

$\pi=3,3$. Область наиболее эффективных режимов (для воздуха) по эффективности энергоразделения и по коэффициентам теплоотдачи лежит в области $\mu=0,5\div 0,7$ и перепаде давления $\pi=2\div 3,3$. При использовании для охлаждения пара коэффициенты теплоотдачи на поверхности каналов увеличиваются и достигают значений $\alpha=1380(\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}))$.

Также проводились исследования вихревого энергоразделителя встроенного в лопатку. Эксперимент показал, что темп охлаждения лопатки при использовании перегретого водяного пара более чем в два раза превышает темп охлаждения лопатки при использовании воздуха. По результатам численного расчёта коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности охлаждающего канала лопатки достигает значения $\alpha=1300(\text{Вт}/\text{м}^2\text{К})$, что хорошо согласуется с данными полученными ранее.

Полученные экспериментальные данные не являются исчерпывающими в вопросе теплообмена от закрученного потока перегретого водяного пара в каналах, поэтому в настоящее время исследования в этой области продолжаются.

Проведены исследования охлаждаемого вихревого энергоразделителя. По результатам численного расчета при $\mu=0,7$ и $\pi=2,0$ получены коэффициенты теплоотдачи у поверхности камеры энергоразделения $\alpha=660\dots 1800(\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}))$. При использовании закрученного течения температура центрального потока снижается, а температура

потока у стенок растёт, что повышает целесообразность использования данного способа обогрева с точки зрения повышения надёжности работы противообледенительной защиты входных устройств ГТД.

Библиографический список

1 Пиралишвили, Ш. А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения [Текст] / Ш. А. Пиралишвили, В. М. Поляев, М. Н. Сергеев. М.: УНПЦ энергомаш, 2000. - 412 с.

2 Фролова, И.С. Эффективность охлаждения лопатки турбины со встроенными в перо вихревыми энергоразделителями [Текст] / И.С. Фролова, С.М. Пиотух, З.А. Манушин :Авиационная промышленность. – 1990. - № 5. – 18-24 с.

3 Пиралишвили, Ш. А. Лопатка турбины ГТД с вихревым охлаждением пера. [Текст]/ Ш.А. Пиралишвили, И.В.Фролова – В кн. Вихревой эффект и его применение в технике/Материалы 5 Всесоюзной научно-техн. конф. по вихревому эффекту. – Куйбышев, 1968. 87-92с.

4 Жорник, И.В. Лопатка с вихревым охлаждением пера [Текст]/ И.В. Жорник, Э.А. Манушин; - Авиационная промышленность, 1992, 25-29с.

5 Жорник, И. В. Разработка, исследование и реализация способа охлаждения элементов ГТД вихревыми энергоразделителями [Текст] / И. В. Жорник // Дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск, 1992. - 152 с.

УДК 621.438:532.5

ВЫБОР РАДИУСА РАСПОЛОЖЕНИЯ АППАРАТА ЗАКРУТКИ В СИСТЕМЕ ПОДВОДА ОХЛАЖДАЮЩЕГО ВОЗДУХА К РАБОЧЕЙ ЛОПАТКЕ ТВД

Диденко Р.А.¹, Карелин Д.В.¹, Иевлев Д.Г.¹, Лебедев В.В.²

¹ОАО НПО «Сатурн», г. Рыбинск

²Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева

EFFECT OF RADIAL LOCATION OF NOZZLES ON WIDTH ON PERFORMANCE OF PRE-SWIRL SYSTEMS

Didenko R.A., Karelin D.V., Ievlev D.G., Lebedev V.V. This paper investigates the effect of radial location of the inlet nozzles on effectiveness Θ and total pressure losses ζ of pre-swirl systems. A commercial code Ansys CFX is used to solve the Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) equations using SST turbulence model with wall functions approach. Computations are performed for the flow parameter $0,375 < \lambda_r < 0,75$, rotational Reynolds number $1,69 \cdot 10^7 < \text{Re}_\phi < 2,33 \cdot 10^7$, throughflow

Reynolds number or non-dimensional mass flow rate $2.79 \cdot 10^5 < C_w < 5.73 \cdot 10^5$ and swirl ratio $0.548 < \beta < 2.5$. The principles of the most appropriate radius were developed. Also the problem of heat exchanger was discussed.

Эффективность работы системы подвода охлаждающего воздуха к рабочей лопатке турбины принято характеризовать двумя параметрами: адиабатической эффективностью Θ и безразмерным снижением давления в системе ζ . При этом структура потока в системе целиком определяется любыми двумя из следующих критериев: вращательным числом Рейнольдса Re_ϕ , параметром структуры потока λ_T , безразмерным расходом потока C_w , числом Россби Ro , и другими критериями, которые могут быть построены на их основе.

Выбор оптимального радиуса расположения аппарата закрутки (АЗ) определяется различными факторами и зависит от особенностей конструкции конкретного двигателя. Различают системы с “низким расположением” и с “высоким расположением” АЗ.

В аппарате закрутки воздух расширяется и, как следствие разгоняется в направлении вращения диска турбины, при этом его температура и давление в относительном движении снижаются. При анализе литературы по данной теме выявлено, что радиус расположения АЗ, закрутка потока β_0 на выходе из АЗ и параметр структуры потока λ_T , характер его турбулентности являются основными параметрами, влияющими на структуру течения в системе и ее эффективность. В литературе не представлено четких указаний о влиянии радиуса расположения АЗ на затраты мощности системы на прокачку охлаждающего воздуха, отсутствуют четкие рекомендации выбора радиуса расположения АЗ для конкретных условий, приближенных к реальному ГТД.

В нашей работе проведено моделирование процессов, протекающих в системе подвода воздуха в диапазоне критериев, имеющих место при типичных режимах работы ГТД: $0.375 < \lambda_T < 0.75$, $1.69 \cdot 10^7 < Re_\phi < 2.33 \cdot 10^7$, $2.79 \cdot 10^5 < C_w < 5.73 \cdot 10^5$, $0.548 < \beta < 2.5$, с целью выработки последовательности принятия решения по выбору радиуса расположения АЗ. Кроме этого, представлено сравнение

вариантов отбора через камеру сгорания и через теплообменник.

Последовательность принятия решения по выбору радиуса расположения АЗ для конкретных условий двигателя состоит в следующем:

1. Считается, что рабочая лопатка уже спроектирована под определенный расход и температуру охлаждающего воздуха, сочетание которых обеспечивает заданную ресурсом температуру тела лопатки. То есть, задано давление под лопаткой и расход воздуха.

2. Прорабатывается возможность постановки теплообменника во втором контуре двигателя с точки зрения термодинамических потерь цикла двигателя и определяются его характеристики, то есть способность снижать температуру и давление при заданном расходе. Таким образом, известна “цена” постановки теплообменника.

3. Задается уровень статического давления за АЗ исходя из уровней давления в осевом зазоре проточной части и в думисной полости, определяются утечки в осевой зазор и затекание из думисной полости в полость за АЗ. Площадь АЗ назначается исходя из потребного расхода в лопатку и утечек. При этом учитывается работа системы подвода на крейсерском режиме работы двигателя, то есть с ограничением подачи основного охлаждающего воздуха определяется площадь АЗ.

4. По полученным в рамках численного моделирования универсальным зависимостям осуществляется выбор радиуса расположения АЗ для обеспечения заданного давления под лопаткой для случаев отбора воздуха из камеры сгорания или теплообменника. *Таким образом, радиус АЗ определен.*

5. Определяется разница в температуре воздуха под лопаткой для случаев отбора из КС и ВВТ, затраты мощности турбины на прокачку охлаждающего воздуха.

6. По результатам взвешенного анализа всех противоречий постановки тепло-

обменника: затраты мощности турбины и термодинамические потери цикла двигателя во втором контуре – с одной стороны и ресурса лопатки – с другой стороны, а также

разгрузка ротора от осевых сил – с третьей стороны принимается решение о его необходимости.

УДК 621.438:532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИФфуЗОРА НА АДИАБАТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СНИЖЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДВОДА ВОЗДУХА К РАБОЧЕЙ ЛОПАТКЕ ТУРБИНЫ

Диденко Р.А.¹, Карелин Д.В.¹, Иевлев Д.Г.¹, Лебедев В.В.², Белоусова Е.В.²

¹ОАО НПО «Сатурн», г. Рыбинск

²Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева

EFFECT OF CAVITY WIDTH ON PERFORMANCE OF PRE-SWIRL SYSTEMS

Didenko R.A., Karelin D.V., Ievlev D.G., Lebedev V.V., Belousova E.V. This paper investigates the effect of cavity width on effectiveness Θ and total pressure losses ζ of pre-swirl systems. Computations are performed for the flow parameter $0.375 < \lambda_r < 0.75$, rotational Reynolds number $1.69 \cdot 10^7 < Re_\phi < 2.33 \cdot 10^7$, throughflow Reynolds number or non-dimensional mass flow rate $2.79 \cdot 10^5 < C_w < 5.73 \cdot 10^5$ and swirl ratio $0.548 < \beta < 2.5$. No influence on Θ and ζ is found by changing the cavity width.

В ГТД для подвода охлаждающего воздуха к рабочей лопатке используются системы с предварительной закруткой воздуха в аппарате закрутки (АЗ) в направлении вращения диска турбины, при этом температура и давление воздуха в относительном движении могут снижаться.

Закрученный поток из полости за АЗ поступает в щелевой радиальный диффузор, образованный диском и покрывным диском. В зависимости от конструкции покрывного диска различают системы с подачей воздуха через кольцевой ряд дискретных отверстий или непрерывной кольцевой струей. В данной работе исследуется вариант подачи воздуха непрерывной кольцевой струей. В настоящее время применяются системы подвода воздуха, как с узким, так и с широким вращающимся диффузором (рис. 1 а, б).

Схематично структура потока во вращающемся радиальном диффузоре (далее

по тексту “диффузор”) с осевым входом и радиальным выходом представлена на рис. 1 в).

Всю область течения принято разбивать на три участка: начальный – область сильного инерционного течения; средний – область развитого ядра потока со слоями Экмана на стенках; выходной участок, где формируется поток на входе в байонет. В ядре потока его структура близка к свободному вихрю. Взаимодействие ядра потока с пограничными слоями зависит от геометрических особенностей диффузора, расхода воздуха и закрутки потока. Из-за окружного торможения потока и работы центробежной силы в диффузоре происходит восстановление полного давления и температуры в относительном движении. Из диффузора воздух через байонетное соединение поступает в каналы охлаждения рабочей лопатки.