

УДК 662.767.7

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННОГО
ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ****А. Б. Карпов, ассистент**РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
Москва

Вопрос снижения стоимости запусков ракет-носителей стоял всегда. Во времена космической гонки СССР и США мало задумывались о затратах – престиж страны стоил неизмеримо дороже. Сегодня сокращение расходов «по всем фронтам» стало общемировым трендом. Топливо составляет всего 0,2...0,3% от стоимости всей ракеты-носителя, но кроме стоимости топлива важен еще такой параметр, как его доступность.

Ракетное топливо состоит из окислителя и горючего, в настоящее время наиболее распространенной является комбинация, состоящая из криогенного и высококипящего компонентов: жидкого кислорода как окислителя и керосина как горючего. Однако оптимальной является пара криогенных компонентов горючего и окислителя – жидкий кислород и жидкий водород.

Керосин начал применяться ещё в 50-х годах и остаётся востребован и по сей день – именно на нём летают российская Ангара и Falcon 9 от SpaceX. Керосин обладает множеством преимуществ, среди которых: высокая плотность, низкая токсичность, обеспечивает высокий удельный импульс, пока что приемлемая цена.

Альтернативой керосину является несимметричный диметилгидразин. У этого горючего всё ещё остаются сферы применения, но оно постепенно отходит на задний план по причине его высокой токсичности.

Жидкий водород является эффективнейшим и экологически чистым горючим и в современных ракетно-космических комплексах он применяется в паре с жидким кислородом. Но чрезвычайно низкая плотность не позволяет в полной мере использовать его для первых ступеней ракет. Есть у него ещё один недостаток – высокая криогенность, что приводит к дополнительным затратам.

Для промышленного получения водорода разработано несколько способов с использованием различного сырья, после чего водород должен быть очищен и осушен от примесей и сжижен. Этот процесс весьма энергоёмкий, требующий сложного оборудования, поэтому стоимость водорода в России чрезвычайно высока. До распада СССР промышленное снабжение жидким водородом осуществлялось комбинатами «Электрохимпром» (Узбекистан) и ДПО «Азот» (Украина). В настоящее время промышленное получение жидкого водорода в России утрачено и существует только опытное производство этого продукта.

Одним из путей решения этой проблемы может стать использование сжиженного природного газа (СПГ) в качестве универсального экологически чистого горючего, а также применение новых схем двигателей с дожиганием восстановительного генераторного газа и эффективных систем охлаждения камер сгорания.

В случае применения СПГ в качестве горючего и кислорода в качестве окислителя в схеме с избытком горючего в генераторном газе практически исключается сажеобразование. Дополнительным положительным свойством метанового топлива является его лучшая охлаждающая способность по сравнению с керосином. Переход на метан позволяет решать многие задачи межполетного обслуживания двигателя, так как он после работы остается чистым, без отложений смол и сажи, что обеспечивает сокращение времени и затрат на обслуживание. Можно рассчитывать и на снижение остроты экологических проблем за счет уменьшения содержания вредных веществ в продуктах сгорания топлива.

Актуальность разработки ЖРД на кислородно - метановом топливе подтверждается различными исследованиями и программами по разработке перспективных ракет - носителей как в России, так и за рубежом.

На данный момент есть несколько компаний, заявляющих о скором использовании метана в своих ракетах:

- КВРД FRE-1 от Firefly Space Systems;
- Blue Engine 4 (BE-4) от Blue Origin;
- C5.86 от КБХМ им. Исаева;
- Раптор (Merlin 2) от SpaceX;
- РД от НПО «Энергомаш» для сверхтяжелой ракеты Ангара;
- РД0110МД, РД0162, созданные в КБХА.

Однако стоит вопрос о производстве качественного СПГ для таких двигателей [1]. В соответствии с требованиями разработчиков ракет-носителей СПГ должен по своим физико-химическим показателям отвечать требованиям Технических условий «Газ горючий природный сжиженный. Топливо для ракетной техники» или марке А ГОСТ Р 56021-2014 «Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия» (приведены в таблице) т.е. требованиям, существенно более высоким, чем для СПГ, используемого в качестве горючего для других видов транспорта.

Таблица

Физико-химические показатели СПГ для ракетной техники

Показатель	ГОСТ Р 56021-2014	Показатель	ТУ 021 00480689-96
Молярная доля метана, %, не менее	99,0	Объемная доля метана, %	96,0±2,0
		Объемная доля этана, пропана, %	2,820±2,0
		Объемная доля бутан-гексана, %	не более 0,036
		Объемная доля непредельных и циклических углеводородов, %	не более 0,001
Молярная доля азота, %, не более	Не норм.	Объемная доля азота, %	не более 1,130

Молярная доля диоксида углерода, %, не более	0,005	Объемная доля диоксида углерода, %	не более 0,011
Молярная доля кислорода, %, не более	0,020		
Массовая концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,020	Объемная доля сероводорода и серосодержащих (меркаптаны), %	не более 0,001
Массовая концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,036		

Такой продукт можно получать путем дополнительной очистки природного газа при его сжижении с применением технологий [2,3].

На начальной стадии внедрения СПГ в ракетно-космическую технику снабжение им полигонов ракетно-космической техники может осуществляться от работающих в настоящее время малотоннажных установок для получения СПГ с предварительной подготовкой сырьевого газа.

Список литературы:

1. *Кондратенко А.Д.* Применение СПГ в качестве ракетного топлива // Труды 60-й Всероссийской научной конференции МФТИ. - 2017. - С. 192-193.
2. *Козлов А.М., Швыдко О.А., Карнов А.Б.* Способ производства сжиженного природного газа: пат. Рос. Федерация. №2017130854 заявл. 31.08.2017.
3. *Кондратенко А.Д., Карнов А.Б., Козлов А.М.* Разработка комбинированного способа предварительной подготовки природного газа перед сжижением // Материалы VIII международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» СПб.: ИТМО. - 2017. - С. 132-134.