

ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ

НА ВЫБОР

НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко:
Лариса Васильева, ведущий инженер-программист
Вячеслав Рахманин, к.т.н., главный специалист НПО,
 член-корреспондент РАК им. Циолковского,
 лауреат Государственной премии

В теоретических работах К.Э. Циолковского по космонавтике наряду с изложением основных положений в области реактивного движения были проанализированы возможности использования различных химических веществ в качестве компонентов ракетного топлива.

Интересно проследить, как менялись взгляды ученого-теоретика на вопрос, имеющий практическое значение, как трансформировался подход к оценке химического вещества от одиночного требования высокой энергетической эффективности до удовлетворения целому комплексу требований к свойствам компонента ракетного топлива.



В своем основополагающем труде "Исследование мировых пространств реактивными приборами", первая часть которого опубликована в 1903 г., Циолковский рекомендовал в качестве ракетного топлива использовать жидкие кислород и водород, при этом рассматривал топливо только с позиций получения максимальной скорости истечения газов. В собственноручно составленном им эскизе схематического вида ракеты ее корпус разделен на две части, заполняемые жидкими кислородом и водородом. Здесь же он оценил термодинамический эффект от соединения кислорода с водородом, при этом указав, что некоторые константы, используемые в расчетах, недостаточны точны, потому кислород и водород выбраны для примера.

В последующих работах, углубляя и детализируя теорию реактивного движения, Циолковский одновременно расширял свои взгляды на возможность использования в качестве ракетного топлива как различных химических элементов и соединений, так и других физических источников энергии.

Во второй части работы с тем же названием, вышедшей в 1911 г., Циолковский, устремленный мыслями в дальний Космос, выдвинул идею о применении в ракетах новых источников энергии: в частности, ядерных и электрических. Реальных предложений, даже общих схем он не приводил. Это понятно, т.к. в то время состояние науки и техники не позволяло делать в этой области энергетики какие-либо определенные технические проекты. Само предложение использовать эти источники энергии в ракетной технике говорит о широте познаний Циолковского и его умении увидеть перспективы развития ракетной энергетики.

Приведем цитату на эту тему, поскольку яркий колорит и эмоциональность языка, присущие стилю К.Э. Циолковского, не хочется заменять сегодняшними обыденными словами: "В первой напечатанной работе о реактивных снарядах мы мечтали о будущих, еще не открытых веществах, соединения которых

должны сопровождаться на основании общих данных химии более громадным выделением энергии, чем соединения известных простых тел, например водорода с кислородом. Думают, что радий, разлагаясь непрерывно, выделяет из себя частицы разных масс, двигающихся с поразительной, невообразимой скоростью, недалекою от скорости света. Так, выделяющиеся при этом атомы гелия двигаются со скоростью 30-100 тысяч км/сек, при этом атомы гелия в четыре раза тяжелее атомов водорода; другие тельца, выделяемые радием, в 1000 раз легче водорода, но зато двигаются со скоростью 150-200 тысяч км/сек. Поэтому, если бы можно было достаточно ускорить разложение радия или других радиоактивных тел, употребление его могло бы дать такую скорость реактивному прибору, при которой достижение ближайшего Солнца (звезды) сократится до 10-40 лет. Тогда, чтобы ракета весом в тонну разорвала все связи с солнечной системой, довольно было бы щепотки радия. Может быть, с помощью электричества можно будет со временем прибавить громадную скорость выбрасываемым из реактивного прибора частицам.

Возможно, дальнейшее движение науки покажет, что все это далеко не так, но хорошо, что мы можем теперь мечтать об этом".

В третьей, заключительной части своего основополагающего труда, обозначенной как "Дополнение 1914 года", Циолковский, полемизируя с Эсно Пельтри в части использования в качестве ракетного топлива радия, писал: "Я сам мечтал о радии. Но в последнее время я произвел вычисления, которые показали, что если направить частицы (альфа и бета), выделяемые радием, в одну сторону параллельным пучком, то вес его уменьшится приблизительно на одну миллионную долю его собственного веса. После этого я бросил мысль о радии. Всякие открытия возможны, и мечты неожиданно могут осуществиться, но мне бы хотелось стоять по возможности на практической почве".

К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

Прошло еще 10 лет, и Циолковский в своей работе "Космический корабль", изданной в 1924 г., вновь вернулся к рассмотрению возможности использования ядерной и электрической энергии в ракете: "Энергия радия и других подобных веществ огромна, но она выделяется так медленно, что абсолютно непригодна... Нечего и говорить, что необходимого количества радия не найдется сейчас в распоряжении, что стоимость его чудовищна, что не имеется еще и радиевого двигателя и что идеальное использование его невозможно.

Сила электричества неограниченно велика, и потому может дать могущественный поток ионизированного гелия, который может послужить для небесного корабля. Но и эти мечты пока оставим и возвратимся к нашим прозаическим веществам".

Мы тоже последуем этому указанию ученого и сконцентрируем свое внимание на его предложениях по использованию химических веществ и оценках эффективности их применения.

В уже ранее упоминавшемся "Дополнении 1914 года" Циолковский сделал первый серьезный шаг от чисто теоретических рассуждений о реактивном движении к практическому изложению своих воззрений на ракету, как рукотворный технический объект. Во вступительной части работы он писал: "Здесь я хотел бы популяризировать свои мысли, сделать некоторые к ним пояснения и опровергнуть взгляд на ракету, как на что-то чрезмерно далекое от нас". Что касается ракетного топлива, то Циолковский, констатируя, что "из всех известных химических реакций наибольшее количество теплоты дает соединение водорода и кислорода", одновременно допускал и применение других веществ. Он писал: "Водород в жидком виде может быть заменен жидкими или легко сжижающимися углеводородами. Надо искать такие соединения водорода с углеродом, которые содержат возможно больше водорода, как, например, скипидар ($C_{10}H_{13}$), ацетилен (C_2H_2) и еще больше метан (CH_4) или болотный газ; последний нехорош тем, что трудно сгущается в жидкость. Подобные же соединения не мешают отыскать и для кислорода". В последующих работах Циолковский выполняет это данное себе поручение.

В 1926 г. вышла очередная работа Циолковского, сохранившая название первого научного труда 1903 г. - "Исследование мировых пространств реактивными приборами". В этой работе он изложил более совершенную теорию реактивного движения, разработанную с использованием собственных предыдущих работ и достижений науки за прошедшие 20 лет. Это уже не фантазии на научной основе о технике далекого будущего, по многим техническим вопросам Циолковский дал подробные математические вычисления и практические рекомендации.

Что же касается топлива, то остаются все те же водород и кислород, но не как однозначное предложение, а с оценкой их пригодности. Его мнение: "Водород трудно обращать в жидкость и хранить, так как без особых предосторожностей он быстро улетучивается. Пригоднее всего жидкие и легко обрабатываемые в жидкость углеводороды. Чем они летучее, тем больше содержат водорода и тем они выгоднее для дела. Кислород терпим и в жидком виде, тем более, что он может служить источником охлаждения, к которому приходится прибегать для охлаждения взрывной трубы".

В приведенной оценке пригодности водорода и кислорода уже намечается практический подход к их использованию в составе ракеты, однако теоретическая эффективность все еще довлеет над эксплуатационно-техническими характеристиками этих компонентов топлива. Это следует из его утверждения: "Действие

сложных веществ немного уступает действию чистых водорода и кислорода. Последние дают скорость отброса в 5 км/сек, а сложные - 4 км/сек. Значит, и скорость ракеты в последнем случае будет в таком же отношении уменьшена на 20 %".

Надо отметить, что теоретическим работам Циолковского свойственна некоторая двойственность в подходе к выбору ракетного топлива. Когда он писал о движении ракеты, о получении максимальных скоростей, то рассматривал применение только кислородно-водородного топлива. Эту же пару он использовал и в качестве эталонной при сопоставлении тепловой эффективности различных топлив. Когда же излагал свои взгляды на конструкцию ракеты, ее двигателя, затрагивал вопросы эксплуатации, то на первый план выходят химические вещества, содержащие кислород и водород, как правило, жидкие при атмосферных условиях и достаточно дешевые.

Так, в работе "Космическая ракета. Опытная подготовка", датированной 1927 г., Циолковский детально описывал конструкцию ракетного аппарата, дал его схему и подробно изложил функционирование составных частей ракетного двигателя. Принятая чисто практическая тональность работы сохраняется и при формировании предложений по использованию веществ в качестве ракетного топлива. В этой части Циолковский еще более категоричен, чем в "Дополнении 1914 года". Применению водорода он вынес суровый приговор: "Жидкий водород вообще неприменим, в особенности на первое время. Причины: дороговизна, низкая температура, теплота испарения, трудность хранения. Практичнее употреблять углеводороды с возможно большим относительно количеством водорода". И он предложил к ранее уже упомянутому в качестве ракетного горючего скипидару, ацетилену и метану добавить бензол (C_6H_6), который по его мнению, более предпочтителен. Кроме указанных химических соединений рассматривалась нефть как смесь углеводородов. Подводя итог предложениям по использованию веществ в качестве ракетного горючего, Циолковский писал: "Все углеводороды выделяют летучие продукты и потому пригодны для ракеты". Надо сказать, что предложение использовать нефть не было случайным. В работе "Труды о космической ракете 1903-1927 гг." только нефть рассматривалась им в качестве ракетного горючего, используемого и как компонент топлива, и как охладитель "узкого начала трубы", по сегодняшней терминологии - зоны критического сечения камеры.

В качестве окислителя вместо чистого кислорода Циолковский рассматривал жидкий воздух, в котором содержится достаточное количества кислорода. Он подчеркивал, что получение жидкого воздуха не составляет технической трудности и достаточно дешево. Но применение жидкого воздуха не удовлетворяло Циолковского. Он предлагал альтернативу: "Выгоднее жидкого воздуха был бы азотный ангидрид N_2O_5 , если бы не его дороговизна, химическое действие, неустойчивость и ядовитость... Не порекомендуют ли нам известные физики более подходящие соединения кислорода!"

В начале 30-х годов, когда в различных странах, в первую очередь в Германии и СССР, ракетная техника начала делать первые шаги, Циолковский сконцентрировал свое внимание на практической стороне космонавтики. В 1932-1933 гг. он написал статью "Топливо для ракеты" (опубликована в 1936 г.), в которой переосмыслил, обобщил и систематизировал все ранее изложенные взгляды на ракетное топливо. Если в предыдущих его трудах



П. 4.- жидкий водород в 14 раз легче воды и поэтому занимает больший объем.

П. 6. - Критическая температура водорода равна 234 холода, а кислорода - 119 холода".

По оценке Циолковского, "в отдельном виде водород и кислород пока неудобны. Лучше всего их заменить слабыми соединениями с другими элементами". Далее он определил, что вместо водорода самыми подходящими для горения с кислородом являются углеводороды. И чем больше в них процент содержания водорода, тем больше выделяется энергии при горении.

Циолковский подробно проанализировал по предложенным им критериям пригодности метан, этилен, бензол, ацетилен, скипидар, метиловый и этиловый спирты, эфир. У всех есть недостатки, но наиболее приемлемым, по его мнению, является этиловый спирт.

Что касается окислителя, то, в который уже раз отметил Циолковский, жидкий кислород неудобен из-за его низкой температуры кипения. Поэтому интерес представляют кислородные соединения азота.

Рассмотренные Циолковским на соответствие комплексу требований закись азота, окись азота, азотоватый ангидрид были оценены как малопригодные.

Наиболее приемлемым, по его мнению, является азотный ангидрид. Это соединение содержит достаточное количество кислорода, оно представляет собой химически устойчивую жидкость с хорошей плотностью - 1,49 г/см³. Недостаток: азотный ангидрид - сильный окислитель металлов, требуется специальная защита от коррозии.

В выводах Циолковский отметил:

"1. Водород негоден по малой плотности и трудности хранения в жидком виде.

2. В качестве горючего пригодны жидкие углеводороды с высокой температурой кипения: спирты, эфиры, бензол, нефтепродукты - керосин и другие, тем более, что они дешевы.

3. Употребление жидкого кислорода представляет неудобство из-за затруднений при его хранении.

4. Для замены кислорода более всего подходит азотный ангидрид".

Этими выводами Циолковский завершил свои теоретические исследования в области ракетных топлив.

Как же оценить взгляды Циолковского на ракетное топливо с позиций сегодняшних достижений космонавтики?

Ход развития ракетной техники в СССР и за рубежом подтвердил основные положения по выбору и применению ракетных топлив, изложенные Циолковским в его теоретических трудах. Конечно, бурное развитие науки и техники во второй половине XX века создало новые технические возможности, в том числе и в области криогенной техники, что внесло некоторые коррективы в выводы Циолковского и позволило использовать в космических ракетах кислородно-водородное топливо. Но сама методика подхода Циолковского к выбору ракетного топлива сформулирована верно.

Академик В.П. Глушко, единственный из плеяды выдающихся отечественных последователей Циолковского, кто продолжил расчетно-теоретические и практические исследования в области применения различных ракетных топлив, считал правильный выбор топлива одной из главных составляющих конечного успеха создания всего ракетного комплекса. В своей монографии "Источники энергии и их использование в реактивных двигателях", вышедшей в 1955 г., Глушко писал: "Правильный выбор наиболее эффективных топлив для конкретных двигателей, предназначенных решать определенные задачи, т.е. для каждого конкретного случая применения, является первым и обязательным условием успеха работ, направленных к созданию реактивного двигателя".

Это утверждение, по сути - передача эстафеты знаний от теоретических разработок Циолковского к практической деятельности ученого нашего времени. **П**

требования к свойствам вещества представлялись разрозненно, с акцентом на отдельные характеристики, то в этой статье сформирован комплекс требований, который может быть практически без изменений использован в наши дни при оценке пригодности химического вещества в качестве компонента ракетного топлива.

Комплекс требований к веществам, сформулированный Циолковским, состоит из шести пунктов:

1. Единица массы топлива при горении должна совершать максимальную работу.

2. Вещества при соединении должны давать газы или пары при нагревании.

3. При горении развить возможно низкую температуру, чтобы не сжечь или не расплавить камеру сгорания.

4. Компоненты должны иметь возможно большую плотность.

5. Компоненты должны быть жидкими и легко смешиваться.

6. Вещества могут быть и газообразными, но иметь высокую критическую температуру и низкое критическое давление чтобы удобно было их употребить в сжиженном виде. Сжиженные газы вообще не выгодны своей низкой температурой, их употребление сопряжено с потерями от испарения и опасностью взрыва.

Далее Циолковский рассматривал в рамках приведенного комплекса требований пригодность различных компонентов топлива:

"Водород и кислород удовлетворяют всем требованиям, кроме указанных в п. 4. и п. 6.