

ЖРД

ДВИГАТЕЛИ ВОСТОКА

Военная академия РВСН им. Петра Великого:

Александр Башилов, доцент, к.т.н.

Геннадий Самарин

Созданием жидкостных реактивных двигателей Япония и Китай занялись позднее России, США и стран Западной Европы – с конца 60-х годов. Те небольшие сроки, которые потребовались этим странам для разработки и начала самостоятельного производства ЖРД, объясняются возможностью опоры на достигнутый к тому времени мировой опыт. Кроме того, азиатские страны стремились закупать образцы ракетно-космической техники за рубежом и эффективно пользовались услугами иностранных специалистов.

Основным и, видимо, пока единственным разработчиком ЖРД в Японии является корпорация Mitsubishi, которая с помощью западных фирм Aerojet и Rocketdyne разработала первые национальные ЖРД космического назначения: небольшой азотнокислотный двигатель LE-3 и кислородно-водородные двигатели LE-5 и LE-7.

Наиболее совершенным на сегодняшний день японским ЖРД является мощный маршевый кислородно-водородный двигатель LE-7 для первой ступени ракеты Н-2. Этот двигатель многоцелевого использования представляет собой аналог американского ЖРД SSME. LE-7 отличается высокими параметрами рабочих процессов и уровнем конструктивного совершенства.

LE-7 является однокамерным ЖРД с насосной подачей обоих компонентов от автономных турбонасосных агрегатов (ТНА) и дожигом генераторного газа. Двигатель не имеет бустерных на-

расширения 60). Первая секция имеет внутреннюю стенку из медного сплава с продольными фрезерованными ребрами. Ее наружная стенка выполнена из порошка меди и олова путем горячего изостатического прессования при давлении около 150 МПа и температуре более 1200К. Вторая секция набрана из никелевых трубок толщиной около 0,3 мм, спаянных твердым медным припоем и подкрепленных снаружи приваренными стальными бандажами. Обе секции камеры соединяются с помощью фланцевого прочно-плотного соединения и охлаждаются водородом. ТНА кислорода и водорода имеют двухступенчатые насосы и двухступенчатые осевые реактивные турбины. Обе ступени насоса водорода имеют одинаковые крыльчатки закрытого типа и работают последовательно, а по кислороду вторая ступень является малорасходной (через нее проходит лишь 10 % от общего расхода) и обеспечивает дополнительное повышение давления. Мощность ТНА кислорода - 6,34 МВт при частоте вращения 40 000 об/мин. Мощность ТНА водорода - 25,4 МВт при скорости вращения 92 000 об/мин.

Газогенератор - однозонный, охлаждаемый водородом. Он вырабатывает газ с температурой около 1100К, которая затем снижается в газооде до 1000К путем разбавления генераторного газа газообразным водородом, взятым из тракта охлаждения камеры. Зажигание в газогенераторе и в камере осуществляется с помощью встроенных электросвечей.

Топливные магистрали двигателя до запуска компонентами топлива не залиты. Захолаживание и заливка кислородом и водородом происходит соответственно за 5 и 10 минут до старта РН. Запуск - плавный, двухступенчатый. Он имеет продолжительную



LE-7A



LE-7, установленный в ракету

сосных агрегатов (БНА). В нем используется привод турбин обоих ТНА разделяющимися, а затем снова объединяющимися для дожига в камере газовыми потоками.

Карданный подвес ЖРД допускает отклонение в плоскостях тангажа и рыскания на углы до 4,5 градусов. Для управления по крену использована система рулевых сопел на отработавшем генераторном газе. Двигатель обеспечивает наддув обоих баков ракеты-носителя (РН). Бак горючего наддувается газообразным водородом, отобранном из тракта охлаждения камеры, бак окислителя - газообразным гелием, подогретым в теплообменнике ТНА кислорода.

Камера LE-7 имеет оболочечно-трубчатую паяно-сварную конструкцию, аналогичную конструкции камеры американского ЖРД SSME. Она состоит из четырехднщевой стальной смеси-тельной головки с двухкомпонентными струйными форсунками типа "трубка в трубке" и двух секций корпуса - двухстенной оболочечной (до степени расширения 25) и трубчатой (до степени



ЖРД LE-7 на стенде



Японская ракета-носитель на старте

Таблица 1

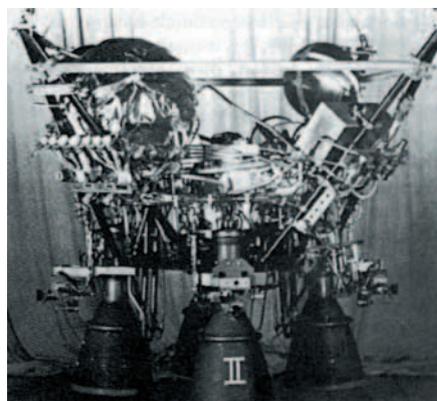
ХАРАКТЕРИСТИКИ японских ЖРД					
Тип ЖРД	LE-3	LE-3M	LE-5	LE-5A	LE-7
Топливо	АТ+азрозин-50		Жидкий кислород + жидкий водород		
Год создания	1976	1981	1986	1992	1994
Ступень / Носитель	2 / N-1	2 / N-2	2 / N-1	2 / N-2	1 / N-2
Тяга в пустоте, кН	53,3	43,8	103	120	1180
Удельный импульс, Н·с/кг	2846	3080	4380	4430	4405
Давление в камере, МПа	1,14	0,86	3,43	3,6	14,5
Расширение сопла	26	65	140	140	60
Мощность ТНА (горючего/окислителя), кВт	-	-	418 / 108	432 / 120	25400 / 6340
Масса, кг	656 (ДУ)	496 (ДУ)	255	240	1560
Время работы, с	250	420	370	До 550	До 320
Количество запусков	1	2	3	5	1
Высота / диаметр, м	1,77 / 0,96	2,84 / 1,45	2,65 / 1,65	2,65 / 1,65	3,5 / 1,9

(до 3 с) ступень предварительной тяги (50 %), обеспечиваемую неполным открытием управляющих клапан-регуляторов камеры и газогенератора. Выключение - двухступенчатое (сначала газогенератора, затем камеры). Перед запуском и после выключения ЖРД предусмотрены профилактические продувки гелием электросвечей и магистралей окислителя камеры и газогенератора. В каждом полете ЖРД запускается только один раз.

В целом японские ЖРД (особенно LE-7) являются вполне современными ракетными двигателями, обладающими приемлемой надежностью, которая подтверждена результатами эксплуатации. Следует отметить, что ЖРД японского производства имеют в своем составе мини-ЭВМ с очень высокой производительностью (так, в ЖРД LE-5 электронный блок управления работой двигателя на базе мини-ЭВМ японской фирмы Toshiba имеет размеры 5x10x12 см и весит всего 0,75 кг). К вышесказанному необходимо добавить, что ЖРД Японии имеют достаточно высокие технические характеристики, а их конструктивное совершенство отвечает современным мировым требованиям.

О состоянии разработок по ЖРД в Китае судить очень сложно, т.к. имеющиеся сведения носят отрывочный и противоречивый характер. В связи с этим отсутствует возможность детально проанализировать технический уровень и конструкцию этих ЖРД. Достижения в этой области обеспечены результатами самостоятельных работ китайских ученых и конструкторов, причем многие из них в свое время окончили советские ВУЗы. И все же западные специалисты полагают, что в основе китайских ЖРД лежат, как правило, собственные разработки. В их конструкции широко используются как оболочечные паяно-сварные камеры с плоскими смесительными головками (имеющими одно- или двухкомпонентные форсунки), так и моноблочные одновальные безредукторные ТНА, а также агрегаты автоматики с пиротехническим или пневматическим приводом.

ноблочный, одновальный, с центральным расположением одноступенчатой активной осевой газовой турбины и консольными шнекоцентробежными насосами. Газогенератор - восстановительный, неохлаждаемый, с температурой газа около 950К. Агрегаты автоматики - пневмоуправляемые гелием, многократного срабатывания. ЖРД выполнен по схеме без дожигания. Он обеспечивает наддув бака горючего РН отработавшим генераторным газом, температура которого снижается путем разбавления его жидким водородом.



YF-73



YF-20

Все китайские ЖРД имеют довольно высокий уровень надежности. В последнее время активизировались попытки этой страны выйти на международный рынок коммерческих запусков. Причем здесь следует отметить тот факт, что при выводе полезных грузов в космос Китай предлагает весьма низкие цены. В результате, даже при весьма средних технических характеристиках

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ китайских ЖРД					
Тип ЖРД	YF-2	YF-3	YF-20	YF-22	YF-73
Топливо	АТ+НДМГ				O ₂ + H ₂
Год создания	1969	1970	1975	1975	1984
Ступень / Носитель	1 / CZ-1	2 / CZ-1	1 / CZ-2, CZ-3	2 / CZ-2, CZ-3	3 / CZ-3
Состав ЖРД	4к+1 ТНА	1к+1 ТНА	1к+1 ТНА	1к+1 ТНА	4к+1 ТНА
Тяга, кН	1099 (у земли)	294 (у земли)	670 (у земли)	762 (у земли)	44 (в пустоте)
Удельный импульс, Н·с/кг	2460	2620	2680	2740	4169
Давление в камере, МПа	7,0	7,0	8,5	8,5	3,0
Время работы, с	120	135	132	129	451 + 291

Судя по давлению в камере и удельному импульсу (табл. 2), китайские ЖРД выполнены по схеме без дожигания. Вероятно, они прошли аналогичный советским ЖРД путь развития от многокамерных двигателей с неподвижными камерами и небольшой (до 300 кН) тягой (типа YF-2) до весьма мощных однокамерных ЖРД тягой свыше 700 кН (типа YF-20 или YF-22).

Следует отметить достаточно высокий уровень конструктивного совершенства первого (и пока единственного) китайского кислородно-водородного ЖРД YF-73. Этот четырехкамерный двигатель имеет отклоняемые (на углы до 5°) в одной плоскости камеры, питаемые от единого ТНА. Камеры - стальные, паяно-сварной конструкции. Они имеют щелевые смесительные головки из нержавеющей стали и двухстенные оболочечные корпуса. ТНА - мо-

ках РН, близость китайских космодромов к экватору обеспечивает им вполне приемлемые энергетические возможности. Следует учитывать и то, что Китай интенсивно закупает лучшие образцы иностранных ЖРД (например, российские РД-120). В перспективе это позволит китайским РН составить серьезную конкуренцию космическим носителям наиболее развитых стран в проведении коммерческих запусков. Получаемая прибыль позволит еще более интенсивно развивать ракетное двигателестроение в Китае и вывести (не исключен и такой вариант) эту страну на передовые позиции в мире. Тем более, что китайское руководство планирует запуск в ближайшее время пилотируемого космического корабля, а в недалеком будущем - и собственной орбитальной станции, аналогичной "Миру". ◀