

Результатом данной работы стало:

- доказательство принципиальной возможности создания ТГХМ для бортовой системы летательного аппарата при сверхзвуковых скоростях полетах.

- получение описанных объёмов рабочих полостей и размеров регенераторов, которые имеют приемлемые конструктивные решения. Так же было выявлено, что использование ТГХМ при холодопроизводительности менее  $Q_x = 10 \text{ Вт}$  является неэффективным.

- получены действительные характеристики ТГХМ, которые соответствуют  $Q_{\text{хд}} = 9,3 \text{ Вт}$  и  $Q_{\text{гд}} = 31 \text{ Вт}$  при величине относительных объёмов  $K=2,5$ .

- установлено, что использование газораспределительного механизма золотникового типа позволяет получить прибавку действительной холодопроизводительности до 15%.

### Список литературы

1. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.М. Архаров, И.А. Архаров, А.Н. Антонов и др. [под общ. ред. А. М. Архарова и И.К. Буткевича]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 582 с.
2. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга. М.: Энергия, 1978. 145с. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Пермь: ОАО «Авиадвигатель». 2006. 398 с.
3. Новотельнов В.Н., Сулов А.Д., Полтараус В.Б. Криогенные машины: учебник для вузов по спец. «Техника и физика низких температур». СПб.: Политехника, 1991. 332 с.

УДК 621.43

### АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И РАСЧЁТ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАКЕЛА РАСПЫЛИВАНИЯ ЗА ФОРСУНКАМИ

Свириденков А.А., ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва, [sviriden@ciam.ru](mailto:sviriden@ciam.ru)  
Третьяков В.В., ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва, [tretjak@ciam.ru](mailto:tretjak@ciam.ru)

Проведён анализ экспериментальных данных о влиянии давления в камере сгорания на характеристики факела распыливания за форсунками. В результате анализа сделан вывод о различном характере влияния давления окружающей среды на характеристики факела распыливания. Анализ работ в частности показал, что если угол раскрытия факела

широкий, воздействие увеличения плотности газа в камере сгорания будет оказывать более сильное влияние, чем уменьшение угла факела распыливания и в конечном результате будет наблюдаться уменьшение размеров капель распыленной жидкости. Однако, если первоначальный угол факела мал, дальнейшее его уменьшение приводит, при увеличении плотности окружающего воздуха, к росту размеров капель. Это увеличение среднего, осреднённого по Заутеру размера капель SMD, вызывается частично уменьшением массового расхода воздуха, взаимодействующего с факелом распыливания, а также с уменьшением относительной скорости между каплями топлива и окружающего воздуха. Давление подачи топлива также может приводить к различному влиянию на зависимость размеров капель топлива от давления в камере сгорания. При низких значениях давления подачи топлива SMD уменьшаются с увеличением давления окружающей среды. Однако, при высоких давлениях подачи топлива SMD растёт с увеличением давления окружающей среды. Так как длина распада жидкой плёнки при увеличении давления уменьшается, то влияние давления на измеренные характеристики факела распыливания зависит также от расстояния до сопла форсунки. В [1, 2] приведены результаты расчётов по математической модели движения пленки в криволинейной системе координат, связанных с поверхностью пленки. Там же приведены основные предположения, которые использовались при построении данной модели. Проведённое сравнение расчётов по этой модели с экспериментальными данными показало их удовлетворительное совпадение. Для расчёта размеров капель за центробежной форсункой, зависящих от толщины пленки топлива и угла факела распыливания, используется формула [3]

$$SMD = 4.52 \times \left( \frac{\sigma \mu_L^2}{\rho_a P_{in}^2} \delta \cos \theta \right)^{0.25} + 0.39 \left[ \frac{\sigma \rho_L}{\rho_a P_{in}} (\delta \cos \theta)^3 \right]^{0.25}.$$

Ниже на рис.1 приведены результаты такого расчёта для параметров течения и геометрии форсунки, приведённых в [1]. Как уже указывалось выше при обзоре экспериментальных данных, при большом угле раскрытия факела, в данном случае корневой угол  $2\theta=147^\circ$ , размеры капель вначале падают при увеличении давления до 11 бар, а затем начинают расти. Анализ литературных источников показал, что имеется мало экспериментальных данных по влиянию давления на размеры капель для форсунок, для которых приведены геометрические размеры, позволяющие рассчитать параметры течения плёнки за форсункой. В то же время такие данные имеются для угла раскрытия факела. На рис.2 приведены результаты такого расчёта по влиянию давления на угол раскрытия факела. Приведённое прямое сопоставление результатов расчётов и эксперимента показало

их удовлетворительное совпадение за исключением давления 48 бар, где, возможно, произошёл распад плёнки на капли, изменивший траекторию движения топлива.

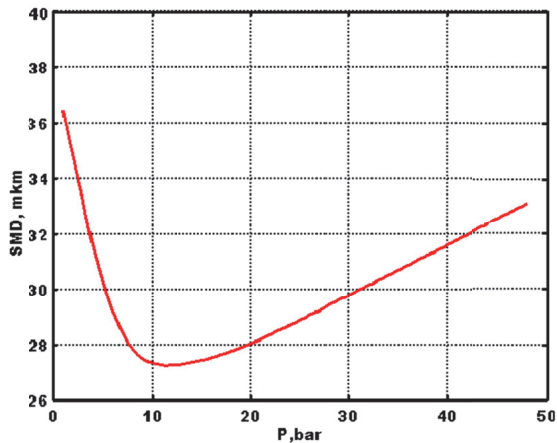


Рис. 1. Зависимость размеров капель топлива от давления в камере сгорания

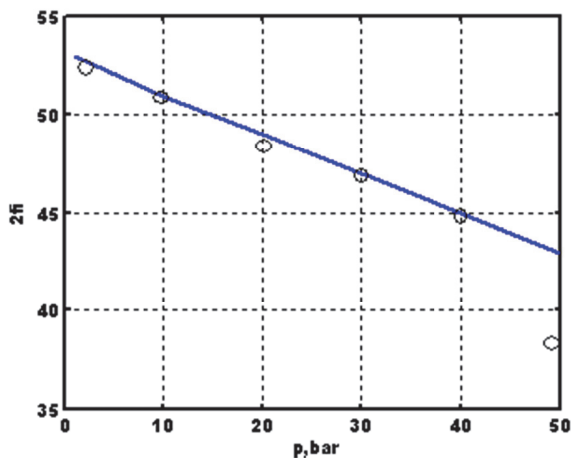


Рис. 2. Зависимость угла факела распыливания от давления в камере сгорания

Линия – расчёт,  $\circ$  – эксперимент R. Jeremy Kenny, James R. Hulka, Marlow D. Moser, Noah O. Rhys Effect of Chamber Backpressure on Swirl Injector Fluid Mechanics, J. Propulsion. Power 25, 902 (2009)

Работа выполнена при поддержке РФФИ.  
Проекты №15-08-06293, №17-01-00213

## Список литературы

1. Свириденков А.А., Третьяков В.В. Характеристики факела распыливания за центробежными форсунками при повышенном давлении в камере сгорания // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15. № 4. С. 143-149. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-4-143-149.
2. Свириденков А.А., Третьяков В.В. Зависимость размеров капель и угла факела распыла от давления воздушной среды в камерах сгорания ГТД // Модели и методы аэродинамики. Материалы семнадцатой международной школы-семинара, с 148-150. М.: ЦАГИ, 2017. 192 с.
3. Wang X. F. and Lefebvre A.H. Mean drop sizes from pressure-swirl nozzles // J. Propul. Power, vol. 3, pp. 11–18, 1987.

УДК 621.452.3.034

## ФОРСАЖНАЯ КАМЕРА СГОРАНИЯ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

Тесля Д.Н., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, [patmi@rambler.ru](mailto:patmi@rambler.ru)  
Маяцкий С.А., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, [MSLO@mail.ru](mailto:MSLO@mail.ru)  
Грасько Т.В., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, [grasko83@mail.ru](mailto:grasko83@mail.ru)

*Ключевые слова:* форсажная камера сгорания, процесс горения топлива, адаптивная система управления.

Анализ развития двигателестроения для высокоманевренного авиационного комплекса свидетельствует о непрерывном повышении требований к тактико-техническим характеристикам силовой установки [1, 2]. Исходя из выше указанных требований актуальными направлениями модернизации являются:

- снижение радиолокационной и инфракрасной заметности;
- уменьшение удельного расхода топлива на всех режимах работы силовой установки;
- снижение массогабаритных характеристик;
- повышение суммарного коэффициента полезного действия всего двигателя.

Реализация этих направлений обеспечит существенный прирост удельной эффективности авиационного комплекса.

Модернизация существующих образцов и создание новых перспективных типов силовых установок в последние годы становится весьма сложной задачей, где нередко проводимые исследования указывают на то,