

композиционных материалов, интерметаллидов, аддитивных технологий и т.д.);

- повышением термогазодинамических параметров двигателей (например, для двигателей магистральной авиации степень повышения давления $\pi_k^* \geq 60$, предельная температура газа перед турбиной ($T_g^* \geq 1950$ К);

- проблемами обеспечения прочностной надёжности двигателей различной размерности (например, двигателей с тягой ≥ 35 т);

- учётом опыта эксплуатации серийных двигателей и создания опытных двигателей.

Показано, что важнейшее значение для обеспечения прочностной надёжности дви-

гателя имеют исследования конструкционной прочности материалов и отработка на этапе формирования научно-технического задела (до начала проведения опытно-конструкторских работ) новых конструктивно-технологических решений до 6-го уровня технологической готовности (по шкале NASA).

Рассмотрены также вопросы развития экспериментальной базы для обеспечения прочностной надёжности ГТД и совершенствования нормативных технических документов.

УДК 629.7:539.4

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ ПРОЧНОСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2016 Ю.А. Ножницкий, Б.А. Балувев, Ю.А. Федина

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

PRINCIPLE DIRECTIONS OF EXPERIMENTAL CAPABILITY IMPROVEMENT FOR GAS TURBINE ENGINES STRENGTH RESEARCH

Nozhnitsky Yu.A., Baluev B.A., Fedina Yu.A. (Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation)

The work considers basic directions of experimental base improvement for investigations of gas turbine engines strength. Special attention has been paid for laboratory tests of samples, models, engine parts and engine assemblies.

Несмотря на бурное развитие расчётных методов, экспериментальные исследования прочностной надёжности продолжают оставаться одним из наиболее важных, затратных и длительных видов работ по созданию и сертификации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Для создания перспективных конкурентоспособных двигателей необходимы модернизация экспериментальной базы и совершенствование методов прочностных исследований.

В докладе рассмотрены основные направления работ по модернизации экспериментальной базы прочностных исследований. При этом особое внимание уделено лабораторным испытаниям, хотя прочностные исследования проводятся также в процессе лётных и специальных стендовых испытаний двигателей.

Для успешного применения новых конструктивно-схемных решений и материалов

необходимы испытания соответствующих демонстраторов, отработка новых узлов и деталей. Например, для создания двигателя с редукторным приводом вентилятора необходимы стенд для испытаний редуктора и установки для соответствующих испытаний зубчатых колёс и подшипников.

Обладающие высокой степенью двухконтурности двигателя большой тяги отличаются значительными размерами как двигателя, так и многих его деталей и узлов. Поэтому необходимы стенды и установки для испытаний крупногабаритных валов, роторов, корпусов, подшипников качения, лопаток вентилятора. Особенно большое значение имеет создание разгонного стенда для испытаний узла вентилятора, включая разгонные и циклические испытания ротора вентилятора, вибрационные испытания, испытания с обрывом лопатки вентилятора, испытания с забросом птиц, испытания с

контактом вращающегося ротора вентилятора и статора и т.д. Это должен быть стенд с горизонтальной осью вращения с мощным фундаментом, с хорошо вакуумированной камерой большого размера, малоинерционным приводом, обеспечивающим возможность получения заданного цикла изменения частоты вращения и её поддержания с высокой точностью, оснащённый устройствами для эффективного возбуждения колебаний лопаток, устройствами для обрыва лопатки на заданной частоте вращения, заброса при заданных условиях постороннего предмета (в частности, птицы), дистанционно управляемого перемещения статора, контактного и бесконтактного измерения большого количества сигналов, в том числе динамических.

Успешное применение новых материалов невозможно без тщательного исследования их конструкционной (реализуемой в конструкции) прочности, особенностей деформирования, накопления повреждений и разрушения в условиях эксплуатации. Поэтому возрастает роль специальной квалификации конструкционных материалов. Если для проведения специальной квалификации сплавов методические вопросы в основном решены и речь идёт прежде всего об увеличении количества испытательных машин и формирования банка данных, то при специальной квалификации композиционных материалов возникает много дополнительных проблем, которые должны быть решены.

Двигатели нового поколения будут отличаться существенно более высокими, чем существующие двигатели, параметрами (температурой газа за компрессором и перед турбиной и др.). Кроме того, в этих перспективных двигателях будут использоваться новые материалы, работоспособные при высоких температурах (силициды тугоплавких металлов, интерметаллиды никеля, керамические композиционные, углерод-углеродные материалы). Поэтому установки и стенды должны быть оснащены устройствами, обеспечивающими нагрев до заданных температур, нагрев и охлаждение с заданной скоростью изменения температуры для термоциклических испытаний, обеспечение центрирования образцов, механического нагружения, проведения измерений при высо-

ких температурах. При этом выбор способа нагрева зависит от природы материала исследуемого объекта испытаний. Специфические проблемы должны быть решены, в частности, при проведении испытаний композиционных и керамических материалов, в том числе при проведении испытаний в условиях термоциклирования. Использование данных по конструкционной прочности материалов критических по последствиям разрушения (основных) деталей необходимо для подтверждения ресурса этих деталей. Кроме того, в соответствии с требованиями современной нормативно-технической документации ресурс основных деталей двигателя должен подтверждаться с учётом возможного наличия в этих деталях производственных (в т.ч. металлургических) и эксплуатационных дефектов. Поэтому, наряду с исследованиями конструкционной прочности, необходимы тщательные исследования возможного содержания в основных деталях двигателя дефектов, выявляемости этих дефектов применяемыми методами неразрушающего контроля, формирования системы запасов для подтверждения циклического ресурса, обеспечивающей получение требуемой вероятности неразрушения этих деталей в процессе эксплуатации.

При создании перспективных ГТД возрастает роль предотвращения разрушений от многоциклового усталости. Поэтому необходимо совершенствование экспериментальных исследований вибрационного состояния деталей, исследований методов демпфирования колебаний и сопротивления многоциклового усталости.

Особенно большое значение для обеспечения динамической и вибрационной прочности ГТД имеет разработка новых методов получения и анализа сигналов, обусловленных проходящими в двигателе динамическими процессами.

При создании перспективных двигателей необходимо использовать эффективное сочетание расчётов, механических испытаний и физических исследований. Лаборатории для экспериментальных исследований должны быть в установленном порядке аттестованы и аккредитованы для проведения сертификационных испытаний.