

Воробьев Ю.М.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье проводится анализ системы диагностирования газотурбинного двигателя морского исполнения ДК91 главного газотурбинного агрегата типа М91 перспективного украинского корвета и предлагаются пути повышения ее эффективности. Научная новизна работы заключается в том, что по результатам проведенного анализа бортовой системы диагностирования ГГТА типа М91 предлагаются модели вибрационного сигнала, которые позволяют повысить эффективность системы диагностирования.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, вибродиагностика, совершенствование, огибающая.

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами. Анализ тенденций развития энергетических машин свидетельствуют о том, что наиболее совершенные установки могут быть созданы с использованием газотурбинных технологий. Вполне обоснованно многие специалисты по энергетике считают XXI век - веком газотурбинных технологий. Газотурбинный двигатель (ГТД) является основной частью газоперекачивающих агрегатов (ГПА), парогазовых установок автономных электростанций предприятий (ПГУ) и главных энергетических установок (ГЭУ) кораблей и судов.

В настоящее время в мире много фирм разрабатывающих и изготавливающих стационарные и переносные средства диагностирования, которые могут быть использованы в качестве бортовых систем диагностирования корабельных газотурбинных двигателей (ГТД). Однако на этапе проектирования новых проектов кораблей возникают трудности в выборе такой диагностической системы, которая бы полностью удовлетворяла специфики эксплуатации и особенностей конструкции корабельного ГТД.

Анализ последних исследований и литературы. За последние 40-50 лет в вопросах технического диагностирования ГТД достигнут существенный прогресс. В настоящее время практически нет таких узлов и деталей ГТД, которые не возможно продиагностировать функциональными методами технической диагностики [1-11]. Последние 5 лет получили широкое распространение комплексные модели диагностирования, в основе которых лежат виброакустические методы.

Нерешенные ранее вопросы общей проблемы. Однако единого подхода к выбору модели вибрационных сигналов, для использования их в диагностических целях, к разработке бортовых корабельных систем, до настоящего времени нет [1-11].

Цель исследований (постановка задачи). Проанализировать перспективную бортовую систему диагностирования главного газотурбинного агрегата (ГГТА) типа М91, в составе которого ГТД типа ДК91, и повысить ее эффективность.

Научная новизна работы заключается в том, что по результатам проведенного анализа бортовой системы диагностирования ГГТА типа М91 предлагаются модели вибрационного сигнала, которые позволяют повысить эффективность системы диагностирования.

Основная часть. Известно [1-5], что разработка бортовой, корабельной системы диагностирования должна начинаться на этапе проектирования объекта диагностирования (ГГТА типа М91), с участием завода изготовителя ГТД и с привлечением фирмы изготовителя диагностических систем. На этом этапе учитывается уровень научных достижений в области технической диагностики ГТД, определяется перечень

контролируемых параметров, средства и методы их оценки. Особенно важным являются вопросы контролепригодности ГТД, которые должны быть учтены при проектировании и дальнейшем изготовлении ГТД. Не соблюдение этих требований может привести к тому, что установленная на корабле диагностическая система ГТД может оказаться не эффективной. Поясним это на конкретном примере.

На этапе проектирования корабельного ГГТА типа М91 было принято решение использовать параметрические методы диагностирования, где в качестве основного метода используются вибродиагностические методы. Проектантами, в качестве основной системы, была выбрана диагностическая система типа VM600 фирмы Vibro-meter (Швейцария), которая эффективно применяется во всем мире на газовых, паровых и гидротурбинах, генераторах, компрессорах и насосах.

Проведя анализ системы VM600 [5], можно сделать вывод, что она позволяет в полной мере диагностировать ГТД. Однако, (рассматриваем только вибродиагностику) в полном объеме, как видно из рисунка 1, она не используется.

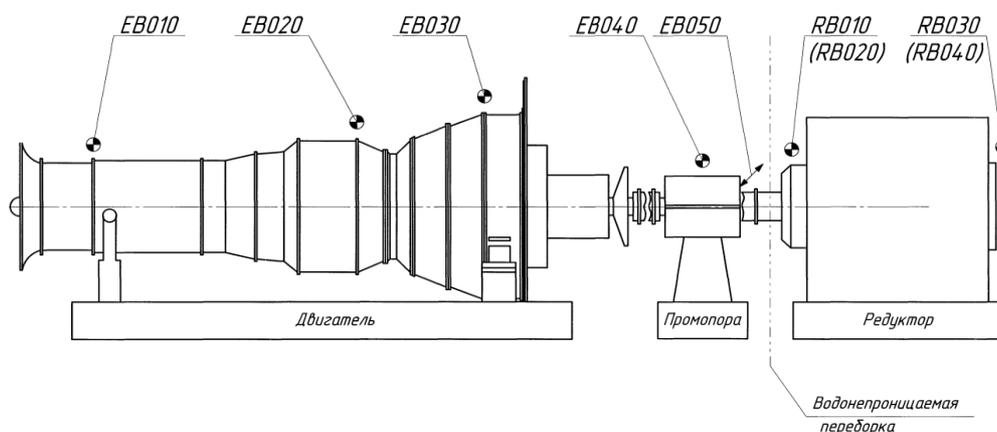


Рис. 1. Схема установки датчиков вибрации и фазы

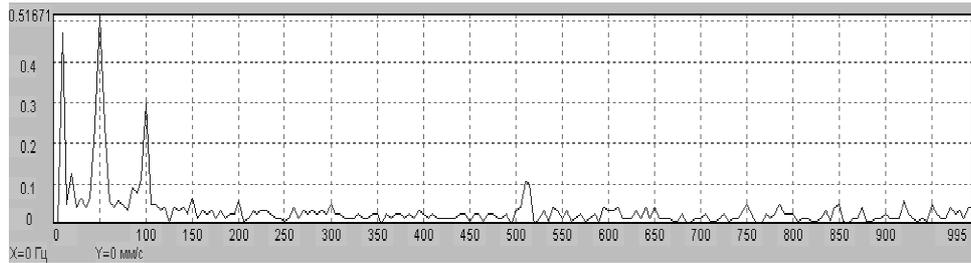
На ГТД выбраны только три реперные точки (датчики: EB010, EB020, EB030) и измеряется только одна составляющая вибрации – вертикальная.

В качестве примера, на рисунке 2 представлены три составляющие вибрации, измеренные автором на одной из турбин ТЭЦ в одной реперной точке (СКЗ виброскорости, мм/с).

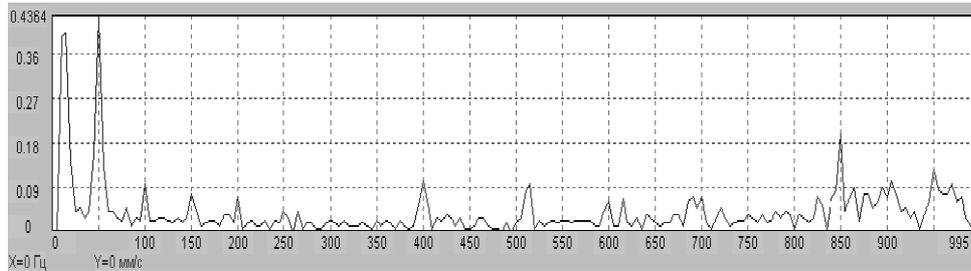
Из рисунков 2 и 3 видно, что горизонтальная и осевая составляющие вибрации несут много информации о техническом состоянии ГТД. Однако, проектанты бортовой системы диагностирования ГТД, ограничились возможностью измерения только одной составляющей – вертикальной.

Исправить данное решение, и тем самым повысить эффективность системы вибродиагностирования, можно путем замены однокомпонентных датчиков (измеряющих только вертикальную составляющую) на трехкомпонентные датчики вибрации. Целесообразность данного предложения подтверждается результатами проведенного анализа [1, 8], которые показывают, что для вибродиагностических целей желательно измерять, как минимум, две составляющих, а лучше - три составляющих, и измерять не только относительную вибрацию, но и абсолютную. Также важно иметь информацию о фазе вибросигнала в реперных точках.

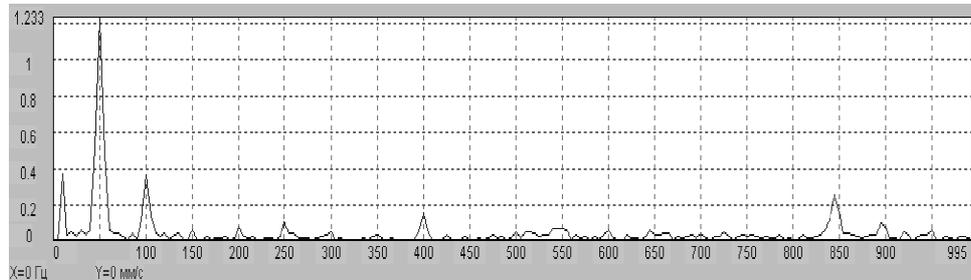
Для системы типа VM600 частотный диапазон измерения вибрации по виброскорости выбран от 30 Гц до 400 Гц, а по виброускорению от 1000 Гц до 5000 Гц, что явно недостаточно для проведения глубокого вибродиагностирования известными методами [1-10] диагностики. Поэтому целесообразно диапазон измеряемых вибраций расширить и сделать от 5 Гц до 5000 Гц по виброскорости и от 2 Гц до 20 000 Гц по виброускорению.



А)



Б)



В)

**Рис. 2. Составляющие вибрации в реперной точке:
А) – вертикальная; Б) – горизонтальная; В) – осевая**

Датчики вибрации устанавливаются на корпусе ГТД, т.е. далеко от основных источников вибрации, в частности, подшипников качения и скольжения. И, как следствие, нет возможности использовать методы вибродиагностирования, которые основаны на анализе высокочастотной вибрации и огибающей [1]. Хотя, как видно из рисунка 3 и возможностей системы типа VM600, это возможно сделать, если конструктивно обеспечить возможность установки датчиков в непосредственной близости от объекта диагностирования.

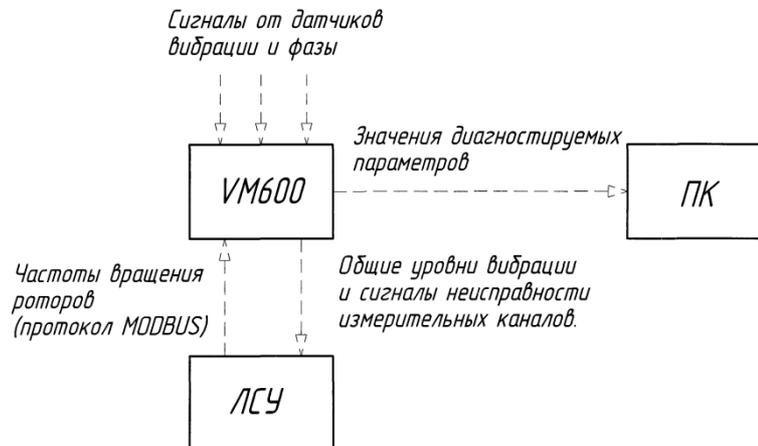


Рис. 3. Схема передачи сигналов

В противном случае целесообразно использовать лазерные датчики вибрации или радиолокационные, которые позволяют снимать вибрационные параметры объекта диагностирования на расстоянии, в частности подшипников скольжения и качения ГТД.

Методика диагностирования технического состояния (М91ТП-054) заключается в следующем [3]:

«Оценка технического состояния ГТД по вибрационным параметрам производится путем измерения и сравнения значения параметров вибрации с нормами вибрации.

При плавных увеличениях режимов работы двигателя и работы на установившихся режимах уровни вибрации его корпуса не должны превышать допустимого значения, указанного в формуляре.

При уровне вибрации, равном или превышающем допустимую норму, а также при резком увеличении значений вибрации на установившемся режиме работы двигателя на 5 мм/с и выше, необходимо произвести спектральный анализ вибрации с целью определения источника вибрации, осмотреть крепление опор к раме, рамы к фундаменту, проверить центровку, проанализировать изменение температуры масла на сливах, изменение уровня вибрации по сравнению с допустимыми значениями и предыдущими измерениями, произвести осмотр проточной части турбины оптическими смотровыми приборами на предмет повреждения проточной части ГТД и проанализировать изменение выбега роторов.

По результатам проведения осмотров и анализа полученной информации, а также с учетом требований руководства по эксплуатации, определяется техническое состояние изделия и возможность его дальнейшей эксплуатации.

Как видно из самой методики, проектанты выбрали следующие методы оценки технического состояния ГТД по параметрам вибрации:

1. Оценка технического состояния ГТД по общему уровню виброскорости в диапазоне от 30 Гц до 400 Гц, а по виброускорению от 1000 Гц до 5000 Гц. Измеренный общий уровень вибрации сравнивается с нормой вибрации и если он ее превышает, то ставится диагноз, что есть неисправность или дефект. На данном этапе система VM600 выполняет функции не диагностирования, а общего контроля: «исправен – неисправен».

2. Далее, если ГТД «неисправен», то рекомендуется с помощью системы VM600 проводить спектральный анализ вибрации (второй метод). Однако, рекомендации по его проведения (в какой полосе анализа, в каком частотном диапазоне) не приводятся. Не перечисляются вибрационные диагностические параметры и диагностические признаки дефектов и неисправностей ГТД. Даже если они и имеются - измерение только одной – вертикальной составляющей виброускорения или виброскорости в тех частотных диапазонах, которые указаны выше, резко ограничивают использование этой информации для глубокого анализа и постановки диагноза.

Алгоритм параметрического диагностирования ГТД описывает только два режима диагностирование - на этапе запуска и этапе остановки. На других эксплуатационных режимах работы ГТД диагностирование не проводится, а осуществляется только предупредительный мониторинг вибрации.

К сожалению, использование только этих двух моделей сигнала вибрации для диагностических целей, не позволяет использовать все возможности системы VM600 для глубокой оценки технического состояния узлов и деталей ГТД, как это было предусмотрено проектантами. Для тех целей, что поставили для себя проектанты бортовой, корабельной системы диагностирования ГТД, можно было бы обойтись любой другой, не дорогой виброконтрольной аппаратурой.

Следует учитывать всю сложность диагностирования корабельного ГТД в эксплуатационных условиях по параметрам вибрации. А именно, что измерение вибрации ГТД происходит в условиях влияния сильных вибрационных помех от рядом работающих машин и механизмов, в частности, от параллельно установленного второго ГТД. Для избавления от вибрационных помех целесообразно устанавливать дополнительные вибродатчики на источники помех, например, фундамент, который передает вибрацию от

других механизмов, и использовать метод корреляционного анализа, который используется в аналогичных системах вибродиагностирования фирмой ООО «Инкотес» (Россия, г. Нижний Новгород).

Следует учитывать, что фундамент под ГТД не может соответствовать общепринятым требованиям, т.е. когда масса фундамента в 10 раз больше массы ГТД, и, как следствие, вибрационные характеристики, измеренные на стенде завода, не соответствуют вибрационным характеристикам, измеренным в корабельных условиях. Поэтому результаты вибрационных исследований, проведенные в заводских условиях нельзя однозначно переносить на ГТД, который установлен на корабле.

Необходимо иметь в виду, что судовой ГТД устанавливается на амортизирующих (виброизолирующих) креплениях, техническое состояние которых (жесткость, звуковые мостики и др.) влияет на вибрационные характеристики ГТД (искажают их).

Учитывая выше изложенное, можно предположить, что проектанты ограничились применением системы VM600 только в качестве измерительно-сигнализирующего устройства (предупредительный мониторинг) и не использовали всех возможности этой системы и научные разработки в области вибродиагностирования ГТД.

Выводы

1. Проектирование или адаптация предлагаемых изготовителями систем диагностирования ГТД, должна производиться совместно силами проектантов, завода изготовителя ГТД, фирмы разработчика диагностических систем, научных подразделений и эксплуатирующего органа.

2. Данная система диагностирования корабельного ГТД на основе системы типа VM600 может быть усовершенствована путем:

- установки звуководов от, например, подшипников, до вибродатчиков;
- использования 2-х или 3-х компонентных вибродатчиков и к ним датчиков фазы;
- применения новых типов вибродатчиков: лазерных (например, типа LV-2 разработки ООО «Лазерная техника»), радиолокационных [6,7], которые можно устанавливать в доступных для обслуживания местах, но имеющих непосредственный контакт с диагностируемым объектом.
- обеспечения возможности прослушивания сигнала вибрации в реперных точках через наушники, т.е. использование системы в качестве стетоскопа.

3. В качестве модели вибрационного сигнала целесообразно использовать комбинированные модели вибросигнала, т.е. предусмотреть набор инструментов (компьютерных программ) для проведения анализа и постановки диагноза.

4. Желательно учитывать, что обслуживающий ГТД персонал слабо знает современные методы и средства технического диагностирования и, как следствие, просто не будет пользоваться этой системой (отключит ее). Поэтому целесообразно иметь программы, позволяющие автоматизировать процесс диагностирования и постановки диагноза.

5. В первую очередь необходимо разработать концепцию по разработке и использованию аналогичных бортовых систем диагностирования на кораблях и судах.

Перспективным дальнейшим направлением исследований является усовершенствование существующих методов и средств технического диагностирования, разработка новых моделей диагностирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. – СПб.: СПбГМТУ, 2000. – 159с.
2. ГГТА М91Л(П). Перечень средств технического диагностирования и раннего предупреждения отказов. М91ТП-05. ЦНИОКР «Машпроект». – 2008. – 7с.
3. ГГТА М91Л(П). Методика диагностирования технического состояния изделия средствами технической диагностики в процессе эксплуатации. М91ТП-054. ЦНИОКР «Машпроект». – 2008. – 16с.

4. ГГТА М91Л(П). Требования контролепригодности изделия средствами технической диагностики. М91ТП-053. ЦНИОКР «Машпроект». – 2008. – 8с.
5. Описание система типа VM600, 2010 - Режим доступа: <http://www.vibrometer.ru/industrial/VM600.htm>
6. Пат. 2036442 РФ. Способ диагностики состояния механизма в процессе эксплуатации и устройство для его осуществления /А.Л. Горелик, В.К. Алексеев, И.В. Егоров, А.В. Масловский, Л.Г. Меньшиков, А.Б. Тягунов, Е.Г. Перепелицин. Приоритет 27.05.95. Пат. 2112936 РФ. Способ диагностики технического состояния механизма в процессе его эксплуатации и устройство для его осуществления/ А.Л. Горелик, А.В. Масловский, Л.Г. Меньшиков, Е.Г. Перепелицин, А.Б. Тягунов, С.С. Эпштейн. Приоритет 10.06.98.
7. Новиков А.С., Пайкин А.Г., Сиротин Н.Н. Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей. М.: Наука, 2007. – 469с.
8. Справочник инженера-механика судовых газотурбинных установок. – Л.: «Судостроение». – 1985. – 366с.
9. Техническая эксплуатация судовых газотурбинных установок.– М.: «Транспорт».1986. – 222с.
- 10.Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. – М.: «Машиностроение». 2007. – 194 с.

Воробйов Ю.М.

УДОСКОНАЛЕННЯ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ СУДНОВИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

У статті проводиться аналіз системи діагностування газотурбінного двигуна морського виконання ДК91 головного газотурбінного агрегату типу М91 перспективного українського корвета і пропонуються шляхи підвищення її ефективності. Наукова новизна роботи полягає в тому, що за результатами проведеного аналізу бортової системи діагностування ГГТА типу М91 пропонуються моделі вібраційного сигналу, які дозволяють підвищити ефективність системи діагностування.

Ключові слова: газотурбінний двигун, вібродіагностика, удосконалення, що огинає.

Vorobjov U.

IMPROVING ONBOARD DIAGNOSTIC SYSTEMS OF GAS TURBINE ENGINES

The article analyzes the diagnostic system of marine gas turbine engine performance DK91 of the main turbine unit type M91 applied for prospective Ukrainian corvette, and suggests the ways of improving its efficiency. Scientific novelty of the work lies in the fact that according to the results of the analysis of on-board diagnostic system M91-type GGTA, the vibration signal models able to improve the system's efficiency, are proposed.

Keywords: gasturbine engine, vibrodiagnostics, improvement, bending-type.

УДК 536.248.

Дикий М.О., Соломаха А.С., Петренко В.Г.

ТЕПЛОМАСООБМІН ПРИ ВИПАРОВУВАННІ КРАПЕЛЬ ПЕРЕГРІТОЇ ВОДИ В ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ

У статті розглянуто основні положення процесу охолодження повітряного потоку водою високої температури. Використання перегрітої води є особливо привабливим для