

Оптимизация зажигательной способности форкамерных струй

Атаманюк Т. Н., Скрипник А. А., Сметанюк В. А., Фролов С.М.

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

smfrol@chph.ras.ru

Начиная с 1930-х годов, в ИХФ АН СССР, а затем и в ИХФ РАН активно развивалось направление форкамерно-факельного зажигания (ФФЗ) применительно к поршневым двигателям внутреннего сгорания для авиации и наземного транспорта. На Западе это направление начало развиваться значительно позже – в конце 1970-х годов. В настоящее время интерес к ФФЗ возродился в связи с поиском эффективных средств повторного зажигания смеси при срыве пламени в камере сгорания ГТД, а также для инициирования детонации в перспективных импульсных детонационных двигателях. Несмотря на длительную историю исследований, физико-химические особенности ФФЗ изучены недостаточно. Цель работы – теоретическое и экспериментальное исследование процесса сгорания топливно-воздушной смеси (ТВС) в форкамере и оптимизация зажигательной способности форкамерных струй.

Предложен новый подход к оптимизации ФФЗ. Основное внимание уделено не самой форкамерной струе, а исходному процессу, влияющему на всю последующую динамику струи. Этот процесс – сгорание ТВС в форкамере, сообщаемой через сопло с основной камерой сгорания. При оптимизации процесса сгорания в форкамере исходили из того, что форкамера оптимальной конфигурации при заданном объеме должна обеспечить минимальное время истечения максимального количества продуктов горения. Указанный эвристический критерий оптимизации основан на том, что зажигательная способность струи определяется скоростью струи, ее суммарным теплосодержанием и концентрацией в ней активных центров (атомов и радикалов) и активных промежуточных продуктов горения. Высокая скорость струи обеспечивает высокую скорость смешения продуктов горения со свежей смесью. Скорость струи зависит от перепада давления на сопловом отверстии: чем больше перепад давления, тем больше скорость истечения. Перепад давления в камере тем больше, чем больше масса сгоревшего газа и чем меньше сопловое отверстие. Следовательно, при оптимизации параметров форкамеры необходимо стремиться к большей полноте сгорания вещества, первоначально заполняющего форкамеру, и к меньшему времени истечения, обеспечивающему и высокую скорость, и низкие суммарные тепловые потери. Максимальная зажигательная способность форкамерной струи, по-видимому, должна достигаться при максимальном отношении полноты сгорания η к характерному времени истечения продуктов горения τ , т.е. при $\max(\eta/\tau)$. Для проверки такого критерия оптимизации (1) предложена простая одномерная математическая модель ФФЗ, (2) проведены многомерные численные расчеты горения газа в форкамере с учетом струйного истечения, а также (3) проведены эксперименты по ФФЗ стехиометрической пропано-воздушной смеси с помощью цилиндрической форкамеры со сменными соплами.

Одномерные и многомерные расчеты показали, что максимальное отношение η/τ достигается при некоторой оптимальной площади сечения сопла форкамеры. До настоящего времени экспериментальные данные по ФФЗ использовались для доводки модели турбулентного горения в форкамере, применяемой в многомерных численных расчетах. В дальнейшем планируется проведение экспериментов по проверке эвристического критерия зажигательной способности форкамерной струи путем ФФЗ предельно бедных ТВС.

Работа выполнена при поддержке Международным научно-техническим центром (проект 2740).