

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

В.В. Лозовецкий¹, Е.Г. Комаров¹, В.М. Черкина²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

fuzzykom@gmail.com

Представлены результаты анализа теоретических и экспериментальных исследований форсунок различного типа и конструкций, предназначенных для смешения топливных компонентов. Показано, что используемые в настоящее время однокомпонентные струйные и центробежные форсунки не обеспечивают требуемое качество смешения, что приводит к невысокой полноте сгорания топлива. Применение форсунок с компланарными каналами для распыливания топливной смеси в камерах сгорания двигателей транспортных средств повышает их экономичность за счет снижения гидравлических потерь в топливоподающей системе и оптимальной структуры подаваемой топливной смеси. Рассмотрены экспериментальные исследования, в которых обоснована возможность создания высокоэффективной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами с низким уровнем гидравлических потерь. Разработаны конструкторские решения двухкомпонентной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами. Полученные результаты позволяют прогнозировать и определять оптимальные параметры данной форсунки.

Ключевые слова: транспортные средства, двигатель, топливо, форсунка, компланарный канал, смешение, камера сгорания

Ссылка для цитирования: Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г., Черкина В.М. Аналитический обзор исследований процессов смешения компонентов топлива в энергодвигательных установках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 103–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-103-110

Важным фактором, определяющим характеристики энергетических и силовых установок транспортных средств различного назначения, является полнота сгорания топлива, величина которой в значительной степени зависит от эффективности процесса смешения компонентов топливной смеси, подаваемой в камеру сгорания. К таким характеристикам относятся мощность, а в энергодвигательных установках космических объектов — тяга и удельный импульс двигателя. Один из основных технических способов их повышения заключается в правильном выборе конструкции и характеристик форсунок как основных элементов распыливающих и впрыскивающих устройств [1].

Процессы, одновременно протекающие в камерах сгорания, должны обеспечить быстрое и полное сгорание топлива, что достигается при его равномерном распределении по соотношению компонентов и расходонапряженности, создавая гидродинамические условия в камере сгорания, при которых компоненты будут как можно быстрее вступать в реакцию горения. В настоящее время широко известны различные типы струйных, центробежных одно- и двухкомпонентных форсунок, каждый из которых имеет свои преимущества, недостатки и область применения [2].

Цель работы

Цель работы — анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований форсу-

нок различного типа и конструкций, предназначенных для смешения топливных компонентов.

Материалы и методы

В жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) широко применяются два типа форсунок: струйные и центробежные.

Производительность струйной форсунки рассчитывают [2] по формуле

$$\dot{m}_\phi = \mu_\phi F_{с.ф} \sqrt{2\rho_\phi \Delta p_\phi}, \quad (1)$$

где μ_ϕ — коэффициент расхода форсунки;

$F_{с.ф}$ — площадь сопла форсунки;

ρ_ϕ — плотность топлива;

Δp — перепад давления на форсунке.

Конструкция струйных форсунок проста, как проста и технология их изготовления (рис. 1) [2].

Струйные форсунки создают относительно оптимальные условия для образования смеси компонентов топлива и его полное сгорание в минимальном объеме камеры сгорания. В работе [2] отмечено, что улучшить качество смесеобразования можно с помощью столкновения струек компонентов топлива, подаваемого в камеру сгорания несколькими форсунками, расположенными на ее входе, поскольку ударное взаимодействие струи с последующим ее разрушением о специальную ударную поверхность признано эффективным.

Форсунки такого типа широко используются в зарубежных ЖРД с самовоспламеняющимися

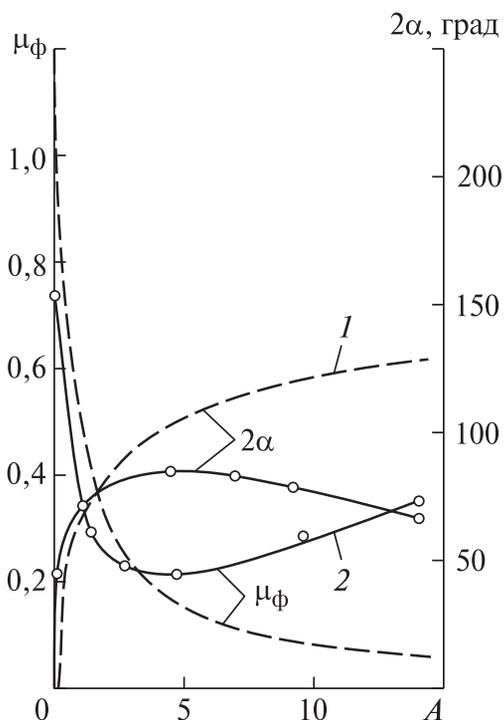


Рис. 1. Зависимость коэффициента расхода μ_ϕ и угла 2α распыливания от геометрической характеристики A для струйных форсунок с разными значениями величины плеча закручивания R : 1 — для идеальной жидкости; 2 — для вязкой жидкости

Fig. 1. Dependence of the flow coefficient μ_ϕ and the spray angle 2α on the geometric characteristic A for jet nozzles with different values of the twisting lever R : 1 — for an ideal fluid; 2 — for a viscous liquid

компонентами топлива. В этом случае не требуется тонкого распыла топлива. В ЖРД с малыми поперечными сечениями камер сгорания возникают трудности с расположением требуемого количества центробежных форсунок на их головках, поэтому струйные форсунок с большим значением коэффициента расхода μ_ϕ подают большую массу топлива при допустимых гидравлических потерях Δp_ϕ [2].

Центробежные форсунок, по сравнению со струйными, имеют более сложную конструкцию, приводящую к повышенным гидравлическим потерям и, как следствие, к меньшей подаче топливных компонентов. По принципу действия они различаются методом смешения: внешним и внутренним.

Центробежные форсунок отличаются от форсунок других типов тем, что жидкой компоненте, протекающей по тангенциальным каналам, сообщается момент количества движения относительно сопла, что приводит к интенсивному вращению в камере. При выходе из сопла жидкость образует утончающуюся по мере движения пленку, представляющую собой полый конус (рис. 2) [1, 3, 4].

Эта пленка теряет устойчивость и распадается на капли [2]. В то же время центробежным форсунок присущи следующие положительные качества [3, 5, 6]:

- под действием центробежных сил на выходе из сопла образуется тонкая конусообразная пленка, или пелена, с большим углом распыла, которая дробится на капли, что значительно улучшается качество смесеобразование топливных компонентов и способствует повышению полноты сгорания;
- внутри форсунок происходит закручивание жидкости, что способствует высокой турбулизации и смешению компонентов топлива до истечения из форсунок;
- в форсунке образуется сравнительно однородная смесь, впрыскиваемая за счет разности давления на выходе из форсунок и в камере сгорания, где происходят ее распыление, испарение, смешение и горение с повышенной полнотой сгорания.

Краткий обзор струйных и центробежных форсунок свидетельствует о накоплении к настоящему времени значительного теоретического материала и практического опыта по способам распыления топливных компонентов, их смешения и сжигания с высокой степенью полноты: созданы разнообразные распылительно-смесительные конструктивные узлы — форсунок, отличающиеся хорошими расходными характеристиками, качеством распыливания и смесеобразования, достаточно низкими перепадами давления [1, 2, 7–9]. Тем не менее, нужны новые конструкции форсунок, которые обеспечивали бы дальнейшее повышение экономичности двигателей, уменьшение вредных выбросов в атмосферу, возможно, вследствие использования обедненных смесей в целях снижения выбросов оксидов углерода и азота для углеродных и водородных видов топлива, с учетом того, что в обедненных смесях устойчивость горения напрямую зависит от качества смешения [10, 11].

Разработка новых конструкций для смешения топлива требуется в связи с интенсивным применением разнообразных видов биологического топлива, использование которых, а также соевых масел, в дизельных двигателях приводит к высоким значениям эмиссии угарного газа и оксидов азота. Уровень их эмиссии удастся снизить путем улучшения процессов смесеобразования [12, 13].

Постоянное стремление увеличить полноту сгорания топлива при малых перепадах давления на форсунке вынуждает конструкторов разрабатывать новые типы форсунок, например, с компланарными каналами [1, 14]. Конструкции трактов в них могут быть неограниченными и располагаться на цилиндрической поверхности симметричной

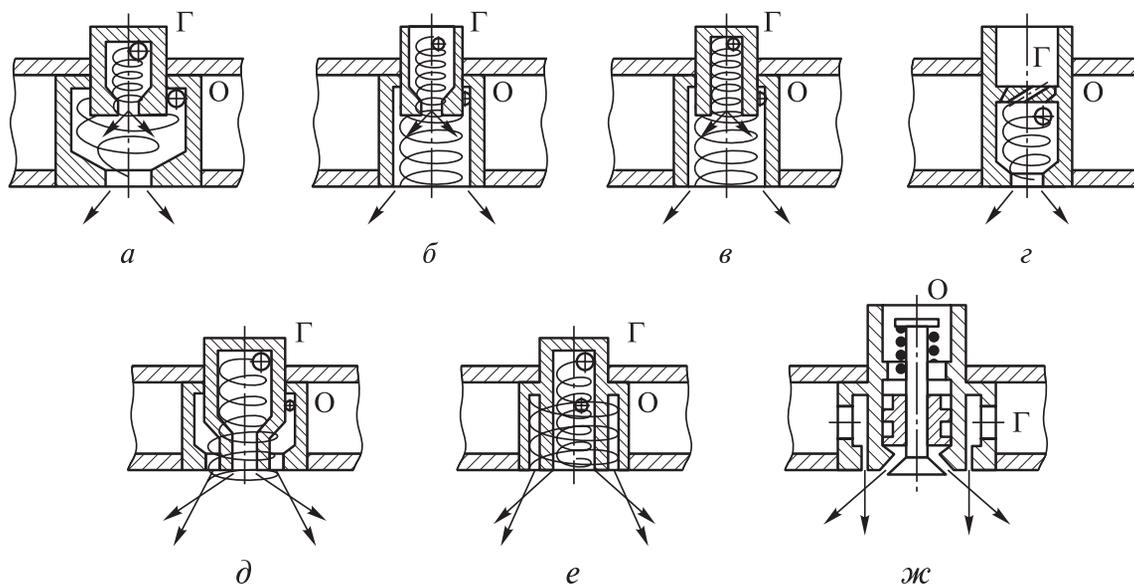


Рис. 2. Двухкомпонентные форсунки с внешним (а-г) и внутренним (д-ж) смешением: Г — горючее, О — окислитель
 Fig. 2. Two-component nozzles with external (a-г) and internal (д-ж) mixing: Г — fuel, О — oxidizing agent

оси (рис. 3) или ограниченными в поперечном направлении с одним или несколькими поворотами у боковых ограничивающих стенок, что способствует изменению структуры потока компонентов и росту коэффициента теплообмена вдоль канала. Применение скрещивающихся компланарных каналов, образованных винтовыми параллельными ребрами на противоположных оболочках, является одним из способов формирования трактов, в которых реализуется турбулентный режим течения одно- и двухфазных жидкостей при сравнительно небольших потерях давления и росте коэффициента теплообмена [1, 3, 5, 15].

Тракты с компланарными каналами интенсифицируют массообмен и теплоотдачу с помощью взаимной подкрутки струй и турбулизации потока даже при малых значениях чисел Рейнольдса. Данные о применении их в газожидкостных форсунках внутреннего смешения отсутствуют, хотя они представляют большой практический интерес [1].

В компланарных каналах даже при малых величинах скорости движения топлива и незначительных перепадах давления возникает высокая турбулизация потока, способствующая интенсивному смешению компонентов топливной смеси, повышению эффективности процессов смесеобразования и полноты сгорания топлива. Это приводит к формированию условий для разработки высокоэкономичной камеры сгорания для двигателей транспортных средств с высокой энергетической и экономической эффективностью, низкими гидравлическими потерями и повышенной экологической безопасностью [3, 5, 16].

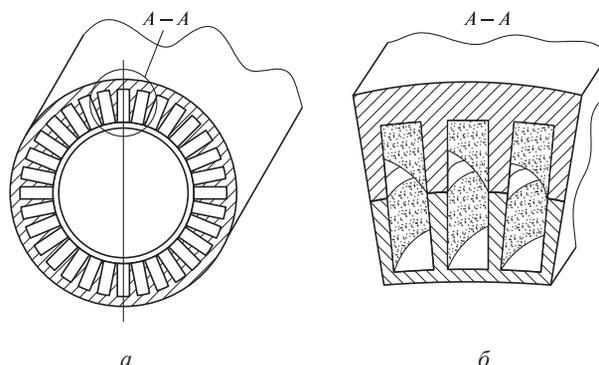


Рис. 3. Схема тракта цилиндрической формы с компланарными каналами (а); б — элемент схемы
 Fig. 3. Scheme of a cylindrical path with coplanar channels (a); б — circuit element

Достижение высокой полноты сгорания топлива всецело зависит от качества его дробления на мелкие капли и от равномерности смешения в камере сгорания двигателей компонентов топливной смеси, разнородных по химическим свойствам и агрегатному состоянию. Решение этих проблем возможно в результате разработки соответствующего конструктивного оформления генерирующих струи устройств (форсунок) и оптимального пространственного распределения распыленного топлива в объеме камеры сгорания.

Применительно к конструкциям форсунок горелок и других теплогенерирующих систем, с помощью которых, как правило, и осуществляется подача топлива, наиболее перспективны, на наш взгляд, вихревые тракты с компланарными каналами [17, 18]. Их использование способствует

уменьшению объема камеры сгорания и времени пребывания в ней топлива за счет смесеобразования непосредственно в форсунке с внутренним смешением компонентов [1]. Другие типы вихревых трактов, в частности тракты с искусственными шероховатостями или тракты с лунками либо полости с тангенциальным впрыском уже широко апробированы и не дают заметного повышения эффективности [1, 3, 5, 12].

Исследование полноты сгорания топлива в камерах сгорания с использованием форсунок с компланарными каналами подробно выполнено в работе [3] на экспериментальной термодинамической установке. Установка представляет собой модель системы подачи топлива, отвечающую известным из теории моделирования требованиям подобия: геометрического, кинематического и динамического [19]. В ней обеспечивается требуемое время нахождения каждой порции топлива и продуктов, а его сгорание исчисляется секундами и миллисекундами. За это время топливо сгорает настолько возможно полнее, поскольку несгоревшее топливо — это потеря тяги и удельного импульса. Удельный импульс давления или расходный комплекс β_Σ используется для оценки полноты сгорания топлива и позволяет оценить совокупный рабочий процесс в камере сгорания и сопле, включая несовершенства, учитываемые характеристической скоростью, потери полного давления потока, кажущееся снижение проходных сечений и др.

Экспериментальное значение расходного комплекса было определено [3, 5, 12] по формуле

$$\beta_\Sigma = p_k \frac{F_{кр}}{m_\Sigma}, \quad (2)$$

где $m_\Sigma = m_{ок} + m_t$ — суммарный расход окислителя и топлива, кг/с;

$m_{ок}$ — расход окислителя, кг/с;

p_k — давление в камере сгорания, Па;

m_t — расход топлива, кг/с;

$F_{кр}$ — площадь критического сечения камеры сгорания.

Теоретическое значение расходного комплекса β_t было определено с помощью термодинамического расчета и учитывая потери на водяное охлаждение [20].

Основным параметром, характеризующим совершенство рабочего процесса в камере сгорания, является коэффициент удельного импульса камеры — φ_β , который рассчитан [1] по зависимости

$$\varphi_\beta = \frac{\beta_\Sigma}{\beta_t}. \quad (3)$$

Рост φ_β приводит к более равномерному распределению компонентов топлива по объему камеры сгорания и полноте его использования.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования показали, что число парных каналов N и угол 2β (угол взаимного пересечения компланарных каналов, рад) их взаимного пересечения оказывают существенное влияние на качество рабочего процесса (рис. 4) [1, 3]. Коэффициент камеры характеризует равномерность распределения термодинамических параметров (температуры, давления, скорости) потока по сечению камеры.

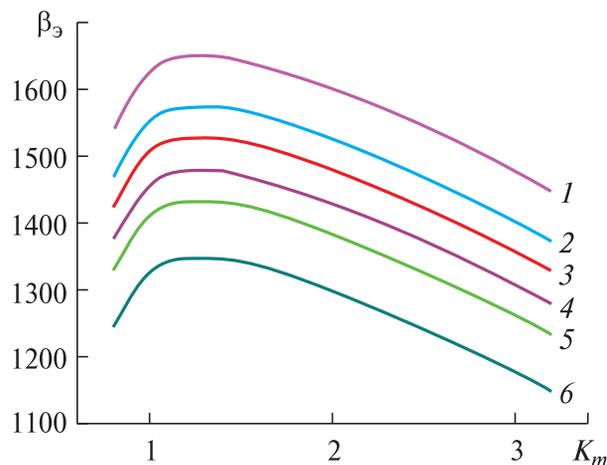


Рис. 4. Зависимость экспериментального значения расходного комплекса β_Σ от соотношения компонентов топлива K_m при различных значениях угла 2β и числа каналов N : 1 — $N = 17$, $2\beta = 60$; 2 — $N = 10$, $2\beta = 110$; 3 — $N = 10$, $2\beta = 90$; 4 — $N = 10$, $2\beta = 60$; 5 — $N = 6$, $2\beta = 60$; 6 — центробежная

Fig. 4. The dependence of the experimental value of the consumption complex β_Σ on the ratio of the fuel components K_m for various values of the angle 2β and the number of channels N : 1 — $N = 17$, $2\beta = 60$; 2 — $N = 10$, $2\beta = 110$; 3 — $N = 10$, $2\beta = 90$; 4 — $N = 10$, $2\beta = 60$; 5 — $N = 6$, $2\beta = 60$; 6 — centrifugal

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об увеличении коэффициента камеры с 0,88 до 0,96 (см. рис. 4). Увеличение числа входных каналов N способствует образованию более симметричного течения жидкости в камере закручивания, снижает неравномерность распределения жидкости в факеле, уменьшает склонность к возникновению неустойчивого горения.

На рис. 5 показана зависимость расхода двухфазной жидкости при переменном перепаде давления на форсунке и постоянном расходе жидкости (воды) при различных значениях угла взаимного пересечения каналов и разным их числе [3]. Из рис. 5 следует, что при постоянной величине перепада давления на форсунке увеличение числа компланарных каналов, при прочих равных условиях, способствует росту расхода, а, следовательно, и тяги двигателя.

В целях более наглядного представления преимуществ форсунок с компланарными каналами проведено сравнение величины перепадов давления на них с перепадами давления на вихревых форсунках с внутренним смешением (рис. 6) в виде зависимостей — $\Delta p_\phi = f(m_\phi)$. Перепад на форсунках с компланарными каналами определялся по данным рис 5, а на центробежных форсунках — по зависимости

$$\Delta p_\phi = \frac{m_\phi^2}{2\rho_\tau \mu_\phi^2 F_{c,\phi}^2}, \quad (4)$$

где $d_{c,\phi} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ — диаметр сопла центробежной форсунки;

$\mu_\phi = 0,25$ — коэффициент расхода форсунки (см. рис. 1);

$\rho_\tau = \frac{\rho_o \rho_\Gamma (1 + K_m)}{\rho_o + K_m \rho_\Gamma}$ — плотность топлива;

$$F_{c,\phi} = \frac{\pi d_{c,\phi}^2}{4}.$$

В расчетах были использованы следующие компоненты топлива: керосин, $\rho_\Gamma = 830 \text{ кг/м}^3$; окислитель — жидкий кислород, $\rho_o = 1,144 \text{ кг/м}^3$; соотношение компонентов в топливной смеси $K_m = 1,63$ [2].

Огневые испытания форсунки с компланарными каналами подтвердили ее высокую эффективность. Результаты экспериментальных исследований [3, 5] и данные нашей обработки, представленные на рис. 5 и 6, свидетельствуют о том, что при соотношении компонентов $K_m = 1,0$ и увеличении угла 2β с 60° до 110° при постоянном числе парных каналов $N = 10$ значение расходного комплекса β , увеличилось с 1440 до 1570 м/с, а коэффициента камеры соответственно — с 0,88 до 0,96. Число парных каналов N улучшает качество рабочего процесса в камере сгорания, в частности, при его увеличении с 6 до 17 при постоянном угле $2\beta = 60^\circ$. При угле взаимного пересечения каналов $2\beta = 110^\circ$ имело место термическое разрушение форсунок под воздействием горячих газов вследствие уменьшения осевой составляющей скорости истечения и интенсивных обратных токов. Поэтому для обеспечения безопасной работы и получения высоких удельных показателей оптимальный угол взаимного пересечения каналов должен равняться $2\beta = 90^\circ$ [1].

Увеличение числа входных каналов способствует образованию более симметричного течения в камере закручивания и снижает неравномерность распределения топливной смеси в факеле, что способствует качественному смешению жидкости и газа. В двухфазной среде устанавливаются равномерные поля концентраций фаз и равномерные поля давления и температуры.

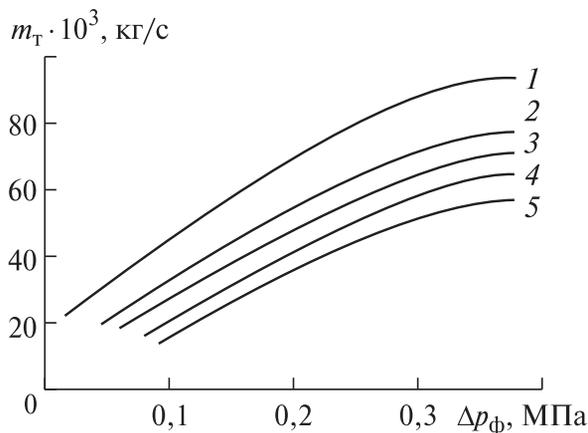


Рис. 5. Зависимость расхода двухфазной жидкости от числа каналов N и угла пересечения каналов 2β : 1 — $N = 17, 2\beta = 60^\circ$; 2 — $N = 10, 2\beta = 60^\circ$; 3 — $N = 6, 2\beta = 60^\circ$; 4 — $N = 10, 2\beta = 90^\circ$; 5 — $N = 10, 2\beta = 110^\circ$, при $m_\Gamma = 20 \text{ г/с}$

Fig. 5. The dependence of the flow rate of a two-phase liquid on the number of channels N and the angle of intersection of the channels 2β : 1 — $N = 17, 2\beta = 60^\circ$; 2 — $N = 10, 2\beta = 60^\circ$; 3 — $N = 6, 2\beta = 60^\circ$; 4 — $N = 10, 2\beta = 90^\circ$; 5 — $N = 10, 2\beta = 110^\circ$, при $m_\Gamma = 20 \text{ г/с}$

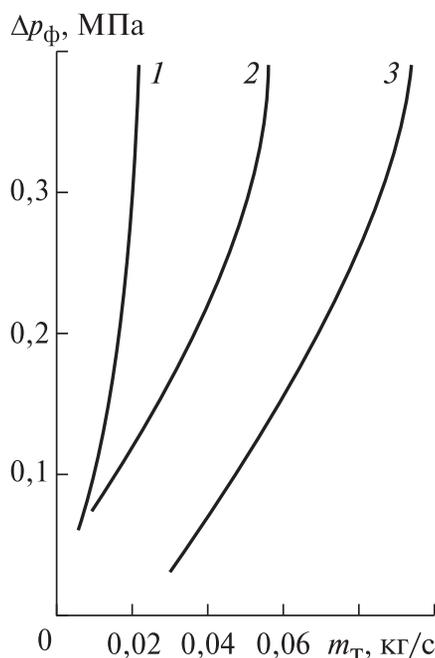


Рис. 6. Зависимость перепада давления на форсунках: 1 — вихревой; 2 — с компланарными каналами при $2\beta = 110^\circ$ и $N = 10$; 3 — с компланарными каналами при $2\beta = 60^\circ$ и $N = 17$

Fig. 6. The dependence of the differential pressure on the nozzles: 1 — vortex; 2 — with coplanar channels at $2\beta = 110^\circ$ and $N = 10$; 3 — with coplanar channels at $2\beta = 60^\circ$ and $N = 17$

В частности, при увеличении количества парных каналов N с 6 до 17 при постоянном угле их пересечения $2\beta = 60^\circ$ значение расходного комплекса β , увеличилось с 1440 до 1660 м/с (см. рис. 4), а коэффициента камеры ϕ_β — с 0,88 до 0,99.

Выводы

Проведен аналитический анализ существующих конструкций смесительных форсунок, который подтвердил возможность создания высокоэффективной малоперепадной газожидкостной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами для тепловых двигателей транспортных средств.

Выявлены следующие преимущества газожидкостных форсунок внутреннего смешения с компланарными каналами по сравнению со струйными и вихревыми:

- угол факела распыла больше, чем у струйной форсунки;

- коэффициент расхода больше, чем у центробежной форсунки;

- полнота сгорания выше, чем у струйных и центробежных форсунок при одних и тех же перепадах давления компонентов топлива;

- незначительные перепады давления позволяют применять насосы меньшей мощности, что приводит к экономии электроэнергии при эксплуатации;

- более интенсивное протекание процессов и как следствие уменьшение объема камеры сгорания, уменьшение габаритов и массы теплогенерирующего оборудования.

Между результатами гидравлических и огневых испытаний наблюдается хорошая корреляция, что свидетельствует о достоверности предлагаемых технических решений.

Список литературы

- [1] Пелевин Ф.В., Лозовецкий В.В., Мартиросян А.А., Черкина В.М., Статкевич И.В. Моделирование смесеобразования в компланарных газожидкостных форсунках тепловых двигателей // Транспорт на альтернативном топливе, 2012. № 3 (27). С. 47–51.
- [2] Васильев А.П., Кудрявцев В.М., Кузнецов В.К. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. М.: Высшая школа, 1983. 698 с.
- [3] Черкина В.М. Моделирование процессов смесеобразования в теплогенерирующем оборудовании предприятий коммунального хозяйства: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 107 с.
- [4] Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 396 с.
- [5] Пелевин Ф.В., Черкина В.М., Орлин С.А., Мартиросян А.А. Газожидкостная вихревая форсунка // Материалы Междунар. школы-конференции молодых ученых им. П.А. Соловьева и В.Н. Кондратьева «Авиационная и ракетно-космическая техника с использованием новых технических решений». Рыбинск: РГАТА, 2006. Ч. 3. С. 73–75.

- [6] Хью Дж., Холл-Тейлор М. Кольцевые двухфазные течения. М.: Энергия, 1974. 408 с.
- [7] Богданов Ю.М., Пауков Ю.Н., Ламекин Н.С. Способ распыления жидкости. А.с. 853291 (СССР). БИ № 29. 17.08.81.
- [8] Базаров В.Г., Душкин А.Л. Способ распыления жидкости. А.с. 1147437 (СССР). БИ № 12. 30.03.85.
- [9] Грушенко А.М., Безуглый С.В., Спесивцев В.В., Фурсов А.П. Пневматическая форсунка для огне-струйной горелки. А.с. № 1153598 (СССР). БИ № 12. 1983. С. 28.
- [10] Безменов В.Я., Ягодкин В.И., Акиншин Н.С. Низконапорная форсунка и способ распыла топлива. Пат. РФ № 2249118. БИ № 9. 27.03.2005.
- [11] Говард К.П. Характеристики теплопередачи и гидравлического сопротивления теплообменных поверхностей со скошенными каналами // Энергетические машины и установки, 1965. № 1. С. 85–101.
- [12] Александренков В.П., Поляев В.М. Интенсификация теплопередачи в каналах с компланарным течением теплоносителя // Материалы II Всемирной конф. по экспериментальной физике, механике жидкости и термодинамике. Дубовник: СФРЮ, 1991. С. 20–24.
- [13] Лозовецкий В.В., Пелевин Ф.В., Черкина В.М. Форсунки с компланарными каналами для двигателяй транспортно-технологических машин // Транспорт: наука, техника, управление, 2012. № 6. С. 57–66.
- [14] Орлов С.А., Поснов С.А. Пелевин Ф.В. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в щелевых трактах с компланарными каналами // Известия вузов. Сер. Машиностроение, 1984. № 2. С. 78–84.
- [15] Пелевин Ф.В., Дугин Г.С., Тимошенко З.В., Черкина В.М. Лозовецкий В.В. Увеличение полноты сгорания топлива, распыливаемого форсунками с компланарными каналами, для повышения эффективности и безопасности энергетических установок // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2011. № 5. С. 44–51.
- [16] Пелевин Ф.В., Черкина В.М. Экспериментальное исследование смесеобразования в газожидкостной форсунке с компланарными каналами // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. Техника и технологии, 2009. № 1 (30). С. 48–55.
- [17] Therkelsen P., Werts T., McDonell V., Samuelsen S. Analysis of NOx Formation in Hydrogen-Fueled Gas Turbine Engine // J. Eng. Gas Turbines Power, 2009, v. 131, iss. 3, pp. 031507.
- [18] Пелевин Ф.В., Мартиросян А.А., Черкина В.М. Экспериментальное исследование газожидкостной форсунки с компланарными каналами // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. Технология и техника, 2008. № 4. С. 28–34.
- [19] Бильмаер В.В., Пелевин Ф.В. Разработка нового метода интенсификации теплообмена для оборудования предприятий сервиса // Теоретические и прикладные проблемы сервиса, 2005. № 3. С. 15–19.
- [20] Dunham D., Spencer A., McGuirk J., Dianat M. Comparison of Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes and Large Eddy Simulation Computational Fluid Dynamics Methodologies for Air Swirl Fuel Injectors // J. Eng. Gas Turbines Power, 2009, v. 131, iss. 1, p. 011502.

Сведения об авторах

Лозовецкий Вячеслав Владимирович — д-р. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), lozovetsky@mail.ru

Комаров Евгений Геннадиевич — д-р. техн. наук профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), fuzzykom@gmail.com

Черкина Вера Михайловна — канд. техн. наук, доцент Московского государственного строительного университета, khina75@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2019.

Принята к публикации 24.12.2019.

ANALYTICAL REVIEW OF MIXING FUEL COMPONENTS IN POWER ENGINE INSTALLATIONS RESEARCH PROCESSES

V.V. Lozovetskiy¹, E.G. Komarov¹, V.M. Cherkina²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

fuzzykom@gmail.com

The results of theoretical and experimental studies of various types nozzles intended for mixing fuel components are presented. It is shown that the currently used single-component jet and swirl-type nozzles do not provide the required quality of mixing, which leads to a low completeness of fuel combustion. The use of nozzles with coplanar channels for spraying the fuel mixture in the combustion chambers of vehicle engines increases their efficiency by reducing hydraulic losses in the fuel supply system and the optimal structure of the supplied fuel mixture. Experimental studies are considered, which substantiate the possibility of creating a highly efficient internal mixing nozzle with coplanar channels with a low level of hydraulic losses. Design solutions for a two-component internal mixing nozzle with coplanar channels have been developed. The results obtained allow us to predict and determine the optimal parameters of this nozzle.

Keywords: vehicles, engine, fuel, nozzle, coplanar channel, mixing, combustion chamber

Suggested citation: Lozovetskiy V.V., Komarov E.G., Cherkina V.M. *Analiticheskiy obzor issledovaniy protsessov smesheniya komponentov topliva v energodvigatel'nykh ustanovkakh* [Analytical review of mixing fuel components in power engine installations research processes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 103–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-103-110

References

- [1] Pelevin F.V., Lozovetskiy V.V., Martirosyan A.A., Cherkina V.M., Statkevich I.V. *Modelirovanie smeseobrazovaniya v komplanarnykh gazozhidkostnykh forsunkakh teplovykh dvigateley* [Modeling mixture formation in coplanar gas-liquid nozzles of heat engines] *Transport na al'ternativnom toplive* [Transport on alternative fuel], 2012, no. 3 (27), pp. 47–51.
- [2] Vasil'ev A.P., Kudryavtsev V.M., Kuznetsov V.K. *Osnovy teorii i rascheta zhidkostnykh raketnykh dvigateley* [Fundamentals of the theory and calculation of liquid rocket engines]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1983, 698 p.
- [3] Cherkina V.M. *Modelirovanie protsessov smeseobrazovaniya v teplo-generiruyushchem oborudovanii predpriyatii kommunal'nogo khozyaystva* [Modeling of processes of mixture formation in heat-generating equipment of public utilities] *Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Dis. ... Cand. Sci. Tech.]. Moscow, 2012, 107 p.
- [4] Dobovol'skiy M.V. *Zhidkostnye raketnye dvigateli* [Liquid rocket engines]. Moscow: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2005, 396 p.
- [5] Pelevin F.V., Cherkina V.M., Orlin S.A., Martirosyan A.A. *Gazozhidkostnaya vikhrevaya forsunka* [Gas-liquid vortex nozzle] *Materialy Mezhdunarodnoy shkoly-konferentsii molodykh uchenykh im. P.A. Solov'eva i V.N. Kondrat'eva «Aviatsionnaya i raketno-kosmicheskaya tekhnika s ispol'zovaniem novykh tekhnicheskikh resheniy»* [Materials of the International School-Conference of Young Scientists named after P.A. Soloviev and V.N. Kondratyev «Aviation and rocket and space technology using new technical solutions»]. Rybinsk: RGATA, 2006, part 3, pp. 73–75.
- [6] Hugh J., Hall-Taylor M. *Kol'tsevye dvukhfaznye techeniya* [Annular biphasic flows]. Moscow: Energiya [Energy], 1974, 408 p.
- [7] Bogdanov Yu.M., Paukov Yu.N., Lamekin N.S. *Sposob raspyleniya zhidkosti* [The method of spraying liquid]. A.S. 853291 (USSR). BI no. 29.17.08.81.
- [8] Bazarov V.G., Dushkin A.L. *Sposob raspyleniya zhidkosti* [The method of spraying liquid]. A.S. 1147437 (USSR). BI no. 12.03.30.85.
- [9] Grushenko A.M., Bezuglyy S.V., Spesivtsev V.V., Fursov A.P. *Pnevmaticheskaya forsunka dlya ogne-struynoy gorelki* [Pneumatic nozzle for a flame jet burner]. A.S. no. 1153598 (USSR). BI no. 12.1983, p. 28.
- [10] Bezmenov V.Ya., Yagodkin V.I., Akin'shin N.S. *Nizkonapornaya forsunka i sposob raspyla topliva* [Low-pressure nozzle and method of spraying fuel]. Pat. RF number 2249118. BI no. 9.03/27/2005.

- [11] Howard K.P. *Kharakteristiki teploperedachi i gidravlicheskogo soprotivleniya teploobmennykh poverkhnostey so skoshennymi kanalami* [Characteristics of heat transfer and hydraulic resistance of heat exchange surfaces with beveled channels] *Energeticheskie mashiny i ustanovki* [Energy Machines and Installations], 1965, no. 1. pp. 85–101.
- [12] Aleksandrenkov V.P., Polyayev V.M. *Intensifikatsiya teplootdachi v kanalakh s komplanarnym techeniem teplonositelya* [Intensification of heat transfer in channels with a coplanar coolant flow] *Materialy II Vsemirnoy konferentsii po eksperimental'noy fizike, mekhanike zhidkosti i termodinamike* [Materials of the II World Conference on Experimental Physics, Fluid Mechanics, and Thermodynamics]. Dubovnik: SFRY, 1991, pp. 20–24.
- [13] Lozovetskiy V.V., Pelevin F.V., Cherkina V.M. *Forsunki s komplanarnymi kanalami dlya dvigateley transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Nozzles with coplanar channels for engines of transport-technological machines] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2012, no. 6, pp. 57–66.
- [14] Orlov S.A., Posnov S.A., Pelevin F.V. *Teploobmen i gidravlichesкое soprotivlenie v shchelevykh traktakh s komplanarnymi kanalami //*, 1984. № 2. S. 78–84.
- [14] Orlov S.A., Posnov S.A., Pelevin F.V. *Teploobmen i gidravlichesкое soprotivlenie v shchelevykh traktakh s komplanarnymi kanalami* [Heat transfer and hydraulic resistance in slotted ducts with coplanar channels] *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie* [News of universities. Engineering], 1984, no. 2, pp. 78–84.
- [15] Pelevin F.V., Dugin G.S., Timoshenko Z.V., Cherkina V.M., Lozovetskiy V.V. *Uvelichenie polnoty sgoraniya topliva, raspylivaemogo forsunkami s komplanarnymi kanalami, dlya povysheniya effektivnosti i bezopasnosti energeticheskikh ustanovok* [Increasing the completeness of combustion of fuel sprayed by nozzles with coplanar channels to increase the efficiency and safety of power plants] *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergencies], 2011, no. 5, pp. 44–51.
- [16] Pelevin F.V., Cherkina V.M. *Eksperimental'noe issledovanie smeseobrazovaniya v gazozhidkostnoy forsunke s komplanarnymi kanalami* [An experimental study of mixture formation in a gas-liquid nozzle with coplanar channels] *Teoreticheskie i prikladnye problemy servisa. Tekhnika i tekhnologii* [Theoretical and applied problems of service. Engineering and Technology], 2009, no. 1 (30), pp. 48–55.
- [17] Therkelsen P., Werts T., McDonell V., Samuelsen S. Analysis of NOx Formation in Hydrogen-Fueled Gas Turbine Engine. *J. Eng. Gas Turbines Power*, 2009, v. 131, iss. 3, pp. 031507.
- [18] Pelevin F.V., Martirosyan A.A., Cherkina V.M. *Eksperimental'noe issledovanie gazozhidkostnoy forsunki s komplanarnymi kanalami* [An experimental study of a gas-liquid nozzle with coplanar channels] *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa. Tekhnologiya i tekhnika* [Bulletin of the Association of Tourism and Service Universities. Technology and Engineering], 2008, no. 4, pp. 28–34.
- [19] Bil'maer V.V., Pelevin F.V. *Razrabotka novogo metoda intensivatsii teploobmena dlya oborudovaniya predpriyatiy servisa* [Development of a new method of heat transfer intensification for equipment of service enterprises] *Teoreticheskie i prikladnye problemy servisa* [Theoretical and applied problems of service], 2005, no. 3, pp. 15–19.
- [20] Dunham D., Spencer A., McQuirk J., Dianat M. Comparison of Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes and Large Eddy Simulation Computational Fluid Dynamics Methodologies for Air Swirl Fuel Injectors. *J. Eng. Gas Turbines Power*, 2009, v. 131, iss. 1, p. 011502.

Authors' information

Lozovetskiy Vyacheslav Vladimirovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), lozovetsky@mail.ru

Komarov Evgeniy Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), fuzzykom@gmail.com

Cherkina Vera Mikhaylovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), khina75@mail.ru

Received 18.10.2019.

Accepted for publication 24.12.2019.