

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ЖРД СТРУЙНЫМИ ФОРСУНКАМИ

Агеенко Ю.И., Бубнова А.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Технологический университет имени дважды героя Советского Союза летчика-космонавта А.А. Леонова", г. Королёв, annette.bubnova@mail.ru

Ключевые слова: камера сгорания, форсунка, жидкостный ракетный двигатель (ЖРД), жидкостный ракетный двигатель малой тяги (ЖРДМТ).

Доставка компонентов топлива в камеру сгорания (КС) жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) осуществляется с помощью форсунок. Используются, в основном, два типа форсунок: струйные и центробежные. Струйная форсунка подает топливо в КС в виде струи, а центробежная форсунка в виде пелены конуса распыливания. Достоинствами струйных форсунок является простота изготовления и большая пропускная способность – количество топлива, подаваемого одной форсункой в единицу времени.

При проектировании форсуночных головок КС ЖРД необходимо стремиться к повышению их эффективности, то есть увеличению пропускной способности, а также повышению стабильности процесса впрыска топлива в КС. На это большое влияние оказывает конфигурация струйной форсунки. Производительность струйной форсунки определяется следующим выражением:

$$G_{\phi} = \mu_{\phi} F_{\phi} \sqrt{2g\gamma \Delta p_{\phi}}$$

где G_{ϕ} – секундный расход жидкости;

μ_{ϕ} – коэффициент расхода форсунки;

F_{ϕ} – площадь проходного сечения форсунки;

γ – удельный вес жидкости;

Δp_{ϕ} – перепад давления на форсунке.

μ_{ϕ} – коэффициент расхода, равный отношению действительного расхода к теоретическому, всегда меньше единицы из-за сужения струи в сопле форсунки и уменьшения действительной скорости истечения в силу гидравлических сопротивлений. Большое влияние на величину μ_{ϕ} оказывает отношение длины цилиндрической части сопла форсунки к его диаметру $\frac{l}{d}$, конфигурация проточной части струйной форсунки, чистота (шерховатость) проточной части, входная фаска и др.

В широко применяемых струйных форсунках при $\frac{l}{d} = 0,5 - 1$, $\mu_{\phi} = 0,6 - 0,65$, а при $\frac{l}{d} = 2 - 5$ $\mu_{\phi} = 0,75 - 0,85$ [1, 2].

Во многих учебниках по ЖРД приведены различные конфигурации струйных форсунок (см. рис. 1 – а, б, в) [1, 2, 3].

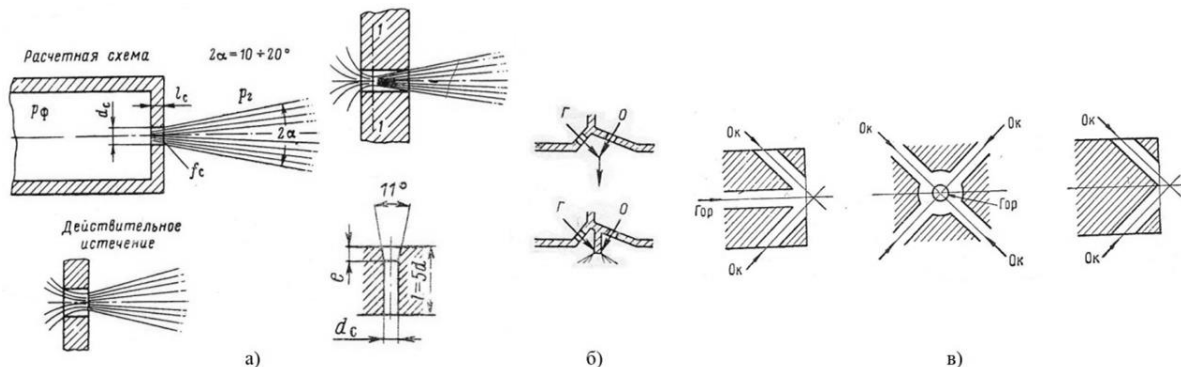


Рисунок 1 – Различные конфигурации струйных форсунок

В автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Андреева Ю.З. приведены различные конфигурации струйных форсунок, примененных в жидкостных ракетных двигателях малой тяги (ЖРДМТ) (рис. 2) [4].

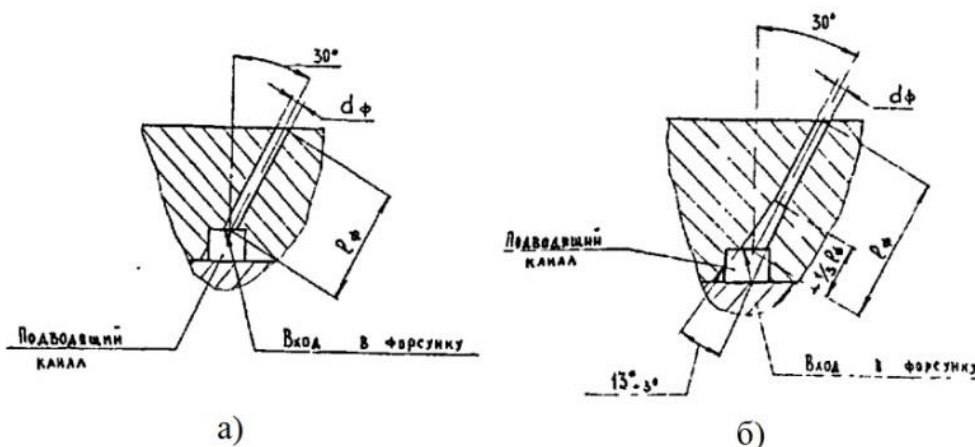


Рисунок 2 – Варианты форсунок из автореферата Андреева Ю.З.

Американскими учеными также были проведены исследования по определению величины и стабильности коэффициента расхода струйных форсунок различной конфигурации, которые будут подробнее рассмотрены в докладе [5].

Необходимо отметить, что приведенные выше конструктивные исполнения струйных форсунок не обеспечивают высокого значения коэффициента расхода μ_{ϕ} по сравнению с рекомендуемым конструктивным исполнением струйных форсунок, приведенным на рис. 3 [6].

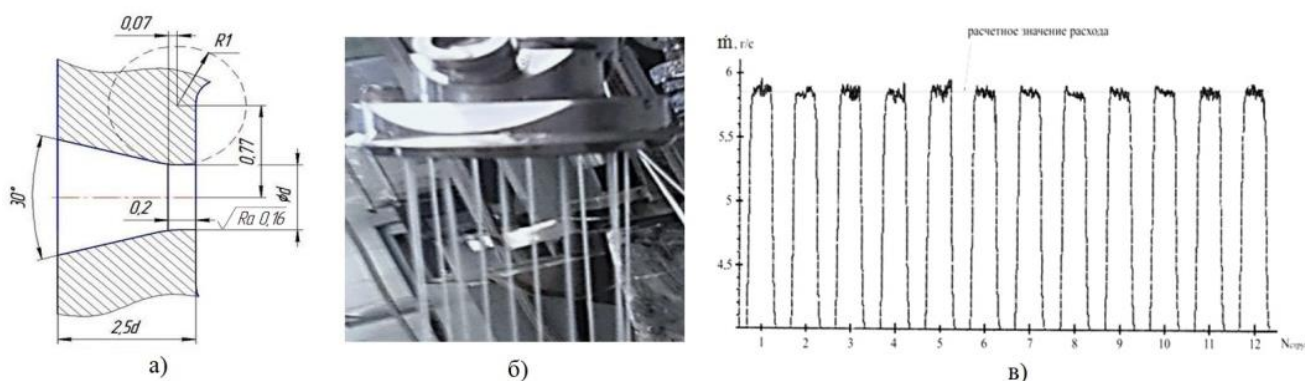


Рисунок 3 – Струйные форсунки с повышенной эффективностью и стабильностью процесса подачи топлива

На рис. 3а) представлены конструктивные требования к конфигурации струйных форсунок и реальное их исполнение. На рис. 3б) представлены реальные проливы водой данных форсунок, демонстрирующие их дальнобойность и эффективность, коэффициент расхода этих форсунок $\mu_{\phi} = 0,96 - 0,98$. На рис. 3в) продемонстрирована стабильность истечения при проливках форсуночной головки с 12 струйными форсунками. Видна хорошая стабильность, которая напрямую влияет на стабильность энергетических параметров двигателя [7].

При разработке новых ЖРД и ЖРДМТ рекомендуется применять струйные форсунки с конструктивными параметрами, приведенными на рис. 3. Они обеспечивают высокое значение коэффициента расхода μ_{ϕ} и повышенную дальнобойность и стабильность истечения жидкости на выходе из форсунки.

Список литературы

1. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Д.А. Ягодникова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 488 с.: ил.

2. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей: учебник для авиац. спец. вузов. В 2 кн. Кн. 1 / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов и др.; под ред. В.М. Кудрявцева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1993. 283 с.: ил.

3. Шевелюк М.И. Теоретические основы проектирования жидкостных ракетных двигателей : [Учеб. пособие для вузов]. Москва: Оборонгиз, 1960. 684 с.: ил.

4. Андреев Ю.З. Исследование зависимостей характеристик ЖРДМТ тягой 50...400 Н на топливе АТ+НДМГ от основных параметров двухкомпонентной соосной центробежной форсунки и струйных форсунок завесы: Автореф. дис. канд.техн.наук. Н. Салда. 2004. 24 с.

5. Саттон Д. Ракетные двигатели, основы теории и конструкция жидкостно-реактивных двигателей. М.: Изд-во иностранной литературы, 1952. 330 с.

6. Агеенко Ю.И., Пегин И.В., Шаламов Е.А., Ильин Р.В. Экспериментальное исследование возможности повышения эффективности жидкостного ракетного двигателя тягой 400 Н с дефлекторно-центробежной схемой смешения // Вестник Московского Авиационного института. 2013. Т. 20. № 1 (20). С. 71-78.

7. Агеенко Ю.И. Исследование параметров смесеобразования и методический подход к расчетам и проектированию ЖРДМТ со струйно-центробежной схемой смешения компонентов АТ и НДМГ на стенке камеры сгорания // Вестник СГАУ. 2009. № 3. часть 2. 4.3. С. 171-177.

Сведения об авторах

Агеенко Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры техники и технологии, заслуженный конструктор Российской Федерации. Область научных интересов: организация рабочих процессов в ЖРД, исследование параметров смесеобразования.

Бубнова Анна Сергеевна, студентка 5 курса кафедры техники и технологии, направления «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», главный эксперт отдела наукограда и промышленности Администрации г.о. Королёв. Область научных интересов: проектирование ЖРД, организация рабочих процессов в ЖРД, исследование параметров смесеобразования.

INCREASING THE EFFICIENCY AND STABILITY OF FUEL SUPPLY TO THE COMBUSTION CHAMBER OF A LIQUID ROCKET ENGINE BY SPRAY NOZZLE

Ageenko Y.I., Bubnova A.S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Technological University named after twice Hero of the Soviet Union Pilot-Cosmonaut A.A. Leonov", Korolev, annette.bubnova@mail.ru

Keywords: combustion chamber, nozzle, liquid propellant rocket engine, low thrust liquid propellant rocket engine.

In this article different configurations of spray nozzles are considered with an analysis of their flow coefficient. Recommendations are also given on the choice of nozzles that provide increased range and stability of the outflow of liquid at the outlet of the nozzle.