

УДК 629.76:662.75

**Д.В. ВОСКОБОЙНИК, А.М. ГРУШЕНКО***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНОЙ ПАРЫ  
«ЖИДКИЙ КИСЛОРОД И СПИРТО-АММИАЧНЫЙ РАСТВОР»  
В САМОВЫТЕСНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ЖРДМТ**

*Рассмотрен вариант использования составного горючего на основе спирто-аммиачного раствора. Предложен способ поддержания постоянного давления самовытеснения спирто-аммиачного раствора с использованием эффектов экзотермической реакции растворения спирта в аммиаке. Проведен анализ энергетических характеристик спирто-аммиачных горючих при их сжигании в жидком кислороде для различных концентраций этилового спирта в аммиаке. Получены значения теоретического удельного импульса тяги, и значения коэффициента избытка окислителя при которых достигается его максимальное значение.*

**Ключевые слова:** самовытеснительная система, аммиак, кислород, раствор, концентрация, удельный импульс, давление насыщенных паров.

**Введение**

Создание перспективных ЖРД, в том числе и ЖРДМТ невозможно без детального рассмотрения новых типов топлив. Если жидкий кислород является универсальным и наиболее оптимальным окислителем, то выбор горючего далек от однозначности.

Энергетические характеристики ЖРД в значительной степени зависят от химического состава горючего. Одним из максимально энергоэффективных горючих, безусловно, является водород. Но при всех энергетических достоинствах специфические особенности жидкого водорода препятствуют его широкому применению.

Водород в составе ракетных топлив повышает их энергетическую эффективность [1]. Известны модификации керосинов с высоким содержанием водорода, которые используются в ЖРД и существенно повышают их параметры. Повышение содержания водорода в горючих возможно и за счет применения составных горючих. Так, например, составные горючие на основе аммиака могут обладать рядом преимуществ: повышенными энергетическими характеристиками, повышенным давлением насыщенных паров, слабой криогенностью и более низкой токсичностью по сравнению с аммиаком. Также следует отметить, что аммиак является носителем водорода.

**1. Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем**

Ранее были попытки применения составных горючих, но в литературе отсутствуют какие-либо

сведения об исследованиях данного класса горючих. Известны и системы космических аппаратов, использующие водоаммиачные растворы в качестве рабочего тела.

Совсем недавно стало известно об исследованиях ОАО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» по получению и отработке нового ракетного горючего – «ацетам». Ацетам – равновесный высококонцентрированный раствор газообразного ацетилена в жидком аммиаке. На данный момент ведутся исследования ацетама с содержанием ацетилена в аммиачном растворителе 50% веса. В дальнейшем предполагается проработать вопрос целесообразности применения ацетама с содержанием ацетилена в 70% веса. Несомненным преимуществом нового горючего является один из важнейших показателей энергоэффективности – удельный импульс тяги [2].

**2. Постановка задачи исследования**

Предлагается рассмотрение составного горючего на основе этилового спирта и аммиака. Принципиальным различием по сравнению с ацетамом является то, что процесс смешения компонентов горючего происходит непосредственно при опорожнении бака (так называемое порционное подмешивание этилового спирта в аммиак). Целью исследования являлся анализ энергетических характеристик спирто-аммиачных горючих. Определен теоретический удельный импульс тяги при их сжигании в жидком кислороде для различных концентраций этилового спирта в аммиаке.

### 3. Результаты исследований

Давление насыщенных паров аммиака относительно велико при нормальных условиях, что позволяет подавать аммиак путем самовытеснения. Однако при опорожнении баков возникает проблема поддержания постоянного давления самовытеснения. Но так как давление насыщенных паров аммиака существенно зависит от температуры, то в качестве поддержания давления самовытеснения предложено порционное подмешивание этилового спирта в аммиак. Как известно взаимодействие аммиака со спиртами является экзотермичным [4].

Теплота растворения определяется как разность энтальпии раствора и энтальпий компонентов перед смешением, при условии что давление и температура компонентов до растворения и после их смешения равны [3]:

$$q = i - (c \cdot i_1 + (1 - c) \cdot i_2), \quad (1)$$

где  $q$  – интегральная теплота растворения;

$i, i_1, i_2$  – энтальпии образовавшегося, первого и второго растворов соответственно;

$c$  – концентрация раствора;

$$c = \frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3} + M_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}};$$

где  $M_{\text{NH}_3}, M_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$  – масса аммиака и спирта.

Энтальпия спирто-аммиачного раствора из уравнения (1):

$$i = c \cdot i_1 + (1 - c) \cdot i_2 - q. \quad (2)$$

В данном случае теплота растворения  $q$  не учитывается, поскольку расходуется на нагрев топливной смеси для поддержания давления самовытеснения.

Самовытеснительные системы в данном случае предлагается использовать для жидкостных ракетных двигателей малых тяг. Расчетное давление в камере сгорания  $p_k = 1$  МПа что приемлемо для такого класса двигателей.

В качестве окислителя спирто-аммиачного горючего выбран жидкий кислород.

Основным показателем эффективности топлива является удельный импульс тяги.

Для определения удельного импульса тяги составного горючего при его сжигании в жидком кислороде для различных концентраций содержания этилового спирта в аммиаке был проведен термодинамический расчет параметров продуктов сгорания.

Расчет проводился в программе TDK, которая

является программным продуктом кафедры. Для проведения расчета использовались следующие данные [5]:

$$i_{\text{NH}_3} = -4180 \text{ кДж/кг};$$

$$\rho_{\text{NH}_3} = 682 \text{ кг/м}^3;$$

$$i_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = -6025 \text{ кДж/кг};$$

$$\rho_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 790 \text{ кг/м}^3;$$

$$i_{\text{O}_2} = -398 \text{ кДж/кг};$$

$$\rho_{\text{O}_2} = 1144 \text{ кг/м}^3.$$

Промежуточные значения энтальпий для спирто-аммиачных растворов при различном содержании этилового спирта в аммиаке были определены по формуле (2).

Результаты расчета представлены на рис. 1 в виде распределения теоретического удельного импульса тяги в пустоте в зависимости от параметров составного горючего.

Теоретический удельный импульс тяги в пустоте увеличивается с ростом концентрации этилового спирта в аммиаке.

При постоянном коэффициенте избытка окислителя  $\alpha_{\text{ок}} = 1$  значение теоретического удельного импульса тяги в пустоте достигает  $I_{\text{уд}}^{\text{п}} = 3521$  м/с при равном соотношении аммиака и этилового спирта 50% массовой концентрации.

Но максимальное значение теоретического удельного импульса тяги в пустоте достигает  $I_{\text{уд}}^{\text{п}} = 3523$  м/с при коэффициенте избытка окислителя  $\alpha_{\text{ок}} = 0,99$  и при 60% массовой концентрации этилового спирта в аммиаке.

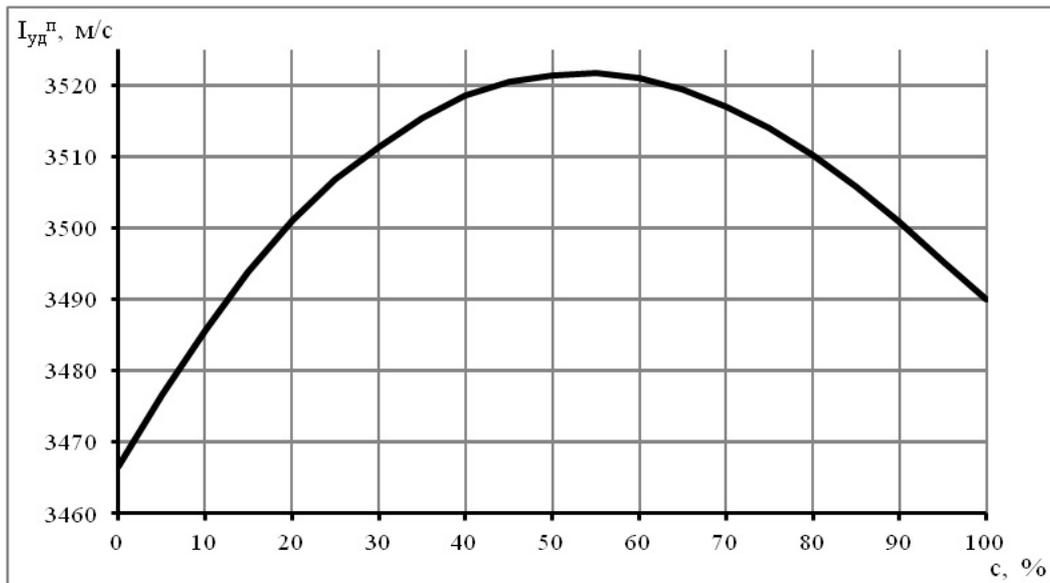
### Заключение

Рассмотрен вопрос создания самовытеснительной системы подачи горючего в ЖРДМТ.

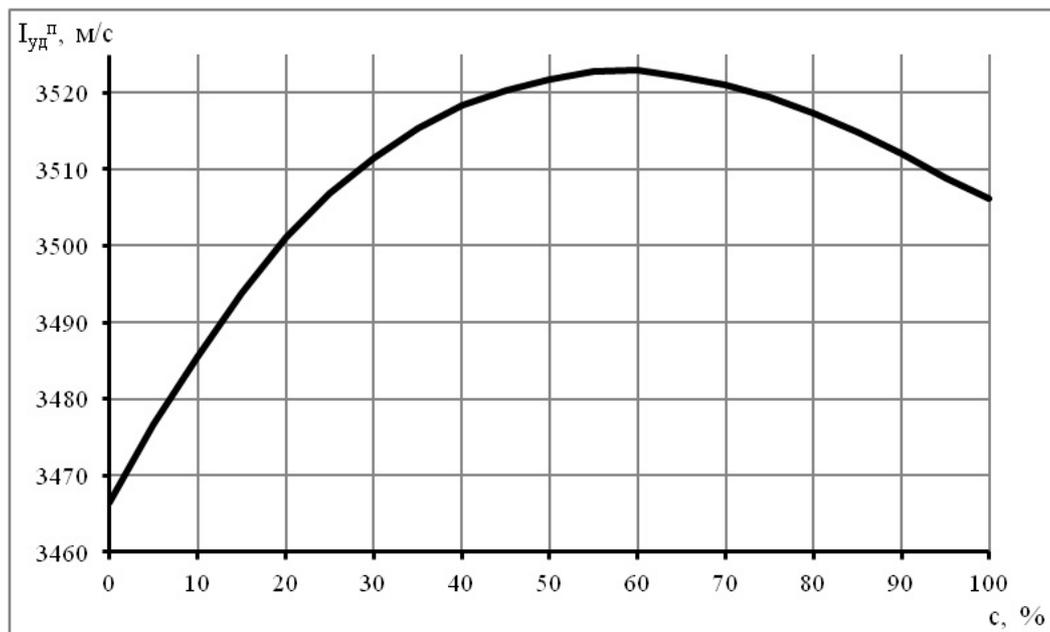
Предложен способ решения проблемы поддержания постоянного давления при самовытеснении путем использования экзотермических реакций растворения спирта в аммиаке.

Проведен анализ энергетических характеристик спирто-аммиачных горючих при их сжигании в жидком кислороде для различных концентраций этилового спирта в аммиаке.

Получены значения теоретического удельного импульса тяги, и значения коэффициента избытка окислителя при которых достигается его максимальное значение.



а



б

Рис. 1. Максимальный теоретический удельный импульс тяги в пустоте при:  
 а – коэффициенте избытка окислителя  $\alpha_{ок} = 1$ ;  
 б – коэффициент избытка окислителя изменяется  $\alpha_{ок} = var$

Полученные результаты свидетельствуют о повышении теоретического удельного импульса тяги при увеличении концентрации содержания этилового спирта в аммиаке.

Коэффициента избытка окислителя при росте значения теоретического удельного импульса тяги практически не изменяется. И в дальнейших расчетах использовать  $\alpha_{ок} = 1$ .

Результаты исследований подтвердили целесообразность компенсации давления самовытеснения

при использовании спирто-аммиачных растворов в качестве горючих для самовытеснительных систем подачи в ЖРДМТ.

### Литература

1. Пономаренко, В.К. Водород в составе ракетных топлив как фактор повышения их энергетической эффективности [Текст] / В.К. Пономаренко // Альтернативная энергетика и экология. – 2002. – № 1. – С. 63-69.

2. Хазов, В.Н. Ацетилено-аммиачные растворы как высокоэффективное горючее кислородных ЖРД [Текст] / В.Н. Хазов // Труды НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко. – 2008. – № 26. – С. 48-67.

3. Кирилин, В.А. Термодинамика растворов [Текст] / В.А. Кирилин, А.Е. Шейндлин, Э.Э. Шпильрайн. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.

4. Новый справочник химика технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Часть 2 [Текст] / под общ. ред.

Ю.В. Поконовой, В.И. Стархова. – СПб.: АНО НПО «Мир и Семья», 2005. – 1142 с.

5. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей [Текст] / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов, В.Д. Курпатенков, А.М. Обельницкий, В.М. Поляев, Б.Я. Полуян. – М.: Высш. шк., 1983. – 703 с.

6. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания [Текст]: справ. В 5 т. / В.Е. Алемасов [и др.]; под ред. В.П. Глушко. – М.: АН СССР, 1971. – Т. 1. – 267 с.

Поступила в редакцию 23.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры С.С. Добротворский, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

### АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВНОЇ ПАРИ «РІДКИЙ КИСЕНЬ І СПИРТО-АМІАЧНИЙ РОЗЧИН» В САМОВИТИСЬКИХ СИСТЕМАХ ПОСТАЧАННЯ РРДМТ

*Д.В. Воскобойник, О.М. Грушенко*

Розглянуто варіант використання складового пального на основі спирто-аміачного розчину. Запропонований спосіб підтримання постійного тиску самовитіснення спирто-аміачного розчину з використанням ефектів екзотермічної реакції розчинення спирту в аміаку. Проведено аналіз енергетичних характеристик спирто-аміачних палив при їх згорянні в рідкому кисні для різних концентрацій етилового спирту в аміаку. Отримані значення теоретичного питомого імпульсу тяги, та значення коефіцієнта надлишку окислювача, при яких досягається його максимальне значення.

**Ключевые слова:** самовитісна система, аміак, кисень, розчин, концентрація, питомий імпульс, тиск насичених парів.

### ANALYSIS OF THE ENERGY ANALYSIS OF ENERGY PERFORMANCE FUEL MIXTURE «LIQUID OXYGEN AND ALCOHOL-AMMONIA SOLUTION» IN SELF-PRESSURISED FEED SYSTEM LPRE LOW TRUST

*D.V. Voskoboynik, A.M. Grushenko*

A variant of a composite fuel based on alcohol-ammonia solution was considered. A method for maintaining a constant pressure itself displacement alcoholic ammonia solution using an exothermic reaction effects of alcohol dissolution in ammonia been proposed. The analysis of the energy characteristics of the alcohol-ammonia fuel on combustion in liquid oxygen to different concentrations of ethanol in ammonia been held. The values of the theoretical specific impulse, and the values of the excess oxidizing agent that achieves its maximum value were obtained.

**Key words:** self-pressurized system, ammonia, oxygen, the solution, concentration, the specific impulse, the vapor pressure.

**Воскобойник Дмитрий Владимирович** – аспирант кафедри ракетних двигателів Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: VoskoboynikDm@yandex.ua.

**Грушенко Александр Михайлович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ракетних двигателів Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: aagrushenko@mail.ru.