

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ ГАЗОФАЗНЫХ РЕАКЦИЙ ПРОДУКТОВ ЖИДКОФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ САМОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА

Сулинов А.В.

Самарский университет, г. Самара, sulinov.av@ssau.ru

*Ключевые слова: жидкостные ракетные двигатели, самовоспламеняющиеся компоненты топлива, газофазные реакции, период индукции, методы экспериментального исследования.*

Ведущую роль в обеспечении высокой эффективности внутрикамерного рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях на самовоспламеняющихся компонентах топлива, прежде всего в двигателях малых тяг, играет организация жидкофазного взаимодействия компонентов как при запуске двигателя и работе в импульсном режиме, так и при его работе на непрерывном режиме. При этом в результате экзотермического жидкофазного взаимодействия самовоспламеняющихся компонентов топлива на стадии преобразования топлива до воспламенения (на стадии парогазогенерации) образуются высокоактивные газофазные и жидкофазные промежуточные продукты (соответственно ГФПП и ЖФПП), параметры и относительные количества которых определяют скорость и качество преобразования топлива в конечные продукты сгорания.

Для формирования требований к организации эффективного смесеобразования самовоспламеняющихся компонентов топлива и для проведения расчета рабочего процесса в камере сгорания двигателей необходимо знание основных кинетических характеристик газофазных промежуточных продуктов (парагоза), прежде всего знание периода индукции газофазных реакций на стадии преобразования топлива до воспламенения. С точки зрения практического использования период индукции газофазных реакций определяет предельно минимальный период самовоспламенения компонентов при запуске двигателя в вакууме при идеальной организации рабочего процесса.

Целью настоящей работы было разработка экспериментальных методов определения и получение количественных значений периода индукции ГФПП. Для апробации рассматриваемых методов использовались самовоспламеняющиеся компоненты топлива на основе горючего из гидразинового ряда, а окислитель из азотнокислотного ряда.

В процессе проведения данного исследования были разработаны и апробированы два экспериментальных метода определения периода индукции ГФПП: метод исследования объёмных реакций в реакторе в рамках «нульмерной» модели изучения процесса и метод проточного реактора в рамках одномерной модели. В основу разрабатываемых методов, базируясь на известные работы в области химической кинетики и горения, был положен принцип реализации условий для прохождения процесса преобразования топлива в газовой фазе, максимально исключая влияние процессов тепло- и массообмена с внешними источниками подвода или отвода энергии и массы.

Метод исследования объёмных реакций в реакторе в рамках «нульмерной» модели проводился на экспериментальном образце камеры реактора, смесительная головка которого состояла из двухкомпонентной центробежной форсунки внутреннего смешения. Сущность метода состояла в следующем. В период задержки самовоспламенения компонентов отключалась подача компонентов в камеру реактора, т.е. устранялось влияние подаваемой в камеру «свежей» порции компонентов топлива, «душирующей» процесс парогазогенерации при жидкофазном взаимодействии и отводящей тепло из зоны протекания жидкофазных и газофазных реакций. Период индукции газофазных реакций фиксировался отрезком времени между моментом прекращения поступления компонентов в камеру ректора и моментом резкого роста давления газов в ней.

Метод проточного реактора в рамках одномерной модели изучения процесса осуществлялся с помощью клинового и центробежного смесительных элементов, которые

обеспечивали взаимодействие компонентов в жидкой фазе и последующее течение ЖФПП по стенке канала реактора. Большинство экспериментов были проведены на проточном реакторе, который имел плоский клиновой смесительный элемент, а канал реактора представлял собой канал с прямоугольным поперечным сечением. Плоский клиновой смесительный элемент обеспечивал контакт плен жидких компонентов на кромке клина. Отдельные эксперименты проводились на проточном реакторе с двухкомпонентным центробежным смесительным элементом внешнего смешения, канал его реактора представлял собой цилиндрический канал с коническим выходным участком. Жидкофазное смешение компонентов в центробежном смесительном элементе происходило на стенке цилиндрического канала реактора. Конструкции спроектированных проточных реакторов давала возможность реализовать структуру потока продуктов преобразования топлива такую, что отсутствовало охлаждающее влияние «свежих» промежуточных продуктов жидкофазного взаимодействия самовоспламеняющихся компонентов топлива на разогрев ранее поступившей в канал реактора порции промежуточных продуктов.

Полученные экспериментальные результаты были обобщены в виде аппроксимационных зависимостей периода индукции газофазных реакций от давления ГФПП в камере реактора, при котором происходило воспламенение газофазных продуктов.

В процессе проведенного исследования были определены значения верхней границы периода индукции газофазных реакций. Полученные значения периода индукции газофазных продуктов существенно меньше значений времени задержки самовоспламенения топлива в существующих двигателях малой тяги. Данное сравнение позволяет констатировать то, что кинетические возможности рассматриваемых самовоспламеняющихся компонентов топлива не достаточно использованы в двигателях и возможно дальнейшее совершенствование организации внутрикамерного рабочего процесса создаваемых двигателей с целью уменьшения времени задержки самовоспламенения топлива и, как следствие этого, повышения энергетических характеристик двигателя в импульсном режиме работы.

#### **Сведения об авторе**

Сулинов А.В., кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева. Область научных интересов: исследование рабочего процесса двигателей и двигательных установок космических аппаратов.

### **DETERMINATION OF THE INDUCTION PERIOD OF GAS-PHASE REACTIONS PRODUCTS OF LIQUID-PHASE INTERACTION OF SELF-IGNITING FUEL COMPONENTS**

Sulinov A.V.

Samara University, Samara, Russia, sulinov.av@ssau.ru

*Keywords: liquid rocket engines, self-igniting fuel components, gas-phase reactions, induction period, experimental research methods*

The paper presents the results of experimental determination of the induction period of gas-phase reactions of products of liquid-phase interaction of self-igniting fuel components. In the course of the study, the values of the upper limit of the induction period of gas-phase reactions were determined.