

УДК 621.5.09

И. И. ПЕТУХОВ¹, В. В. СЫРЫЙ², Ю. В. ШАХОВ¹¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*² *Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева*

СТРУЙНАЯ СИСТЕМА ОСУШЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ КЕРОСИНА

В настоящее углеводородное ракетное горючее РГ-1/нафтил является самым распространенным некриогенным компонентом ракетного топлива, характеризующимся при этом простотой в использовании и относительно низким уровнем загрязняющего воздействия на окружающую среду. Повышение эффективности использования керосина в последнее время обеспечивается путем осушения его заправки в топливные баки в охлажденном состоянии, однако при этом возникает опасность выпадения в виде кристаллов растворенной в керосине воды. Поскольку в ходе производства влагосодержание керосина не регламентируется, то обезвоживание должно производиться непосредственно перед заправкой. Рассмотрены используемые в настоящее время способы удаления растворенной воды из керосина. Выполнен анализ возможности использования струйного газожидкостного насоса для охлаждения и обезвоживания ракетного горючего типа РГ-1 и нафтил в ходе заправки бака горючего космической ракеты-носителя.

Ключевые слова: *струйный газожидкостный насос, РГ-1, нафтил, обезвоживание, охлаждение*

Введение

Процесс подготовки к старту космической ракеты носителя предполагает проведение на технических и стартовых позициях наземных комплексов ряда подготовительных операций по обеспечению соответствия ряда параметров компонентов жидкого ракетного топлива предъявляемым к ним требованиям, в том числе по температуре и влагосодержанию. Температурная подготовка компонентов ракетного топлива является одной из наиболее энергоемких и длительных операций, поэтому необходимо определение рациональных технологий и режимов охлаждения компонентов топлив уже на стадиях проектирования заправочного оборудования наземных комплексов.

Углеводородное ракетное горючее РГ-1/нафтил в настоящее время является наиболее распространенным компонентом ракетного топлива, используемым в первых ступенях ракет-носителей Atlas V, Falcon 9, Antares (США), семейства ракет "Союз" и "Ангара" (Российская Федерация), "Зенит 2" и "Зенит 3" (Украина). Преимуществом этого компонента является дешевизна, простота использования и относительно высокая экологическая безопасность.

В соответствии с существующей технологией для повышения плотности углеводородного горючего производится его охлаждение перед заправкой в топливные баки до температуры -28...-30°C. Важным показателем качества охлажденного углеводородного горючего является также обеспечение его прокачиваемости через фильтры заправочных и

бортовых топливных систем, что в свою очередь требует снижения содержания в горючем свободной и растворенной воды до значений не более 0,0004% по массе перед заправкой в топливные баки изделий, так как основной причиной ухудшения прокачиваемости топлива является засорение фильтров заправочных и бортовых систем кристаллами льда.

Поскольку содержание растворенной в горючем воды не регламентировано, при производстве горючего его обезвоживание не проводится. Поэтому задача обезвоживания горючего должна решаться технологиями его подготовки исключительно средствами наземной инфраструктуры космодромов.

Целью данной работы является разработка эффективной системы обезвоживания и охлаждения РГ-1/нафтила в ходе процесса заправки компонента ракетного топлива в баки космических ракет-носителей [1–6].

Основная часть

В настоящее время температурная подготовка ракетного горючего РГ-1/нафтил производится в емкостях наземных стартовых комплексов осуществляется с помощью теплообменников, расположенных во внутреннем пространстве емкостей и использующих в качестве охлаждающих сред охлажденного воздуха, жидких теплоносителей (антифризов) или кипящего жидкого азота.

Особенности эксплуатации наземных стартовых комплексов космических ракет-носителей на-

кладывает ряд ограничений, связанных с периодичностью и кратковременностью использования оборудования при необходимости работы с большими объемами топлив. Использование пароконденсационных или воздушных холодильных машин большой мощности в качестве источника холода становится экономически невыгодным ввиду большой стоимости оборудования. К тому же большой объем охлаждаемого компонента ракетного топлива определяет значительную продолжительность предстартовой подготовки компонента.

Использование для охлаждения горючего систем, использующих хладоресурс кипящего жидкого азота, представляет большой интерес, поскольку жидкий азот является побочным продуктом при получении жидкого кислорода, являющегося окислителем в топливной паре с углеводородным горючим, на кислородно-азотных заводах космодромов в районе размещения космических стартовых комплексов. Охлаждение производится либо во внешних теплообменниках. При этом одновременно решается задача обезвоживания горючего путем установки специальных сепарирующих фильтров в контуре циркуляции горючего.

Особенности систем охлаждения горючего на основе использования кипящего жидкого азота связаны с необходимостью предотвращения замерзания горючего на теплообменных поверхностях при температурах начала кристаллизации горючего 213 К и кипении азота в теплообменнике в диапазоне температур 77...83 К. Достигается это за счет обеспечения режима теплоотдачи в теплообменнике со стороны горючего, не допускающего обмерзания, что может представлять определенные трудности.

Для обезвоживания керосина используют также метод вакуумной дегидратации, пропускают топливо через полупроницаемые мембраны и электростатическое поле. Но наиболее приемлем в аэрокосмической технике метод осушения керосина путем десорбции воды газом, например воздухом или азотом. Возможность его использования объясняется тем, что при фазовом равновесии концентрация воды в парах раствора значительно выше, чем в его жидкой фазе. При этом одновременно решается вопрос охлаждения углеводородного горючего за счет хладоресурса подаваемого воздуха или азота.

Скорость обезвоживания керосина таким методом определяется удельной (на единицу массы топлива) площадью межфазной поверхности, составом и относительной скоростью парогазовой фазы, интенсивностью диффузии молекул воды в парогазовой и жидкой фазах, наличием в последней конвективных токов. Именно эти факторы обусловили то, что при барботаже керосина воздухом скорость обезвоживания в 4...8 раз выше, чем при продувке

воздуха через надтопливное пространство емкости [7].

Барботажа обеспечивает сравнительно небольшую интенсивность массообмена, так как мала скорость обновления среды на межфазной границе из-за невысокой скорости всплытия пузырей [8]. Вследствие больших диаметров образующихся пузырей недостаточна удельная площадь межфазной поверхности. Кроме того не используется располагаемая работа газа, который, как правило, отбирается за компрессором и дросселируется перед подачей в барботер.

Устранить эти недостатки позволяет использование струйного газожидкостного насоса (СГЖН) [9]. Осушаемый керосин с небольшой скоростью подается на вход смесителя 1 (рис. 1). Туда же подается газ. В смесителе, а затем на входном участке сопла 2 за счет аэродинамических сил происходит интенсивное дробление жидкости до диаметров капель 40... 120 мкм, что обеспечивает развитую межфазную поверхность. В процессе дальнейшего расширения смеси при высокой относительной скорости газа (5...10 м/с и выше) происходит интенсивный тепломассообмен между фазами, в том числе и абсорбция воды газом, увеличивается скорость жидкости. В сепараторе 3 высокоскоростной поток разделяется на фазы. Парогазовая смесь отводится через патрубок. Жидкость восстанавливает своё давление в диффузоре 4.

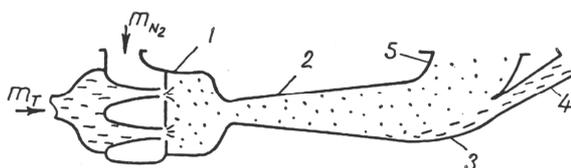


Рис. 1. Струйный газожидкостный насос (СГЖН)

Давление жидкости за диффузором превышает входное на 0,2...1,2 МПа и более в зависимости от режимных параметров. Это обеспечивает условия для многократной циркуляции жидкости в СГЖН. Парогазовая смесь после патрубка 5 может использоваться для барботажа. Все это позволяет значительно интенсифицировать процесс осушения керосина, уменьшить затраты газа. Кроме того, при подаче холодного или сжиженного газа в такой схеме реализуется процесс охлаждения керосина вплоть до температур начала его загустевания.

Схема системы осушения-охлаждения керосина при заправке бака горючего ракеты-носителя изображена на рис. 2. Запас жидкого азота находится в емкости 1. Давление в емкости 1 обеспечивается путем надува газообразным азотом, получаемым из жидкого путем газификации в теплообменнике-

испарителе 2. Жидкий азот под давлением направляется в смеситель СГЖН. Керосин из расходной емкости 4 с помощью центробежного насоса 5 также подается на вход в смеситель 1 СГЖН (см. рис. 1). Полученный на выходе из диффузора СГЖН охлажденный поток углеводородного горючего с пониженным влагосодержанием направляется на заправку в баки горючего космической ракеты-носителя. Из парового патрубка СГЖН также отводится двухфазный поток, жидкую фазу которого образуют мелкие капли керосина, уносимые вместе парогазовой смесью после сепарации в поверхностном сепараторе СГЖН. При давлении на срезе сопла СГЖН выше атмосферного парогазожидкостный поток направляется в сепаратор циклонного типа 8. Отсепарированный керосин возвращается на вход в насос 5, тогда как смесь водяных паров и азота сбрасывается в дренаж.

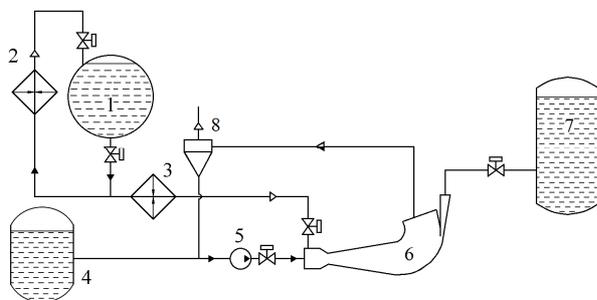


Рис. 2. Схема системы осушения-охлаждения керосина: 1 – емкость с жидким азотом; 2 – теплообменник системы наддува емкости жидкого азота; 3 – теплообменник-испаритель; 4 – расходная емкость с керосином; 5 – центробежный насос; 6 – струйный газожидкостный насос; 7 – бак горючего ракеты-носителя

Преимуществом предложенной схемы является возможность регулирования степени охлаждения керосина за счет изменения температуры газообразного азота на входе в смеситель.

Модель расчета рабочего процесса СГЖН принципиально не отличалась от используемой в [9]. Для расчета сопла применялась двухскоростная двухтемпературная модель газожидкостного потока капельной структуры [10-12]. В сепараторе учитывались потери на трение и неупругий удар при осаждении капель. Для диффузора кроме гидравлических рассматривались также потери в прямом скачке уплотнения. При расчете сепарации авторами учтено отклонение капель керосина от прямолинейных траекторий [10].

Модель расчета сопла дополнена механизмом массообмена. Параметры паровой и жидкой фаз бинарного раствора керосин-вода на поверхности раз-

дела соответствовали состоянию насыщения. При этом свойства керосина и воды в жидкой фазе описывались соответственно законами Рауля и Генри, парогазовая фаза рассматривалась как идеально-газовая смесь [5]. Коэффициент Генри вычислялся на основе опытных данных [3, 4 и др.] о растворимости воды в керосине при различных температурах и влажности воздуха. Ввиду малой концентрации воды в керосине теплота парообразования, поверхностное натяжение, вязкость, теплопроводность и ряд других свойств жидкой фазы рассчитывались без ее учета.

Вследствие высокой относительной скорости парогазовой смеси обезвоживание керосина в сопле СГЖН лимитируется концентрационной диффузией воды в капле. Ее интенсивность определяется коэффициентом D , величина которого, рассчитанная на основе [6] (нижняя оценка), составляет $10^9 \text{ м}^2/\text{с}$, верхняя - $6 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ [4], а определяемая при барботаже с учетом возможных конвективных токов в жидкой фазе доходит до $10^6 \text{ м}^2/\text{с}$. Влияние этого фактора и диаметра капли d показано на рис. 3.

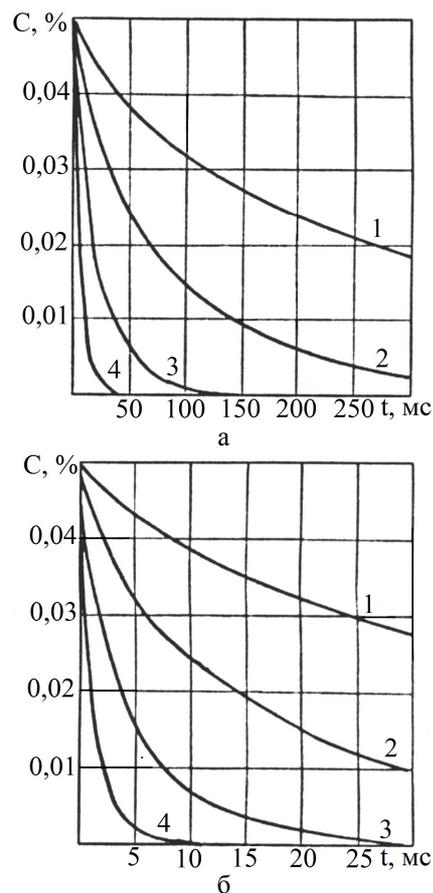


Рис. 3. Диффузия воды из капли керосина РГ-1 в сухой азот. 1 – $d = 400 \text{ мкм}$; 2 – $d = 200 \text{ мкм}$; 3 – $d = 100 \text{ мкм}$; 4 – $d = 50 \text{ мкм}$; а – $D = 10^9 \text{ м}^2/\text{с}$; б – $D = 6 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$

Численные исследования позволили обобщить зависимость средней концентрации воды в каплях диффузионным числом Нуссельта $Nu_D(Sh)=8,5$. Учитывая, что время пребывания потока в СГЖН составляет 10...20 мс при диаметре капель 40...100 мкм, можно рассчитывать на заметный вклад СГЖН в процесс обезвоживания. При верхнем значении коэффициента диффузии время осушения капли диаметром 50 мкм до концентрации $C = 0,0004\%$ составляет 20 мс.

Минимально достижимая концентрация воды в керосине определяется влажностью газа. В случае массообмена, когда поверхностное сопротивление пренебрежимо мало, связь между поверхностными C_σ и объемными C концентрациями на межфазной границе можно найти из условия равенства плотности потока массы:

$$\frac{C_l - C_{l\sigma}}{C_g - C_{g\sigma}} = - \frac{\beta_g \rho_g}{\beta_l \rho_l},$$

где β и ρ - коэффициенты массопереноса и плотность в жидкой (индекс l) и парогазовой (g) фазе. C_g определяется относительной влажностью газа ϕ , а $C_{g\sigma}$ соответствует плотности насыщенного водяного при температуре капли на межфазной границе.

На рис. 4 показана достижимая концентрация воды в керосине при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и различной влажности азота. Асимптоты зависимости массовой доли воды C от времени t соответствуют максимальной растворимости воды (см. рис. 3).

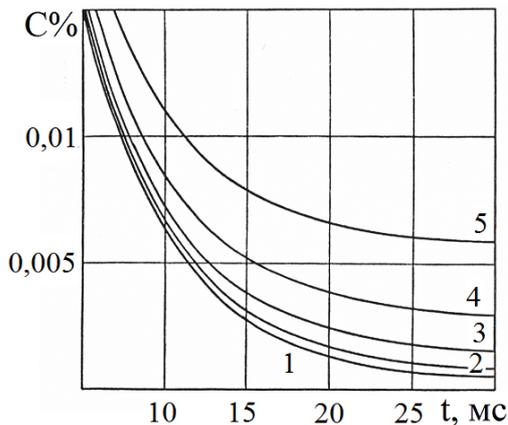


Рис. 4. Диффузия воды из капли керосина РГ-1 во влажный азот. $D = 6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$; $d = 100 \text{ мкм}$; $T = 293 \text{ К}$; $C_{\text{нач}} = 0,05\%$; 1 - $\Psi = 5\%$; 2 - $\Psi = 10\%$; 3 - $\Psi = 20\%$; 4 - $\Psi = 40\%$; 5 - $\Psi = 80\%$

В проточной части СГЖН влажность газа непрерывно увеличивается вниз по потоку. Это, а также величина коэффициента диффузии и режимные параметры определяют изменение концентрации воды в керосине вдоль сопла (рис. 5).

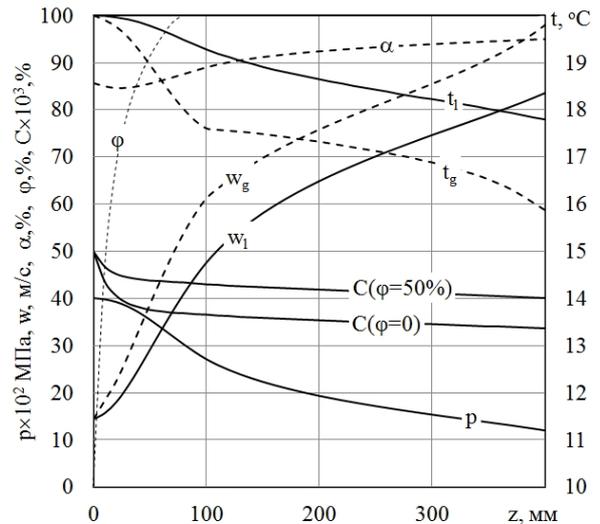


Рис. 5. Изменение параметров потока керосин - азот вдоль сопла

Здесь представлены расчетные параметры процесса с начальной концентрацией воды в керосине 0,05%. Длина канала $z = 400 \text{ мм}$. Параметры смеси на входе $p = 0,4 \text{ МПа}$ и $t = 20^\circ\text{C}$. Противодавление - 0,12 МПа. Расход жидкости $G_l = 13,5 \text{ кг/с}$. Диаметр капель - 50 мкм. Коэффициент инжекции $G_l/G_g = 30$.

При подаче на вход сухого и влажного ($\phi = 50\%$) азота к срезу сопла удается снизить концентрацию воды в керосине до 0,033% и 0,04%, соответственно. Скорость капель w_l достигает 84 м/с, что соответствует времени их пребывания в канале $\tau = 8 \text{ мс}$ и динамическому напору жидкости 2,9 МПа. При этом температура жидкости снижается до $17,8^\circ\text{C}$.

Уменьшить концентрацию воды на срезе сопла можно при многократной циркуляции жидкости. Для приведенных условий давление топлива за диффузором СГЖН превышает входное на 0,53 МПа, что вполне достаточно для такой рециркуляции без вспомогательных насосов.

При расходе порядка 10 кг/с масса СГЖН составляет примерно 3 кг, габариты 550x300x120 мм. С его помощью за доли секунды концентрацию воды в потоке керосина можно уменьшить в 3 и более раз, увеличить полное давление керосина на 0,2...0,8 МПа. В сочетании с барботажной системой СГЖН уменьшает время процесса и затраты газа на осушение, позволяет реализовать охлаждение керосина до температур начала загустевания.

Заключение

На современном этапе развития космической техники является актуальным обеспечение заправки компонентов ракетного топлива, в том числе некриогенных, в переохлажденном состоянии.

В данной статье для этой цели предложены использование струйного газожидкостного насоса и

схема установки, обеспечивающей его применение в составе космического стартового комплекса.

Одновременно с охлаждением также решается актуальная задача удаления из углеводородного ракетного горючего растворенной в нем воды.

Возможность повышения полного давления жидкости в СГЖН и достоверность используемых для его расчета методов подтверждена многочисленными экспериментами.

Литература

1. Методика выбора рациональных режимов охлаждения углеводородного горючего стартовым оборудованием перед заправкой топливных баков ракеты-носителя [Текст] / А. А. Александров, Р. А. Гончаров, В. А. Игрицкий и др. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана : сб. науч. тр. Сер.: Машиностроение. – 2011. – Вып. 1. – С. 40–46.

2. Особенности создания и развития криогенных систем ракетно-космических стартовых комплексов "Союз" [Текст] / А. А. Александров, И. В. Бармин, И. Д. Кунис и др. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана : сб. науч. тр. Сер.: Машиностроение. – 2016. – Вып. 2. – С. 7-27. doi : 10.18698/0236-3941-2016-2-7-27.

3. Химмотология ракетных и реактивных топлив [Текст] / А. А. Братков, Е. П. Серегин, А. Ф. Горенков и др. ; под ред. А. А. Браткова. – М. : Химия, 1987. – 302 с.

4. Энглин, Б. А. Применение жидких топлив при низких температурах [Текст] / Б. А. Энглин. – М. : Химия, 1980. – 208 с.

5. Кириллин, В. А. Термодинамика растворов [Текст] / В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин, Э. Э. Шпильрайн. – М. : Энергия, 1980. – 288 с.

6. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей [Текст] / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – Л. : Химия, 1982. – 302 с.

7. Обезвоживание топлив холодным воздухом [Текст] / С. П. Манита, В. М. Максимов, Ж. С. Черненко и др. // Эксплуатационные свойства топлив, смазочных материалов и технических жидкостей, применяемых в гражданской авиации : сб. науч. тр. – К. : КИИГА, 1975. – Вып. 1. – С. 51-53.

8. Рамм, В. М. Абсорбция газов [Текст] / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1976. – 656 с.

9. Исследование работы струйного насоса жидкости с несущим газом [Текст] / Г. А. Горбенко, В. Г. Селиванов, К. И. Сопленков и др. // Вопросы газотермодинамики энергоустановок : темат. сб. науч. тр. / Харьков. авиац. ин-т. – Харьков, 1975. – Вып. 2. – С. 88-96.

10. Блинков, В. Н. Исследования течения вскипающего водорода в соплах Лавалья [Текст] / В. Н. Блинков, И. И. Петухов, В. Н. Сырый // Газотермодинамические процессы в энергоустановках с многофазным рабочим телом : сб. науч. тр. / Харьков. авиац. ин-т. – Х., 1990. – С. 10-15.

11. Петухов, И. И. Численное моделирование вскипающих потоков криожидкостей с кристалли-

зацией капель [Текст] / И. И. Петухов, В. Н. Сырый // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 1 (17). – С. 30-33.

12. Петухов, И. И. Исследование движения жидкости на участке осаждения капель поверхностного сепаратора [Текст] / И. И. Петухов // Газотермодинамика многофазных потоков в энергоустановках : межвуз. темат. сб. науч. тр. / Харьков. авиац. ин-т. – Х., 1982. – Вып. 5. – С. 86-93.

References

1. Aleksandrov, A. A., Goncharov, R. A., Igrickij, V. A. and Chugunkov, V. V. Metodika vybora racional'nyh rezhimov ohlazhdenija uglevodorodnogo gorjuchego startovym oborudovaniem pered zapravkoj toplivnyh bakov raketynositelja [Rational modes choosing method for hydrocarbon fuel cooling in the start equipment before refueling of the fuel tanks launch vehicle]. *Vestn. Mosk. Gos. Univ. im. N. E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.]. 2011, no. 1, pp. 40–46.

2. Aleksandrov, A. A., Barmin, I. V., Kunis, I. D., Chugunkov, V. V. Osobennosti sozdaniya i razvitija kriogen-nyh sistem raketno-kosmicheskikh startovykh kom-pleksov "Sojuz" [Characteristic features of creating and developing cryogenic systems of space-rocket launch complex "Soyuz"]. *Vestn. Mosk. Gos. Univ. im. N. E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2016, no. 2, pp. 7–27. doi : 10.18698/0236-3941-2016-2-7-27.

3. Bratkov, A. A., Seregin, Ye. P., Gorenkov, A. F., Chirkov, Il'inskiy, A. A. and Zrellov, V. N. *Khimmotologiya raketnykh i reaktivnykh topliv* [Rocket and jet fuels chemometology]. Moscow, Khimiya Publ., 1987 302 p.

4. Englin, B. A. *Primeneniye zhidkikh topliv pri nizkikh temperaturakh* [The liquid fuels use at low temperatures]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 208 p.

5. Kirillin, V. A., Shejndlin, A. E. *Termodinamika rastvorov* [Thermodynamics of solutions]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 288 p.

6. Reed, R., Prausnitz, J., Sherwood, T. *Svoystva gazov i zhidkostey* [Properties of the gases and liquids]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982. 302 p.

7. Manita, S. P., Maksimov, V. M., Chernenko, Zh. S., Vasilenko, V. T. *Absorbciya gazov* [Fuels dewatering with cold air]. *Trudy KIIGA "Ek-spluatatsionnyye svoystva topliv, smazochnykh materialov i tekhnicheskikh zhidkostey, primenyayemykh v grazhdanskoy aviatsii"* [Operational properties of fuels, lubricants and technical fluids used in civil aviation], 1975, vol. 1, pp. 51–53.

8. Ramm, V. M. *Absorbtsiya gazov* [Absorption of gases]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 656 p.

9. Gorbenko, G. A., Selivanov, V. G., Soplentov, K. I., Frolov S. D. *Issledovanie raboty strujnogo nasosa zhidkosti s nesushhim gazom* [Fluid jet pump with lifting gas operation investigation]. *Voprosy gazotermodynamiki energoustanovok : sb. nauchn. tr.* [Proc. of the KhAI "Power plants gas thermal dynamics

of problems"]. 1975, vol. 2, pp. 88–96.

10. Blinkov, V. N., Petukhov, I. I., Syryu, V. N. Issledovaniya techeniya vski-pajushhego vodoroda v soplakh Lavalja [Boiling hydrogen flow in Laval nozzles studies]. *Gazotermodynamicheskiye protsessy v energoustanov-kah s mnogofaznym rabochim telom : sb. nauchn. tr.* [Proc. of the KhAI "Gas thermodynamic processes in power plants with a multiphase working medium"]. 1990, pp. 10–15.

11. Petukhov, I. I., Syryu, V. N. Chislennoe modelirovanie vskipajushhih potokov kriozhidkostej s kristallizaciej kapel' [Numerical simulation of cryogenic

liquids boiling flows with the droplets crystallization]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2005, no. 1 (17), pp. 30-33.

12. Petukhov, I. I. Issledovanie dvizhenija zhidkosti na uchastke osazhdenija kapel' poverh-nostnogo separatora [Liquid motion study in the surface separator droplets deposition area]. *Gazotermodynamika mnogofaznykh potokov v energoustanov-kakh : temath. mezhvuz. sb. nauchn. tr.* [Proc. of the KhAI "Power plants multiphase flows gas thermodynamics"]. 1982, vol. 5, pp. 86-93.

Поступила в редакцию 12.05.2017, рассмотрена на редколлегии 9.06.2017

Рецензент: канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры конструкций авиационных двигателей Ю. А. Гусев, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

СТРУМИННА СИСТЕМА ЗНЕВОДНЕННЯ І ОХОЛОДЖЕННЯ ГАСУ

I. I. Петухов, В. М. Сырий, Ю. В. Шахов

В даний час вуглеводневе ракетне пальне РГ-1/нафтил є найпоширенішим некріогенним компонентом ракетного палива, що характеризується при цьому простотою у використанні і відносно низьким рівнем забруднюючого впливу на навколишнє середовище. Підвищення ефективності використання гасу останнім часом забезпечується шляхом здійснення його заправки в паливні баки в охолодженому стані, однак при цьому виникає небезпека випадіння у вигляді кристалів розчиненої в гасі води. Оскільки в ході виробництва вологовміст гасу не регламентується, то зневоднення має проводитися безпосередньо перед заправкою. Розглянуто способи видалення розчиненої води з гасу, що використовуються в даний час. Виконано аналіз можливості використання струминного газорідного насоса для охолодження і зневоднення ракетного пального типу РГ-1 і нафтил під час заправлення бака пального космічної ракети-носія.

Ключеві слова: струминний газорідний насос, РГ-1, нафтил, зневоднення, охолодження.

KEROSENE DRYING AND COOLING JET SYSTEM

I. I. Petukhov, V. N. Syry, Y. V. Shakhov

At present, RG-1/naphthyl hydrocarbon rocket fuel is the most prevailing non-cryogenic rocket fuel component. It characterized by use simplicity and relatively low environmental pollution level. In recent years increasing of the kerosene use effectiveness is provided by carrying out of the fuel tanks refueling in the overcooled state, but there is a danger of the dissolved water precipitation in the crystal form. Since kerosene moisture content is not regulated during production, dehydration must be performed immediately before refueling. The currently used methods of the dissolved water removing from kerosene are considered. The analysis of the jet gas-liquid pump using possibility for RG-1 and naphthyl rocket fuel cooling and dehydrating during refueling of the space launch vehicle fuel tank was performed.

Keywords: jet gas-liquid pump, RG-1, naphthyl, dehydration, cooling.

Петухов Илья Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры аэрокосмической теплотехники Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: ilya2950@gmail.com.

Сырий Владимир Николаевич – ст. преп. каф. информационных технологий, консалтинга и туризма Харьковского национального аграрного университета им. В. В. Докучаева, e-mail: syryvn@gmail.com.

Шахов Юрий Васильевич – канд. техн. наук, ассистент кафедры аэрокосмической теплотехники Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: y.v.shakhov@gmail.com.

Petukhov Ilya Ivanovich – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Aerospace Thermal Engineering Dept., National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI", Kharkov, Ukraine, e-mail: ilya2950@gmail.com.

Syry Vladimir Nikolayevich – senior lecturer of the Kharkiv National Agricultural University named after V. V. Dokuchaev, Kharkov, Ukraine, e-mail: syryvn@gmail.com.

Shakhov Yuriy Vasilyevich – Candidate of Technical Science, Assistant of Aerospace Thermal Engineering Dept., National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI", Kharkov, Ukraine, e-mail: y.v.shakhov@gmail.com.