

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА В ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

**Ходосенко Р.С.**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

По сравнению с другими видами тепловых двигателей, жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) имеют наилучшие удельные показатели по преобразуемой энергии, массе и размерам. Увеличение удельных параметров ЖРД связано с повышением давления в камере двигателя. Как известно, в ЖРД подача компонентов топлива окислителя и горючего осуществляется насосами, которые приводятся во вращение газовой турбиной. В совокупности насосы с турбиной образуют единый энергетический узел - турбонасосный агрегат (ТНА), являющийся «сердцем» ракетного двигателя.

Создание ТНА безусловно, явилось одним из крупнейших достижений ракетной техники. Постоянно растущие требования, предъявляемые к ТНА, вызванные необходимостью достижения все более высоких уровней параметров и освоения новых компонентов топлива, определяли актуальность и направления поиска новых схемных и конструктивных решений, разработки соответствующих материалов, исследований рабочих процессов, разработки теоретической базы, развития измерительной техники.

С учетом давлений жидкостном газогенераторе (ЖГГ) и в тракте газовой турбины получается, что насосы ТНА должны быть высоконапорными. При создании ТНА с высокими окружными скоростями и КПД, с малыми размерами и массой в качестве основных используются центробежные насосы с приводом от газовой турбины.

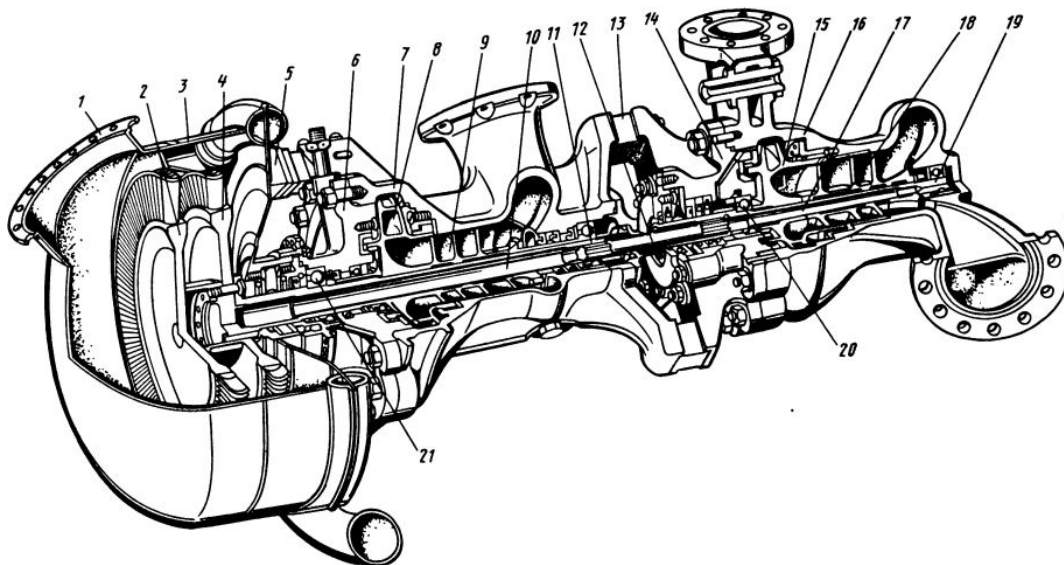
Исходя из задач поставленных перед конструкцией ТНА сформулируем основные требования к насосным агрегатам.

Прежде всего ТНА должен:

- 1) надежно обеспечивать непрерывную подачу необходимого количества компонентов в камеру сгорания под заданным давлением с максимально высоким КПД;
- 2) иметь минимальные габаритные размеры и массу;
- 3) обеспечивать максимально возможную угловую скорость;
- 4) иметь минимальную стоимость при изготовлении;
- 5) обеспечивать работу двигателя на всех его режимах;
- 6) иметь низкий уровень пульсаций и вибраций.

Перечислив требования к насосному агрегату уделим внимания непосредственно самой конструкции ТНА.

Прежде всего в ЖРД применяются следующие типы насосов –осевые (шнеки), струйные (эжекторы), дисковые, вихревые. Они выполняют вспомогательные функции, как подкачивающие устройства, хотя в бустерных насосных агрегатах могут служить основными.



1 – фланец выхлопного коллектора; 2,4 – диск турбины второй и первой ступеней; 3 – статор турбины; 5,13 – шпонки; 6,14 – крышки насосов; 7,16 – корпуса насосов; 10,17 – валы; 8,15 – центробежные колеса; 9,18 – шнеки; 11,19,20,21 – подшипник; 12- рессора

Рисунок. 1- Схема ТНА

Газовые турбины для привода насосов – малогабаритные с осевым или радиальным направлением рабочего тела, в качестве которого используются продукты сгорания основных компонентов топлива в ЖТГ. Для привода насосов в двигателях без дожигания применяются активные турбины, в двигателях с дожиганием – одноступенчатые реактивные.

При работе конструкция ТНА столкнулась с гидравлическим явлением, таким как кавитация. Заключается оно в том, что в местах потока жидкости, где статическое давление падает до значений меньше давления парообразования, появляются пузырьки пара. Если в дальнейшем эти пузырьки попадают в область повышенного давления, то происходит их конденсация. Поскольку парообразование в жидкости возникает при той температуре, с которой она поступает в насос из бака, т.е без подогрева, то кавитацию часто называют «холодным кипение» жидкости.

В процессе движение жидкости через устройства, возникают гидравлические потери. В момент входа потока в межлопаточный канал колеса напор уменьшается в следствие потерь при обтекании входных кромок лопаток, а так же возникает скорость, что более снижает статическое давление. В дальнейшем, при перемешивании жидкости в глубь межлопаточного канала, давление жидкости будет возрастать вследствие силового воздействия на жидкость со стороны лопаток.

Исходя из этого можно, можно заключить, что наиболее опасным с точки зрения возможности кавитации местом, является входная кромка лопаток рабочего колеса, в части наиболее отдаленной от оси. Поскольку здесь

наблюдается наибольшая относительная скорость движения жидкости. Расчет гидравлических потерь в насосе затруднен вследствие большой сложности течения жидкости. В результате зачастую используются приближенные методы расчета.

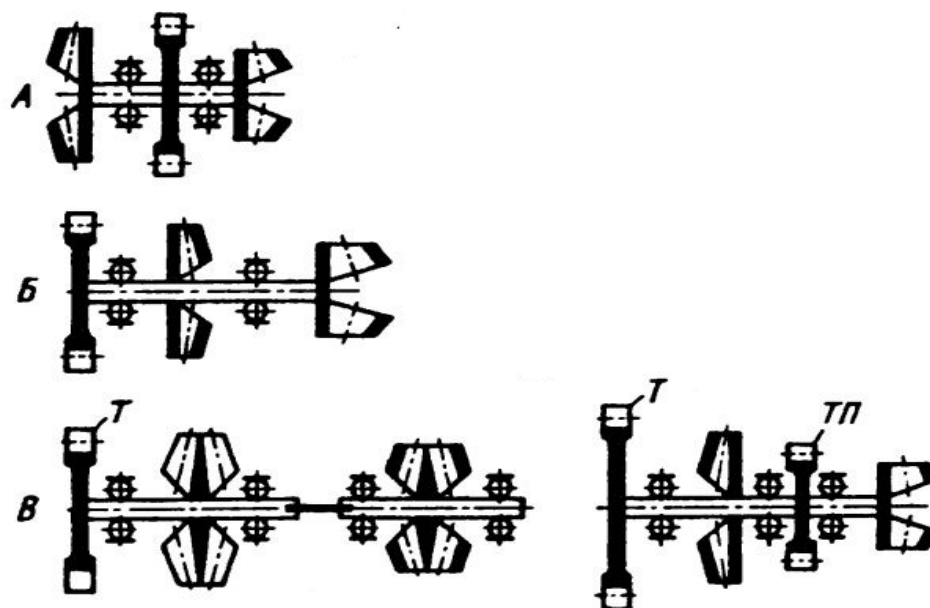
Задачу выбора компоновочной схемы ТНА можно сформулировать как целевую функцию определения для конкретных исходных данных такой совокупности признаков схемы, при которой наилучшим образом реализуются требования к конструкции ТНА.

К основным факторам, определяющим выбор той или иной компоновочной схемы, относится уровень температуры компонентов, подаваемых насосами, и рабочего тела турбины, а именно: высококипящая жидкость или низкокипящая (криогенная), склонность к её термическому разложению, а так же возгоранию или взрыву при контакте компонентов между собой или с газом турбины.

Факторы этой группы влияют на выбор взаимного расположения и взаимной ориентации насосов и турбины. Например, насос с криогенной рабочей жидкостью нецелесообразно располагать рядом с турбиной, так как тепловой поток от турбины передается через корпусные детали вал в рабочую жидкость и подогревает ее, что может привести к кавитации на входе в насос и срыву его работы. В тех случаях, когда установка такого насоса рядом с турбиной все же необходима, следует ориентировать насос относительно так, что бы вход в него был удален от турбины. Вместе с тем такой вариант компоновки требует хорошей теплоизоляции корпусов турбины и насоса, а в ряде случаев и вовсе охлаждения рабочей жидкостью промежуточных деталей и вала. Исходя из таких же соображений нежелательна установка рядом с турбиной насоса с компонентом, склонным к термическому разложению. Часто компоненты ракетных топлив, горючее и окислитель, при соприкосновении самовоспламеняются, и даже контакт их паров в какой либо полости ТНА приводит к взрыву. Для предотвращения необходимо предусматривать сложную систему уплотнений, исключаящих контакт компонентов. Такой же сложностью обладает генераторный газ, который является рабочим телом турбины, рабочая жидкость одного из насосов.

Так как взаимная ориентация насосов и турбины зависят от многих факторов, одним из основных являются физико-химическим, все многообразие компоновочных схем ТНА классифицируется по следующим признакам:

- кинематическая насосов и турбины: однороторный или много роторный ТНА;
- по типу ротора: однороторный ТНА (с одним валом) и многовальный (с двумя и более валами);
- по расположению турбины относительно насосов: консольно или между ними;
- по числу опор вала: двухопорная или трехопорная схема, которая допускается в тех случаях, когда в схеме с двухопорным валом увеличенное расстояние между опорами приводит к недопустимо большому изгибающему моменту вала.



А- центральное положение турбины; Б, В – консольное; ( А, Б – двухопорный; В – многоопорный); Т – турбина основная; ТП – турбина пусковая.

Рисунок. 2 – Компоновочные схемы однороторных ТНА

При многоопорных схемах опоры являются статически неопределимы. Это прежде всего затрудняют сборку ТНА из за сложности точной посадки вала в корпусе. Ненадежное распределения нагрузок по трем опорам.

Основными проблемами на пути дальнейшего совершенствования ТНА с целью повышения их ресурса и надежности являются снижение динамических нагрузок и повышение усталостной прочности элементов конструкции, а также совершенствование средств и методов контроля параметров и диагностики состояния материальной части.

Необходимость герметизации полости ТНА, чтобы исключить контакт несовместимых паров в полостях насосов и подшипников, а так же уплотнений. Потребность введения упругой опоры (при трехопорной системе вала), поскольку это обеспечит ограничение прогиба вала ТНА.

#### Список использованных источников

1. **Беляев Е.Н.** Математическое моделирование рабочего процесса ЖРД / Беляев Е.Н., Чванов В.К., Черваков В.В. –М.: Машиностроение, 1999.-94 с.- ISBN-5-7035-2221-8.
2. **Волков Е.Б., Головков Л.Г., Сырицын Т.А.** - Жидкостные ракетные двигатели 1970. - 237 с.
3. **Гахун Г.Г.** Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей / Г.Г. Гахун, В.И. Баулин, В.А. Володин. - М.: Машиностроение, 1989. - 424 с. -ISBN 5-217-00360-X.

*4. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. - Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей / Овсянников Б.В., Боровский Б.И.- М.: Машиностроение, 1986.*