

УДК 629.7.03

Высокочастотное горение топлива в цилиндрической камере сгорания жидкостного ракетного двигателя

Соломонов Андрей Васильевич asolomonov430@gmail.com

Филиал военной академии РВСН им. Петра Великого, Серпухов, Россия

Аннотация. Представлена гипотеза возникновения высокочастотного колебания газа в цилиндрической камере сгорания жидкостного ракетного двигателя с плоской смесительной головкой. Получены аналитические дифференциальные уравнения второго порядка собственных колебаний акустического давления в зависимости от времени процесса для стабильного и высокочастотного горения топлива. Проведено сравнение теоретических вычислений с данными, заимствованными из огневых испытаний двигателя.

Ключевые слова: ракетный двигатель, камера сгорания, высокочастотные колебания, амплитуда давления, частота, акустическая волна

Введение. При разработке камер сгорания (КС) жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) возникает высокочастотная неустойчивость (ВЧ колебания) газа, которые могут привести к аварийным ситуациям. Анализ современного состояния науки и техники показывает, что существующие теоретические положения и математические модели слабо отражают реальную картину внутрикамерных течений, что делает данную тему актуальной.

Таким образом, возникло противоречие, которое заключается в том, что, с одной стороны, периодически возникают технические проблемы, связанные с ВЧ колебаниями, а, с другой стороны, в ограниченности зарубежных и отечественных исследований в области нестационарных камерных процессов. Главная идея (цель исследования) разрешение данного расхождения заключается в выводе аналитического математического выражения, описывающего явление возникновения высокочастотных колебаний газа в КС, его численного решения и трехмерного моделирования.

Методы и материалы; результаты. Проведя анализ статистических материалов по результатам ВЧ колебаний газа при огневых испытаниях различных ЖРД, а также дальнейшего синтеза полученных данных, автором установлены следующие закономерности.

В цилиндрической камере возникают только продольные или продольно-тангенциальные колебания газового потока, а поперечные (в виде радиальных) отсутствуют или минимальны (не приводят к критическому разрушению конструкции).

Переход от стабильного к высокочастотному горению происходит не моментально (взрывной вид разрушения материальной части изделия), а является ступенчатой зависимостью.

ВЧ-колебания в КС являются специфическим видом горения (достигнута работа ЖРД на режиме высокочастотного горения топлива до 30 с) и при

этом акустическое давление достигает определенного максимального значения, которое далее стабилизируется на этом уровне вплоть до разрушения материальной части.

С учетом проведенного анализа и основываясь на работах [1–3], автором выдвинута гипотеза, что причиной ВЧ неустойчивости является совпадение собственной частоты колебаний газа в камере (постоянно присутствующая при стабильном горении) с частотой возмущающего воздействия на стоячую акустическую волну параметров, которые возникают от явления «теплового кризиса» в сужающейся части сопла, при этом, по причине того, что колебания происходят в «закрытом» объеме цилиндра процесс продолжается ступенчато, до достижения определенного максимального значения акустического давления газа, после этого процесс ВЧ горения стабилизируется.

На основе системы математических выражений, включающих формулы газовой динамики и акустики, выведены дифференциальные уравнения второго порядка, описывающие собственные колебания акустического давления газового потока при стабильном горении и при возникновении высокочастотной неустойчивости в цилиндрической КС. На основе полученных формул определены необходимые и достаточные условия возникновения ВЧ колебаний.

По результатам исследования с помощью преобразования Фурье автором создана методика теоретического расчета значений акустического давления амплитудно-частотного спектра при высокочастотном горении.

Проведены теоретические контрольные вычисления, которые имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными огневых испытаний опытного кислородно-керосинового ЖРД.

Заключение. По итогам работы автором получена система уравнений, позволяющая моделировать высокочастотную неустойчивость, то есть уровни акустических давлений, распределенные по четырем модам колебаний, в амплитудно-частотном спектре КС жидкостных ракетных двигателей на различных компонентах топлива.

Список источников

- [1] Абрамович Г.Н. *Прикладная газовая динамика*. Москва, Наука, 1969, 600 с.
- [2] Ильченко М.А., Крютченко В.В. *Устойчивость рабочего процесса в двигателях летательных аппаратов*. Москва, Машиностроение, 1995, 300 с.
- [3] Раушенбах Б.В. *Вибрационное горение*. Москва, Физматгиз, 1961, 251 с.
- [4] Крокко Л., Чжен-Синь И. *Теория неустойчивости в ЖРД*. Москва, Изд-во иностр. лит., 1958, 351 с.