

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В ФОРСУНОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ

Диденко А.А., Рязанов А.И.

Самарский университет, г. Самара, [tr05@bk.ru](mailto:tr05@bk.ru)

*Ключевые слова:* газотурбинный двигатель, камера сгорания, форсуночное устройство, выбросы вредных веществ, закоксовывание, регенеративное охлаждение, сложнопрофильные малогабаритные детали, пайка, аддитивные технологии.

Стремление разработчиков газотурбинных двигателей удовлетворить существующие и перспективные требования ИСАО привело к непрекращающемуся совершенствованию конструкций форсуночных устройств (ФУ) малоэмиссионных камер сгорания (КС). Большое внимание уделяется конструктивным решениям, приводящим к снижению выбросов NOx, предотвращающим закоксовывание топлива в каналах, повышающим устойчивость работы КС на всех режимах полета. Также рассматриваются новые технологии изготовления и сборки деталей ФУ позволяющие реализовать в металле патентуемые разработки.

В форсуночном устройстве, разработанном General Electric [1] для подпитки основного очага пламени задействовано два топливных контура. Предполагается, что это позволит добиться хорошей управляемости: динамикой давления на выходе из КС, которое влияет на генерацию высокочастотных колебаний; выбросами NOx; расходом топлива на крейсерском режиме. Также компания General Electric [2] предлагает применять регенеративное охлаждение области основных топливных форсунок для предотвращения закоксовывания в них топлива.

В двухконтурных ФУ на взлетном режиме задействуются оба контура. При переходе на крейсерский режим, подача топлива в основной контур отключается и поддерживается только дежурный очаг горения. Оставшиеся на стенках каналов основного контура частицы топлива перегреваются и закоксовываются. Чтобы этого избежать General Electric [3] предлагает продувать каналы предварительно охлажденным воздухом, отбираемым из компрессора высокого давления.

В современных и перспективных ФУ широко применяют тонкостенные многоканальные топливные коллекторы малых проходных сечений. Спроектировать и изготовить их компактными не всегда возможно. Специалисты компании Woodward [4] разработали конструкцию блока коллекторов собранного из отдельных U и H-образных кольцевых секций. В нем можно варьировать количеством каналов добавляя или убирая промежуточные H-образные секции.

Сборка множества малогабаритных, тонкостенных и сложнопрофильных деталей ФУ является нетривиальной задачей. General Electric [5] предлагает использовать для этого пайку высокотемпературным припоем. Причем для обеспечения неразъемности уже собранных соединений используются припой с различной температурой плавления.

Кардинальное решение проблемы сборки и высокой трудоемкости изготовления деталей ФУ предлагают компании United Technologies [6] и General Electric [7]. Современные методы аддитивных технологий: прямое лазерное сплавление металлов (DMLS), выборочная лазерная плавка (SLM), плавка путём создания формы лазером (LENS) и другие, позволяют получать заготовки сложнейших геометрических форм. Воздушные завихрители ФУ могут быть объединены с соседними деталями и изготовлены как единое целое. Тем самым сокращается количество соединений и становится возможным более компактное размещение пространственных каналов и полостей ФУ.

Можно отметить явную тенденцию к усложнению конструкции форсуночных устройств малоэмиссионных камер сгорания и вызванный этим активный поиск новых технологий их изготовления и сборки.

### Список литературы

1. Патент US10001281B2, F23R3/28, F23R3/14, F23R3/34, F23C7/00, F23R3/36; Fuel nozzle with dual-staged main circuit [Текст] [Топливная форсунка с двухступенчатым главным контуром] / Nayan Vinodbhai Patel, Duane Douglas Thomsen, заявитель и патентообладатель General Electric Company, Schenectady, NY (US). № 14/689,765, заявл. 17.04.2015, опубл. 19.06.2018. – 14 с.
2. Патент US10739006B2, F23R3/34, F23R3/28; Fuel nozzle for a gasturbine engine [Текст] [Топливная форсунка для газотурбинного двигателя] / Nayan Vinodbhai Patel, Alfred Albert Mancini, Duane Douglas Thomsen, Michael Anthony Benjamin, заявитель и патентообладатель General Electric Company, Schenectady, NY (US). № 15/459,309, заявл. 15.03.2017, опубл. 11.08.2020. – 19 с.
3. Патент EP1445540B1, F23R3/34; Cooled purging fuel injectors [Текст] [Охлаждаемые продувочные топливные форсунки] / Mancini Alfred Albert, заявитель и патентообладатель General Electric Company, Schenectady, NY (US). № 04250459.7, заявл. 28.01.2004, опубл. 08.04.2015. – 30 с.
4. Патент EP2329121B1, F02C7/22, F23R3/28, F02C7/00, F01D25/00; Multi passage fuel manifold and method of construction [Текст] [Многопроходный топливный коллектор и способ конструкции] / Houtman Kenneth N., Lee Fei Philip, заявитель и патентообладатель Woodward, Inc., Fort Collins, CO 80525 (US). № 09810417.7, заявл. 23.07.2009, опубл. 30.04.2014. – 18 с.
5. Патент US8806871B2, F23R3/28; Fuel nozzle [Текст] [Топливная форсунка] / Marie Ann McMasters, Michael A. Benjamin, Alfred Mancini, Steven Joseph Lohmueller, заявитель и патентообладатель General Electric Company, Schenectady, NY (US). № 12/412,512, заявл. 27.03.2009, опубл. 19.08.2014. – 28 с.
6. Патент EP3052784B1, F02C7/22, F23R3/28, F23D11/38, B22D17/20, B22C9/10; Additive manufactured fuel nozzle core for a gasturbine engine [Текст] [Аддитивное производство сердечника топливной форсунки газотурбинного двигателя] / Xu Jinqian, заявитель и патентообладатель United Technologies Corporation, Farmington, CT 06032 (US). № 14851160.3, заявл. 01.10.2014, опубл. 09.09.2020. – 18 с.
7. Патент WO2009148682A2, F23R3/28, F23R3/34; Fuel distributor and method of manufacturing [Текст] [Топливораспределитель и способ изготовления] / McMasters Marie Ann, Benjamin Michael A., Mancini Alfred, заявитель и патентообладатель General Electric Company, Schenectady, NY (US). № PCT/US2009/037148, заявл. 13.03.2009, опубл. 10.12.2009. – 51 с.

### Сведения об авторах

Диденко Алексей Александрович, Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Рабочие процессы камер сгорания ГТД.

Рязанов Александр Ильич, старший преподаватель кафедры технологий производства двигателей, Рабочие процессы камер сгорания ГТД.

### PERSPECTIVE CONSTRUCTION SOLUTIONS IN INJECTOR DEVICES OF LOW-EMISSION COMBUSTION CHAMBER

Didenko A.A., Ryazanov A.I.

Samara University, Samara, Russia, tr05@bk.ru

*Keywords: gas turbine engine, combustion chamber, injector device, pollutant emission, coking, regenerative cooling, complex profile small parts, soldering, additive technologies.*

Patented promising design solutions in the injector devices of low-emission combustion chambers are considered, which lead to a decrease in NO<sub>x</sub> emissions, prevent coking of fuel in the channels, and increase the stability work of the chamber in all flight modes. New technologies for the production and assembly of parts for injector devices are also considered, which make it possible to implement patented developments in metal.