

сэмплов принимаемого символа. Определение разностей значений сэмплов при распознавании OFDM-символа может быть описано формулой:

$$\delta s_n = s_n - \left(\frac{\gamma}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S_k e^{j \frac{2\pi}{N} kn} + \frac{\eta}{M} \sum_{l=N}^{M-1} S_l e^{j \frac{2\pi}{M} ln} \right), \quad n = 0, \dots, M-1,$$

где s_n - значения сэмплов принимаемого сигнала; γ, η - масштабные коэффициенты; S_k - значения амплитуд из массива кандидатов сигнальных созвездий низкочастотных составляющих; S_l - значения амплитуд частотных составляющих, измеренных посредством полосовых фильтров.

Количество кандидатов в простейшем алгоритмическом варианте определяется полным перебором сочетаний R значений сигнальных созвездий N низкочастотных поднесущих. Если фрагмент принимаемого сигнала $s(t)$ с пиковым ОСШ приходится на начало символа, то имеет место возможность раннего распознавания символа, чем обосновывается введение в контур управления радиоканалом функции, отвечающей за процедуру перехода к передаче следующего символа. С ростом N эффект увеличения скорости может достигнуть существенной величины, обусловленной динамикой и особенностями воздействующих помех, методом формирования СКК, погрешностью и производительностью программно-аппаратных средств. Предложенный подход применим и к другим типам многочастотных сигналов, а также к алгоритмам компрессии, использующим многочастотное представление данных. Это предопределяет тематику исследований по созданию эффективных алгоритмов и цифровой техники, которые должны обеспечивать быструю обработку больших массивов данных с учетом ряда специфических требований, присущих конкретным сферам применения информационных и телекоммуникационных систем.

УДК 681.518.3

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОДНОВИТКОВЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ

С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов

ФГБУН «Институт проблем управления сложными системами РАН, г. Самара

Высокоэффективный газотурбинный двигатель (ГТД) является основой для создания перспективной авиационной техники различного назначения. Основные энергетические и эксплуатационные показатели ГТД во многом зависят от состояния «горячей части» газогенератора и, в частности, от геометрических параметров его проточной части,

формируемых элементами конструкции двигателя, а также от характера протекающих аэродинамических процессов в ней. Единственным источником информации для воспроизведения пространственной геометрии проточной части является радиальный зазор (РЗ) между торцами рабочих лопаток компрессора и турбины и статором двигателя. РЗ является важнейшим параметром, оказывающим влияние на многие показатели двигателя, включая КПД, тягу, расход топлива и т.д. Так, известно, что снижение величины РЗ способствует повышению КПД и улучшению газодинамической устойчивости, однако чрезмерное уменьшение РЗ может привести к аварийной ситуации [1, 2].

Поэтому вопросы обеспечения оптимального по критериям безопасности и энергоэффективности РЗ в газоздушном тракте ГТД представляют существенный интерес для разработчиков двигателей. Об этом, в частности, свидетельствует большое число публикаций (преимущественно зарубежных), появившихся в печати начиная с 2002 г. и посвященных так называемым «интеллектуальным двигателям» нового поколения, которые предполагают использование схем активного регулирования зазоров в компрессоре и турбине ГТД [3-8]. В этих работах, в том числе, выделяется проблема получения достоверной информации о РЗ в крайне тяжелых и даже экстремальных условиях в проточной части ГТД, которая на сегодняшний день не имеет приемлемых решений [7].

В настоящее время известны методы бесконтактного измерения РЗ, базирующиеся на различных физических принципах: рентгеновских, пневматических, электроискровых, оптических (оптоволоконных, оптикотелевизионных, лазерно-оптических), радарных (микроволновых), электрических (емкостных, индукционных, индуктивных, вихретоковых) и др. По мнению многих специалистов наиболее перспективными являются методы последних двух групп - радарные и электрические. Между тем уже более двух десятилетий назад в Институте проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН) в сотрудничестве с ОАО «Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова» (ныне ПАО «Кузнецов») были разработаны одновитковые вихретоковые датчики (ОВТД) с чувствительными элементами (ЧЭ) в виде отрезка проводника и на их основе построены первые образцы компьютеризированных систем измерения РЗ. Системы использовались в процессе стендовых испытаний ГТД для изучения поведения РЗ на различных режимах и представляли разработчикам двигателей документированные данные о РЗ по каждой лопатке рабочего колеса контролируемой ступени компрессора. В процессе испытаний были подтверждены работоспособность, метрологическая состоятельность и надежность систем (суммарная наработка составляла сотни часов) [9].

Однако первые системы измерения были эффективны лишь при условии, что смещения торцов лопаток происходят только в радиальном направлении при

отсутствии изгиба и скручивания пера лопатки и смещений колеса ротора в осевом направлении. В реальных условиях торцы лопаток совершают сложные многокоординатные перемещения, составляющие которых оказывают влияние на выходные сигналы ОБТД. Это потребовало разработки новых методов и реализующих их средств измерения, которые предусматривали размещение в зоне измерения уже не одиночных ОБТД, а их групп (кластеров). При этом ЧЭ датчиков определенным образом были ориентированы относительно торцов контролируемых лопаток, а сигналы ОБТД в составе кластера фиксировались одновременно в момент прохождения замка лопатки геометрического центра кластера. Такие методы измерения получили название «кластерных» [10].

В то же время практической реализации кластерных методов измерения препятствует множество ограничений, наиболее значимые из которых связаны с конструктивными особенностями ГТД (формой торцевой части контролируемых лопаток); числом, габаритами и особенностями размещения датчиков на статорной оболочке двигателя а также с трудностями синхронизации моментов измерения координат с началом каждого периода вращения ротора. Именно перечисленные ограничения явились и продолжают быть основной мотивацией к последующей разработке разновидностей кластерных методов, которые определяют современное состояние и перспективы их развития.

В докладе, который носит обзорный характер, приводятся сведения из истории создания систем измерения перемещений элементов конструкций ГТД на основе применения ОБТД, а также акцентируется внимание на текущих проблемах в обозначенной области и предлагаются пути их решения.

Список использованных источников

1. Данильченко В.П., Лукачев С.В., Ковылов Ю.Л., Постникова А.М., Федорченко Д.Г., Цибизов Ю.И. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – Самара: изд-во СамНЦ РАН, 2008. – 620с.
2. Von Flotow A., Mercadal M., Tappert P. Health Monitoring and Prognostics of Blades and Disks with Blade Tip Sensors // Proc. IEEE Aerospace Conference, Vol 6. 2000. – pp. 433–440.
3. S. Lattime, B. Steinetz Turbine Engine Clearance Control Systems: Current Practices and Future Directions // 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Indianapolis, Indiana, July 7-10, 2002.
4. S. Lattime, B. Steinetz, M. Robbie Test Rig for Evaluating Active Turbine Blade Tip Clearance Control Concepts // 39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Huntsville, Alabama, July 20-23, 2003.
5. K. Melcher, J. Kypuros Toward a Fast-Response Active Turbine Tip Clearance Control // 16th International Symposium on Airbreathing Engines sponsored by the International Society for Airbreathing Engines, Cleveland, Ohio, August 31–September 5, 2003.
6. J. DeCastro, K. Melcher A Study on the Requirements for Fast Active Turbine Tip Clearance Control Systems // 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Fort Lauderdale, Florida, July 11-14, 2004.

7. D. Simon, Sanjay Gang, G. Hunter, Ten-Huei Guo, K. Semega Sensor Needs for Control and Health Management of Intelligent Aircraft Engines // ASME Turbo Expo 2004, Vienna, Austria, 14-17 June, 2004.

8. B. Steinetz, S. Lattime, S. Taylor, J. DeCastro, J. Oswald, K. Melcher Preliminary Evaluation of an Active Clearance Control System Concept // 41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Tucson, Arizona, July 10-13, 2005.

9. Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / под ред. Секисова Ю.Н., Скобелева О.П. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2001. –188 с.

10. Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / под общ. ред. Скобелева О.П. – М.: Машиностроение, 2011. –298с.

УДК. 621.389; 681.2

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ НА ВБР-ДАТЧИКАХ С КОМПЛЕКСНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Г.И. Леонович ¹, А.И. Данилин ², А.Е. Лобях ², В.Н. Захаров ²
¹СПП при Президиуме РАН, г. Самара, ²Самарский университет

К разряду наиболее надежных и энергоэффективных сенсорных структур относят пассивные волоконно-оптические сети на основе внутриволоконных брэгговских решеток (ПОС/ВБР), позволяющие «посадить» на ограниченное число оптических волокон до нескольких сотен ВБР-датчиков, измеряющих различные физические величины. Такая сеть является полностью оптической (AON - All-optical Networks) с пассивной волновой маршрутизацией. Сеть обслуживается устройством обработки сигналов и управления - интеррогатором, в состав которого входят источники и приемники излучения, АЦП, оптические и цифровые (электронные) коммутационные устройства, логико-арифметическое устройство (контроллер), преобразователи интерфейсов и др.

Одним из направлений обеспечения выполнения заданных функций и поддержания информационных параметров сети является применение различных методов и средств резервирования. С целью оценки поведения сетевых каналов в сложных условиях эксплуатации разработана модель ПОС/ВРБ со структурным, информационным и временным резервированием при фиксированном количестве постоянно включенных высоконадежных ВБР-датчиков. За ошибки функционирования транспортных каналов, которые необходимо исправить, принимаются локальные неисправности в виде затухания светового потока ниже порогового уровня и обрывов оптоволоконна (ОВ).

С учетом специфики прохождения сигналов в ОВ с ВБР и особенностей уязвимости элементов бортовых информационно-измерительных систем анализировались линейные, кольцевые, ячеистые и комбинированные