

Список литературы

1. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения / Е.А. Гриценко, В.П. Данильченко, С.В. Лукачев и др. – Самара, СНЦ РАН, 2004. – 266 с.
2. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Обеспечение надежности камеры сгорания на стадии проектирования и на всех этапах жизненного цикла ГТД. Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики АНТЭ-2013. Сб. докл. Меж-дунар. науч.-техн. конф., Казань, 19–21 ноября 2013 г., Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева, 2013, с. 383–395.
3. Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б., Александров Ю.Б., Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Моделирование эмиссионных характеристик камеры сгорания ГТД. Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева №2, 2014, с 62-70.
4. Мингазов Б.Г., Бакланов А.В. Исследование стабилизации пламени в модельной камере сгорания ГТД. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2016. - № 3. - С. 106-110.
5. Бакланов А.В., Маркушин А.Н. Исследование рабочего процесса камер сгорания в составе ГТД. Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15, № 3. С. 81-89.

УДК.621.452.3.034.022.5

УПРАВЛЕНИЕ ГОРЕНИЕМ И ДЕТОНАЦИЕЙ ГАЗОВ ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Ведешкин Г.К.

главный научный сотрудник ФГУП Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, vedeshkin@ciam.ru.

В работе рассматриваются примеры эффективного управления процессами газофазного горения химическими методами применительно к камерам сгорания ВРД.

Как известно, различают два принципиально разных типа факторов, приводящих к воспламенению и горению. Один тип факторов – это прогрессирующее накопление в реакционной системе тепловой энергии,

выделяющейся в ходе реакции, и положительная обратная связь этого саморазогрева со скоростью процесса. Условием теплового воспламенения является одновременное выполнение условия превышения скорости тепловыделения скорости теплоотвода.

Другим типом факторов является лавинообразное размножение активных промежуточных продуктов – свободных атомов и радикалов в их быстрых реакциях с исходными реагентами, а иногда также и между собой. Регенерация и размножение активных промежуточных частиц в этих реакциях означает протекание процесса по разветвленно-цепному пути. Цепное воспламенение происходит в условиях, обеспечивающих лавинообразное размножение активных промежуточных частиц и, соответственно, лавинообразное разветвление реакционных цепей. Реализации этих условий происходят при превышении скорости разветвления цепей скорости их обрыва.

Для однозначного выяснения того, являются ли воспламенение, горение и взрыв результатом только саморазогрева, или эти процессы в существенной мере определяются реакционными цепями и их разветвлением, были выбраны такие характеристики процесса, которые присущи только цепному механизму и должны при этом механизме обязательно проявляться и вместе с тем не должны наблюдаться, если процесс «чисто» тепловой. В качестве такой характеристики было выбрано действие очень малых количеств специальных молекулярных добавок, ингибиторов, способных обрывать реакционные цепи и тем самым эффективно подавлять процесс.

Сотрудниками Института Структурной Макрокинеки РАН предложена и испытана серия высокоэффективных, экологически безопасных, недорогих ингибиторов. В лабораторных условиях показано, что эти соединения эффективно предотвращают не только воспламенение и горение водорода и метана, но и переход в режим цепно-теплового взрыва. Кроме этого, они регулируют горение в этих режимах. Малые добавки предложенных ингибиторов также предотвращают переход дефлаграционного горения водорода в детонацию.

Экспериментальное исследование влияния ингибитора на предотвращение перехода дефлаграционного горения в детонацию и взрыв водородо-воздушной смеси проводилось применительно к условиям выхлопного тракта стенда для испытаний водородных ВРД. Выхлопной тракт имитировался трубой длиной 4 метра и диаметром 100 мм. Водородо-воздушная смесь подавалась в трубу при давлении 1 бар., воспламенение смеси производилось электросвечой. В диапазоне концентраций водорода 18-55% в трубе возникала детонация. Добавление ингибитора АКМ-3 с концентрацией более 2.5% детонационное

горение не возникало во всем диапазоне концентраций водорода. При меньшей концентрации ингибитора, например при 1.5%, диапазон детонационного горения уменьшился до 25-40%. Эти результаты убедительно показывают высокую эффективность предотвращения детонационного горения с помощью малых добавок экологически чистого газа, подача которого привела к обрыву реакционных цепей. Следовательно, возникновение детонационного горения водородо-воздушных смесей определяется цепным характером воспламенения и лавинообразным размножением активных промежуточных частиц.

Также проведено исследовано влияние промотирующих добавок для интенсификации кинетических характеристик процессов горения метано-воздушных смесей. В качестве таких добавок использовались продукты неполного окисления углеводородных топлив.

В экспериментальной камере сгорания сжигалась гомогенная метано-воздушная смесь при стехиометрической концентрации горючего. Обоedнение смеси приводило к бедному срыву при $a=1.6$. Добавление 5% пилотного, диффузионного горючего расширяло границу бедного срыва до $a=2.0$. В контрольном случае в камеру сгорания подавался не чистый метан, а продукты окислительной конверсии, полученные при предварительном сжигании стехиометрического расхода метана в богатой смеси. В этом случае граница бедного срыва расширилась до $a=3$, а критерий Михельсона увеличился в 7 раз по сравнению с первым случаем. Что говорит о значительном увеличении скорости нормального распространения пламени. И такой рост скорости горения, произошедший без изменения тепловых характеристик горения, свидетельствует о значительном влиянии цепных реакций промежуточных радикалов типа атомарного водорода, окиси углерода на скорость реакции окисления метана. Таким образом, введение в реакцию горения промотирующих добавок, ускоряющих процесс разветвления цепных реакций и уменьшающий период индукции, показывает определяющую роль цепных механизмов в реакциях горения метано-воздушных смесей.

Проведенные экспериментальные исследования показали сильное, в ряде случаев, определяющее влияние цепных процессов горения. Управление скоростями размножения или замедления развития цепей путем добавления промотирующих или ингибирующих добавок позволяет эффективно влиять на процессы дефлаграционного и детонационного горения, предотвращая развитие детонационного горения и ускоряя процесс дефлаграционного горения. Это дает исследователям эффективный механизм химического управления процессом горения.