

К ВОПРОСУ СТАБИЛЬНОСТИ СОСТАВНЫХ ГОРЮЧИХ В САМОВЫТЕСНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

А.М. Грушенко, канд. техн. наук, С.С. Коваленко,

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина

Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами. Проектирование, производство и штатная эксплуатация перспективных ЖРД, ЖРДМТ, в том числе и ЖРДМТ технологического назначения невозможна без детального изучения характеристик новых топлив и их соответствия ряду важнейших общепринятых требований.

Удельные характеристики ЖРД в значительной степени зависят от химического состава горючего. Известны синтетические модификации керосинов, так называемые циклины, с высоким содержанием водорода, которые используются в ЖРД и существенно повышающие их параметры. Для технологических двигателей применение циклина проблематично по причине его высокой токсичности и стоимости. Повышение содержания водорода в горючих возможно за счет применения составных горючих. Составные горючие могут быть получены путем добавления жидкой фазы газа пропан-бутана в углеводородные горючие. Полученные смеси будут обладать рядом преимуществ: слабой криогенностью, повышенными энергетическими характеристиками, повышенным давлением насыщенных паров, приемлемыми реологическими свойствами. Аналогичные преимущества могут быть реализованы и для составных горючих на основе жидкого аммиака.

Сказанное выше и определяет необходимость детального изучения процессов получения смесей составных горючих и их стабильности.

Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем. Идея применения составных горючих для ДУ не нова, но, тем не менее, в литературе отсутствуют какие-либо сведения о систематизированных исследованиях данного класса горючих. Известны две модификации двигателя НК-109-509 (А-0 и А-1), разработанные

немецкими учеными в период второй мировой войны, в которых в качестве горючего использовался раствор гидратгидразина в метиловом спирте. Также известны системы космических аппаратов, использующие в качестве рабочего тела водоаммиачные растворы.

Цель исследований. Целью исследований являлось определение влияния диапазона весового и объемного соотношения компонентов смесей составных горючих на их стабильность в состоянии покоя и в процессе самовытеснения из емкости. Кроме того, исследовалось изменение параметров в баке с составным горючим в процессе его самовытеснения.

Результаты исследований. В ЖРДМТ технологического назначения в качестве горючего, как правило, применяется керосин. Однако керосин имеет сравнительно меньший удельный импульс, чем такие горючие, как метан, водород, аммиак и др. С целью повышения энергетики керосина можно рассмотреть возможность применения не чистого керосина, а его смеси с углеводородами – метан, пропан, бутан и др. [1]. Происхождение и физические свойства углеводородных горючих предопределяет их хорошую растворимость при смешении друг с другом. Однако систематизированные данные о растворимости перечисленных выше слабокриогенных горючих в бензине, керосине и дизельном топливе в специализированной и общетехнической литературе отсутствуют.

С эксплуатационной точки зрения для образования растворов с керосинами наиболее приемлемым будет применение не чистых газов, а смесей газов, например пропана и бутана. Их смесь является слабо криогенной жидкостью и может содержаться под давлением порядка нескольких атмосфер в нормальных условиях. Помимо керосинов для создания составных горючих также возможно применение таких горючих,

как бензин или дизельное топливо.

Указанные выше горючие использовались для экспериментальных исследований по определению стабильности составных горючих как в состоянии покоя, так и в процессе самовытеснения. Применялись следующие марки горючих: бензин Б-70, керосин Т-1 и дизельное топливо.

Смеси на основе указанных выше горючих обладают повышенными энергетическими характеристиками и повышенным давлением насыщенных паров при нормальной температуре. Было установлено, что при температуре 290 К давление насыщенных паров смеси пропан-бутана с бензином Б-70, дизельным топливом и керосином Т-1 при массовой доле жидкого газа от 30 до 70% составляет от 0,3 до 0,5 МПа. При повышении температуры до 350 К давление насыщенных паров составляет от 0,6 до 1,6 МПа. Указанное свойство позволяет использовать приведенные выше смеси в самовытеснительных системах подачи топлива.

Проведенные эксперименты по определению кривой изменения давления насыщенных паров составных горючих в зависимости от температуры подтвердили предположение о стабильности данных смесей в широком температурном диапазоне. Так, было установлено, что в процессе смешения и дальнейшего хранения смесей углеводородных горючих при концентрации жидкой фазы газа пропан-бутана от 30 до 70% не наблюдалось расслоения жидкости на исходные компоненты. Однако при повышении температуры существенное влияние на стабильность смеси оказывает концентрация пропан-бутана в ней. Отмечено, что при массовой доле пропан-бутана в составном горючем свыше 50% возможен переход смеси в метастабильное состояние, где возможно существование гомогенного раствора.

Так как для ЖРДМТ характерны вытеснительные системы подачи топлива, то особый интерес представляет возможность получения характеристик самовытеснительной системы.

При анализе процесса самоопорожнения бака с горючим предполагаем, что теплообмен между смесью и

окружающей средой отсутствует. Рассматривая паровую и жидкую фазы компонента как единую термодинамическую систему, допускаем, что единственной работой, совершаемой системой, является работа расширения при вытеснении смеси из бака под давлением ее насыщенных паров. Также предполагаем, что процесс вытеснения является равновесным, т. е. термодинамические параметры смеси в любой момент времени находятся в соответствии с линией насыщения.

Принимая во внимание перечисленные выше особенности, процесс самоопорожнения бака можно описать с помощью системы безразмерных уравнений [2]

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\bar{T}}{d\bar{\tau}} &= \bar{T} \frac{(A_4 \bar{T}^{n_i} - A_2) \bar{m}}{A_2 A_3 - A_1 A_4}; \\ \frac{d\bar{V}''}{d\bar{\tau}} &= \frac{(A_3 \bar{T}^{n_i} - A_1) \bar{m}}{A_1 A_4 - A_2 A_3}; \\ \bar{m} &= \bar{T}^{n'_p} \frac{\sqrt{1 + B^2 \bar{T}^{n_p - n'_p}} - 1}{\sqrt{1 + B^2} - 1}; \\ \bar{V}_{\text{BH}} &= \int_0^{\bar{\tau}} \bar{m} \bar{T}^{-n'_p} d\bar{\tau}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где \bar{m} – массовый расход;

\bar{T} – температура системы;

$\bar{\tau}$ – время;

\bar{V}_{BH} – объём вытесненной жидкости из бака;

$$A_1 = (1 - \bar{V}'') (n_i + n'_p) \bar{T}^{n_i + n_p} + k_1 n'_p \bar{T}^{n'_p} \bar{V}'' - k_2 (1 + \bar{V}_{\text{BH}}) \bar{T}^{n_p}; \quad (2)$$

$$A_2 = k_1 \bar{T}^{n'_p} - \bar{T}^{n_i + n'_p}; \quad (3)$$

$$A_3 = (1 - \bar{V}'') n'_p \bar{T}^{n'_p} + k_3 n'_p \bar{V}'' \bar{T}^{n'_p}; \quad (4)$$

$$A_4 = k_3 \bar{T}^{n'_p} - \bar{T}^{n'_p}, \quad (5)$$

где \bar{V}'' – объём газовой фазы в баке;

$$k_1 = \frac{i''_0 \rho''_0}{i'_0 \rho'_0}; \quad k_2 = \frac{p_0}{i'_0 \rho'_0}; \quad k_3 = \frac{\rho''_0}{\rho'_0}, \quad (6)$$

где i''_0, i'_0 – удельные массовые энтальпии жидкой и газовой фазы смеси в баке до начала вытеснения соответственно;

ρ'_0, ρ''_0 – плотность жидкой и газовой фазы смеси в баке до начала вытеснения соответственно;

p_0 – давление в баке до начала вытеснения;

n_p, n_i, n'_p, n''_p – показатели степеней, определяе-

мых из зависимостей

$$p = T^{n_p}, i' = T^{n_i}, \rho' = T^{n'_p}, \rho'' = T^{n''_p}; \quad (7)$$

B – безразмерный параметр, определяемый по формуле

$$B = \sqrt{\frac{2p_0}{\rho'_0}} \cdot \frac{1}{k_m} \frac{\mu_c F_{кр}}{\beta \mu_\phi F_\phi}; \quad (8)$$

где μ_ϕ, μ_c – коэффициенты расхода форсунок и сопла ЖРДМТ;

$F_\phi, F_{кр}$ – проходные площади форсунок и сопла ЖРДМТ;

β – расходный комплекс;

k_m – массовое соотношение компонентов топлива.

Система безразмерных уравнений (1) позволяет определить параметры энергоизолированного процесса самоопорожнения бака с компонентами топлива, имеющего повышенное давление насыщенных паров при нормальной температуре.

С помощью системы безразмерных уравнений (1) был описан процесс самоопорожнения бака с аммиаком [2], (рис. 1).

Анализ результатов экспериментов по определению давления насыщенных паров составного горючего в процессе самоопорожнения бака показал, что кривые изменения параметров опорожнения бака с составным горючим имеют аналогичный характер распределения, как и в случае опорожнения бака с аммиаком. Установлено, что в случае самоопорожне-

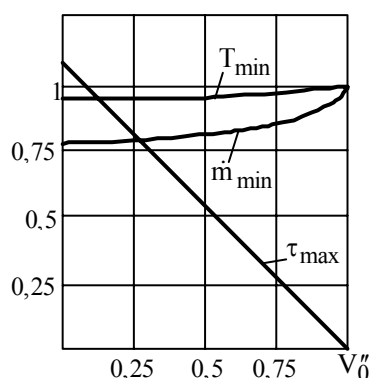


Рис. 1. Параметры процесса самоопорожнения бака в зависимости от начального объема газовой подушки

ния бака с составным горючим на основе ранее упоминавшихся компонентах, изменение температуры незначительно и находится в пределах 5%. Максимальное изменение массового расхода и давления насыщенных паров составляет около 20 – 30%.

Перспективы дальнейших исследований. Рассмотренные смеси на основе углеводородных горючих можно также применить в вытеснительных системах питания, предназначенных для впрыска в сверхзвуковой поток с целью создания управляющих усилий в исполнительных ДУ [3]. Поэтому особый научный и практический интерес представляет определение параметров таких систем и описание процессов, происходящих в них.

Выводы. Доказано, что предложенные смеси на основе углеводородных горючих обладают высокой стабильностью в широком температурном диапазоне, а также повышенным давлением насыщенных паров, что определяет возможность их применения в самовытеснительных системах подачи топлива.

Литература

1. Боксерман Ю.И., Мкртычан Я.С., Чириков К.Ю. Перевод транспорта на газовое топливо.– М.: Недра, 1988.– 220 с.
2. Безуглый С.В., Грушенко А.М. Теоретическое описание процессов в самовытеснительных системах подачи топлива генераторов газовых струй // Высокотемпературные газовые потоки, их получение и диагностика: Сб. науч. тр.– Харьков: ХАИ, 1987.– С. 25–34.
3. Коваленко Н.Д. управление сверхзвуковыми газовыми потоками в реактивных соплах.– К.: Наук. думка, 1992.– 208 с.

Поступила в редакцию 25.05.03

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, профессор А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; д-р техн. наук, профессор И.М. Приходько, Харьковский военный университет, г. Харьков.