

*Осико Софья Михайловна, студент-специалист 5-го курса кафедры
«Стартовые ракетные комплексы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,
Российская Федерация*

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ РАКЕТНОЕ ТОПЛИВО: ЖИДКИЙ МЕТАН КАК ГОРЮЧЕЕ И ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВА

Аннотация: В представленной статье рассмотрены вопросы использования жидкого метана как альтернативного ракетного топлива и внедрения метановых ракетных двигателей, проанализированы преимущества использования жидкого метана по сравнению с традиционными ракетными топливами, используемыми в России и в мире. Также приведены конкретные примеры перспективных разработок метановых двигателей как иностранных, так и российских. Как результат, дана оценка нынешнему состоянию метановых проектов и сделаны выводы о перспективах использования жидкого метана в качестве ракетного топлива.

Ключевые слова: жидкий метан, сжиженный природный газ, ракетное топливо, жидкостные ракетные двигатели, перспективы развития.

Abstract: This article discusses the use of liquid methane as an alternative rocket fuel and the introduction of methane rocket engines. The advantages of using liquid methane in comparison with traditional rocket fuels used in Russia and in the world are analyzed. Specific examples of promising developments of methane engines, both foreign and Russian, are also given. As a result, an assessment was made of the current state of methane projects and conclusions were drawn about the prospects for using liquid methane as a rocket fuel.

Key words: liquid methane, liquefied natural gas, rocket fuel, liquid rocket engines, development prospects.

Введение. Жидкий метан уже несколько десятилетий считается привлекательным ракетным топливом как недорогое и легкое в обращении. Однако еще несколько лет назад большинство усилий по разработке ракетных двигателей было сосредоточено на использовании более традиционных видов топлива, таких как водород и керосин, без какой-либо серьезной разработки или применения метана в двигательных установках.

Ракетные двигатели на топливной паре «метан-кислород» предлагают потенциально значительные преимущества по сравнению с традиционным ракетным топливом, используемым сегодня [3]. Потенциал для разработки новых ракетных транспортных средств, которые поддерживают исследование космоса и коммерческий рынок, возродил интерес к метан-кислородным двигательным установкам.

Почему метан? Потому что, даже если он менее мощный, чем водород, он намного дешевле и прост в обращении. Стоимость сжиженного метана вдвое ниже стоимости керосина. Метан жидкий при -161°C по сравнению с -253°C для водорода. Эта температура близка к температуре жидкого кислорода (-183°C), что позволяет упростить архитектуру двигателя для хранения двух компонентов топлива. Газообразный метан также можно использовать для наддува топливных баков, что устраняет необходимость в сложных и дорогостоящих системах наддува, например, на основе гелия. Кроме того, метан в шесть раз плотнее водорода, поэтому занимает в шесть раз меньше места. Ступени ракеты могут быть более компактными, и их потенциально легче использовать многократно.

Кроме того, использование метана как компонента ракетного топлива является экологически безопасным вариантом. Метан, относясь к криогенному горючему, рассматривается в паре с жидким кислородом, при сгорании в котором дает экологически чистые газообразные продукты, состоящие в основном из водяного пара и моно- и диоксида углерода. Также к нетоксичным (малотоксичным) компонентам ракетного топлива, активно использующимся на сегодняшний день в России и в мире, относятся керосин, кислород и жидкий

водород [1]. Теоретический удельный импульс топлива «жидкий кислород – жидкий метан» на 3,4% выше, чем топлива «жидкий кислород – керосин», но на 20,5% ниже, чем топлива «жидкий кислород – жидкий водород» [3].

Метан обладает следующими физико-химическими свойствами:

Молекулярная масса, а.е.м.....16,047.

Плотность при температуре кипения, г/м³.....4,424.

Температура кипения, °С.....-161,5.

Температура плавления, °С.....-184.

Коррозионная активность.....не активен.

Токсичность.....слабо токсичен

Переработка и использование метана широко освоено промышленностью, что позволяет использовать уже готовые инфраструктурные решения. Так, не нужно будет разрабатывать какие-то особые хранилища для метана на наземном комплексе, так как будут взяты стандартные конструкции. К отрицательным сторонам использования метана относится взрывоопасность его газообразной смеси с воздухом, что требует принятия дополнительных мер безопасности.

Перспективные зарубежные разработки. За рубежом большое внимание криогенному горючему, в том числе метану, уделялось во время поиска путей создания оптимальных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) для первой ступени многоразовых ракет-носителей. Так, для европейских ракет-носителей, включая Ariane 6, флагманским двигателем будет Prometheus (от Precursor Reusable Oxygen METHane cost Effective propUlsion System), который, как указывает его английская аббревиатура, представляет собой двигатель, работающий на паре «кислород-метан», и должен быть многоразовым, что также направлено на снижение затрат. Prometheus будет иметь переменную тягу максимум 100 т. Первые испытания зажигания были запланированы на 2020 год, а реализация на пусковых установках – к 2030 году.

Европа не одинока в выборе метана. Blue Origin и его двигатель BE-4 также развиваются. Компания, основанная генеральным директором Amazon Джеффом Безосом, объявила в январе 2018 года, что новое огневое испытание двигателя

BE-4 было проведено успешно. Этим двигателем, в частности, должна быть оснащена тяжелая пусковая установка New Glenn, первый полет которой запланирован на 2023 год. Она все еще участвует в конкурсе на оснащение будущей многоразовой ракеты Vulcan от United Launch Alliance (ULA). Испытание, проведенное на полной мощности, показало, что целевые значения удельного импульса превосходят ожидания. Цель этого испытания заключалась, среди прочего, в проверке возможности повторного использования гидростатических насосов и стабильности процессов включения/выключения.

Со своей стороны, Space X работает над своим двигателем Raptor. С момента начала проекта в 2009 году было представлено несколько версий этого двигателя, работающего на метане. Текущая версия, огневые испытания которой начались на испытательном стенде, в конечном итоге является самой маленькой из всех и должна служить основой для установки BFR (Big Fucking Rocket) – очень тяжелая пусковая установка, предназначенная для запусков, необходимых для межпланетных путешествий, на которой будет около тридцати двигательных установок Raptor.

Отечественные разработки. В России ЖРД на природном газе и метане разрабатывают ИЦ имени М.В. Келдыша, НПО «Энергомаш», КБХиммаш, ФПГ «Двигатели НК», НИИМаш и КБ Химавтоматики [4].

Так, в Воронежском КБ Химавтоматики двигатель с 200-тонной тягой начал создаваться в 2002 году для ЕКА (Европейского космического агентства) по проекту «Волга». В 2006 году он получил российское название РД-0162. К настоящему времени испытан 40-тонный демонстратор РД-0162Д2А и ведется разработка экспериментального 85-тонного метанового демонстратора РД-0177. По этому перспективному ракетному двигателю проведены испытания модельного газогенератора с форсуночными головками многократного использования. Это демонстратор создается для проекта «Крыло-СВ», предусматривающем создание многоразовой ракеты легкого класса с крылатой первой ступенью. А серийный РД-0169 с тягой 100 тонн планируется применить в перспективной многоразовой ракете-носителе среднего класса «Амур-СПГ»,

ранее известной как «Союз-5» или «Союз-СПГ» (СПГ – Сжиженный Природный Газ).

Серийный вариант двигателя РД-0169 должен будет иметь возможность работать не менее 10 раз или делать от 25 до 50 включений. В ходе предварительного проектирования с 2016 по 2019 год в КБ КБХА в Воронеже уже были проведены исследования процессов смешения и воспламенения горючего в метановых двигателях и даже были доведены некоторые компоненты двигателя до автономных испытаний. Что касается 200-тонного РД-0162, то он продолжает оставаться конечной целью работ и предназначается для более мощных ракет-носителей тяжелого и сверхтяжелого класса.

Заключение. Основные преимущества применения топливной пары «жидкий кислород – жидкий метан» включают возможность хранения топлива и окислителя при одинаковых температурах, нетоксичность, недорогое производство и относительную простоту обращения во время эксплуатации ракеты-носителя. Метановая двигательная установка хорошо подходит для использования в широком спектре двигательных установок, начиная от больших ракетных двигателей и заканчивая орбитальными маневровыми двигателями.

Керосиновые ракетные двигатели могут быть модернизированы для работы на метане, при этом прекращается выделение сажи, что дает возможность многократного использования. Так, с метаном элементы двигателя не придется очищать от несгоревших остатков топлива. Высокая охлаждающая способность метана позволит убрать лишний нагрев двигателя во время работы. Также улучшается основная характеристика ракетного двигателя – его удельный импульс, соотношение тяги к массовому расходу ракетного топлива. В итоге более эффективное, но менее плотное ракетное горючее дает примерно такие же характеристики ракеты, как и керосин.

К тому же, кислород и метан, в отличие от керосина, можно найти на ряде небесных тел, в том числе на Марсе, из чего следует, что при создании определенных технологических устройств станет возможной заправка ракеты для возвращения или дальнейшего полета. Так, благодаря своим преимуществам

метан был объявлен топливом будущего, а историческое использование керосина начинает считаться бесперспективным. Возникло даже такое выражение, как «керосиновый тупик», которое характеризует современное состояние ракетной техники.

Библиографический список:

1. Брегвадзе Д.Т., Габидулин О.В., Гуркин А.А., Заболотько И.А. Применение топлива «кислород + метан» в жидкостных ракетных двигателях // Политехнический молодежный журнал. 2017. № 12.
2. Васянина А.Ю., Тонких А.А., Савчин Д.А., Ермоленко Д.А. Перспективы использования компонентов топлива метан-кислород в жидкостных ракетных двигателях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13.
3. Емельянов И.Е., Краев М.В. Ракетные двигатели на метане // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. №6.
4. Куимов И.А., Голиковская К.Ф. История и перспективы метановых проектов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. №8.