

формаций, поле деформаций определяет поле напряжений, а интеграл их произведения по объему конечного элемента – энергию деформации. Таким образом, полная энергия деформации всего объекта, т.е. пера лопатки, является суммой энергий деформации каждого конечного элемента и может быть выражена функциональной зависимостью через перемещения узлов сетки конечных элементов с учетом граничных условий;

- среди кинематических возможных перемещений узлов истинными будут те перемещения, которые обеспечивают минимум этой полной энергии.

После нахождения соответствующих напряжений в характерных сечениях пера лопатки определяются статические, малоцикловые и многоцикловые нагрузки и соз-

дается архив изменения этих параметров. Затем, используя тот или иной закон накопления повреждений, например, линейное суммирование однородных повреждений, за определенный временной или эксплуатационный цикл турбоагрегата рассчитываются эквивалентные параметры статических и циклических нагружений.

В результате методика учета выработки ресурса лопаток сводится к определению показателей прочностной надежности: коэффициентов запаса прочности, коэффициентов выработки ресурса, эквивалентной наработки лопаток за конкретный эксплуатационный цикл и ее накопление. Полученные данные сохраняются в памяти информационно-диагностического комплекса.

УДК 531.7

ДИСКРЕТНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОАГРЕГАТОВ

Гречишников В.М. ¹, Данилин А.И. ¹, Чернявский А.Ж. ²,
Теряева О.В. ², Данилин С.А. ¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет

² ОАО «АВТОВАЗ», управление главного механика, г. Тольятти

THE DISCRETE-PHASE MOVEMENT TRANSDUCERS FOR THE DETERMINATION OF THE TURBINE BLADES VIBRATIONS PARAMETERS

Grechishnikov V., Danilin A., Chernyavskiy A., Teryaeva O., Danilin S. The new class of measuring transducers is considered to control angular and linear blade tips movements of turbounits. These transducers are realizing discrete-phase method (blade tip timing) and they featured the determination of the discrete blade vibration phases by the primary transducer in which the object of the control, source and receiver of the probe radiation either optical either radiofrequency are constructively and physically integrated.

Обеспечение высокой надежности вращающихся узлов изделий машиностроения, в первую очередь различных энергетических установок (ЭУ) на базе турбоагрегатов, увеличение их эксплуатационного ресурса, снижение эксплуатационных расходов и эксплуатация по техническому состоянию обуславливают потребность в информации о фактическом, реальном состоянии нагруженных вращающихся элементов. По этой

причине оказывается востребованной разработка эффективных автоматизированных средств диагностики и длительного контроля состояния элементов вращающихся силовых узлов ЭУ, которое в свою очередь определяется динамической совокупностью линейных и угловых перемещений этих элементов. Примерами таких перемещений могут являться: статическая закрутка и крутильные колебания валов мощных электро-

двигателей и электрогенераторов, роторов турбин и компрессоров, статический изгиб и раскрутка, изгибные и крутильные колебания лопаток турбоагрегатов и др.

Среди прочих контролируемых узлов особо выделяются лопатки турбоагрегатов, которые с точки зрения механических динамических нагрузок являются наиболее ответственными элементами многих ЭУ. Автоматизированный контроль угловых и линейных перемещений (УЛП) вращающихся узлов (ВУ) ЭУ в настоящее время осуществляется в основном, с помощью устройств, реализующих дискретно-фазовый метод измерения (ДФМ). Сущность ДФМ основана на преобразовании дискретных значений (фаз) перемещений, определяемых в пределах периода каждого оборота вращающегося узла в пропорциональные временные интервалы, длительности которых подвергаются статистической обработке, в результате чего определяются максимальные значения, соответствующие амплитудным характеристикам колебательного движения лопаток турбомашин. Для формирования временных интервалов в известных разработках используются минимум два датчика, один из которых расположен внутри ЭУ, а другие – снаружи. Как показывает практика, установка внутреннего датчика требует глубокого препарирования ЭУ из-за необходимости установки дополнительных крепежных, токосъемных и других конструктивных элементов, что снижает надежность как устройства контроля, так и ЭУ в целом.

В то же время в связи с возрастанием требований к точности и достоверности контроля перемещений ВУ ЭУ возникает необходимость в создании нового поколения устройств, которые в силу специфики построения и методики использования целесообразно выделить в самостоятельный класс средств измерений – дискретно-фазовые преобразователи перемещений (ДФПП). Особенность преобразователей данного класса заключается в том, что значения дискретных фаз перемещений формируются с помощью расположенного в технологическом отверстии корпуса ЭУ одно – или

двухканального первичного преобразователя, в котором конструктивно и функционально интегрированы объект контроля, источник и приемник зондирующего излучения (ЗИ) оптического или радиоволнового диапазона. Такое конструктивное решение позволяет обеспечить получение необходимой информации при минимальном уровне препарирования ЭУ (используется лишь одно технологическое отверстие в корпусе \varnothing 8-10 мм), что не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на прочность конструкции ЭУ в целом. Проведенный анализ научно-технической и патентной информации показал, что комплексные исследования технических возможностей ДФПП динамически нагруженных ВУ ЭУ до сих пор не проводились, что препятствует их широкому использованию в процессе доводки, испытаний и технической эксплуатации различных изделий машиностроения.

В СГАУ к настоящему времени разработаны способы реализации ДФПП, нестандартные компьютеризированные системы диагностики и средства контроля вращающихся элементов ЭУ, построенные на основе ДФПП, предложены и апробированы конструктивные и схемотехнические решения, реализованные в устройствах контроля УЛП лопаток турбомашин, позволили решить ряд важнейших задач, а именно:

- получение информации об УЛП динамически нагруженных элементов вращающихся узлов турбоагрегатов, необходимой для прогнозирования остаточного ресурса, например, лопаточных аппаратов ГТД и оптимизирования сроков проведения их ремонтов с продлением межремонтного периода эксплуатации;

- снижение трудоемкости общей эксплуатации турбоустановок путем проведения восстановительно-ремонтных работ на стадии раннего определения увеличения УЛП торцов лопаток при развитии в них дефектов;

- обнаружение предельно допустимых УЛП торцов лопаток турбоагрегатов и предотвращение в связи с этим аварийных ситуаций, связанных с лопаточными поломками.