

УСТАНОВКА ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН

Самохвалов Н. Ю.

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь, Пермский край, Россия

ОАО «Авиадвигатель» является разработчиком широкого спектра наименований перспективной газотурбинной техники: гражданского авиационного двигателя 5-го поколения, газотурбинных установок большой мощности и т. д. Создание конкурентоспособных высокоэкономичных продуктов во многом требует применения самых современных методов проектирования узлов двигателя, а также подтверждения эффективности применяемых решений и их доводки на различных стационарных установках.

В ОАО «Авиадвигатель» проведен большой объем численных исследований различных методов снижения потерь в решетках сопловых и рабочих лопаток газовых турбин. Одним из наиболее перспективных является применение неосесимметричных торцевых поверхностей межлопаточных каналов [1]. Численная оценка эффективности данного метода отражает значительное (до 10%) снижение потерь кинетической энергии относительно базового варианта решетки.

Для экспериментальной оценки влияния неосесимметричных торцевых поверхностей на вторичные течения и подтверждения результатов, описанных в [1], а также исследования других методов оптимизации вторичных течений в межлопаточных каналах, спроектирована и внедрена в эксплуатацию установка для аэродинамического исследования лопаток турбин (УАИЛТ).

Схема установки УАИЛТ приведена на рисунке 1. Установка представляет собой аэродинамическую трубу и состоит из следующих основных узлов:

1. Диффузорный участок.
2. Камера стабилизации.
3. Справляющая решетка и три турбулизирующие решетки.
4. Конфузорный участок.
5. Секторная решетка из 7 направляющих лопаток (НЛ).
6. Секторная решетка из 7 сопловых лопаток (СЛ) – объект испытаний.
7. Выходной канал объекта испытаний.
8. Корпус установки.
9. Поворотно-погружной механизм (ППМ).
10. Окно.

Регулирование необходимого перепада давления на объекте испытания осуществляется по приведенной адиабатической скорости автоматически по заданному алгоритму источником сжатого воздуха (производительность до 17 кг/с и полное давление на выходе до 0,4 МПа (абс.)), а также регулирующими, перепускными и дроссельными заслонками в трубопроводах подвода и отвода рабочего тела. При этом оценка приведенной адиабатической скорости осуществляется по замеренным значениям полного давления на входе (в ряде точек с помощью ППМ) и статического давления на выходе из объекта испытаний (порядка 40 замеров).

Детали 5, 6 и 7 установки изготавливаются прототипированием, что обеспечивает возможность выполнять большое количество вариантов исследования в кратчайшие сроки, а также уменьшить трудоемкость препарирования сектора при большом

количестве замеров статического давления (до 300 замеров).

Требуемые граничные условия на входе и выходе из объекта испытаний обеспечиваются конструктивными элементами:

1. Спрямяющая решетка и турбулизирующие решетки (обеспечение требуемой структуры потока на входе);
2. Решетка НЛ (обеспечение требуемого угла натекания);
3. Пластины слива пограничного слоя (обеспечение требуемой величины пограничного слоя на входе в межлопаточный канал);
4. Оптимизированные боковые пластины выходного канала объекта испытаний (обеспечения требуемой периодичности потока за решеткой);
5. Конструктивных мероприятий по обеспечению требуемого градиента статического давления по высоте канала за объектом испытаний.

Для исследования аэродинамических характеристик лопаток, вторичных течений в межлопаточных каналах, а также потерь полного давления и кинетической энергии в решетках, в установке внедряются различные средства измерения и визуализации потока:

1. Измерение полей скорости и завихренности потока с помощью лазерного доплеровского анемометра (ЛДА).
2. Измерение статического давления (до 300 замеров) по межлопаточному каналу с помощью преобразователей давления АИР-20.
3. Визуализация траектории движения частиц дыма в межлопаточном канале высокоскоростной камерой.
4. Визуализация обтекания потоком профиля лопатки и торцевой поверхности с использованием масляной субстанции.
5. Измерение полей полного, статического давления и углов выхода потока из объекта испытаний автоматизированной системой на базе интеграции промышленного робота, лазерного трэкера и пятиточечного приемника давления.

Установка УАИЛТ позволяет проводить широкий спектр экспериментальных исследований, направленных на оценку различных способов оптимизации пространственной формы лопаток и межлопаточного канала, таких как:

1. Неосесимметричные торцевые поверхности межлопаточного канала.
2. Местное открытие выходной кромки лопаток (увеличение эффективного угла выхода).
3. Оптимизация меридионального обвода проточной части.
4. Наклон лопаток на корыто.
5. Изгиб средней части лопаток в сторону корыта и спинки.
6. Дугообразные выходные кромки лопаток и др.

Помимо этого, на установке имеется возможность исследовать различные актуальные задачи аэродинамики: влияние шероховатости от теплозащитного покрытия (ТЗП), числа Рейнольдса, выдува воздуха и профилированных отверстий перфорации на потери в решетках.

На первом этапе работ предусмотрен ряд исследований по оценке влияния неосесимметричных торцевых поверхностей на вторичные течения и потери в решетке. С этой целью спроектированы и изготовлены три решетки СЛ, соответствующие вариантам расчетного исследования, проведенного в работе [1].

Для оценки параметров потока в установке выполнено моделирование первого цикла испытаний в пакете ANSYS CFX 14.0. Результаты моделирования отражают

удовлетворительный характер течения, что характеризуется в отсутствии отрывных зон и обеспечении требуемых граничных условий на объекте испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иноземцев А. А., Самохвалов Н. Ю., Тихонов А. С. Повышение эффективности решеток сопловых и рабочих лопаток газовых турбин применением неосесимметричных торцевых поверхностей межлопаточных каналов. Теплоэнергетика, 2012, № 9, с. 22–26.