

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЗАРЯДА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Исекенова Д. М., Соболев М. М.
Оренбургский государственный университет

Ракетные двигатели на твердом топливе получили широкое распространение из-за быстрого действия и простоты устройства, что обеспечивает необходимую надежность при эксплуатации данного вида ракет. Конструкция ракетных двигателей на твердом топливе состоит из следующих компонентов: корпус, заряд, сопловый блок, исполнительные органы системы управления вектором тяги, системы запуска, узлы отсечки тяги, узлы аварийного включения.

Топлива, которые применяются в РДТТ состоят из двух основных компонентов горючего и окислителя. Широкое применение в ракетостроении твердотопливных двигателей получили топлива на основе перхлората калия и полисульфида. Но удельный импульс увеличился тогда, когда вместо перхлората калия начали применять перхлорат аммония, а полисульфид заменили полиуретановые или же другие виды каучука, а также добавили порошкообразный алюминий и полимер бутадиена. Неосновные компоненты, которые добавляются при изготовлении твердого топлива, пластификаторы, отвердители, катализаторы и другие добавки, которые способствуют улучшению механических, физических, химических и технологических свойств.

Современные ракетные двигатели на твердом топливе содержат следующий характерный состав: перхлорат аммония – 69,6%;

Горючее связующее (полимер бутадиена, акриловой кислоты и акрилонитрила) – 12,04%;

Алюминий – 16,0%;

Эпоксидный отвердитель – 1,96%;

Оксид железа (катализатор горения) – 0,4%.

Не так часто ракеты изготавливают из модифицированного двухосновного топлива. Данное топливо содержит также окислитель, здесь применяют кристаллический перхлорат аммония, и в качестве горючего применяют порошкообразный алюминий. Два вышеперечисленных компонента связаны при помощи смеси из нитроцеллюлозы и нитроглицерина, и в каждом компоненте содержатся дополнительные окислитель и горючее. Состав данного топлива в процентных составляющих будет выглядеть следующим образом: перхлорат аммония – 20,4%;

Алюминий – 21,1%;

Нитроцеллюлоза – 21,9%;

Нитроглицерин – 29,0%;

Триацетин (растворимый) – 5,1%;

Стабилизаторы – 2,5%.

Данное топливо в отличии от смесового обладает большим удельным

импульсом, но недостатки, в виде высокой температуры горения, большой стоимостью и склонностью к детонации, перекрывает данное достоинство.

Технология снаряжения смесевым топливом ракетный двигатель выглядит следующим образом: производят подготовку внутренней поверхности корпуса, готовят топливную массу, на указанную поверхность наносят несколько синтетических полимерных материалов в три слоя: первый слой – адгезионный; второй слой – теплозащитный; третий слой – адгезионный. Причем вулканизация третьего слоя должна завершаться параллельно с отвердеванием топливной смеси. Топливная смесь готовится в специальных смесителях, где составляющие смеси принимают свойства густой, вязкой жидкости. Данный процесс производится исключительно под вакуумом, таким образом имеется возможность предотвратить образования пустот в заряде.

Для того, чтобы в корпус ракетного двигателя залить топливо, корпус помещается в специальную камеру, которая снабжена воздушными системами нагрева и вентиляции. После заливки топлива, технологическая камера закрывается и в течение 3-7 суток выдерживается при определенной температуре. Готовый заряд имеет вид твердой резины или пластика. Далее, заряд подвергают тщательной проверке методами неразрушающего контроля (ультразвуковой, рентгеновский) для выявления в заряде пор, неровностей или же других дефектов, которые могут привести к недопустимым последствиям при эксплуатации.

Изготовленный данным способом заряд, по существу, является силовой конструкцией ракетного двигателя. Поэтому заряд должен быть прочным и одновременно эластичным. Это необходимо для безопасного хранения, транспортировки и эксплуатации. Поэтому данная конструкция должна противостоять статической, динамической и тепловым нагрузкам.

Многие современные ракеты изготавливают с внутренним каналом с не тривиальной формой, данный вид позволяет получить высокие значения тяги и закон изменения площади горения, которая будет близка к постоянной величине. Форма внутреннего канала существенно влияет на величину напряжений, которые возникают в заряде при эксплуатации. Сложная форма канала существенно снижает возможность аналитического расчета, и в большинстве случаях прибегают к численным методам для оценки прочности и жесткости заряда.

Твердотопливный заряд, который имеет сложную геометрическую форму имеет некоторые элементы, которые присущи большинству изготавливаемых форм зарядов. Почти любая конструкция заряда имеет вершину щелевой части заряда, основание щели, канал в средней по длине части, граница заряд-корпус, край контакта границы заряд-корпус, концентраторы напряжений.

Расчет заряда на прочность корпуса и заряда является обязательным при проектировании и проводится при помощи вычислительных программ. Особое место при расчете занимает случай нагружения двигателя внутренним давлением в момент старта, изменение температуры при изготовлении и эксплуатации. Данную задачу можно решить следующим образом, заряд можно рассматривать как толстостенный цилиндр, который заключен в жесткую или упругую обечайку. Сам топливный заряд можно представить, как линейно-упругое тело из

изотропного материала. Данный способ при воздействии относительно кратковременных силовых и температурных нагрузок будет оправдан при расчете. А обечайку корпуса можно рассматривать как длинную оболочку в одномерном НДС. Такой тип задачи решается в перемещениях. Для интегрирования уравнения задают приближенный закон изменения осевых напряжений по радиусу заряда.

Исследования НДС заряда скрепленного с оболочкой корпуса ракетного двигателя, в действительности же представляют сложность даже при известных решениях представления материалов в виде упругих, однородных, изотропных и сплошных сред. Особенное затруднение возникает из-за реологии поведения материала, а также большинству материалов свойственно трехмерные структурные особенности, которые усложняют выбор и обоснование расчетных схем.

Достоинства инженерных и аналитических подходов к решению задач механики наиболее информативным методом можно выделить методы конечных элементов для исследования напряженно-деформированного состояния при помощи ЭВМ.

Несмотря на то, что исследования напряженно-деформированного состояния корпуса и заряда твердотопливного двигателя существенно облегчен с применением различных современных программ, которые основаны на методе конечных элементов, все еще есть нерешенные задачи, которые в будущем могли бы улучшить механические и физические характеристики заряда со скрепленным корпусом твердотопливных двигателей.

Список литературы

1. Лавров Л.Н. Конструкции ракетных двигателей на твердом топливе – Москва: Машиностроение, 1993. – 214 с.
2. Печников В.П. Напряженно-деформированное состояние заряда РДТТ, скрепленного с ортотропным корпусом / Инженерный журнал: наука и инновации – 2013. - №7.