

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАТУРБИННОГО УСТРОЙСТВА СРЕДНЕРАЗМЕРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 Р.А. Алексеев, А.С. Сидоров

КБПР, АО "НПЦ газотурбостроения "Салют", г. Москва

DEVELOPMENT OF EXHAUST DIFFUSER FOR MEDIUM GAS TURBINE ENGINE

Alexeev R.A., Sidorov A.S. (Design Engineering Bureau of Advanced Research FSUE
Gas turbines manufacture "Salute", Moscow, Russian Federation)

Exhaust diffuser of medium gas turbine engine with a high swirling flow at the exit of the low pressure turbine (LPT) is investigated. Authors propose a design of LPT exhaust diffuser in which the swirling gas flow straightening and mixing with air from fan duct at the same time. Comparison between nozzles with original and new exhaust diffusers showed that thrust increased by 2.2% in second case.

Получение необходимой тяги двигателя, помимо высокой степени совершенства основных узлов, зависит, в том числе, от условий течения в затурбинном устройстве и смесителе. В двигателях с малой степенью двухконтурности высокая величина остаточной окружной закрутки на выходе из внутреннего контура может стать весомым фактором, влияющим на снижение тяги. Как правило, при проектировании турбины низкого давления (ТНД) стараются получить угол закрутки на выходе не более 20° , но в ряде случаев, при сочетании достаточно высоких значений реактивности и перепада полного давления, угол на выходе из ТНД может получиться существенно выше. В этой ситуации проектирование затурбинного устройства, удовлетворительно спрямляющего выходящий из ТНД поток, а также находящегося в рамках принятых конструктивных и габаритно-массовых ограничений, может оказаться довольно сложной задачей.

В исследуемом затурбинном устройстве среднегабаритного двигателя со степенью двухконтурности ~ 0.9 закрутка потока за ТНД составила в среднем 25° . Полученное на стадии эскизного проекта затурбинное устройство с шестью обтекателями силовых стоек и шестью сплиттерами удовлетворяло конструктивным ограничениям (простая профилировка, интенсивное меридиональное раскрытие при малой длине проточной части), но не позволяло добиться приемлемого угла на выходе из внутреннего контура и, как следствие, на выходе из сопла, где местный угол закрутки в корневой зоне доходил до 28° . Это обстоятельство привело к потере тяги в сопле порядка 2-3%.

Были рассмотрены два варианта оптимизации затурбинного устройства. В первом из них безотрывный поворот потока к осевому направлению обеспечивался путём применения сложной профилировки стоек со сплиттерами и удлинения проточной части. Как итог, угол потока на выходе из внутреннего контура, определённый по окружной (C_u) и осевой (C_a) скоростям ($\alpha = \arctg C_u / C_a$), составил в среднем 8.92° против 19.8° в исходном затурбинном устройстве.

Во втором варианте в проточную часть затурбинного устройства устанавливались обтекатели и сплиттеры с толстыми выходными кромками для выпуска через них $\sim 50\%$ воздуха наружного контура в поток газа внутреннего контура. При этом форма проточной части и профиля обтекателя силовой стойки не подвергалась изменениям. Такая конструкция позволила добиться безотрывного поворота потока (угол на выходе из внутреннего контура составил $\alpha = 8.32^\circ$), т.к. благодаря росту толщины профилей в направлении выходных кромок диффузорность в межлопаточных каналах растёт умеренно, а крупные вихревые зоны закрочных следов, которые возникли бы при обтекании замкнутых профилей, заполняются выдуваемым через выходные кромки воздухом наружного контура.

Для оценки влияния полученных конструкций на тягу были проведены 3D вязкие расчёты затурбинного устройства совместно с соплом. Расчётная область состояла из сектора затурбинного устройства с обтекателем стойки и сплиттером (500 тыс. структурированных гексаэдров для исходных и перефилированных обтекателей, 4.2млн. тетраэдр-

ров с призматическими слоями на стенках для обтекателей-смесителей), сектора с соплом и областью затопленного пространства (1.5 млн. структурированных гексаэдров). В каждой сетке для пристеночных ячеек было обеспечено значение безразмерного расстояния до стенки $Y^+ < 2$.

Расчёты проводились методом контрольных объёмов в ANSYS CFX в стационарной постановке. Решалась система уравнений, включающая осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, уравнение для полной энтальпии, уравнение состояния идеального газа, уравнение переноса пассивного скаляра для концентрации газа. Эта система замыкалась моделью турбулентности SST. Для дискретизации независимых переменных по пространству применялась стандартная в ANSYS CFX смешанная схема 1-2 порядка. В расчёте принята модель смеси двух газов с различными физическими свойствами: чистого воздуха в наружном контуре и газа (97.5% воздуха + 2.5% топлива) во внутреннем контуре. Свойства газа и воздуха (теплоёмкость, теплопроводность, вязкость) задавались в виде полиномиальных зависимостей от температуры.

На входе в модель задавались распределения по высоте проточной части полных параметров, угла потока, характеристик турбулентности. На поверхностях, ограничивающих область затопленного пространства, применялось условие открытой границы с атмосферным давлением и температурой.

Была проведена проверка сеточной зависимости задачи. Для затурбинного устройства построена сетка 8.3млн. элементов (исходная 4.2млн.), для сопла – 3.6млн. элементов (исходная 1.5млн.). Разница основных параметров (расход по контурам, тяга, потери давления) при расчёте на более подробной сетке по сравнению с исходной не превышала 0.15%.

В результате расчётов для всех рассматриваемых конструкций получены распределения параметров по затурбинному устройству и соплу, вычислены тяги, углы закрутки на выходе из сопла, потери полного давления.

В сопле с исходным затурбинным устройством получена тяга на 3% ниже необходимой. Помимо избыточного угла закрутки

$\alpha_{\text{скр}} = 10^\circ$ на срезе сопла, это обусловлено практически полным отсутствием перемешивания потоков наружного и внутреннего контуров на коротком, порядка 2.5 диаметров сопла, участке смесителя.

В сопле с затурбинным устройством, имеющим удлинённую проточную часть и сложную профилировку обтекателей стоек и сплиттеров, получена прибавка к тяге 1.3%, которая связана только с возрастанием осевой скорости за счёт снижения угла закрутки потока на срезе сопла до значения $\alpha_{\text{скр}} = 4^\circ$. Это достигнуто ценой повышения потерь на трение в затурбинном устройстве на 0.5% из-за увеличения площади обтекаемой газом поверхности. Как и в исходной конструкции, перемешивание потоков наружного и внутреннего контуров до среза сопла практически полностью отсутствует.

Для сопла с затурбинным устройством, имеющим сплиттеры с толстыми выходными кромками, через которые ~50% воздуха наружного контура выпускалось в поток газа внутреннего контура, прибавка к тяге составила 2.2%. Помимо хорошего спрямления потока ($\alpha_{\text{скр}} = 3^\circ$), выпуск воздуха через толстые выходные кромки сплиттеров позволяет добиться заметного перемешивания. Это особенно проявляется в корневой зоне, куда, из-за особенностей течения, поступает основная масса воздуха наружного контура. Из недостатков конструкции следует отметить повышенные потери давления на смешение и на поворот потока воздуха в полостях сплиттеров, а также малое количество воздуха, поступающее в периферийную зону внутреннего контура, из-за чего смешение в области ~70-90% по высоте проточной части происходит недостаточно интенсивно.

В результате сравнения всех приведённых вариантов затурбинного устройства, предпочтение было отдано конструкции со сплиттерами, имеющими толстые выходные кромки для выпуска воздуха, как обеспечивающей требуемый уровень тяги и не выходящей за рамки наложенных конструктивных и габаритно-массовых ограничений.

Вывод:

Предложенная в данной работе концепция затурбинного устройства, в котором одновременно осуществляется спрямление выходящего из ТНД газа и смешение его с

частью воздуха наружного контура, может быть успешно использована в случаях, когда при повышенных углах потока на выходе из ТНД в условиях заданных конструктивных ограничений не удается получить достаточно низкую закрутку на выходе из затурбинного устройства, при этом обеспечив требуемые габаритно-массовые характеристики узла.

Библиографический список

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. 1991.
2. Деревянко А.В. и др. Основы проектирования турбин авиадвигателей. 1988.

УДК 629.735.33.01

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗООБРАЗНОМ МЕТАНЕ

©2016 В.А. Алтунин¹, К.В. Алтунин¹, М.Р. Абдуллин¹, Ю.С. Коханова¹, Р.Р. Шигапов¹,
М.Л. Яновская²

¹Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева - КАИ

²Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, г. Москва

INFLUENCE OF MAGNETIC AND ELECTROSTATIC FIELDS ON THERMAL PROCESSES IN METHANE GAS

Altunin V.A., Altunin K.V., Abdullin M.R., Kokhanova Y.S., Shigapov R.R. (Kazan national research
technical university named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan, Russian Federation),
Yanovska M.L. (Central institute for aviation motor development named after P.I. Baranov, Moscow,
Russian Federation)

The paper describes results of experimental studies of the influence of magnetic and electrostatic fields on thermal processes in natural and forced convection of methane gas.

Обзор и анализ научно-технической литературы показал, что в настоящее время недостаточно сведений о способах борьбы с осадкообразованием в газообразном метане, о способах интенсификации теплоотдачи к углеводородным газообразным горючим и охладителям при помощи магнитных и электростатических полей в условиях естественной и вынужденной конвекции.

Для проведения фундаментальных исследований влияния магнитных и электростатических полей на тепловые процессы в газообразном метане были созданы экспериментальные установки по его естественной и вынужденной конвекции, подробно показанные в докладе.

В ходе опытов в условиях естественной конвекции газообразного метана обнаружено, что включение в работу различных магнитных полей, изменение их направленности и полярности не привели к каким-либо изме-

нениям процесса теплоотдачи к газообразному метану во всем диапазоне режимных параметров по давлению (p) и температуре (T). А электростатические поля влияют на увеличения коэффициента теплоотдачи (α) и на предотвращение негативного процесса осадкообразования. Поэтому дальнейшие исследования были проведены только с электростатическими полями.

Результаты экспериментальных исследований при естественной конвекции газообразного метана показали, что:

- увеличение давления в экспериментальной бомбе приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи α ;
- наиболее эффективное увеличение коэффициента теплоотдачи α происходит при включении электростатических полей в постоянном режиме, без каких-либо импульсных включений, смены полярностей на рабочих соосных иглах;