

Установка для усталостных испытаний рабочих лопаток ГТД на базе пьезокерамического вибростенда ZET 6150

Z E T L A B

В статье представлена новая разработка зеленоградской компании «ЭТМС», также известной под названием своего бренда ZETLAB, – установка для испытания рабочих лопаток газотурбинных двигателей на усталость, созданная на базе пьезокерамического вибростенда ZET 6150. Рассмотрены состав и принцип работы установки, а также технические и эксплуатационные характеристики ее основных элементов: вибростенда ZET 6150, усилителя мощности ZET 461000, контроллера СУВ ZET 028 и ПО ZETLAB VIBRO.

ООО «ЭТМС», Зеленоград, г. Москва

Одной из самых важных проблем двигателестроения остается повышение эксплуатационной надежности современных газотурбинных двигателей (ГТД) при больших наработках. Наиболее нагруженными деталями ГТД являются рабочие лопатки ком-

прессоров и турбин. Их надежность и долговечность в процессе эксплуатации во многом определяют ресурсные характеристики двигателя в целом. Лопатки можно считать наиболее массовыми и дорогостоящими деталями двигателя. Каждая авария ГТД

по причинам усталостных повреждений и эрозионного износа рабочих лопаток, так же как и ухудшение их характеристик, приводит к большим материальным затратам, а в отдельных случаях – к катастрофическим последствиям.



Рис. 1. Установка для усталостных испытаний лопаток ГТД на базе пьезокерамического вибростенда ZET 6150

Усталостные испытания рабочих лопаток, как одно из главных направлений анализа эксплуатационной безопасности, прочности, надежности и долговечности двигателей, проводятся на специальных установках, имитирующих вибрационные воздействия, характерные для условий эксплуатации. Цели подобных испытаний – исследование сопротивления усталости, изучение закономерностей накопления усталостных повреждений лопаток и определение их ресурса.

В перечень оборудования, обеспечивающего решение подобных задач, входит новая разработка зеленоградской компании «ЭТМС», известной также под названием своего бренда ZETLAB: это установка для усталостных испытаний рабочих лопаток ГТД, спроектированная на базе пьезокерамического вибростенда ZET 6150. Внешний вид сконструированного специалистами компании испытательного комплекса представлен на рис. 1.

Установка относится к оборудованию специального назначения, предназначенному для проведения испытаний рабочих лопаток и других объектов на усталость при стационарном симметричном цикле нагружения в резонансном режиме. Другими словами, исследуемый объект (рабочая лопатка ГТД) подвергается воздействию вибрации на резонансных частотах последовательно, с выдерживанием нагрузки в течение определенного

времени на каждой частоте, последовательность изменения нагрузки при этом непрерывно повторяется.

Испытательная установка достаточно компактна, она может располагаться в цеху предприятия или лаборатории, занимая минимальную площадь. В состав комплекса входят:

- ▶ пьезокерамический вибростенд ZET 6150;
- ▶ один или два усилителя мощности ZET 461000;
- ▶ система управления установкой (контроллер) СУВ ZET 028;
- ▶ датчики обратной связи (триангуляционный лазерный датчик RF603, акселерометр ZET 111 или датчик перемещения ZET 172, микрофонное устройство ZET 501);
- ▶ рамка и зажимное устройство;
- ▶ программное обеспечение (ПО) ZETLAB VIBRO.

Вибростенд ZET 6150 приводится в действие с помощью усилителя, развивающего на резонансных частотах толкающее усилие до 10 000 Н (величина зависит от оснастки и типа стенда) в диапазоне частот 500...10 000 Гц. Для вибростенда, модификация которого включает индекс d, используются два усилителя с суммарной выходной мощностью 2000 Вт. Технические характеристики вибростенда ZET 6150 приведены в табл. 1.

Пьезокерамический стенд ZET 6150 должен эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от

+10 до +40 °С и относительной влажности не более 80%, допустимый при эксплуатации диапазон атмосферного давления составляет 495...800 мм рт. ст.

Для проведения испытаний на персональный компьютер необходимо установить специализированное ПО ZETLAB VIBRO. Оно позволяет испытательной установке работать как в ручном, так и в автоматизированном режиме.

Испытуемый объект устанавливается в специальном зажимном устройстве, прикрепленном на силовой штоке вибростенда. Для возбуждения процесса резонансной вибрации исследуемого образца на вход усилителя мощности ZET 461000 с выхода контроллера СУВ ZET 028 подается синусоидальный сигнал.

Необходимо отметить, что в процессе испытаний установка на базе пьезокерамического вибростенда ZET 6150 создает все необходимые условия для осуществления мониторинга уровня нагружения любыми методами, которые обеспечивают достаточную точность.

Усилитель мощности ZET 461000 работает совместно с пьезокерамическим вибростендом, он предназначен для усиления и согласования по амплитуде величины электрического сигнала, который поступает с генератора контроллера СУВ ZET 461000. Потребляемая усилителем мощность не превышает 3000 Вт, максимальная выходная мощность составляет 1000 Вт.

Устройство, оснащенное воздушным охлаждением, работает в широком частотном диапазоне от 100 Гц до 16 кГц и питается от сети с напряжением 220...230 В при частоте питающего напряжения 50/60 Гц. Максимальное входное напряжение (при максимальном усилении) составляет 0,7 В, максимальное выходное напряжение (СКЗ) – 650 В, максимальный выходной ток (СКЗ) – 2 А. Чувствительность прибора по току и напряжению на контрольных выходах клеммной группы 1 определяется соотношениями 0,0021 В/А и 0,085 В/В соответственно, на контрольных выходах клеммной группы 2 – 0,1 В/А и 0,001 В/В.

Для защиты усилителя мощности от перегрузок в автоматизированном режиме используется быстросрабатывающая система мониторинга, преду-

Таблица 1. Технические характеристики пьезокерамического вибростенда ZET 6150

Характеристика	Значение
Частотный диапазон, Гц	500...10 000
Максимальная полезная нагрузка, кг	10
Максимальная мощность потребления, Вт	3000
Подача сжатого воздуха на вибростенд, кПа, не менее	100
Максимальная выходная мощность усилителя/усилителей, Вт	1000/2000
Максимальное перемещение на штоке (без оснастки), мм	0,01
Максимальная толкающая сила на частоте резонанса, Н, не менее (величина зависит от оснастки и типа пьезокерамического вибростенда)	10 000
Толкающая сила (диапазон частот 2000...8000 Гц), Н, не менее:	
• один усилитель	2000
• два усилителя	4000
Максимальное вибрационное ускорение на штоке (без оснастки), g, не менее:	
• один усилитель	100
• два усилителя	200
Монтажная резьба (силовой шток)	M16
Длина испытуемых образцов (без хвостовика), мм	20...120
Общая масса установки (без компрессора и ПК), кг	60

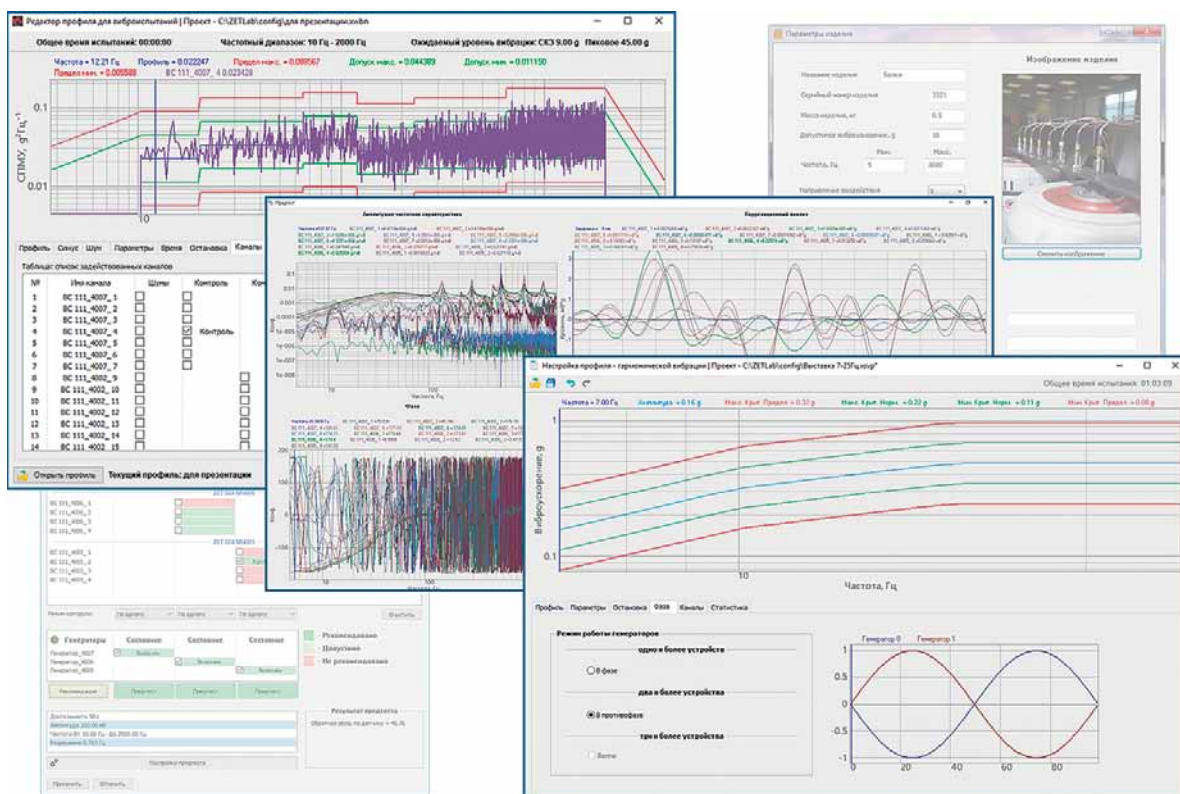


Рис. 2. Примеры результатов исследований различных вибрационных воздействий с помощью ПО ZETLAB VIBRO

смотренная в программном обеспечении системы управления испытательной установкой. Она реализуется при условии активации измерительных каналов контроля тока и напряжения. Размеры усилителя не превышают $483 \times 133 \times 440$ мм, масса – 28 кг.

Система управления испытательной установкой, представляющая собой программно-аппаратный комплекс на базе восьмиканального контроллера нового поколения СУВ ZET 461000 и ПО ZETLAB VIBRO, обеспечивает реализацию функций управления установкой и автоматизированного режима ее работы, включая задание величин параметров вибрации и анализ поступающей с датчиков информации. Следует отметить, что конструкторы предусмотрели возможность значительного увеличения числа входных каналов с помощью включения в состав системы дополнительных контроллеров (до 16 приборов). Наличие в контроллере четырех выходных управляющих каналов создает условия для одновременного управления сразу несколькими вибрационными генераторами.

Используемое в системе управления вибростендами **программное обеспечение ZETLAB VIBRO**, разработанное специалистами зеленоградского

предприятия, позволяет диагностировать большинство возможных ошибок уже на этапе подготовки к проведению испытаний (контроль по результатам предтеста и контроль качества оснастки по результатам тарировки). Программа формирует рекомендации по мониторингу и обеспечению соответствия выбранному профилю виброиспытаний, а также оценивает качество обратной связи выбранных измерительных каналов. При этом установка значений частоты и фазы резонанса в профиле испытаний по результатам предтеста, поддержание заданного уровня нагружения и удержание резонансного режима возбуждения в течение испытания выполняются автоматически.

Возможности ПО ZETLAB VIBRO также позволяют:

- имитировать самые разные виды и режимы вибрационных воздействий. Это могут быть синусоидальная (Sine) и широкополосная случайная (Random) вибрации, классические (Shock) и виброудары, стрелково-пушечное воздействие и синтезированный импульс с заданным спектром ударного отклика (SRS), поиск и удержание резонансов (RSTD) и спектр усталостного повреждения (FDS), а также режимы воспроизведения записанных данных (FDR) и задаваемых пользо-

вателем импульсов (TTH). Возможно и комбинирование различных режимов: Random-on-Random, Sine-on-Random, Sine-on-Sine, Sine-and-Random-on-Random;

- отображать на мониторе ПК в реальном времени текущие тренды различного вида: уровней нагружения и напряжения генератора, выходной мощности усилителя по току и напряжению, а также частоты (рис. 2);

- формировать и автоматически заполнять протоколы испытаний;

- автоматически записывать в онлайн-режиме в память компьютера зарегистрированные сигналы и результаты анализа.

Датчики обратной связи в ходе испытаний используются для контроля уровня нагружения исследуемого объекта как в ручном, так и в автоматическом режиме. Подключаются непосредственно к контроллеру ZET 028.

Для контроля уровня нагружения применяются:

- контактные датчики (акселерометры, тензорезисторы);
- бесконтактные датчики (проксиметры, лазерные датчики перемещения, микрофоны).

Для контроля за механически-ми напряжениями в качестве канала



Рис. 3. Зажимное устройство для испытательной установки на базе вибростенда ZET 6150

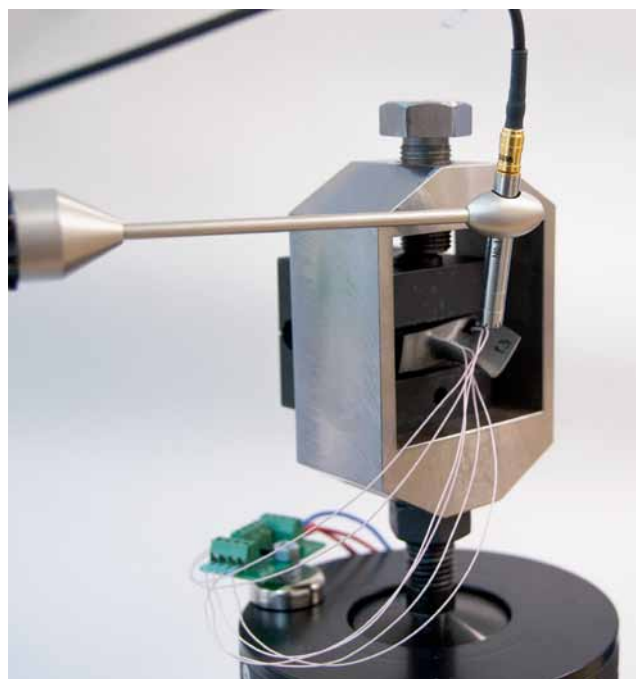


Рис. 4. Вариант крепления испытуемого объекта в зажимном устройстве испытательной установки

обратной связи могут использоваться как прямые измерения, полученные по сигналам с тензорезисторов либо акселерометров, так и измерения, выполненные по сигналам от бесконтактных типов датчиков, при условии, что результаты тарировки показывают линейную зависимость между соответствующими характеристиками.

Зажимное устройство, используемое в испытательной установке на базе вибростенда ZET 6150 и предназначенное для закрепления исследуемого объекта (рабочей лопатки ГТД), представляет собой рамку, в которой установлен специальный захват. Лопатка в захвате помещается в рамку и фиксируется прижимным винтом. Сама рамка фиксируется на силовом штоке вибростенда. При циклических усталостных испытаниях в резонансном режиме такое крепление обеспечива-

ет требуемый уровень механических нагрузок при минимальной затрачиваемой мощности, а также высокую жесткость и надежность всей колебательной системы.

Комплектация испытательной установки предусматривает использование зажимных устройств двух видов: с рабочими размерами для установки захвата 60×40 и 60×60 мм. Внешний вид зажимного устройства показан на рис. 3, вариант крепления испытуемого объекта – на рис. 4.

При усталостных испытаниях лопаток ГТД используется захват, фиксирующий испытуемую лопатку по полке, а при частотном мониторинге – по замку.

Функциональные преимущества установки для усталостных испытаний, работающей на базе пьезокерамического стенда ZET 6150, заклю-

чаются в возможности решения следующих задач:

- ▶ управление установкой в ручном и автоматизированном режимах;
- ▶ контроль качества оснастки по результатам тарировки;
- ▶ защита от перегрузки по току;
- ▶ автоматическое выдерживание заданного графика нагружения;
- ▶ создание шаблонов протоколов и их заполнение в процессе испытаний;
- ▶ отображение информации о ходе испытаний на мониторе персонального компьютера в реальном времени.

ООО «ЭТМС», Зеленоград, г. Москва,
тел.: +7 (495) 739-3919,
e-mail: zetlab@zetlab.com,
сайт: www.zetlab.com



Сейчас в СМИ

Все дублируется в новостной ленте Дзена