

УДК 629.7.03.018

Б.Б. КОРОВИН, А.А. СТАСЕВИЧ, О.Н. БЫЛИНКИНА*ГНЦ РФ Федеральное государственное унитарное предприятие
«Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова», Россия*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ МЕЖРОТОРНОГО ПОДШИПНИКА ТРДДФ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ШТАТНОМУ ВИБРОСИГНАЛУ

Обоснована целесообразность автоматизированного контроля виброн нагруженности межроторного подшипника ТРДДФ при его работе в составе маневренного самолета. Технология контроля базируется на использовании сигнала с широкополосного выхода штатного датчика на изгибной керамике, установленного на промежуточном корпусе двигателя. Алгоритмом контроля предусмотрено выделение в спектре вибросигнала диагностической составляющей на частоте вращения сепаратора межроторного подшипника с оценкой его вибронаработки на различных режимах работы двигателя. Основанием для внештатной проверки состояния подшипника служат появление диагностической составляющей и ее прогрессирующая наработка на режиме малого газа для технологического двигателя с дефектным подшипником. Рассмотрена версия алгоритма в реальном времени.

Ключевые слова: межроторный подшипник, диагностический признак, составляющая спектра, сепаратор, гармоника, контроль, реальное время.

Введение

Необходимость совершенствования методов диагностики и контроля состояния межроторных подшипников в эксплуатации связана с тяжелыми условиями работы указанного узла в составе современных ТРДДФ и катастрофическими последствиями в случае их разрушения.

Настоящая публикация посвящена разработке и апробации алгоритмов контроля состояния межроторного подшипника современного ТРДДФ в эксплуатационных условиях работы на маневренном самолете по штатному вибросигналу.

1. Формулирование проблемы и методы ее решения

В работах [1, 2], базирующихся на результатах стендового вибрографирования технологического двигателя с внесенными дефектами подшипника и повышенным дисбалансом ротора высокого давления, обращено внимание на то, что дефекты в межроторных подшипниках неизменно сопровождаются появлением составляющей в спектре вибраций статора турбомшины на частоте вращения сепаратора. Интенсивность указанной составляющей (назовем ее МРС) при значимом дефекте, как правило, превышала любую из роторных составляющих вибрации и имела тенденцию к росту по мере наработки на всех режимах работы двигателя.

При дополнительном анализе экспериментальных материалов, использованных в работах [1, 2], выявлена еще одна важная закономерность, которую необходимо учитывать при мониторинге состояния межроторного подшипника. Несмотря на более высокий уровень составляющей МРС на максимальных и форсированных режимах (М+Ф) по сравнению с режимом малого газа (МГ), увеличение ее интенсивности на стадии разрушения подшипника по отношению к более раннему проявлению дефекта для режима МГ оказалось на порядок большим, чем для режимов М+Ф.

Исследования авторов настоящего сообщения показали, что в условиях реальной эксплуатации собранного по ТУ двигателя также не исключено кратковременное появление составляющей МРС с уровнем, превышающим интенсивность вибрации для роторных гармоник на максимальных режимах работы ТРДДФ, при практическом отсутствии проявления МРС на малых режимах. При этом режимы М+Ф оказались не самыми удобными для диагноза и потому, что на указанных режимах возможно появление составляющих, маскирующихся под МРС.

Таким образом, проявление составляющей МРС значимого уровня на максимальном режиме работы двигателя в эксплуатации может рассматриваться лишь как предпосылка к появлению дефекта в случае достаточно большой наработки. В качестве главного события, позволяющего принимать решения о появлении дефекта, логично рассматривать

появление MPC с уровнем, не меньшим уровня роторных гармоник вибрации на режиме МГ.

При решении проблемы использовался цифровой спектральный анализ сигнала с широкополосного выхода пьезодатчика на изгибной керамике, установленного в штатном месте измерения вибрации на промежуточном корпусе двигателя. Высокочастотные сигналы вибрации и частот вращения роторов двигателя регистрировались на бортовой твердотельный накопитель. Автоматизированная обработка и анализ данных осуществлялись с помощью специализированного программно-аппаратного комплекса ЛИИ [3].

2. Решение проблемы

2.1. Исходная информация, которую необходимо принимать в расчет при построении алгоритма контроля.

График режимной наработки обследуемого двигателя по частоте вращения ротора ВД (N2) построенный для нескольких представительных полетов самолета на рис. 1 позволяет судить о времени работы двигателя при каждом фиксированном значении N2 в реальной эксплуатации. В свою очередь вибромодель для MPC на рис. 2 в виде экспериментальной зависимости этого параметра от N2, дает представление о возможных значениях рассматриваемого диагностического фактора в условиях полета.

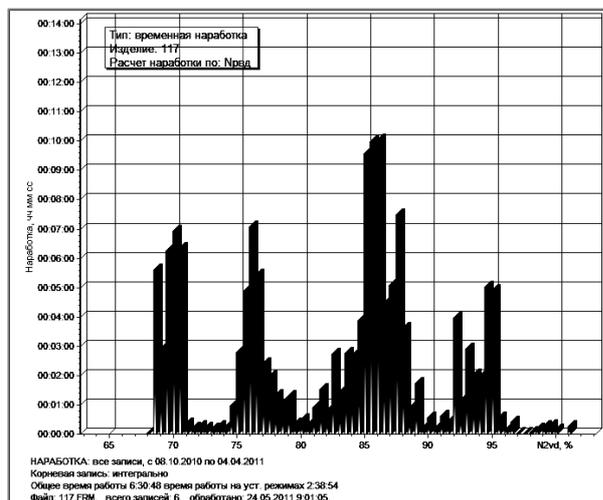


Рис. 1. График режимной наработки

Так как разброс значений MPC при заданном значении N2 может достигать нескольких порядков, а изменение составляющей MPC, когда она проявляется на двигателе с бездефектным подшипником в условиях полета, всегда имеет нестационарный характер с ярко выраженным максимумом во вре-

мени, наработку двигателя при фиксированных значениях MPC следует считать в виде гистограммы.

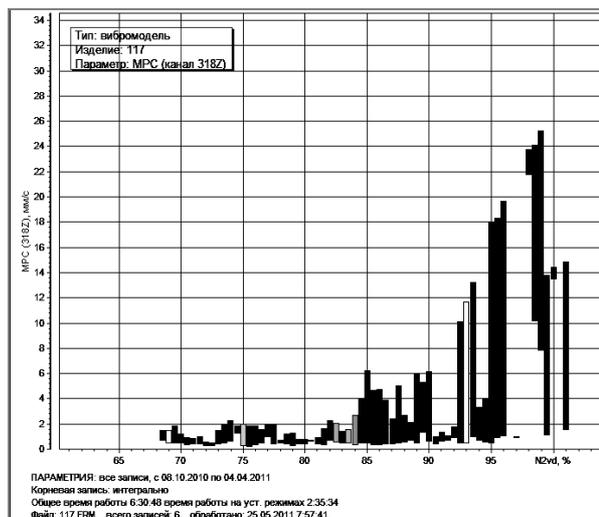


Рис. 2. Вибромодель для MPC двигателя, собранного по ТУ

Гистограмму будем получать для фиксированных диапазонов частоты вращения ротора ВД, руководствуясь реальной встречаемостью максимальных значений MPC согласно ее вибромодели, представленной на рис. 2.

2.2. Алгоритмы контроля и результаты их апробации в реальном времени на моделях вибропроцессов.

Основу алгоритма составляет узкополосная фильтрация вибропроцесса с оценкой амплитуды (интенсивности) гармонической составляющей процесса на частоте вращения сепаратора межроторного подшипника (MPC). Весь рабочий диапазон разбивается на три интервала: 1-70, 71-90 и 91-110%. Дискретность представления амплитуды MPC – 1 мм/с. Расчет носит циклический характер. Входными данными для расчета являются: массив, содержащий вибросигнал с датчика и частоты вращений роторов.

На установившемся режиме работы двигателя выполняются следующие шаги:

1. Определяется поддиапазон частоты вращения ротора;
2. Оценивается амплитуда MPC.
3. Увеличивается время наработки в текущем поддиапазоне амплитуды MPC на шаг расчета.

Указанный алгоритм был реализован с помощью программно-аппаратного комплекса ЛИИ при послеполетной обработке вибросигнала с датчика V-318 для собранного по ТУ двухвального ГТД с межроторным подшипником вблизи задней опоры турбины (рис. 3).

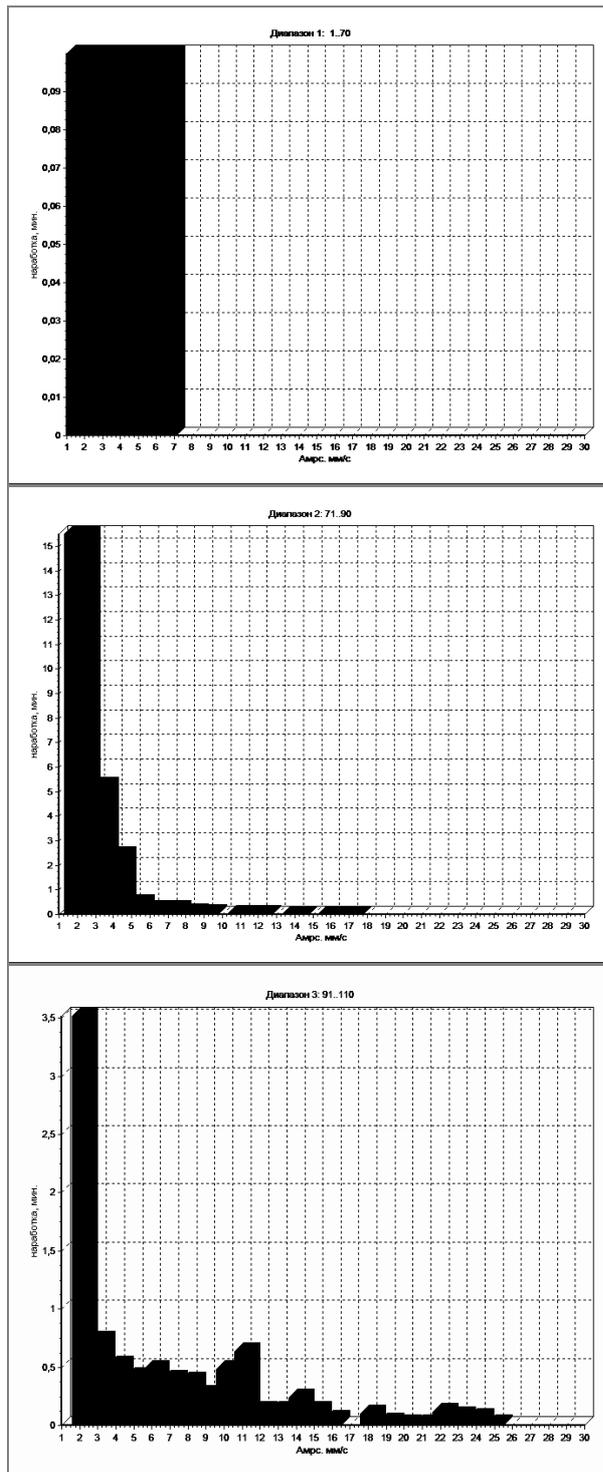


Рис. 3. Гистограмма наработки для дискретных значений интенсивности процесса на частоте вращения сепаратора межроторного подшипника во всем рабочем диапазоне частот: на режиме МГ – сверху, 71-90 % (в центре) и 91-110% (снизу) по ротору ВД

Согласно результатам вибрографирования технологического двигателя с дефектным межроторным подшипником, стадии начала разрушения для больших режимов работы двигателя соответствует значения МРС порядка 40мм/с.. Зафиксировав нара-

ботку в течении полминуты с указанным значением МРС в диапазоне $N2 = 91-110\%$ следует сопоставить полученное значение с амплитудным значением МРС на режиме МГ, которое, согласно эксперимента с технологическим двигателем при появлении дефекта в подшипнике должно составлять не менее 3,5 мм/с.

Одновременное увеличение амплитудных значений МРС на режиме МГ и Максималь (форсаж) при дальнейшей наработке двигателя следует рассматривать как событие, связанное с появлением серьезного дефекта в межроторном подшипнике.

Временной шаг расчета при реализации вышеуказанного алгоритма определяется параметрами узкополосной фильтрации и вычислительными возможностями аппаратных средств. Для систем, работающих в реальном масштабе времени (бортовых системах контроля), критическими с точки зрения быстродействия являются следующие параметры расчета – размер реализации и частота дискретизации.

Предлагаемый подход был опробован на микропроцессорах семейства «Atmel», не ориентированных на работу с большими массивами данных. Для экспериментальных данных, полученных на двигателе с дефектным межроторным подшипником, было достигнуто удовлетворительное частотное разрешение оценки амплитуды МРС посредством увеличения временного интервала и прореживания исходного процесса (понижения частоты дискретизации).

Заключение

1. Предложен и апробирован алгоритм автоматизированного послеполетного контроля состояния двухроторного ГТД по штатному вибросигналу применительно к обнаружению дефекта межроторного подшипника
2. Отработана версия бортового контроля состояния межроторного подшипника в реальном времени.

Литература

1. Назаренко Ю.Б. Диагностика роторов и межроторного подшипника по виброскоростям на корпусах двухвальных турбореактивных двигателей / Ю.Б. Назаренко, Л.Ф. Светашова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – № 9/66. – С. 58-62.
2. Колотников М.Е. Динамика роторов двухвальных турбореактивных двигателей. Проблемы межроторного подшипника / М.Е. Колотников, Ю.Б. Назаренко, А.В. Иванов, Л.Ф. Светашова // *Научно-технический конгресс по двигателестроению*

нию. НТДК. 2008. Десятый международный салон: сборник тезисов. – М., 2008. – С. 112.

3. Былинкина О.Н. Программно-аппаратный комплекс для летно-прочностных испытаний авиа-

ционных ГТД нового поколения / О.Н. Былинкина, Б.Б. Коровин, А.А. Стасевич // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 9/25. – С. 56-60.

Поступила в редакцию 5.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, Генеральный директор М.Е. Колотников, ФГУП «ММПП «Салют», Москва, Россия.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ДІНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІЖРОТОРНОГО ПІДШИПНИКА ТРДДФ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ШТАТНИМ ВІБРОСИГНАЛОМ

Б.Б. Коровін, А.А. Стасевич, О.М. Білінкіна

Обумовлена доцільність автоматизованого контролю вібронавантаження міжроторного підшипника ТРДДФ при його роботі в складі маневрового літака. Технологія контролю базується на застосуванні сигналу з широкосмугового виходу штатного датчика на гнучкій кераміці, поставленого на проміжному корпусі двигуна. Алгоритмом контролю передбачається виділення в спектрі вібросигналу діагностичної на частоті обертання сепаратора міжроторного підшипника з оцінкою його вібронаробки на різних режимах роботи двигуна. Основою для позаштатної перевірки стану підшипника служить поява діагностичної складової і її прогресуюча наробка на режимі малого газу для технологічного двигуна з дефектним підшипником. Розглядана версія контролю в реальному часі.

Ключові слова: міжроторний підшипник, діагностичний признак, складова спектра, сепаратор, гармоніка, контроль, реальний час.

AUTOMATIC MONITORING OF DYMANIC LOADING OF AUGMENTED TURBOFAN ENGINE IN OPERATION USING STANDART VIBRATION MEASUREMENT

B.B. Korivin, A.A. Stasevich, O.N. Bilinkina

The need of automatic monitoring of augmented turbofan engine intershaft bearing vibration loading during its operation on maneuverable aircraft is stated. The technology is based on the broadband signal analysis received from the standard flexural ceramics vibration sensor installed on the engine intermediate casing. The algorithm consists of allocation of specters diagnostic component of the intershaft bearing separator rotating frequency and evaluation of its operation time on different engines modes. The appearance of diagnostic component and its progressive operation time on the idle for the technological engine with defective bearing are the reasons for earlier check of intershaft bearibg state. The real-time application of algorithm is viewed.

Key words: intershaft bearing, diagnostic sign, specters component, separator, harmonic, monitoring, real-time.

Коровин Борис Борисович – д-р техн. наук, начальник лаборатории КНИО-3 ФГУП ЛИИ им. М.М. Громова, Жуковский, Россия, e-mail: flysим-lii@mtu-net.ru.

Стасевич Аркадий Анатольевич – ведущий инженер КНИО-3 ФГУП ЛИИ им. М.М. Громова, Жуковский, Россия, e-mail: flysим-lii@mtu-net.ru.

Былинкина Ольга Николаевна – начальник сектора ФГУП ЛИИ им. М.М. Громова, Жуковский, Россия.