

Список использованных источников

1. Zhihui Luo, Hongqiao Wen, HuiyongGuo, and Minghong Yang A time- and wavelength-division multiplexing sensor network with ultra-weak fiber Bragg gratings/ Optics Express. Vol. 21, Issue 19, pp. 22799-22807 (2013).
2. Леонович Г.И., Олешкевич С.В. Гибридные датчики на волоконно-оптических брэгговских решетках, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 18, № 4(7), 2016, с. 1340-1345.
3. Борисенков И.Л., Федечев А.Ф., Леонович Г.И., Куприянов С.В., Крутов А.А., Захаров В.Н. Математическая модель неравномерной микромеханической деформации участка оптического волокна при осесимметричном нагружении, Нано- и микросистемная техника, 2019, т. 21, №6, с. 331- 336.
4. Kuo Li. Review of the Strain Modulation Methods Used in Fiber Bragg Grating Sensors /Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors Volume 2016, Article ID 1284520, 8 pages. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1284520>.
5. Fiber Bragg gratings /Andreas Othonos/Rev.Sci.Instrum. 68 (12), 1997, p. 4309-4341.
6. Fiber Bragg grating sensors for monitoring of physical parameters: a comprehensive review/Jasjot K. Sahota, Neena Gupta, and Divya Dhawan//Optical Engineering 060901-1 June 2020 Vol. 59(6).
7. Morozov, O.G. Addressed fiber bragg structures in quasi-distributed microwave-photonic sensor systems / O.G. Morozov, A.J. Sakhabutdinov // Computer Optics. - 2019. - Vol. 43. - № 4. - Pp. 535 - 543.
8. Борисенков И.Л., Воронов К.Е., Леонович Г.И., Калаев М.П., Телегин А.М. Сенсорная система на основе внутриволоконных брэгговских решеток и интеррогатора со спектрально-временным разделением каналов // Нано- и микросистемная техника. — 2021. — Т. 23. № 5. — С. 247-254.

УДК 531.781.2 (088.8)

МОНИТОРИНГ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ГТД – КЛЮЧ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

А.И. Данилин¹, А.Ж. Чернявский¹, А.Н. Аксёнов²

¹ «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара;

² ПАО «Тюменские моторостроители», г. Тюмень

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, диагностика, надежность, мониторинг, эксплуатация по техническому состоянию.

Газотурбинные двигатели (ГТД) являются основой современных энергетических установок в авиации, энергетическом машиностроении, судостроении и в качестве приводов газоперекачивающих агрегатов на магистральных газопроводах.

В целях повышения экономических показателей добычи и транспортировки газа компрессорные станции магистральных газопроводов оснащаются современными мощными газоперекачивающими агрегатами с

приводными ГТД, примером которых являются двигатели судового типа ДУ80 и ДН80 мощностью 25 МВт производства предприятия НПКГ «Зоря-Машпроект» (г. Николаев, Украина) [1]. На объектах ПАО «Газпром» эксплуатируется 61 газоперекачивающий агрегат, оснащенный ГТД типа ДУ80 и ДН80 [1].

Для применяемых в ПАО «Газпром» ГТД ДН80 характерны определенное техническое несовершенство конструкции и недоведенность лопаточного аппарата 3 и 4 ступеней компрессора низкого давления (КНД). Недоведенность лопаточного аппарата порождает аварийные ситуации в эксплуатации и приводит к сокращению межремонтного ресурса ГТД. Выход турбоагрегата из строя ведет к значительным материальным затратам на последующий капитальный ремонт.

Анализ причин аварий и катастроф роторных машин критически и стратегически важных объектов техносферы у нас в стране и за рубежом показывает, что наиболее опасными дефектами, которые могут привести к катастрофическим разрушениям турбоагрегата в целом, являются дефекты вала и/или лопаток [2]. Применяемые в настоящее время средства и методы эксплуатационного контроля и диагностики не способны обнаружить такие дефекты на ранней стадии их возникновения.

Улучшить ситуацию по обеспечению требуемой надежности применяемых ГТД возможно двумя путями:

- проведением конструкторско-технологической доводки конструкции лопаточного аппарата, в т.ч. применением новых конструкционных материалов для изготовления лопаток;
- организацией мониторинга рабочего состояния лопаток при помощи систем мониторинга и предиктивной диагностики, устанавливаемых на турбоагрегатах, находящихся в эксплуатации и предназначенных для измерения, объективной оценки рабочего состояния лопаток ГТД и выдачи превентивных сигналов о начале развития дефекта лопаток.

Система мониторинга и предиктивной диагностики – это аппаратно-программный комплекс, который отслеживает рабочее состояние лопаток, выявляет неисправности на ранних стадиях, прогнозирует развитие неисправностей на основании анализа текущих данных, получаемых в режиме реального времени.

Внедрение подобных аппаратно-программных комплексов позволит организовать эксплуатацию и ремонт ГТД по техническому состоянию, что даст возможность получить максимальную надежность эксплуатации при использовании ограниченных ресурсов предприятия [3].

Для исследования и контроля деформационного состояния лопаток эксплуатируемых турбоагрегатов известны различные методы и средства, среди которых выделяется бесконтактный дискретно-фазовый метод (ДФМ) [4-7], позволяющий определять индивидуальное состояние и параметры

динамических перемещений каждой лопатки рабочего колеса турбоагрегата.

Многолетний опыт в разработке ДФМ-устройств и приборов для бесконтактного определения деформационного состояния лопаток на эксплуатируемых турбоагрегатах имеет коллектив НИЛ-43 «Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева» (Самарский университет). Приборы разработки Самарского университета [4-7] использовались для диагностики состояния лопаток паровых турбин на ТЭЦ ВАЗа (г. Тольятти), состояния лопаток КНД в ПАО «Тюменские моторостроители».

В частности, разработанное в Самарском университете измерительное устройство ПРИЗ-1 (перемещение, раскрутка, изгиб, зазор) было использовано для исследования вибрационных характеристик рабочих лопаток 3 и 4 ступеней КНД ГТД ДН80 в условиях испытательного стенда ПАО «Тюменские моторостроители».

Во время экспериментальных работ с помощью измерительного устройства ПРИЗ-1 были проведены бесконтактные измерения эксплуатационных параметров лопаток 3 и 4 ступеней КНД ГТД ДН80: статического положения лопаток (разношаговости); амплитуды изгибных колебаний лопаток по входной кромке, средней части и выходной кромке; зазоров между торцами лопаток и внутренней поверхностью корпуса и их изменения в зависимости от частоты вращения ротора; от амплитуды крутильных колебаний лопаток; от изменения углов закрутки лопаток.

Примеры визуализаций измеренных параметров представлены на рис. 1.

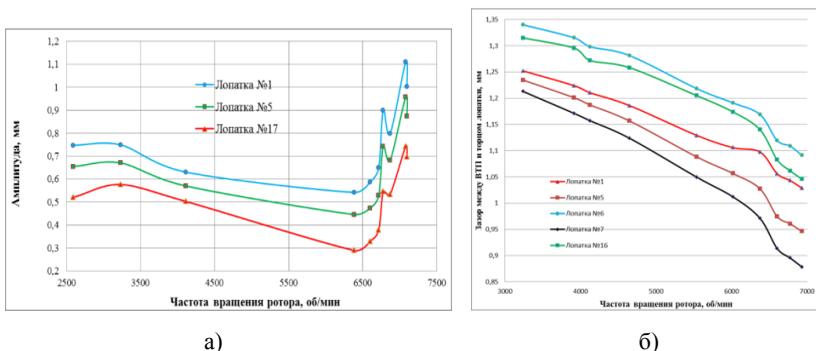


Рисунок 1 – Примеры визуализации: а) - амплитуд колебаний торцов лопаток 4 ступени; б) - изменения зазора между корпусом ГТД и торцами лопаток 4 ступени при изменении частоты вращения ротора

Результаты исследований вибрационных характеристик лопаток КНД, полученные в ходе экспериментальных исследований, будут использованы в процессе конструкторско-технологических работ, направленных на

доводку, повышение надежности лопаточного аппарата и увеличение межремонтного ресурса ГТД ДН80. Применение подобных приборов на эксплуатируемых ГТД позволит формировать объективную картину рабочего состояния каждой лопатки рабочего колеса, знать истинное отклонение их параметров от паспортных значений, получать информацию о скорости изменения зарегистрированного дефекта.

В итоге, использование систем предиктивной диагностики, дающих полную информацию о рабочем состоянии контролируемых элементов вращающихся узлов, позволит перейти к эксплуатации турбоагрегатов по техническому состоянию.

Список использованных источников

1. Центрремонт № 1 (77), 2017 // Корпоративная газета ООО «Газпром центрремонт».

2. Назолин А.Л. Мониторинг и диагностика роторных машин по крутильным колебаниям // Необратимые процессы в природе и технике: тр. десятой Всерос. конф. В 3-х ч. – М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2019. – С. 196-199.

3. Антоненко И.Н. Методология РСМ: ретроспектива и перспектива надежности-ориентированного технического обслуживания // Энергия единой сети. 2019. № 1 (43). С. 32-44.

4. Патент на изобретение 2177145 Российская Федерация, МПК G01H 1/08 (2000.01). Сигнализатор предаварийных деформаций лопаток турбомашин. Данилин А.И., Чернявский А.Ж., заявитель и патентообладатель Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С.П. Королева (СГАУ). Заявл. 29.03.2000, опубл. 20.12.2001, бюл. № 35.

5. Данилин А.И., Чернявский А.Ж. Критерии дискретно-фазового контроля рабочего состояния лопаток и их реализуемость в системах автоматического управления турбоагрегатами // Вестник Самар. гос. аэрокосм. ун-та им. акад. С.П. Королева. – 2009. № 1(17). – С. 107-115.

6. Данилин А.И. Дискретно-фазовые преобразователи перемещений элементов вращающихся узлов изделий машиностроения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С.П. Королева, 2011. 284 с.

7. Чернявский А.Ж. Дискретно-фазовые преобразователи динамических перемещений лопаток для систем управления турбоагрегатов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. Самара: Самар. нац. исслед. ун-т им. акад. С.П. Королева, 2018. 178 с.

Данилин Александр Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиотехники, E-mail: aidan@ssau.ru.

Чернявский Аркадий Жоржевич, к.т.н., инженер кафедры радиотехники, E-mail: ark@vaz.ru.

Аксёнов Андрей Николаевич, к.ф.-м.н., главный сварщик – начальник лаборатории ремонтных технологий, ПАО «Тюменские моторостроители», E-mail: a.aksenov@tmotor.ru.