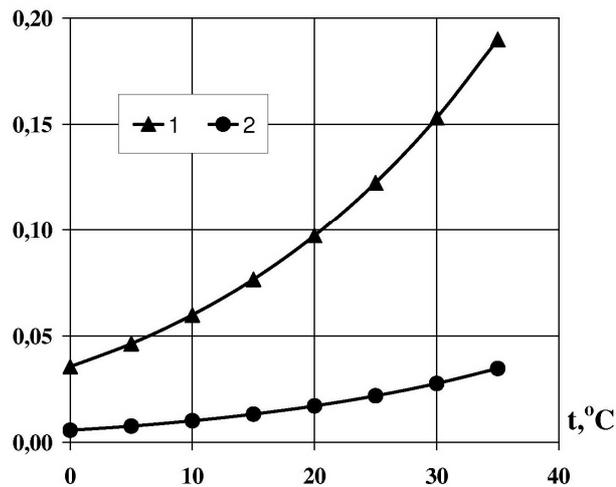


Рис. 2. Изменение давления насыщенных паров в зависимости от температуры:
1 – АТ; 2 – НДМГ

Рассмотрим массообмен в емкости при дегазировании/насыщении КЖРТ методом барботажа. Емкость содержит топливо, насыщенное растворенным газом в соответствии с законом Генри: $C_0 = \chi(T) \cdot p_i$ и находится в равновесии с газовой подушкой.

Изменение текущей концентрации растворенного газа в жидкости может быть определено из баланса масс [8, 9]:

$$\frac{dm_i}{d\tau} = -V_{\text{ж}} \cdot \frac{dC}{d\tau}, \quad (1)$$

$$\frac{dm_i}{d\tau} = \beta \cdot \sum F \cdot (C_\tau - \chi(T) \cdot p_i), \quad (2)$$

где $\sum F$ – суммарная поверхность массообмена всплывающих пузырей $F_{\text{пуз}}$ и зеркала жидкости $F_{\text{зер}}$;

β – коэффициент массообмена;

T – температура жидкости;

$V_{\text{ж}}$ – объем жидкости;

$\chi(T)$ – коэффициент растворимости (Генри) газа.

После преобразований уравнений (1) и (2), для случая десорбции газов получим:

$$C_\tau = \chi(T) \cdot p_i + (C_0 - \chi(T) \cdot p_i) \cdot e^{-\frac{\beta \cdot \sum F \cdot \tau}{V_{\text{ж}}}}. \quad (3)$$

Для случая сорбции газов, когда:

$$C_\tau = \chi(T) \cdot p_i - (\chi(T) \cdot p_i - C_0) \cdot e^{-\frac{\beta \cdot \sum F \cdot \tau}{V_{\text{ж}}}}. \quad (4)$$

Граничными условиями для уравнений (3), (4) являются $\tau = 0$; $C_{\tau_0} = C_0$; $\tau = \infty$;

$$C_{\tau_\infty} = C_k = \chi(T) \cdot p_i.$$

Таким образом, текущая концентрация растворенного газа при дегазировании и насыщении зависит от комплекса $\beta \cdot \sum F / V_{\text{ж}}$, характеризующего условия массообмена [10]. С увеличением поверхности массообмена $\sum F$ и величины коэффициента массообмена β эффективность процесса возрастает.

Зависимости (3), (4) традиционны в части использования комплекса $\beta \cdot \sum F$, обоснование которого для разноразмерных систем сложно, а область применения существенно ограничивает моделирующие параметры и режимы проведения барботажа.

При анализе работы барботажных установок, используется понятие удельной межфазной поверхности ($F_{\text{уд}}$), представляющей отношение суммарной поверхности газовых пузырей к объему жидкости, в котором они находятся $F_{\text{уд}} = F_{\text{пуз}} / V_{\text{ж}}$ ($\text{м}^2/\text{м}^3$).

Для расчета $F_{\text{уд}}$ может быть использовано уравнение [11]:

$$F_{\text{уд}} = \frac{6 \cdot \varphi_{\Gamma}}{d_{\text{пуз}}}, \quad (5)$$

где φ_{Γ} – газосодержания в слое жидкости;

$d_{\text{пуз}}$ – диаметр всплывающих пузырьков.

Однако уравнение (5) справедливо для газожидкостной смеси, содержащей однородные пузырьки.

Учитывая, что структура барботажного слоя характеризуется полидисперсностью размеров газовых пузырьков, поэтому для известных диаметров пузырьков $D_{\text{кр}}$ и $d_{\text{ср}}$ среднее значение диаметра $D_{\text{ср}}$, при нормально-логарифмическом законе распределения, может быть определено по формуле [1, 12]:

$$D_{\text{ср}} = \sqrt{D_{\text{кр}} \cdot d_{\text{ср}}}, \quad (6)$$

где $D_{\text{кр}}$ – критический диаметр пузырька, при котором наступает его дробление;

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр устойчивого пузырька в двухфазном слое.

В работе [13] предложена зависимость для расчета газосодержания в слое жидкости при $\varphi_{\Gamma} \leq 0,7$, обобщающая опытные данные многих исследований:

$$\varphi_{\Gamma} = 0,4 \cdot \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,15} \cdot \left(v_{\Gamma} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\sigma_{\text{ж}} \cdot g}} \right)^{0,68}, \quad (7)$$

где ρ_{Γ} – плотность барботируемого газа;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости;

$\sigma_{\text{ж}}$ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

g – ускорение свободного падения;

v_{Γ} – приведенная скорость газа.

Как видно из зависимости (7) большинство входящих в неё параметров определяются физико-химическими свойствами топлива. Исключение составляет приведенная скорость барботируемого газа v_{Γ} , которая зависит от его расхода, геометрических параметров емкости и способа её установки. Приведенная скорость газа определится как:

$$v_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot F_{\text{ем}}} = \frac{V_{\Gamma}}{F_{\text{ем}}}, \quad (8)$$

где G_{Γ} , V_{Γ} – весовой и объемный расход газа;

$F_{\text{ем}}$ – площадь горизонтального сечения емкости.

Коэффициент массообмена β для процесса барботажа может быть определен на основе критерия Маргулиса [14]:

$$Ma = \frac{\beta}{v_{\Gamma}}. \quad (8)$$

Численное значение критерия позволяет классифицировать газы по их растворимости в жидкости. Значение $Ma > 0,5$ характеризует хорошо растворимые газы. Для среднерастворимых газов $Ma = 0,05 \dots 0,5$ и для плохорастворимых $Ma < 0,05$.

В общем случае, с химической точки зрения, в данной жидкости хорошо растворим газ, имеющий сродство с данной жидкостью.

О растворимости газа в топливе можно судить по безразмерной величине θ , равной [15]:

$$\theta = \frac{\chi(T) \cdot R \cdot T}{M}, \quad (9)$$

где R – универсальная газовая постоянная;

M – молекулярный вес газа.

С учетом преобразований коэффициент массообмена определится как:

$$\beta = v_r \cdot \frac{\chi(T) \cdot R \cdot T}{M}. \quad (10)$$

Растворенный в топливе азот относится к ряду среднерастворимых газов, а гелий – к труднорастворимым, что объясняется отличием в коэффициентах растворимости. Так, например, коэффициенты растворимости газов $\chi(T)$ в АТ при температуре плюс 20°C составляют [1] по азоту $0,284$ г/л·ата, по гелию – $0,0097$ г/л·ата.

Анализируя зависимости (5) и (10) можно сделать вывод, что комплекс $\beta \cdot \Sigma F / V_{\text{ж}}$ представляет собой истинный объем барботируемого газа (в виде пузырей) в топливе на заданном уровне парциального давления в свободном объеме с учетом влияния гидростатики. При этом основополагающим фактором, влияющим на кинетику массообмена, является расход барботируемого газа. С увеличением его расхода следует ожидать сокращения времени на топливоподготовку и, наоборот, с уменьшением расхода газа время будет возрастать.

Для устранения технологической неравновесности, возникающей за счет неполного охвата объема устройства потоком газовых пузырей, необходимо обеспечить перекрытие соседних потоков барботируемого газа [9]. С целью реализации данного требования, соседние отверстия барботажных коллекторов необходимо располагать таким образом, чтобы области захвата газовых факелов перекрывались.

Согласно [16, 17] истекающая из отверстия осесимметричная затопленная струя характеризуется углом расширения (α) равным $\sim 24^\circ$. Радиус газожидкостного факела выходящего на поверхность определяется как:

$$R_{\text{СТР}} = \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \cdot H_{\text{КРТ}}, \quad (11)$$

где $H_{\text{КРТ}}$ – высота уровня топлива.

Расчетные значения радиуса выходящей на поверхность струи, для характерного диапазона $H_{\text{КРТ}} = 1,5 \div 2,5$ м составляют $0,3$ и $0,5$ м соответственно. Расстояние между соседними отверстиями в барботажных коллекторах, с учетом перекрытия газовых факелов, составит $0,4 \div 0,8$ м.

Из приведенного следует, что с увеличением высоты уровня топлива, также необходимо увеличивать расстояние между отверстиями барботажных коллекторов.

При барботаже в нижней половине емкости целесообразно устанавливать параллельные барботажные трубопроводы образующие сетчатую структуру с равными сторонами от $0,4$ до $0,8$ м.

3. Расчетный анализ

В практике топливоподготовки для определения расхода газа на барботаже используется критерий расходонапряженности – $G_r / V_{\text{ж}}$ г/(м³·с), представляющий отношение весового расхода барботажного газа к одному кубическому метру жидкости.

Рекомендуемый максимальный предел расходонапряженности по гелию составляет $\sim 0,2$ г/(м³·с), а нижний – $0,044$ г/(м³·с) [18]. Таким образом, можно принять диапазон изменения расходонапряженности от $0,044$ до $0,2$ г/(м³·с).

Расчетное значение кинетики удаления азота, по зависимости (3), для барботажа топлива гелием, через сеть перфорированных трубопроводов расположенных вдоль нижней образующей горизонтально установленной цилиндрической емкости диаметром $d_{\text{емк}} = 2,2$ м, объемом $V_{\text{емк}} = 20$ м³ со степенью заполнения $0,8$, расходонапряженностью гелия $0,09$ г/(м³·с) и исходной концентрацией азота, $C_0 = 0,31$ кг/м³ для АТ и $C_0 = 0,18$ кг/м³ для НДМГ, отражено на рис. 3 и 4.

В соответствие с представлением о механизме переноса вещества направление массообмена (из фазы к границе раздела или в обратном направлении) не влияет на коэффициент массообмена. Поэтому можно ожидать, что коэффициенты массообмена при сорбции и десорбции будут одинаковыми [19]. Другими словами одновременно с процессом десорбции азота при барботаже происходит сорбция компонентами топлива гелия – топливо насыщается до определенной концентрации.

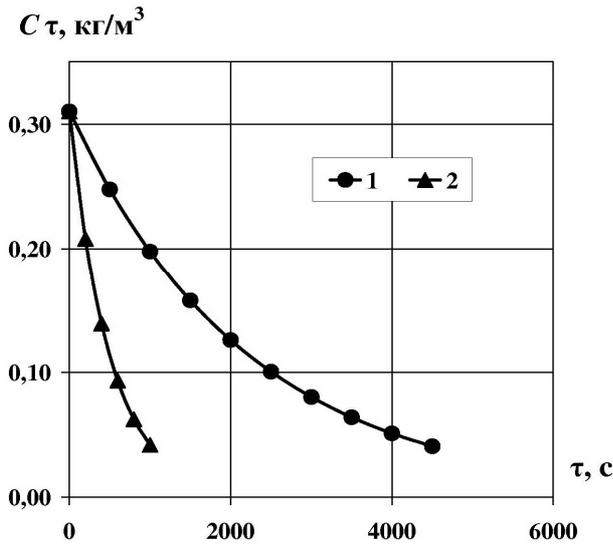


Рис. 3. Расчетное изменение концентрации азота в АТ в зависимости от температуры: 1 – 1°C (p_{атм}+0,2); 2 – 35°C (p_с+0,2)

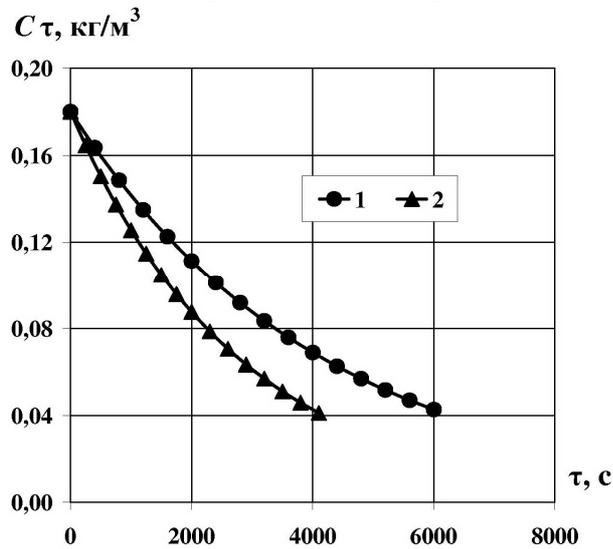
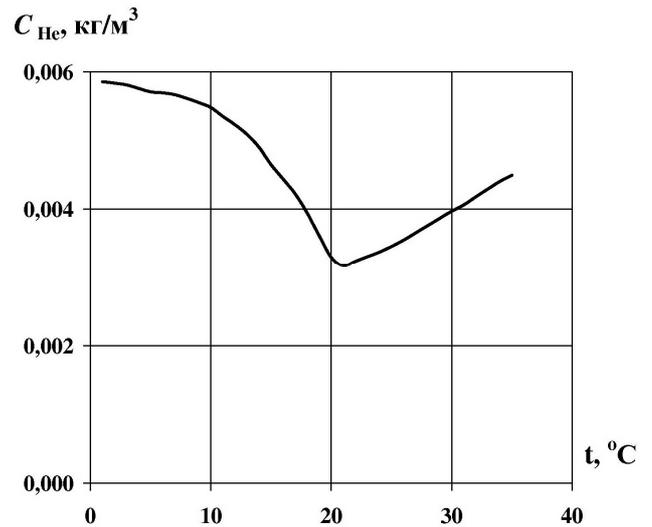
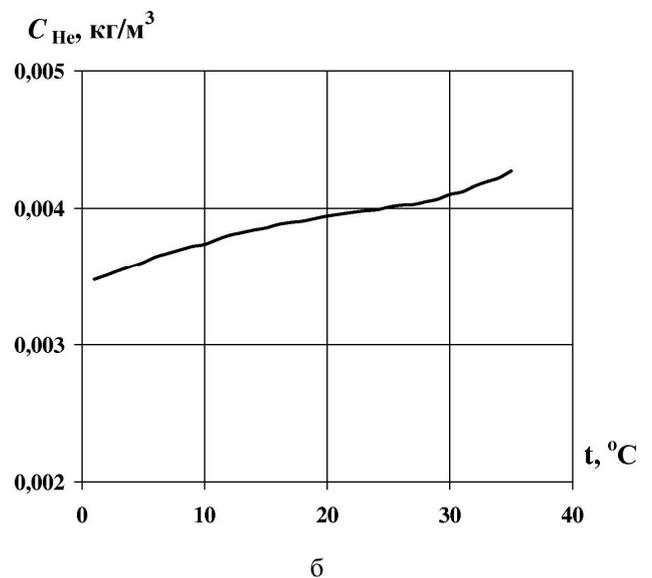


Рис. 4. Расчетное изменение концентрации азота в НДМГ в зависимости от температуры: 1 – 1°C (p_{атм}+0,2); 2 – 35°C (p_{атм}+0,2)

Как известно, интенсивность растворения барботируемого газа пропорциональна его коэффициенту растворимости (Генри) для конкретной жидкости и он тем больше, чем выше температура топлива, а согласно закону Генри, – концентрация газа в жидкости прямо пропорциональна парциальному давлению данного газа в свободном объеме емкости. Следовательно, поддерживая давления в процессе барботажа по приведенным рекомендациям, для обоих компонентов насыщение гелием при повышении температуры будет увеличиваться за счет роста параметра $\chi(T)$, а по АТ при $t \leq 20^\circ\text{C}$ – за счет роста парциального давления в свободном объеме емкости (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Изменение концентрации гелия в зависимости от температуры и режима поддержания давления при барботаже: а – АТ; б – НДМГ

Из анализа графиков можно сделать вывод, что для получения КЖРТ с требуемым газосодержанием, в части наиболее быстрого достижения минимальной остаточной концентрации азота, целесообразно проведение операции дегазирования при повышенных температурах более 20°C по азотному тетраоксиду (АТ) и 35°C по несимметричному диметилгидразину (НДМГ) соответственно. Данные температурные условия могут быть достигнуты без применения нагрева компонентов топлива в натуральных условиях космодромов, находящихся в экваториальной зоне, что значительно снизит стоимость системы заправки.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье разработана методика расчета замещения среднерастворимого газа – азота, труднорастворимым гелием путем барботажа, которая включает:

– расчет кинетики десорбции/сорбции растворенного газа в топливе;

– расчет удельной межфазной поверхности, представляющей соотношение суммарной поверхности газовых пузырей к объему жидкости;

– расчет изменения газосодержания в слое топлива.

Предложена упрощенная методика расчета коэффициента массообмена газа в топливе при барботаже, базирующаяся на классификации растворимости газов в топливе.

Выработаны рекомендации по конструктивной схеме барботажных коллекторов для установки топливоподготовки.

Применение предложенной технологии барботажа позволит, исключив вакуум-насосы, упростить систему заправки, а соответственно снизить и ее стоимость при фиксированном экономическом эффекте на каждый пуск ракеты-носителя.

Литература

1. Венгерский, Э. В. Гидродинамика двухфазных потоков в системах питания энергетических установок [Текст] / Э. В. Венгерский, В. А. Морозов, Г. Л. Усов. – М. : Машиностроение, 1982. – 128 с.

2. Мошкин, Е. К. Нестационарные режимы работы ЖРД [Текст] / Е. К. Мошкин. – М. : Машиностроение, 1970. – 336 с.

3. Лаурсабов, К. А. Летные испытания ЖРД [Текст] / К. А. Лаурсабов, Л. В. Пронь, А. В. Сердюк. – М. : Машиностроение, 1977. – 189 с.

4. Петров, В. И. Кавитация в высокооборотных лопастных насосах [Текст] / В. И. Петров, В. Ф. Чебаевский. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.

5. Сало, М. П. Методы подготовки топлив по газосодержанию и пути их совершенствования [Текст] / М. П. Сало, А. Г. Налета, Г. М. Иваницкий // Труды 6 Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. «Молодежь. Техника. Космос». – СПб. : БГТУ, 2014. – С. 37-38.

6. Обоснование мероприятий, обеспечивающих отсутствие газовых включений в РМ перед третьим включением МД 3 ступени [Текст] : техн. отчет. Циклон-4.21.13749.1230Т. – ГП «КБ «Южное», 1999. – 31 с.

7. Хлыбов, В. Ф. Основы устройства и эксплуатации заправочного оборудования [Текст] / В. Ф. Хлыбов. – М. : изд-во РВСН имени Петра Великого, 2003. – 248 с.

8. Ермашкевич, В. Н. Гидро- и термодинамика насосных систем энергоустановок на четырёхокиси азота [Текст] / В. Н. Ермашкевич ; под ред. Л. Л. Васильева. – Минск : Наука и техника, 1987. – 287 с.

9. Шлейфер, А. А. Перспективные технологии подготовки топлив с улучшенными эксплуатационными свойствами [Текст] / А. А. Шлейфер, А. Н. Литвинов. – Ульяновск, 1989. – 215 с.

10. Сало, М. П. Способ интенсификации тепло- и массообменных процессов при подготовке КРТ для верхних ступеней РН [Текст] / М. П. Сало, Г. М. Иваницкий // Вестник Днепропетровского университета. Ракетно-космическая техника. – 2008. – Вып. 12, Т. 2. – С. 130-140.

11. Соколов, В. Н. Газожидкостные реакторы. [Текст] / В. Н. Соколов, И. В. Доманский. – Л. : Машиностроение, 1976. – 216 с.

12. Полухин, Д. А. Отработка пневмогидросистем двигательных установок ракет-носителей и космических аппаратов с ЖРД [Текст] / Д. А. Полухин, В. М. Ореценко, В. А. Морозов. – М. : Машиностроение, 1987. – 248 с.

13. Кутателадзе, С. С. Гидравлика газожидкостных систем. [Текст] / С. С. Кутателадзе, М. А. Стырикович. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1958. – 232 с.

14. Пенный режим и пенные аппараты [Текст] / Э. Я. Тарат, И. П. Мухленов, А. Ф. Туболкин, Е. С. Тумаркина. – Л. : Химия, 1977. – 304 с.

15. Сало, М. П. Массообмен газа с топливом в баке верхней ступени при стоянке ракеты-носителя [Текст] / М. П. Сало, А. В. Сичевой // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки : зб. наук. праць. – Днепропетровск : Пороги, 2012. – Т. 14. – С. 58-70.

16. Лаптев, А. Г. Модели пограничного слоя и расчет теплообменных процессов [Текст] / А. Г. Лаптев. – Казань : изд-во Казанск. ун-та, 2007. – 500 с.

17. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика [Текст] : учеб. для вузов / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – М. : Стройиздат, 1987. – 414 с.

18. Брагинский, Л. Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод [Текст] / Л. Н. Брагинский, М. А. Евилевич, В. И. Бегачев. – Л. : Химия, 1980. – 144 с.

19. Рамм, В. М. Абсорбция газов [Текст] / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1974. – 656 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. С. Хорошилов, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепропетровск.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВА ДЛЯ ПРД КОСМІЧНИХ СТУПЕНІВ

М. П. Сало, Г. М. Іваницький, Г. Г. Налета, О. В. Січевий

Наведено деякі чинники погіршення експлуатаційних характеристик палив, які обумовлено розчинним газом. Запропоновано спосіб локалізації утворення вільних газових включень. Відзначено, що серед найбільш поширених методів його досягнення є паливopідготовка – примусове газове кипіння під вакуумом. Як альтернатива розглянуто простий технологічний спосіб – заміщення азоту гелієм, що знижує можливу несплошність палива при роботі ПРД. Метод дозволяє об'єднати ряд операцій. Вироблено рекомендації щодо конструктивної схеми барботажних колекторів установки паливopідготовки. Технологія дозволить, виключити вакуум-насоси, спростити систему заправки, а відповідно понизити і її вартість.

Ключові слова: газозміст, паливopідготовка, барботаж, десорбція, сорбція, коефіцієнт масообміну, азот, гелій, пупири, отвори в барботажних колекторах.

FUEL PERFORMANCE IMPROVEMENT METHOD OF LPS STAGES

M. P. Salo, G. M. Ivanitski, A. G. Nalota, A. V. Sichevoj

There were stated some aspects of fuel performance decreasing caused by the gas diluted in the fuel. A localization method of entrapped gas was also proposed. As it was pointed that the most wide spread method of localization is a propellant conditioning operation – forced vacuum gas boiling. As an alternative method there was suggested a simple technological method – nitrogen replacement by the helium. It allows to decrease the possible fuel imperfection during the LPS running and unite some operations. Provided recommendations regarding the construction arrangement of bubbling collectors in a conditioning unit. This technology will allow to eliminate the vacuum pumps, simplify the fuelling system, and so to reduce it's cost.

Key words: gas level, fuel conditioning, bubbling, desorption, sorption, mass exchange coefficient, nitrogen, helium, bubbles, bubbling collector openings.

Сало Максим Петрович – начальник сектора, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: salo.mp@mail.ru.

Іваницький Геннадій Михайлович – начальник отдела, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Налета Анна Григорьевна – инженер-конструктор 3 категории, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Січевий Алексей Владимирович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой, Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара, Днепропетровск, Украина, e-mail: asi@ua.fm.