

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ КОМПРЕССОРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ОАО СНТК им. Н.Д. КУЗНЕЦОВА

Гриценко Е.А., Клименок Ю.И.
ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова», г. Самара

В авиации с началом эксплуатации сверхзвуковых самолетов особенно остро встала проблема по разработке методов и алгоритмов оценки величины воздействия турбулентности воздушного потока, возникающей в сверхзвуковом воздухозаборнике, на параметры компрессора и ГТД в целом. Было обнаружено очень существенное уменьшение запасов газодинамической устойчивости, тяги и ресурса.

Во всех ведущих странах мира были затрачены очень большие усилия для изучения физики воздействия эксплуатационных неоднородностей воздушного потока на течение в узлах ГТД и оптимизации конструкций этих узлов.

В нашей стране основные работы были проведены в ЦАГИ, ЦИАМ и ЛИИ.

Очень обширные исследования были проведены и на ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова в процессе доводки на заданные параметры двигателей, разработанных Генеральным конструктором авиакосмической техники академиком Н.Д. Кузнецовым для тяжелых дальних самолетов, созданных фирмами академика А.Н. Туполева и академика С.В. Ильюшина.

Так как входные неоднородности в первую очередь воздействуют на компрессор ГТД, то основное внимание было уделено вопросам оптимизации конструкции компрессоров.

На базе физической картины течения в тракте компрессоров были разработаны модели течения и алгоритмы поэлементного расчета всех составляющих потерь в межлопаточных каналах компрессорных решеток с учетом воздействия турбулентности.

Для поэлементного расчета отдельных составляющих потерь был разработан ряд имеющих самостоятельное значение газодинамических задач:

- метод расчета параметров отсоединенной головной волны;
- метод расчета скорости перед замыкающим скачком уплотнения в горле компрессорной решетки;
- метод расчета характеристик плоского полусвободного следа;
- метод расчета параметров области взаимодействия прямого скачка уплотнения с турбулентным пограничным слоем;

- метод расчета характеристик турбулентного пограничного слоя с учетом воздействия внешней турбулентности.

На базе продувок компрессорных решеток получены эмпирические зависимости углов отставания потока в компрессорных решетках, в том числе учитывающие поворот потока в замыкающем скачке уплотнения.

Разработанные алгоритмы и программные модули в основном предназначены для решения прямой задачи расчета течения в венцах компрессора в составе квазитрехмерных программных комплексов СНТК (рис.1).



Рис. 1. Программный комплекс СНТК для проектирования и доводки осевых компрессоров в квазитрехмерной постановке

Для определения основных технических данных ГТД, разрабатываемых на СНТК, было построено 11 стендов для испытания двигателей разной размерности с расходом воздуха от 10 кг/с до 1500 кг/с, в том числе один открытый стенд для оценки акустических характеристик и воздействия бокового ветра в стартовых условиях. На 10 закрытых стендах при испытаниях с равномерным потоком на входе степень турбулентно-

сти не превышала 5%. Эти стенды СНТК оборудованы системами измерения и регистрации как стационарных, так и нестационарных параметров, включая пульсации давления воздушного потока, переменные напряжения в деталях и вибрации опор ГТД.

Для определения напорных характеристик компрессоров был создан специальный компрессорный стенд с газотурбинным приводом (рис.2).

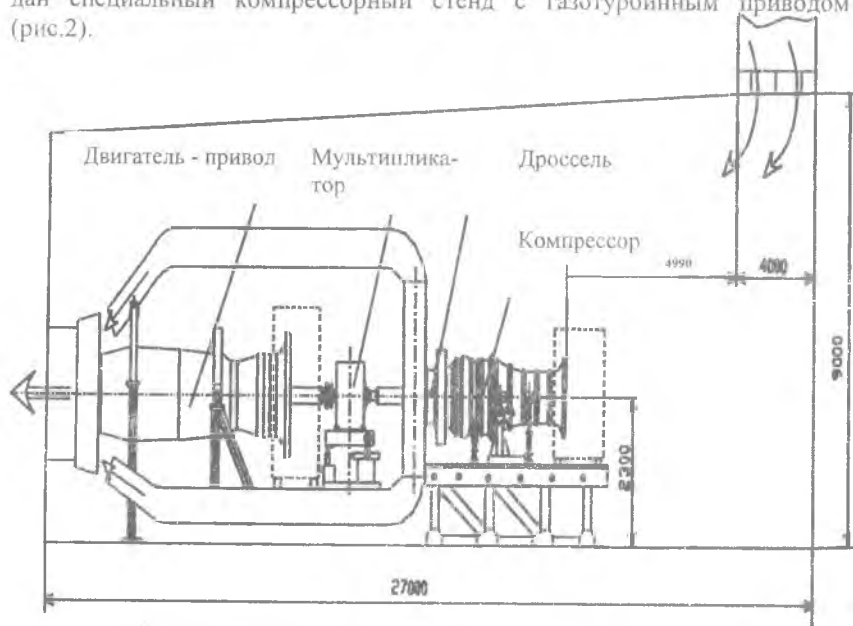


Рис.2. Схема компрессорного стенда СНТК им. Н.Д. Кузнецова

С целью оценки величин воздействия эксплуатационных неоднородностей воздушного потока на параметры ГТД, КПД и запасы ГДУ компрессоров на каждом двигателе, создаваемом на СНТК, проводились специальные стендовые испытания с имитацией эксплуатационных неоднородностей. Для имитации в стендовых условиях эксплуатационных неоднородностей были разработаны специальные моделирующие устройства. Так как габариты боксов стендов СНТК позволяли установку натурных самолетных воздухозаборников длиной до 15 м, то имитация эксплуатационных неоднородностей в стартовых условиях выполнялась и с использованием штатных самолетных воздухозаборников. Так для оценки уровней неоднородностей и величины их воздействия на параметры ГТД, а также обработки элементов стартовой механизации на стендах

СНТК были проведены специальные стендовые испытания двигателей семейства "НК" с объектовыми воздухозаборниками самолетов: Ил-62, Ил-86, Ту-154, Ту-144 и т.д.

В процессе доводочных и специальных испытаний двигателей на стендах СНТК параллельно решались следующие методические задачи.

1. Систематизация воздухозаборных устройств как источников неоднородностей воздушного потока на входе в ГТД.
2. Усовершенствование измерительно-вычислительных комплексов для исследования влияния неоднородностей воздушного потока на параметры ГТД.
3. Разработка и обоснование методов и устройств для проведения испытаний компрессоров и ГТД с неоднородностями воздушного потока на входе.
4. Разработка методов расчета воздействия входных неоднородностей на характеристики осевых компрессоров ГТД.
5. Обоснование разработанных полуэмпирических методов расчета воздействия входных неоднородностей на характеристики осевых компрессоров.
6. Разработка конструктивных средств по уменьшению воздействия неоднородностей воздушного потока на характеристики осевых компрессоров.
7. Разработка устройств, обеспечивающих требуемые запасы ГДУ при работе ГТД в неоднородном потоке.
8. Внедрение результатов исследования в практику авиадвигателестроения и газотурбинных приводов газоперекачивающих агрегатов и электростанций.

В процессе этих исследований были разработаны два метода оценки влияния неоднородностей входного поля полного давления на характеристики ГТД. Первый метод, защищенный А.С.130460, используется наиболее широко как в опытном производстве, так и на серийных заводах, в том числе при производстве двигателей НК-8-2У на предприятии КМПО и двигателей НК-25 и НК-32 на предприятии "Моторостроитель". Второй метод, защищенный А.С. 114128, используется на серийном заводе КМПО, производящем двигатель НК-86.

На СНТК применялись и применяются несколько типов имитаторов для моделирования эксплуатационных неоднородностей поля полного давления при проведении специальных стендовых испытаний полноразмерных ГТД, отдельных каскадов и компрессоров двигателей:

1. Неподвижные имитаторы из проволочных сеток, сплошных или перфорированных пластин.

2. Регулируемые имитаторы из сплошных или перфорированных пластин.
3. Имитатор детерминированных одномерных колебаний в виде набора вращающихся пластин.
4. Имитатор неоднородности в виде дроссельного устройства.
5. Натурные самолетные воздухозаборники.

Каждый из перечисленных имитаторов создает вполне определенные неоднородности воздушного потока, но ни один из них не создает пространственных и временных полей, полностью тождественных эксплуатационным условиям. Поэтому при исследованиях по оценке влияния входных неоднородностей на параметры ГТД приходится использовать несколько имитаторов. Окончательная проверка влияния неоднородностей на параметры ГТД производится со штатным воздухозаборником сначала в стендовых условиях и затем окончательно в эксплуатационных условиях на самолете. Разнообразные имитаторы эксплуатационных неоднородностей обеспечили проведение специальных стендовых испытаний двигателей НК-8, НК-8-2, НК-8-4, НК-144 и НК-86. Разработанные имитаторы применяются серийными заводами для контроля стабильности запасов ГДУ перечисленных двигателей. Успешная эксплуатация упомянутых двигателей на самолетах Ил-62, Ту-154 и Ил-86 подтверждает правильность и целесообразность использования разработанных на СНТК конструкций имитаторов.

На базе проведенных испытаний разработаны обобщенные эмпирические зависимости для оценки величины воздействия турбулентности входного потока на напорные характеристики осевых компрессоров, запасы газодинамической устойчивости и параметры ГТД.

Обобщение результатов исследований позволило разработать методики, алгоритмы и устройства для оптимизации конструкций компрессоров ГТД с учетом воздействия эксплуатационных неоднородностей воздушного потока.

Так были разработаны:

1. Методика проектирования и порядок конструирования надроторных перфорированных корпусов, повышающих запасы газодинамической устойчивости компрессора. Конструкция этого устройства признана изобретением и защищена Патентом №2148732.
2. Проведены исследования по влиянию присоединенных к газозвдушному тракту полостей на газодинамическую устойчивость компрессора и предложена конструкция уплотнительных колец, отсоединяющих присоединенные полости от газозвдушного тракта, признанная изобретением и защищенная АС №600877.

3. Сформулированы рекомендации по оптимизации системы приемников командного давления, обеспечивающие уменьшение воздействия окружающей неравномерности поля полного давления на параметры ГТД. Устройство по оптимизации командного давления признано изобретением и защищено АС №399748.
4. Для двигателей семейства НК, предложены устройства, исключающие резкое уменьшение запасов ГДУ газотурбинных двигателей в экстремальных метеорологических условиях эксплуатации. Конструкция системы прогнвообледенения газоперекачивающих агрегатов, внедренная на газоперекачивающие станции ОАО ГАЗПРОМ, признана изобретением и защищена Патентом №2095601.
5. Рекомендовано применение амплитудно-частотного анализа пульсаций полного давления в газоздушном тракте для анализа газодинамической устойчивости ГТД.
6. Разработана методика поэтапной оптимизации профилирования лопаток осевых компрессоров, применяемая на СНТК, и даны рекомендации для практического применения при доводке по запасам ГДУ.

Разработанные расчетные методы, алгоритмы, методы экспериментального исследования и контроля серийной продукции внедрены в практику проектирования и стендовой доводки двигателей СНТК.

Практическое использование разработанных методов экстремальных исследований, имитаторов эксплуатационных неоднородностей и средств измерения параметров неоднородного потока также позволило:

- повысить информативность и надежность экспериментальных исследований;

- создать конструктивные средства имитации эксплуатационных неоднородностей для силовых установок самолетов Ил-62, Ил-86, Ил-154, Ту-144, а также газоперекачивающих агрегатов ГПА-Ц16СТ, ГПА-Ц25СТ;

- снизить трудоемкость, уменьшить материальные затраты и время на контроль стабильности запасов ГДУ серийных двигателей НК-8, НК-8-2У, НК-8-4, НК-86, НК-16СТ, НК-36СТ, НК-38СТ и НК-37.

Ряд разработанных методов испытания ГТД, средств измерения параметров неоднородного потока, а также конструктивных устройств и рекомендаций по снижению воздействия эксплуатационных неоднородностей на характеристики компрессоров ГТД защищены авторскими свидетельствами: А.С. 270402, А.С. 130460, А.С. 114128, А.С. 399748, А.С. 502240, А.С. 814008, Патентами Р.Ф. 2095601, 2148732 и внедрены на предприятиях КМПО, КПП, СНТК, СКБМ, «Моторостроитель».