

УДК: 621.45

Экспериментальные исследования инициирования детонации и режимов работы модели камеры пульсирующего детонационного двигателя

В. Н. Фролов, И. В. Гаранин

Аннотация

Исследуются системы инициирования детонации в камере сгорания. Определены параметры работы камеры сгорания в режиме автоколебаний, установлена максимальная частота пульсаций.

Ключевые слова

Детонационный двигатель; детонация; камера сгорания

Введение

Исторически первыми были отработаны и получили самое широкое распространение энергосиловые установки (ЭСУ), использующие медленное (дефлаграционное) сжигание топлива при постоянном давлении или объёме. Сегодня, однако, совершенство современных ЭСУ уже достигло такого уровня, что их доводка, как правило, весьма дорогая, не дает желаемых результатов в достижении требуемых характеристик по вышеуказанным показателям. Всё это обуславливает поиск принципиально новых технических решений. Одним из таких решений может быть пульсирующая ЭСУ с детонационным сжиганием топлива, что термодинамически эффективней традиционного сжигания топлива [1].

Учитывая потенциальную эффективность и экономичность таких установок, в авиации самым перспективным направлением считается замена существующих форсажных камер в турбореактивных двигателях летательных аппаратов на трубчато-кольцевые детонационные двигатели. Ожидается, что это сэкономит топливо и улучшит маневренность летательных аппаратов. Весьма перспективным считается также использование этих

двигателей и в основной силовой установке летательных аппаратов. В области ракетно-космической техники основное внимание уделяется возможности создания экономичных вспомогательных двигателей космических аппаратов, замены дорогостоящих малогабаритных газотурбинных установок на пульсирующие детонационные двигатели [1, 2].

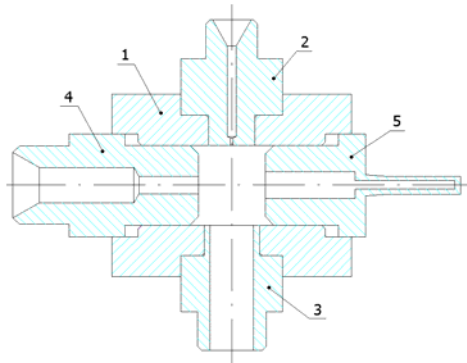
Так как эксперимент по моделированию детонационных процессов в двигателе является сложным и многофакторным, было принято решение, прежде чем приступить к моделированию высокочастотного процесса работы камеры сгорания сначала произвести исследование одиночного (низкочастотного) процесса и, затем, перейти к высокочастотному, поэтому создание стенда для проведения модельных испытаний проводилось в 2 этапа. Сначала создавался стенд для исследования инициирования детонационной волны электрическими разрядами. Затем, путем модернизации систем подачи и инициирования стенд приспособлялся для моделирования высокочастотного процесса работы. На основе проведенной работы были выработаны требования к конструкции элементов и установки в целом, определены режимы их совместной работы, разработаны требования к настройке вспомогательных систем и их взаимосвязи.

Принцип газодинамического инициирования топливной смеси модельного детонационного двигателя был выбран в качестве замены электрическому воспламенению, потому что установка с электрическим воспламенителем, имела недостатки, не позволяющие ей достичь параметров необходимых для успешной конкуренции с другими типами двигателей:

1. Схема с электрическим воспламенителем имеет подвижные части, что снижает ресурс, увеличивает стоимость и сложность изделия.
2. Данный способ воспламенения только воспламеняет топливную смесь, далее она через некоторое расстояние в трубе переходит в детонацию, что уменьшает коэффициент полезного действия двигателя, является препятствием для получения в данной схеме высокой частоты детонационных импульсов.
3. При электрическом воспламенении выбор топлив сильно ограничивается их способностью переходить в режим детонационного горения.

В рамках проведенной работы ставилась задача исследования возможности инициирования детонационного процесса на различных топливных смесях с помощью газодинамического инициирующего устройства. Данный тип газодинамической форкамеры был разработан в МАИ и успешно опробован для воспламенения компонентов при запуске ракетного двигателя на жидком топливе, использующего различные топливные пары.

Газодинамический воспламенитель выделяется тремя основными преимуществами: отсутствием необходимости наличия электричества, надежностью и возможностью многократных запусков.



1- Корпус; 2- Форсунка; 3- Штуцер для выпуска пламени, 4- Звуковое сопло; 5- Резонатор.

Рисунок 1 – Схема воспламенителя

Воспламенение смеси в полости резонатора происходит исключительно вследствие её нагрева. Благодаря этому газодинамический воспламенитель способен производить факел пламени при любом соотношении компонентов, если это соотношение лежит внутри границ воспламенения. Учитывая большую тепловую мощность воспламенителя, а также тот факт, что в форкамере возникают ударные волны, отраженные от дна резонатора, можно предположить, что данный способ воспламенения окажется весьма эффективным для инициирования детонационных процессов в основной трубе.

В результате внесения изменений установка приобрела следующую конструкцию. Рабочая часть установки (она же камера сгорания) представляла собой трубу наружным диаметром 50 мм, внутренним диаметром 25 мм и длиной 1000 мм. Один конец рабочей части имеет фланец, к которому присоединяется огневое днище с газодинамическим воспламенителем, второй открыт. В огневое днище подается двухфазная топливная смесь из смесительного устройства.

Смесительное устройство необходимо для смешения топлива с воздухом, а также для доведения дисперсности смеси до необходимых величин. Так как используемая форсунка выдает капли среднемассовым размером от 50 до 85 мкм, а для детонационного горения двухфазной смеси необходимы капли размером не более 20 мкм, желательно менее 10 мкм. Для уменьшения размеров капель в смесителе было организовано дополнительное дробление капель путем впрыска струи, образуемой форсункой в сносящий высокоскоростной поток воздуха. При этом, как показали расчеты и измерения, среднемассовый размер капель удалось получить в пределах 5 – 10 мкм.

Система измерений состоит из датчиков давления и оптических датчиков. Оптические датчики предназначены для фиксации скорости прохода фронта пламени по длине трубы.

Также система позволяет оценивать интенсивность проходящей волны. Датчики давления расположены по длине трубы через каждые 200 мм. Одновременно с информацией о давлении датчики позволяют подтвердить информацию о скорости прохода волны. Для управления сбором данных, сохранения результатов и визуализации полученных результатов используется программный комплекс LabView.

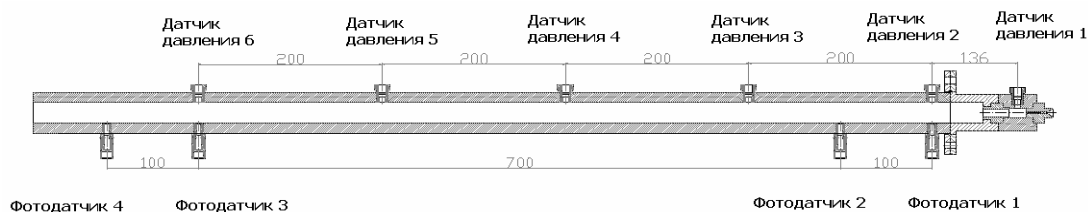


Рисунок 2 – Расположение датчиков на установке.

По результатам запусков на топливной смеси спирт-воздух можно сделать вывод, что во всех запусках имеет место самоподдерживающийся процесс распространения детонационной волны, так как скорость фронта пламени выше местной скорости звука [3]. Коэффициент избытка окислителя находился в пределах 3–5. Уменьшение давления подачи спирта в воспламенитель приводит к снижению скорости распространения волны. При уменьшении давления подачи более 2,5 атм. система выходит на режим автоколебаний. На режиме автоколебаний интенсивность проходящей волны значительно ниже, чем при одиночном запуске. Автоколебания со временем могут самопроизвольно прекращаться. Причина таких перебоев пока не ясна. Предположительно это является результатом несогласованности режимов опорожнения и заполнения трубы, а также недостаточным энерговыделением из-за высокого значения коэффициента избытка окислителя. Максимальная частота пульсаций горения в камере составляла 62 Гц.

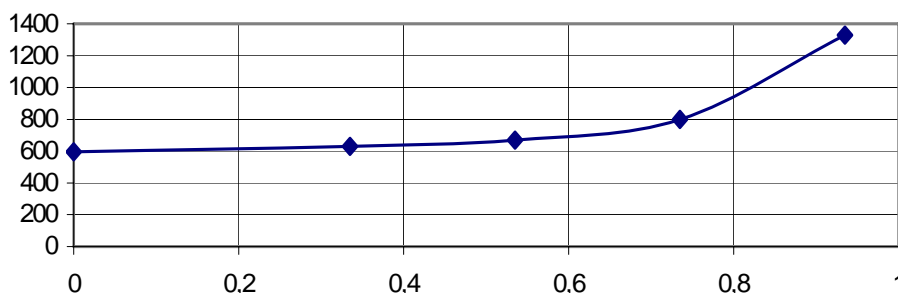


Рисунок 3 – Скорость прохождения детонационной волны по тракту

Последующие запуски проводились при подаче в камеру сгорания смеси керосин-воздух. Главным отличием этих режимов от запусков на спирте является значительно более высокое энерговыделение в трубе за счет более высокой энергетики данной топливной пары и близости коэффициента избытка окислителя смеси этой топливной пары к единице. При

давлении впрыска 2,5атм. система выходила на режим автоколебаний. Картина автоколебаний была аналогична запускам на смеси спирт-воздух, однако частота колебаний была выше. Максимальная частота пульсаций горения в камере составляла 108 Гц. Скорость прохождения фронта пламени составляет в разных запусках от 1000 до 2000 м/с.

Заключение

- показана возможность реализации детонации с помощью газодинамического воспламенителя в двухфазной смеси воздуха со спиртом и с керосином.
- получена скорость распространения детонационной волны в метровой трубе – 2000 м/с.
- определены соотношения компонентов и перепадов давления, при которых происходит переход системы на режим автоколебаний с частотой 15-100Гц.

Библиографический список

[1] Импульсные детонационные двигатели под ред. д. ф.–м. н. Фролова С. М – М. ТОРУС ПРЕСС, 2006 – 592 с;

[2] Ремеев Н. Х., Власенко В. В., Хакимов Р. А., Иванов В. В. “Состояние и проблемы разработки детонационного пульсирующего ВРД”, // Химическая физика, № 7, том 20, 2001.

[3] Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.

Сведения об авторах

Фролов Владимир Николаевич; аспирант, Московский авиационный институт (государственный технический университет)

115404 г. Москва, ул. Бирюлевская, д. 21, к. 1, кв. 64, л. 2, телефон: +7 (926) 132-77-45, E-mail: 28474@mail.ru.

Гаранин Игорь Васильевич, главный конструктор, д.т.н. ГОАО ГНПП «Регион»;

115516 г. Москва, ул. Севанская, д. 4, кв. 665, телефон: +7 (916) 213-39-76,

E-mail: garanin-nio203@yandex.ru