**Водородная авиация**

Александр Филатов

**Введение**

В настоящее время топливно-энергетическая и экологическая проблемы приобретают все большую актуальность и масштабность. В ближайшие десятилетия наращивание энергопроизводства только за счет органических топлив невозможно. Это обусловлено ограниченностью их запасов, ростом потребности в них других отраслей промышленности, загрязнением окружающей среды.

Самым перспективным энергоносителем в настоящее время является водород (в жидком и газообразном состоянии).

Сейчас количество самолетов, двигателей, аэропортов так велико, что смена топлива кажется дорогим и долгим процессом.

В данной работе кратко изложены основные идеи постепенного перехода авиации на криогенное топливо. Данная работа не содержит секретной информации.

**Водород – авиационное топливо**

Водород удовлетворяет многим требованиям, предъявляемым к топливам. Водород дает минимум загрязнения окружающей среды. Высокая массовая теплота сгорания примерно в 2,8 раза превышает теплоту сгорания керосина, его высокая полнота сгорания позволяет повысить эффективность двигателей, уменьшить удельный расход топлива, уменьшить массу и габариты двигателя.

К достоинствам водорода как авиационного топлива следует добавить следующее. LH2 легко испаряется и быстро распространяется по всему объему камеры сгорания, что способствует быстрому запуску двигателя. Незначительная энергия и широкие пределы воспламенения водородно-воздушной смеси также способствуют быстрому запуску двигателя при различных температурах и на различных высотах. Водород при сгорании дает пламя с низкой излучающей способностью и сгорает без образования нагара, что позволяет увеличить ресурс и надежность двигателей. Малая коррозионная активность водорода. Двигатели на LH2 практически не загрязняют окружающую среду. Теплопоглощающая способность водорода в 30 (!) раз выше, чем у керосина, что позволяет использовать его в системах охлаждения элементов двигателя и ЛА. Повышение эффективности охлаждения турбин позволяет поднять температуру перед турбиной и степень повышения давления в компрессоре. Это приведет к значительному снижению удельного расхода горючего (15-20%) и повышению удельной тяги двигателя. Высокие кинетические свойства LH2 как горючего: быстрое протекание смесеобразования, устойчивость к ВЧ колебаниям. Меньшая масса ЛА позволяет уменьшить нагрузку на крыло и размеры крыла. Это снизит шум в районе аэропорта. Работа на LH2 позволяет создавать компактные камеры сгорания с более равномерным температурным полем на выходе. Вследствие более высокой теплоемкости газа, температура на входе будет более низкой и т. д.

Летные качества ЛА на LH2 имеют тенденцию к оптимизации при М» 6. То есть, чем выше скорость самолета и больше его масса, тем целесообразнее переход на водород. Большинство проблем, связанных с использованием LH2 как авиационного топлива, связано с его очень низкой плотностью (63-70 кг/м3) и низкой температурой кипения (20К). Значит, самолетные баки должны быть относительно крупными и иметь конфигурацию с минимизированным отношением поверхности к объему, чтобы избежать избыточных потерь на испарение и дополнительную массу изоляции. Также некоторые конструкционные материалы становятся хрупкими в LH2.

**Летательные аппараты**

Рассмотрим постепенный переход авиации на криогенное топливо. Он состоит из трех этапов.

1.Только несколько аэропортов имеют криогенные системы заправки. На данном этапе используют обычные ЛА и двухтопливные ЛА . Последние представляют собой существующие самолеты с установленным криогенным баком. Необходимая масса водорода в 2,8 раза меньше массы керосина, но из-за низкой плотности водорода, потребный объем баков выше в 4,3 раза. Такое количество топлива можно поместить над салоном по всей длине ЛА. Конечно, можно разместить бак в салоне, но это снизит количество пассажирских мест и повысит стоимость билета. Двухтопливные ЛА могут использовать как керосин, так и водород. Их применение оправдано о двум причинам: а) они не требуют обязательного наличия криогенной системы в аэропортах, б) стимулируют развитие криогенной инфраструктуры.

2.Крупнейшие аэропорты имеют криогенные системы. Около 50% пассажиров перевозится на водороде. На этом этапе самый распространенный тип ЛА – двухтопливный. Керосиновые ЛА вытесняются появлением собственно криогенных ЛА, в том числе гиперзвуковых. Такие ЛА изначально спроектированы под использование водорода. Большая часть подъемной силы производится плоским фюзеляжем. Небольшие крылья простираются вдоль всего ЛА и заканчиваются рулями высоты. Криогенный бак расположен в центре фюзеляжа по всей его длине. По обеим сторонам от него находятся пассажирские салоны. Там где фюзеляж переходит в крылья, расположены два ГТД. В хвостовой части или под крыльями расположены гиперзвуковые двигатели внешнего горения. ГТД используются при взлете-посадке и на скоростях до 1,5-2М. Основной полет происходит на скорости 6-12М на высоте свыше 18 км с использованием двигателей внешнего горения. Входные и выходные отверстия ГТД в это время закрыты аэродинамическими щитками.

При небольшом изменении конструкции и установке ракетного двигателя, такой ЛА может выйти на орбиту. Он не имеет ГТД. Вместо них расположены баки с жидким кислородом. Также возможна установка подвесных баков. ЛА стартует с любого аэропорта с помощью РД. Используя подъемную силу фюзеляжа и крыла, он разгоняется до 2М. Далее включаются авиационные двигатели внешнего горения (они используют кислород из атмосферы). ЛА достигает максимально возможной высоты и скорости, и вновь включается ракетный двигатель.

3. Все аэропорты имеют криогенные системы. Двухтопливные ЛА доживают свой век на ближних дистанциях, вытесняемые криогенными ЛА.

**Наземное оборудование**

Развитие водородной инфрастуктуры также делится на три этапа.

1. На территории аэропортов возводятся хранилища для жидкого водорода (такие сооружения уже существуют). Доставка осуществляется железнодорожным транспортом с ближайших LH2 заводов. Те же либо получают газообразный водород сами, либо по трубопроводам. Заправка ЛА производится либо через криогенные трубопроводы, либо с автоцистерн. Все описанные объекты уже существуют и успешно используются.

2.На побережьях океанов возводятся ядерные заводы по производству газообразного водорода. Строятся магистральные трубопроводы под водород или модернизируются существующие. Зарождается единая водородная индустрия. Заметим, что передача энергии в виде водорода дешевле, чем передача электроэнергии. Значит, водород можно использовать на городских электростанциях на базе списанных ГТД или существующих тепловых станциях. Это намного улучшит экологию больших городов. Транспортирование газообразного водорода безопаснее, чем природного газа, так как при утечке водород быстро поднимается вверх и растворяется в атмосфере, а природный газ скапливается в низинах, образуя взрывоопасные смеси (в России сгорели два пассажирских поезда в конце 80-х). Водородная индустрия сделает энергетику и экономику страны независимой от нефтяных кризисов и цен на нефть. Любая страна может производить водород, особенно если она использует океаническую воду (эта вода содержит топливо для реактора). Большие аэропорты имеют собственные заводы по производству LH2 . Они получают газообразное сырье из трубопроводов. Часть LH2 транспортируется на ближайшие аэропорты, которые не имеют собственного производства. Часть газообразного водород используется для получения электроэнергии для аэропорта и города.

3.Все аэропорты имеют собственный завод LH2. Крупные аэропорты запускают и принимают грузы с орбиты.

**Двигатели**

Рассмотрим четыре типа криогенных двигателей.

1. Двухтопливные двигатели создаются на базе существующих двигателей. Добавляется система подачи водорода. Она включает в себя: водородный бак, бустерный насос, водородные магистрали и клапаны, систему продувки водородных магистралей гелием, систему регулирования, универсальный турбонасос, испаритель, форсунки. Данная система универсальна и может быть использована в криогенных двигателях следующего поколения, включая гиперзвуковые. Основной узел системы – универсальный турбонасос, который может работать с любым типом двигателей (в своей дипломной работе автор доказал принципиальную возможность создания такого агрегата). К сожалению, его описание слишком велико и будет приведено в отдельной статье. Водород подается турбонасосом в испаритель. Водород испаряется, нагревается и приводит в движение турбину турбонасоса. Затем он поступает на форсунки камеры сгорания. Испаритель может быть расположен за турбиной двигателя или под обшивкой гиперзвукового лайнера. Заметим, что переделка двигателя заключается только в установке водородных форсунок и испарителя. Такой двигатель имеет две системы топливопитания и может работать на любом имеющемся топливе (но не на двух сразу!).

2. Криогенные газотурбинные двигатели. Такие двигатели созданы под использование водорода, но имеют в качестве прототипов обычные газотурбинные двигатели. В отличие от них, криогенные двигатели имеют небольшую камеру сгорания, больший ресурс турбины, высокую степень повышения давления в компрессоре. Водородная система аналогична двухтопливным двигателям. Криогенные газотурбинные двигатели будут использоваться на дозвуковых самолетах, а также на гиперзвуковых лайнерах в качестве промежуточного двигателя (взлет - посадка).

3. Гиперзвуковые двигатели внешнего горения. С предыдущими типами их связывает только система подачи топлива. Во всем остальном – это совершенно другое устройство. Он не имеет движущихся частей (компрессора, турбины). Роль проточной части двигателя выполняет корпус ЛА. Топливо подается непосредственно на поверхность ЛА, где самовоспламеняется из-за высокой температуры воздуха.

4. Ракетные двигатели. Используют водород и кислород из криогенных баков.

**Заключение**

Как Вы могли убедиться, последовательный переход к криогенной авиации затрагивает и энергетическую систему стран. Все это значительно улучшит экологическую ситуацию, создаст новые рабочие места, снизит время и стоимость перелетов. Станет проще, дешевле и доступнее запуск космический кораблей. Переход займет не одно десятилетие, но его осуществление может быть начато уже сейчас, так как существуют ВСЕ, необходимые для первого этапа, технические средства. Остается только создание криогенных хранилищ около аэропортов и установка на существующие самолеты водородной системы (система топливоподачи и прототип турбонасоса уже испытывались на двигателе НК-88 самолета Ту-155).