

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДКАМЕРЫ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ЖРДМТ НА СЖРТ

©2011 В. Е. Нигодюк, А. В. Сулинов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье приведены результаты расчетно-теоретического и экспериментального исследований по интенсификации с помощью предкамеры основных лимитирующих стадий протекания рабочего процесса в камере сгорания: газификации жидкофазных промежуточных продуктов и испарения непрореагировавших компонентов топлива за счет организации эффективного их вторичного дробления, а также газофазного смешения и устранения крупномасштабной неравномерности соотношения компонентов топлива по сечению путем активной турбулизации газофазных промежуточных продуктов.

ЖРДМТ, предкамера, камера сгорания, рабочий процесс, интенсификация, дробление жидкофазных продуктов, газофазное перемешивание.

Жидкостные ракетные двигатели малой тяги (ЖРДМТ) на двухкомпонентном самовоспламеняющемся жидком ракетном топливе (СЖРТ) широко используются в настоящее время в качестве исполнительных органов систем управления космическими аппаратами (КА): систем стабилизации, ориентации и коррекции орбиты КА, и имеют долгосрочные перспективы применения в будущем [1].

Большинство отечественных серийно выпускаемых ЖРДМТ, камеры которых изготовлены из традиционных материалов (из нержавеющей стали), даже на непрерывных режимах имеют удельный импульс тяги в пределах 2400...2550 м/с, что весьма далеко от возможных теоретических значений. Основной причиной снижения удельного импульса тяги является низкая полнота сгорания топлива в камере сгорания. В определенной степени это связано с существенными ограничениями, накладываемыми размерностью двигателей: минимальные расходы топлива, отсутствие наружного регенеративного охлаждения, как правило, наличие всего одного смесительного элемента, используя который весьма трудно организовать эффективный рабочий процесс при допустимых, в пределах 800...1000 К, температурах стенки камеры двигателя. Необходимо также учесть, что большинство схем смесеобразования современных двигателей были разработаны в конце 60-х – начале 70-х годов

прошлого века и фактически основывались на проектировании двигателей больших тяг и были действительно для ЖРДМТ далеки от оптимальных.

В настоящее время основным направлением повышения удельного импульса тяги в отечественном двигателестроении является использование для изготовления камер жаростойких материалов, прежде всего из ниобиевых сплавов с молибденово-силицидным покрытием, не изменяя практически систем смесеобразования. В этом случае повышение полноты сгорания топлива и соответственно удельного импульса тяги до 2700...2850 м/с достигается за счет увеличения приведенной длины камеры сгорания до 0,8 м. Применение современных материалов естественно перспективно, однако данный путь не решает все проблемы. Увеличение приведенной длины камеры сгорания за счет роста ее объема приводит к росту задержки самовоспламенения при запуске, что неминуемо ухудшает динамические характеристики двигателя. Известно, что увеличение периода задержки самовоспламенения является одной из основных причин снижения удельного импульса тяги двигателя при работе в импульсных режимах и увеличения количества загрязняющих конденсированных продуктов, генерируемых двигателем.

Анализ состояния развития ЖРДМТ показывает, что современным перспективным направлением по созданию ЖРДМТ но-

вого поколения является разработка двигателей малой тяги с минимальными значениями приведенной длины (объема) камеры сгорания 0,15...0,25 м при обеспечении предельных значений параметров на непрерывном режиме, что должно привести к существенному повышению удельного импульса тяги в импульсном режиме, снижению температуры камеры двигателя, улучшению динамических и экологических характеристик двигателей и повышению их надежности. Реализация данного направления возможна за счет повышения эффективности организации внутрикамерных рабочих процессов ЖРДМТ [2, 3].

Одним из путей интенсификации внутрикамерного рабочего процесса ЖРДМТ на СЖРТ является применение в двигателях предкамерных устройств [3, 4]. Однако в настоящее время отсутствуют какие-либо данные по оценке возможности их применения, рекомендации по выбору конструктивных и режимных параметров предкамеры.

В СГАУ был проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по повышению эффективности ЖРДМТ на двухкомпонентном самовоспламеняющемся жидком ракетном топливе с помощью предкамерных устройств [3-5].

Достоинства предкамер с точки зрения интенсификации внутрикамерного рабочего процесса ЖРДМТ состоят в том, что они позволяют управлять рабочим процессом при ограниченном количестве смесительных элементов и влиять на эффективность протекания различных его стадий. Предкамера может интенсифицировать внутрикамерный рабочий процесс за счет:

- организации эффективного жидкофазного смешения компонентов топлива, в том числе на стенке предкамеры;

- создания благоприятных условий для жидкофазных экзотермических реакций с образованием высокоактивных жидкофазных и газофазных промежуточных продуктов (ЖФПП и ГФПП);

- обеспечения заданного распределения ЖФПП и ГФПП по поперечному сечению камеры сгорания;

- организации эффективного дробления жидкофазных продуктов на выходе из предкамеры;

- интенсификации газофазного перемешивания ГФПП в камере сгорания.

Основные результаты исследований закономерностей процесса преобразования СЖРТ на стадиях, характерных для предкамер, были изучены экспериментальным путем и представлены в [5]. В процессе этого исследования было определено влияние эффективности жидкофазного взаимодействия компонентов, времен пребывания жидкофазных и газофазных промежуточных продуктов преобразования, а также давления на полиоту преобразования топлива, степень газификации и параметры ЖФПП и ГФПП. На основании полученных данных предложены конструктивные решения ЖРДМТ по интенсификации жидкофазного смешения компонентов путем использования предкамер.

В настоящей статье приведены результаты расчетно-экспериментального исследования по интенсификации с помощью предкамеры основных лимитирующих стадий протекания рабочего процесса в камере сгорания: газификации ЖФПП и испарения непрореагировавших компонентов топлива за счет организации эффективного их вторичного дробления, а также газофазного смешения и устранения крупномасштабной неравномерности соотношения компонентов топлива по сечению путем активной турбулизации ГФПП.

Вариант одной из возможных схем организации рабочего процесса ЖРДМТ с предкамерой, когда дробление пленок ЖФПП на капли происходит в ядре газового потока кольцевой предкамеры, показан на рис. 1.

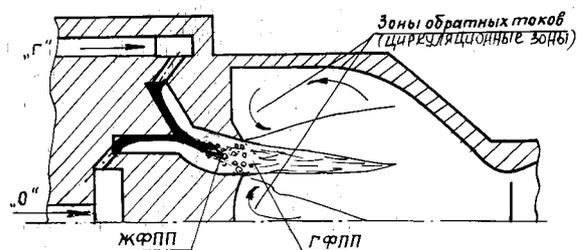


Рис. 1. Вариант схемы организации рабочего процесса ЖРДМТ с предкамерой

Для проведения расчетно-теоретического исследования по влиянию предкамеры на указанные факторы была разработана ма-

тематическая модель. Процесс газификации ЖФПП и испарения непрореагировавших компонентов топлива изучался в рамках данной математической модели. При этом учитывались особенности движения капель и газового потока на выходе из предкамеры, газификации этих продуктов и возможности вторичного дробления капель. В модели жидкая фаза рассматривалась в виде капель, равномерно распределенных по поперечному сечению на выходе из предкамеры.

Уравнение движения капли использовалось в следующем виде [6]:

$$m_K \frac{du_K}{d\tau} = \frac{\rho(u - u_K)/u - u_K}{2} \pi r_K^2 C_X,$$

где m_K и r_K – масса и радиус капли; u , u_K – скорости газового потока и капли; $C_X = C_{X0} \varphi(\bar{f}_{ЖФ}) / (1 + B_{ГФ})$ – коэффициент сопротивления капли, учитывающий влияние процесса газификации на газодинамику ее обтекания [7]; $B_{ГФ} = C_P (T_{ГФ}^* - T_{ЖФ}^*) / h_{ГФ}$, $T_{ГФ}^*$ и $T_{ЖФ}^*$ – температура газозоных и жидкофазных продуктов; $h_{ГФ}$ – условная удельная теплота газификации жидкофазных продуктов; влияние объемной концентрации жидкой фазы $\bar{f}_{ЖФ}$ в сечении [6]: $\varphi(\bar{f}_{ЖФ}) = (1 - \bar{f}_{ЖФ})^4$; $C_{X0} = 12 / \text{Re}^{0,5}$ – коэффициент сопротивления сферического твердого тела.

Уравнение сохранения количества движения двухфазной среды с учетом газификации жидкой фазы представлялось в виде:

$$z_{ГФ0} u_0 + (1 - z_{ГФ0}) u_{K0} = z_{ГФ} u + (1 - z_{ГФ}) u_K,$$

в котором $z_{ГФ} = 1 - (1 - z_{ГФ0}) \cdot (r_K / r_{K0})$ – текущее значение степени газификации топлива, с индексом «0» – значения параметров в выходном сечении предкамеры.

Массовая скорость газификации капли [8] определялась при предположении малых скоростей газозоных химических реакций, отсутствии влияния фронта пламени на процесс и при условии, что температура газозоных продуктов $T_{ГФ}^*$ значительно превышает температуру жидкофазных $T_{ЖФ}^*$:

$$\dot{m}_{ГФ} = - \frac{1}{\pi r_K^2} \frac{dm_K}{d\tau} = \frac{\lambda Nu_t}{2 C_P r_K} \ln \left[1 + \frac{C_P (T_{ГФ}^* - T_{ЖФ}^*)}{h_{ГФ}} \right].$$

В этом выражении $Nu_t = 2(1 + 0,32 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3})$ – тепловое число Нуссельта, $\text{Re} = 2\rho(u - u_K)r_K / \eta$, $\text{Pr} = C_P \eta / \lambda$; C_P , λ , ρ , η – соответственно удельная теплоемкость, теплопроводность, плотность и динамический коэффициент вязкости газа при $\bar{T} = (T_{ГФ}^* + T_{ЖФ}^*) / 2$.

В математической модели процесс вторичного дробления капель жидкофазных продуктов рассматривался без учета влияния вязкости по трем механизмам дробления, классифицированным в зависимости от числа Вебера по размеру образующихся капель [6]:

- вибрационная мода дробления: $10 \leq We \leq 20$; радиус образующейся в результате дробления капли и время распада капли по данному механизму составляли

$$r_{ki} \approx 0,8 r_{ki-1}, \quad \tau_{op} \approx \tau_* = \frac{2r_K}{(u - u_K)} (\rho_K / \rho)^{0,5};$$

деформация капли во времени представлялась в виде линейной зависимости $\bar{r}_K = 1 + \tau / \tau_*$;

- дробление по типу «парашют» $20 \leq We \leq 60$:

$$\bar{r}_{ki} \approx 0,3 r_{ki-1}, \quad \tau_{op} \approx 5\tau_*$$

(при $\tau = (0...2) \tau_*$ $\bar{r}_e = 1 + \tau / \tau_*$,

при $\tau = (2...4) \tau_*$ $\bar{r}_K = 3$);

- механизм непрерывной обдирки поверхностного слоя $60 \leq We \leq 1000$:

$$\bar{r}_{ki} \approx 0,1 r_{ki-1}, \quad \tau_{op} \approx 4\tau_*$$

(при $\tau = (0...2) \tau_*$ $\bar{r}_e = 1 + \tau / \tau_*$,

при $\tau = (2...4) \tau_*$ $\bar{r}_K = 3$).

Для имитации газодинамических условий протекания процесса газификации в камере сгорания без предкамеры и с предкамерой в модели рассматривались различные законы изменения скорости газового потока по длине камеры сгорания:

а) без предкамеры - $u = ax^n$;

б) с предкамерой - $u = const$, $u = u_0 - bx$,

где a , u , n – постоянные коэффициенты.

Решение системы уравнений было проведено численным методом в следующем диапазоне изменения параметров: $T_{ГФ}^* = (1000...3000) \text{ K}$; $\rho = (0,25...1,5) \text{ кг/м}^3$; $r_{K0} =$

(2,5...100) мкм; $z_{ГФ_0} = (0,3...0,7)$; $\rho_k = 1000$ кг/м³; $h_{ГФ} = 500$ кДж/кг; $u_{k_0} = 5$ м/с; $T_{ЖФ}^* = 350$ К; параметры газа брались по $T_{ГФ}^*$ из данных термодинамического расчета.

На основании решения представленной системы уравнений можно было определить расстояние пролета капли до полной ее газификации $x_{ГФ}$, при этом в уравнениях движения капли и сохранения количества движения двухфазной среды в качестве переменной использовалась осевая координата $dx = u_k d\tau$.

Отдельные результаты расчета процесса газификации жидкофазных продуктов представлены на рис. 2-4. На рис. 2 показано влияние закона изменения скорости газового потока по длине камеры сгорания на расстояние полной газификации капли: 1- $u=(200-2x)$ м/с, 2- $u=100$ м/с, 3- $u=9,0x^{0,75}$ м/с при $T_{ГФ}^* = 1500$ К; $\rho = 1,0$ кг/м³; $z_{ГФ_0} = 0,5$; на рис. 3 – влияние степени газификации топлива в предкамере на расстояние полной газификации капли: 1 - $z_{ГФ_0} = 0,7$, 2 - $z_{ГФ_0} = 0,5$, 3 - $z_{ГФ_0} = 0,3$ при $T_{ГФ}^* = 1500$ К; $\rho = 1,0$ кг/м³; $u=100$ м/с.

Из анализа рис. 2, 3 следует, что расстояние пролета капли до полной ее газификации существенно уменьшается при переходе к камере сгорания с предкамерой ($u=const, u-u_0-bx$), обеспечивающей в выходном сечении скорость газового потока более 100 м/с и степень газификации топлива не менее 0,5. Причиной этого является интенсификация на выходе из предкамеры процесса вторичного дробления капель. В этом случае процесс дробления капель завершается на расстоянии 1...3 мм.

На рис. 4 показано влияние объемной концентрации жидкофазных продуктов в сечении предкамеры на расстояние полной газификации капли: 1 - $\bar{f}_{ЖФ} = 5\%$, 2- $\bar{f}_{ЖФ} = 10\%$, 3 - $\bar{f}_{ЖФ} = 15\%$ при $T_{ГФ}^* = 1500$ К; $\rho = 1,0$ кг/м³; $u=100$ м/с.

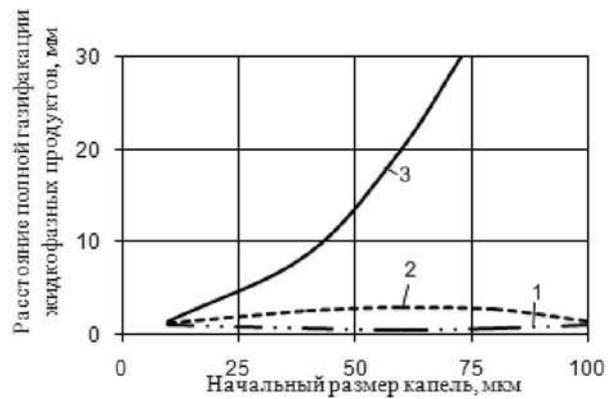


Рис. 2. Влияние закона изменения скорости газового потока по длине камеры сгорания

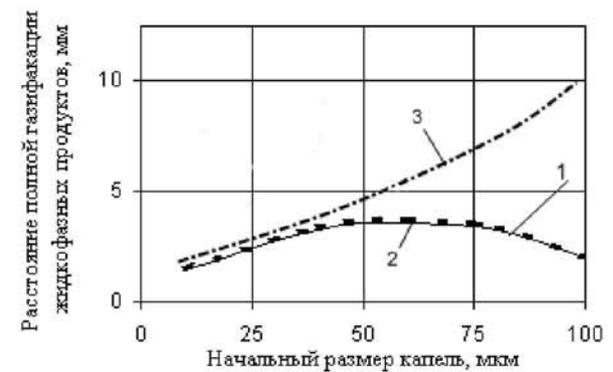


Рис. 3. Влияние степени газификации топлива в предкамере

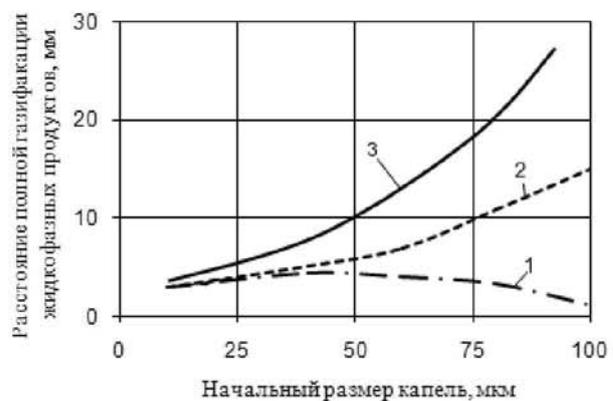


Рис. 4. Влияние объемной концентрации жидкой фазы в сечении предкамеры

Обращает на себя особое внимание влияние объемной концентрации жидкофазных продуктов в выходном сечении при концентрации жидкофазных продуктов $\bar{f}_{ЖФ} \geq 5\%$, ухудшается эффективность дробления капель и $x_{ГФ}$ растет с увеличением значений этого параметра.

Анализ физической картины рабочего процесса ЖРДМТ с предкамерой и приведенных выше расчетных данных показывает,

что для эффективной организации рабочего процесса в камере сгорания необходимо обеспечить воздействие газового потока на жидкофазные продукты в выходном участке предкамеры, когда относительная скорость газового потока и жидкофазных продуктов может достигать максимальной величины. Поэтому необходимо внутри канала предкамеры на начальном ее участке разделить течение газофазных и жидкофазных продуктов по сечению, реализовав течение последних по стенке канала и организовав взаимодействие газофазных и жидкофазных продуктов в выходном сечении предкамеры. В рассмотренной выше модели не учитывается стадия дробления пленок ЖФПП в газовом потоке в выходном сечении предкамеры. Поэтому исследование комплексного влияния конструктивных и режимных параметров предкамеры на эффективность протекания суммарного процесса дробления пленок и капель ЖФПП в потоке ГФПП на выходе из предкамеры и, как следствие этого, на удельные параметры камеры сгорания двигателя изучалось в процессе экспериментального исследования рабочего процесса ЖРДМТ с предкамерой.

Необходимость интенсификации газофазного смешения связана с устранением неравномерности состава газа, обусловленной точечным подводом топлива в камеру сгорания и стадийностью его преобразования. Особенно это актуально для ЖРДМТ, для которых характерно ограниченное количество смесительных элементов и возможно возникновение вследствие этого крупномасштабной неравномерности соотношения компонентов топлива по поперечному сечению. Модель газофазного смешения базировалась на диффузной модели Вулиса Л.А. [9], в которой в качестве характеристик смешения используются коэффициент турбулентной диффузии D_T и размер перемешиваемого газового объема δ_T . Время газофазного смешения при этом определяется из соотношения:

$$\tau_{см} \approx \delta_T^2 / D_T.$$

Коэффициент турбулентной диффузии в камерах сгорания без предкамер и с предкамерами в модели газофазного смешения находился из зависимостей, полученных при

исследовании течения газового потока в цилиндрическом канале [10]:

$$D_T = 0,009 \text{Re}^{-0,16} u d_{KC}$$

и при струйном истечении газа в канал [11]:

$$D_T = 0,04(C_d S / F_{KC}) u d_{KC} \text{ при } C_d S / F_{KC} < 0,5;$$

$$D_T = 0,02 u d_{KC} \text{ при } 0,5 \leq (C_d S / F_{KC}) < 1,$$

где $S = F_{KC} - F_{ПК}^{вых}$, F_{KC} , $F_{ПК}^{вых}$ – соответственно площади камеры сгорания диаметром d_{KC} и выходного сечения предкамеры; C_d – коэффициент сопротивления тела предкамеры; $C_d = 1,0$.

Последние соотношения получены для газового потока при наличии циркуляционных зон (см. рис. 1) и в сечении за ними. Оценка согласно [11] показывает, что протяженность циркуляционных зон при $Re = (3 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^5)$ составляет $(0,8 \dots 1,2) d_{KC}$, т.е. в 2...3 раза меньше обычных длин камер сгорания. Из этих соотношений следует, что максимальные значения коэффициента турбулентной диффузии для случая со струйным истечением газа в канал (случая с предкамерой) достигаются при $F_{ПК}^{вых} / F_{KC} \leq 0,5$.

Результаты расчета процесса газофазного смешения в камере сгорания с предкамерой и без предкамеры показывают, что использование предкамеры при времени смешения газофазных продуктов, равном времени их пребывания на участке камеры сгорания длиной $(0,8 \dots 1,2) d_{KC}$, $F_{ПК}^{вых} / F_{KC} \leq 0,5$ позволяет существенно – в 5-10 раз – увеличить размер перемешиваемого газового объема.

Проведенное расчетно-теоретическое исследование позволило выявить ведущие механизмы интенсификации внутрикамерного рабочего процесса за счет предкамеры и определить область конструктивных и режимных ее параметров, обеспечивающих высокую эффективность протекания процессов газификации жидкофазных продуктов и газофазного смешения в камере сгорания ЖРДМТ.

На основании вышеупомянутых исследований были сформулированы требования и разработаны конструкции экспериментальных образцов ЖРДМТ с организацией внутрикамерного рабочего процесса с помощью предкамер и проведено их экспериментальное исследование.

В качестве объектов экспериментального исследования использовались ЖРДМТ номинальной тягой 100 Н с центробежной и клиновой системами смесеобразования и двигатель номинальной тягой 0,4 Н с капиллярной системой смесеобразования. Для двигателей с центробежной и капиллярной системами смесеобразования применялись осевые предкамеры, а для ЖРДМТ с клиновой системой смесеобразования – кольцевые. Осевая предкамера представляла собой цилиндрический начальный участок, переходящий по направлению движения рабочего тела в конический участок. Данная конструкция предкамеры для ЖРДМТ номинальной тягой 100 Н с центробежной системой смесеобразования обеспечивала организацию жидкофазного смешения компонентов топлива на внутренней поверхности предкамеры с последующим взаимодействием жидкофазных и газофазных продуктов на выходе из предкамеры. Кольцевая предкамера выполнялась для клиновой системы смесеобразования и представляла собой кольцевой конфузورный канал, у которого поверхность большего диаметра была цилиндрической и изготавливалась как единое целое с цилиндрической поверхностью камеры сгорания, а поверхность меньшего диаметра выполнялась профилированной, обеспечивая конфузорность кольцевого канала. Жидкофазные промежуточные продукты на выходе из клинового смесительного элемента подавались на цилиндрическую поверхность предкамеры и в дальнейшем могли обеспечивать охлаждение стенки камеры сгорания. Такая конструкция предкамеры прежде всего позволяла интенсифицировать процессы газофазного перемешивания продуктов неполного сгорания на выходе из предкамеры и обеспечивала охлаждение стенки камеры сгорания жидкофазными промежуточными продуктами.

В процессе эксперимента исследовалось влияние на рабочий процесс таких конструктивных параметров двигателя, как геометрия системы смесеобразования, длина и форма предкамеры, площадь выходного сечения предкамеры, приведенная длина камеры сгорания, диаметр минимального сечения сопла, а также размерность ЖРДМТ.

Из полученных экспериментальных данных прежде всего (что является предметом настоящей статьи) следует отметить роль газодинамических факторов в рабочем процессе камеры сгорания ЖРДМТ: скорости газового потока и условий взаимодействия газофазных и жидкофазных продуктов на выходе из предкамеры. Скорость газового потока при исследовании изменялась за счет изменения площади выходного сечения предкамеры. Отдельные результаты данного эксперимента представлены на рис. 5, 6. На представленных рисунках под относительной величиной коэффициента полноты расходного комплекса понимается отношение полученного значения коэффициента полноты расходного комплекса к максимальному для исследованного варианта конструкции ЖРДМТ и при одних и тех же режимных параметрах.

Экспериментально было получено, что для осевой предкамеры (рис. 5, приведенная длина камеры сгорания была равна 0,25 м, объем предкамеры не превышал 10% от объема камеры сгорания) существует оптимальное значение отношения площадей выходного сечения предкамеры и минимального сечения сопла, для кольцевой предкамеры (рис. 6, приведенная длина камеры сгорания была равна 0,23 м, объем предкамеры не превышал 10% от объема камеры сгорания) с ростом скорости газового потока энергетическая эффективность двигателя росла и ограничения по величине отношения этих площадей в рассмотренном диапазоне изменения этих параметров не было зафиксировано.

Характер такого поведения удельных параметров для ЖРДМТ с осевой предкамерой можно объяснить тем, что с ростом скорости газового потока на выходе из предкамеры (с уменьшением площади выходного сечения предкамеры) интенсифицируются процессы распада пленок жидкофазных продуктов и вторичного дробления их капель. Однако с уменьшением площади выходного сечения предкамеры происходит перераспределение жидкофазных продуктов по сечению, возможно возрастание их концентрации на оси и интенсивное протекание процессов коагуляции капель. Поэтому, несмотря на рост скорости газового потока, вслед-

ствие неэффективности протекания процессов дробления капель может происходить вынос продуктов неполного сгорания из камеры сгорания.

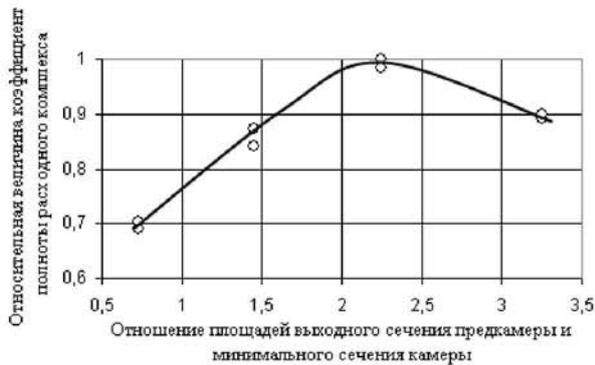


Рис. 5. Экспериментальные данные, полученные для осевой предкамеры

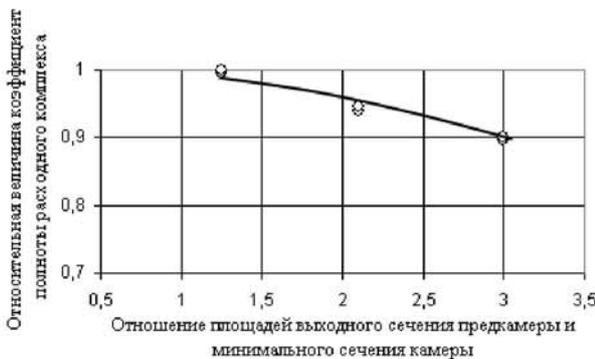


Рис. 6. Экспериментальные данные, полученные для кольцевой предкамеры

Для кольцевой предкамеры рост скорости газового потока способствовал, прежде всего, интенсификации газофазного смешения продуктов неполного сгорания в камере сгорания.

Роль газодинамических факторов подчеркивают и данные, полученные для осевой предкамеры с развитым выходным цилиндрическим участком. С помощью этого участка удастся интенсифицировать процесс взаимодействия капель ЖФПП с газовым потоком, прежде всего процесс вторичного дробления капель, и увеличить удельные параметры двигателя.

Полученные результаты исследований влияния конструктивных и режимных параметров предкамеры позволили выявить определяющие факторы влияния на внутрикамерный рабочий процесс ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах топлива и

определить рациональные области значений основных конструктивных и режимных параметров предкамеры, позволяющих достичь максимальный эффект в приросте удельных параметров двигателей.

Библиографический список

1. Ракетные двигатели и двигательные установки на их основе, применяемые в изделиях ракетно-космической техники разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» [Текст] / А.В. Чечин, А.С. Квашин, В.И. Пушкин [и др.] // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - Самара, 2003. Ч. 2. - С. 20-31.
2. Дубинкин, Ю.М. Проблемы организации рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей малой тяги [Текст] / Ю.М. Дубинкин, В.Е. Нигодюк // Изв. вузов. Авиационная техника, 1993. - № 2. - С. 71-74.
3. Нигодюк, В.Е. Некоторые пути повышения эффективности ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах топлива [Текст] / В.Е. Нигодюк, А.В. Сулинов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы междунар. науч.-техн. конф. - Самара: СГАУ, 2006. Ч. 1. - с. 27-29.
4. Нигодюк, В.Е. Перспективы применения предкамер в ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах топлива [Текст] / В.Е. Нигодюк, А.В. Сулинов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: матер. междунар. науч.-техн. конф. - Самара: СГАУ, 2009. Ч. 1. - с. 120-122.
5. Нигодюк, В.Е. Исследование закономерностей жидкофазного взаимодействия компонентов СЖРТ [Текст] / В.Е. Нигодюк, А.В. Сулинов // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2009. № 3 (19). - С. 316-321.
6. Ивандаев, А.И. Газовая динамика многофазных сред: Ударные и детонационные волны в газозвесах [Текст] / А.И. Ивандаев, А.Г. Кутушев, Р.И. Нигматулин // Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа, 1987: Т. 16. - С. 209 - 287.
7. Eisenklam, P. Evaporation Rates and Drag Resistance of Birnind Drops [Text] / P. Eisenklam, S.A. Azunachalam, J.A. Weston // Eleventh Symposium (International) on Combustion

tion. The Combustion Institute, 1967. - P.715–728.

8. Франк–Каменецкий, Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д.А. Франк–Каменецкий. - М.: Наука, 1987. - 502 с.

9. Вулис, Л. А. Тепловой режим горения [Текст] / Л.А. Вулис. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1954. - 287 с.

10. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей [Текст] / Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов [и др.]. - М.: Машиностроение, 1964. - 527с.

11. Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович, Т.А. Гиршович, С.Ю. Крашенинников [и др.]. - М.: Наука, 1984. - 716 с.

INFLUENCE IN A CONSTRUCTIVE AND REGIME PARAMETERS ANTECHAMBER BY OPERATION-IN THE COMBUSTION CHAMBER LIQUID-PROPELLANT ROCKET ENGINE THRUSTERS ON HYPERGOLIC LIQUID PROPELLANTS

©2011 V. E. Nigodjuk, A. V. Sulinov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The article presents the results of theoretical and experimental studies on intensification through antechamber major limiting stages of the flow of the working process in the combustion chamber: the gasification of liquid phase intermediates and evaporation of unreacted fuel components Comrade through the organization of effective secondary crushing and mixing of gas-phase and mouth-injuries of large-scale non-uniformity of the ratio of the fuel components in the cross section through heavy turbulence in gas-phase intermediates.

Liquid rocket engine thrusters, antechamber, the combustion chamber, the working process, intensification, fragmentation of the products of liquid phase, gas phase mixing.

Информация об авторах

Нигодюк Валентин Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теории двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел.: (846) 335-59-21. E-mail: ke_src@ssau.ru. Область научных интересов: исследование рабочего процесса в двигателях летательных аппаратов.

Сулинов Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теории двигателей летательных аппаратов, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра космической энергетики, Самарский государственный аэрокосмический университет. Тел.: (846) 335-59-21. E-mail: ke_src@ssau.ru. Область научных интересов: исследование рабочего процесса в двигателях летательных аппаратов.

Nigodjuk Valentin Evgenievich, candidate of technical science, associate professor of the department of theory engines letatel-governmental apparatus, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-59-21. E-mail: ke_src@ssau.ru. Area of research: of the working process in the engines of the aircraft.

Sulinov Alexander Vasilyevich, candidate of technical science, associate professor of the department of theory engines letatel-governmental apparatus and senior researcher Scientific research center of space energy, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone. (846) 335-59-21. E-mail: ke_src@ssau.ru. Area of research: of the working process in the engines of the aircraft.