

УДК 531.781.2 (088.8)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИСКРЕТНО-ФАЗОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОАГРЕГАТОВ

А.Ж. Чернявский, С.А. Данилин, Е.Е. Дудкина
«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Важной проблемой современного машиностроения является обеспечение высокой эксплуатационной надежности и увеличение ресурса турбоагрегатов – газотурбинных двигателей и паровых турбин. Наиболее ответственными деталями турбоагрегатов являются лопатки компрессоров и турбин, работающие в сложных эксплуатационных условиях больших знакопеременных нагрузок, экстремальных температур, эрозионных и коррозионных воздействий [1, 2]. Для нормальной эксплуатации турбоагрегатов и предотвращения аварийных ситуаций необходимо контролировать техническое состояние лопаток в процессе работы.

Известны различные методы и средства диагностики и контроля деформационного состояния лопаток эксплуатируемых турбоагрегатов. Среди этих методов выделяется бесконтактный дискретно-фазовый метод (ДФМ), позволяющий определять индивидуальное состояние и параметры перемещений каждой лопатки рабочего колеса турбоагрегата [1, 2].

В классических реализациях ДФМ измеряют временные интервалы между моментами прохождения лопаток относительно нескольких импульсных первичных преобразователей (ПП). На основе результатов измерений этих интервалов и статистической обработки полученной информации вычисляют амплитуды и частоты колебаний лопаток, а также смещения их торцов от исходного рабочего положения под воздействием статических и динамических нагрузок [1, 2]. По мере развития ДФМ уменьшался объем препарирования турбоагрегата, появились новые разработки дискретно-фазовых преобразователей (ДФП), позволяющие определять динамические перемещения лопаток.

Кроме классических реализаций ДФМ, в последние годы предложены и разработаны новые методы определения параметров колебаний лопаток турбоагрегатов, в частности с использованием радиолокационных методов [3] и методов нелинейной аппроксимации информационного сигнала ПП [1, 4].

Выполнен сравнительный анализ характеристик известных по научно-технической литературе ДФП определения параметров колебаний лопаток, реализованных по классической схеме и современных преобразователей [1, 3, 4]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ дискретно-фазовых преобразователей

Характеристика устройства	«ЭЛУРА», «ЭЛИА», ИДЛВ-1, ИНЛВ-2 [2]	BVMS, NSMS, BSSM [1]	СПДЛ, СКДСЛ [2]	Доплеровский ДФП [3]	ДФП на основе нелинейной аппроксимации сигнала [1]
Количество информационных ПП на одну ступень	2	2-4	1	1	1
Измеряемые параметры колебаний	Амплитуда, разношаговость	Амплитуда, частота, разношаговость	Амплитуда, разношаговость	Амплитуда, частота	Амплитуда, частота, начальная фаза
Статистическое накопление информации ПП	Требуется	Требуется	Требуется	Требуется	Не требуется
δA , % при $N=2$ *	Не определены	Не определены	Не определены	Не определены	5,4
δA , % при $N=20$ *	27	27	11	10	–
δA , % при $N=50$ *	5	5	5	5	–
δF_n , % при $N=2$ *	Не определены	Нет данных	Не определены	Не определены	4,8
δF_n , % при $N=20$ *	Не определены	Нет данных	Не определены	10	–
δF_n , % при $N=50$ *	Не определены	Нет данных	Не определены	5,6	–
Автоматизированная обработка на ПК	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
Разработчик устройства	ЦИАМ, КуАИ	Hood Technology Corp., MTU Aero Engines GmbH, Rotadata Ltd.	СГАУ	Самарский университет	Самарский университет

* где δA – погрешность определения амплитуды колебаний лопаток, δF_n – погрешность определения частоты колебаний лопаток, N – количество оборотов лопаточного колеса для статистического накопления информации.

Сравнительный анализ характеристик рассмотренных ДФП показывает, что:

- ДФП разработки Самарского университета (СГАУ) позволяют определять параметры колебаний лопаток при минимальном препарировании корпуса турбоагрегата с использованием одного ПП;

- Доплеровский ДФП [3] позволяет с использованием одного ПП определять также главный диагностический параметр лопаток – частоту колебаний;

- ДФП на основе нелинейной аппроксимации информационного сигнала ПП [1, 4] также позволяет определять частоту колебаний лопаток, при этом не требуя статистического накопления информации, в то время как остальным устройствам для достижения аналогичной точности требуется статистическое накопление информации в течение 50 и более оборотов лопаточного колеса.

Список использованных источников

1. 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.

2. Данилин А.И. Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами. Самара: Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2008. 218 с.

3. Грецов А.А. Доплеровские преобразователи перемещений элементов вращающихся узлов турбоагрегатов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. Самара: Самар. нац. исслед. ун-т им. акад. С.П. Королева, 2016. 147 с.

4. Чернявский А.Ж., Данилин А.И., Прохоров С.А., Данилин С.А. Точность определения параметров колебаний лопаток турбомашин при использовании нелинейной аппроксимации сигналов первичных преобразователей // Измерительная техника, 2017. № 11. с. 41-45.

Чернявский Аркадий Жоржевич, кандидат технических наук, инженер кафедры радиотехники. E-mail: ark@vaz.ru.

Данилин Сергей Александрович, старший преподаватель кафедры радиотехники. E-mail: sad1st07@yandex.ru.

Дудкина Елена Евгеньевна, аспирант кафедры радиотехники. E-mail: staku@rambler.ru.