

## ЖИДКОФАЗНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ САМОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ

Ярошенко Н. Т., Александров В.П., Аникеев С.Н.

АО "Российский научный центр "Прикладная химия" (ГИПХ)", Санкт-Петербург,  
[n.yaroshenko@giph/su](mailto:n.yaroshenko@giph/su), [DrYaroshenkoN@yandex.ru](mailto:DrYaroshenkoN@yandex.ru)

*Ключевые слова:* самовоспламеняющееся топливо, горючее, окислитель, методика капля-чашка, столкновение капель, инертные и реагирующие жидкости, капиллярные силы, двухкомпонентные капли, модель.

Горючее и окислитель в камеру сгорания жидкостного ракетного двигателя подаются в виде мелкодисперсных капель, которые сталкиваются друг с другом. Происходит гидродинамическое и химическое взаимодействие. Именно реакции в жидкой фазе обеспечивают самовоспламенение топлив. В противном случае топливо просто не могло бы самовоспламениться. Тем не менее картина взаимодействия отдельных капель горючего и окислителя при их контакте изучена недостаточно.

Целью настоящей статьи является экспериментальное исследование жидкофазного взаимодействия капель компонентов, самовоспламеняющихся жидких ракетных топлив. Алгоритм исследования основан на проведении аналогий между процессами в каталитических однокомпонентных и двухкомпонентных двигателях представлен в таблице 1.

*Таблица 1 - Алгоритм анализа взаимодействия компонентов топлива в ракетных двигателях*

Тип двигателя	Первый компонент	Второй компонент	Поверхность контакта
Однокомпонентный каталитический	Твердый катализатор, не расходует, неподвижный	Жидкий расходует, подвижный	Известна и при работе не изменяется
Двухкомпонентный	Жидкий, расходует, подвижный	Жидкий, расходует, подвижный	Неизвестна, но постоянно воспроизводится

Для инертных жидкостей исследования взаимодействия двух жидкостей с разными свойствами проводятся в интересах метеорологии, струйной печати, смешении красок, сплавления порошков при 3D печати, пищевой промышленности, художественной фотографии и во многих других приложениях. Для реагирующих топлив имеются публикации исследований по методике «капля-чашка», а публикации по методике «капля-капля» практически отсутствуют. Сравнительный анализ показывает, что гидродинамика взаимодействия инертных и реагирующих жидкостей имеет много общих черт. Это объясняется двумя факторами. Во-первых, смешение капель жидкости и образование "двухкомпонентной" капли происходит быстрее, чем начинаются химические реакции. Во-вторых, капиллярные силы удерживают в контакте горючее и окислитель даже при интенсивном оттоке газов от "двухкомпонентной" капли. Воспламенение топлива происходит в облаке паров компонентов окружающим кипящую "двухкомпонентную" каплю. Описание аналогии свойств каталитического горения однокомпонентных топлив и самовоспламеняющихся двухкомпонентных топлив представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Аналогия свойств каталитического горения однокомпонентных топлив и самовоспламеняющихся топлив

Каталитические однокомпонентные двигатели	Двухкомпонентные двигатели на самовоспламеняющемся топливе
Жидкая фаза топлива движется в виде отдельных капель, переносимых газовой фазой	
Проникновение жидкого топлива в поры катализатора происходит значительно быстрее, чем начинаются химические реакции	Гидродинамическое перемешивание капель горючего и окислителя и образование "двухкомпонентной" капли происходит значительно быстрее чем начинаются химические реакции
Химические реакции с выделением большого количества тепла и газов протекают в жидкой фазе в порах катализатора	Химические реакции с выделением большого количества тепла и газов протекают внутри "двухкомпонентной" капли
На грануле катализатора жидкость удерживается капиллярными силами	Капли горючего и окислителя удерживаются в контакте капиллярными силами
Гранула катализатора окутана пенообразной пленкой разлагающегося топлива и по внешнему контуру пленки ведет себя как кипящая капля	При контакте капли горючего и окислителя образуется пенообразная двухкомпонентная кипящая капля
Выделяющиеся в ходе реакции газы не отрывают пенообразную пленку от поверхности гранулы катализатора	Выделяющиеся в ходе реакции газы не отрывают каплю горючего от капли окислителя
Выпадение следующей капли на гранулу катализатора возможно только после завершения разложения предыдущей	Контакт следующей капли окислителя с реагирующей двухкомпонентной каплей возможен только после израсходования предыдущей капли окислителя
Массообмен между потоком жидкой фазы топлива и катализатором происходит в виде выпадения отдельных капель на отдельные гранулы катализатора	Массообмен между каплями горючего и окислителя происходит в виде столкновения отдельных капель
Разложение жидкой фазы на катализаторе завершается на длине слоя катализатора, когда в потоке оказывается недостаточно капель для смачивания всех гранул катализатора в сечении камеры разложения.	При жидкофазном взаимодействии горючее по длине камеры сгорания убывает за счет уменьшения размера капель, а окислитель убывает за счет уменьшения количества капель.

### Сведения об авторах

Ярошенко Николай Тимофеевич, д.т.н., старший научный сотрудник, главный конструктор направления, начальник отдела. Область научных интересов: однокомпонентные топлива и катализаторы их разложения, процессы воспламенения и горения высокоэнергетических веществ, эксплуатация ракетных топлив.

Александров Вадим Павлович, главный специалист. Область научных интересов: однокомпонентные топлива и катализаторы их разложения, процессы воспламенения и горения высокоэнергетических веществ, эксплуатация ракетных топлив.

Аникеев Сергей Николаевич, главный специалист. Область научных интересов: однокомпонентные топлива и катализаторы их разложения, процессы воспламенения и горения высокоэнергетических веществ, эксплуатация ракетных топлив.

## **LIQUID-PHASE INTERACTION OF SELF-IGNITION ROCKET FUELS**

Yaroshenko N. T., Alexandrov V.P., Anikeev S.N.

JSC "Russian Scientific Center "Applied Chemistry" (GIPH)", St. Petersburg

[n.yaroshenko@giph.su](mailto:n.yaroshenko@giph.su), [DrYaroshenkoN@yandex.ru](mailto:DrYaroshenkoN@yandex.ru)

*Keywords: self-igniting fuel, fuel, oxidizer, drop-cup technique, drop collision, inert and reacting liquids, capillary forces, two-component drops, model.*

The liquid-phase interaction of the fuel and the oxidizer is the initiator of the self-ignition process. Capillary forces that keep fuel and oxidizer droplets in contact play a leading role in ensuring liquid-phase interaction of components. Experimental results of the study of the interaction of fuel droplets and oxidizer droplets are presented.