

МЕТОДОЛОГИЯ ПОУЗЛОВОЙ ДОВОДКИ ТУРБОМАШИН НА КОНСТРУКЦИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ

Повышение требований к прочностной надежности современных турбомашин при одновременном значительном сокращении сроков их создания требует новых подходов к отработке прочности и долговечности конструкций. Высокой эффективностью в решении этой проблемы обладает метод узловых доводки.

Узловая доводка турбомашин на конструкционную прочность и надежность представляет процесс отработки элементов конструкции (ЭК) методами натурных динамических исследований и прочностных испытаний на лабораторных установках в сочетании со стендовыми испытаниями полноразмерных турбомашин.

Методология узловых доводки базируется на обобщенном понятии "прочностной дефект" (ПД), которое включает следующие прочностные повреждения ЭК: 1) возникающие в эксплуатации или при стендовых испытаниях турбомашин; 2) прогнозируемые по опыту доводки турбомашин-прототипов; 3) потенциально возможные, связанные с внедрением новых технологических процессов и материалов, а также, обусловленные ограниченностью сведений об эксплуатационной нагруженности и несовершенством расчетных методов определения несущей способности и долговечности ЭК.

Данная трактовка понятия ПД позволяет заблаговременно составить перечень ЭК, требующих узловых доводки по прочности, провести опережающие исследования, разработать и проверить рекомендации по оптимизации конструкции исследуемого узла и соответствующих технологических процессов, на стадии

проектирования и отработки опытного образца турбомашины, дать оценку его вибропрочностной надежности.

Поузловая доводка имеет три методологически связанные тематические направления: исследования эксплуатационной нагруженности и динамики ЭК при стендовых испытаниях турбомашин; исследование динамических характеристик и напряженно-деформированного состояния (НДС) ЭК в лабораторных условиях; исследование и доводка несущей способности ЭК на специализированных стендах и установках с имитацией эксплуатационного нагружения.

По выполненным оценкам объем вибропрочностной информации (ВПИ), которую необходимо получить для обеспечения требуемой надежности турбомашины, составляет $\sim 10^{12}$ байт, а для перспективных турбомашин возрастает до 10^{14} байт. Поэтому анализ результатов стендовых экспериментов должен осуществляться с применением быстродействующих проблемно-ориентированных вычислительных систем, обеспечивающих сопровождающую обработку потоков ВПИ с высокой плотностью. При создании подобного комплекса положены в основу следующие принципиальные подходы и новые методы: оптимальный ввод и накопление в памяти ЭВМ массивов данных путем предварительного сжатия ВПИ; многоканальность ввода и анализа ВПИ, высокая помехозащищенность и эргономичность комплекса, возможность решения широкого спектра прикладных задач. Созданный для этих целей вычислительный комплекс, который удовлетворяет указанным требованиям, реализован аппаратно-программно и имеет 3-х уровневую структуру. Комплекс обеспечивает контроль параметров НДС, позволяет решать задачи снижения вибронпряженности ЭК при вынужденных колебаниях, исследования динамического состояния ЭК в усло-

виях воздействия нестационарных нагрузок, пространственно-волновой структуры колебаний, повышения аэроупругой устойчивости лопаточных венцов компрессоров и т.д.

Исследование динамических характеристик и НДС узлов и деталей в лабораторных условиях необходимо для идентификации характера колебаний ЭК в эксплуатации и детального анализа их напряженности. Наиболее эффективным методом, обеспечивающим полное исследование собственных динамических и статических характеристик натуральных ЭК, является голографическая интерферометрия (ГИ). Использование метода ГИ дает возможность определения собственных частот и форм ЭК, пространственно-волнового движения неподвижных и вращающихся симметричных и несимметричных конструктивно-поворотных систем, количественного исследования напряженно-деформированного состояния на основе цифровой дешифровки интерферограмм и использования расчетных методов механики. Для этих целей служит многофункциональный комплекс голографических исследований, базирующийся на использовании методов ГИ непрерывного и импульсного действия и позволяющий испытывать крупногабаритные ЭК. В состав комплекса входит ЭВМ, оборудованная системой ввода изображений и имеющая соответствующее программное обеспечение для решения указанных задач.

Базисом для реализации исследований и доводки несущей способности ЭК в лабораторных условиях является методология воспроизведения ПД путем имитационного моделирования локальной нагруженности рассматриваемого ЭК на специализированных стендах и установках. Целью данных исследований является разработка мероприятий, направленных на устранение дефектов и повышение конструкционной прочности ЭК. Методология вклю-

чает гипотетические модели нагружения ЭК, разработку требуемых испытательных стендов и установок, а также соответствующих методик проведения экспериментов. Проверка адекватности выдвигаемых гипотетических моделей нагружения осуществляется прямыми разрушающими испытаниями и сопоставлением полученного повреждения с эксплуатационным или прогнозируемым дефектом. Если дефекты идентичны, то модель считается адекватной, и на следующем этапе производится отработка мероприятий, направленных на устранение дефекта. Отработанные мероприятия проходят окончательную проверку при стендовых испытаниях в системе турбомашин. Описанный подход реализован на базе универсального гибкоперестраиваемого испытательного комплекса, позволяющего осуществлять многофакторное нагружение ЭК, соответствующее эксплуатационному.

Как показал опыт создания семейства современных мощных турбомашин транспортного назначения, внедрение изложенной методологии узловых доводки позволило существенно повысить уровень надежности и дало значительный выигрыш во времени от проекта до начала эксплуатации.