

цессии вала, которая развивается вследствие увеличения суммарного зазора между валом и корпусом, складывающимся из зазора в самом подшипнике и зазора между наружной обоймой и корпусом.

Аналогичное явление было отмечено авторами при исследовании радиальных сил, действующих на подшипники ротора ГТД, установленных в пластинчатые демпфера со значительным ($0,16 \div 0,24$ мм) суммарным зазором между наружной обоймой, пластинами демпфера и корпусом подшипника [3].

Таким образом, спектральный анализ сигнала непосредственно с обоймы подшипника позволил получить ряд диагностических признаков разрушения подшипника.

Простота конструкции чувствительного элемента, минимум доработок деталей изделия и эффективность метода позволяют использовать его для исследования работы подшипников при доводке новых изделий и при исследовании причин возникновения дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Б. В. Кибернетические методы технического анализа. М., 1966.

2. Ерошкин А. И., Максимов В. П., Орманов П. И., Самылин Е. А. Экспериментальные методы обнаружения повреждений подшипников качения в ранней стадии. Сб. Прочность и динамика авиационных двигателей. М., 1971, вып. 6.

3. Шаласов Ф. Н., Светлаков Ч. Л., Власов Ю. А. Определение радиальных сил, действующих на подшипники качения быстроходного ротора и оценка эффективности пластинчатых демпферов. Контактно-гидродинамическая теория смазки и ее практическое применение в технике. Тезисы докладов первой Всероссийской конференции, Куйбышев, 1972.

В. И. Костин

ДИАГНОСТИКА СТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ОБОБЩЕННОЙ СТАТИСТИКИ ВИБРОИЗМЕРЕНИЙ

Установление допустимых норм вибрации и организация контроля вибросостояния каждого выпускаемого двигателя имеют целью обеспечение достаточной вибропрочности, выявление возможных дефектов и оценку стабильности технологического процесса. Особенностью влияния технологии производства на надежность является то, что она выступает как процесс. Точечная оценка фиксируется при испытании каждого отдельного двигателя, не позволяет дать характеристику этому процессу и его влиянию на общую совокупность двигателей. Для этого

необходимо обобщение оценок по достаточно представительной партии двигателей.

Грубые дефекты производства могут квалифицироваться как отклонения от допустимых пределов рассеяния параметров того или иного технологического процесса. Ввиду этого двигатель, имеющий такие дефекты, становится в определенном смысле неподобным остальным двигателям. Желательно, чтобы действующие нормы в случае существенного неподобия двигателя могли его отбраковать. Эта задача нормирования может быть решена при использовании обобщенной статистики вибрации подобных двигателей и корректировке на этой основе уровня нормы.

Контрольные испытания должны быть направлены на усечение распределения вибрации подобных двигателей с тем, чтобы изделия, не обеспечивающие выполнения заявленных параметров, были отбракованы на стадии производства.

Если статистика вибрации далеко отстоит от установленной нормы, имеется реальная возможность пропуска неподобного двигателя в эксплуатацию. В этом случае норма должна уменьшаться, даже если этого не требуют условия вибропрочности. Уменьшение должно быть таким, чтобы были отбракованы те двигатели, уровень вибрации которых имеет вероятность столь малую, что само подобие ставится под сомнение. Такая вероятность может быть определена как

$$P_H = 1 - F(x_H), \dots \quad (1)$$

где $F(x_H)$ — значение функции распределения, соответствующее норме.

Рассмотрение теоретических предпосылок и анализ большого числа опытных распределений вибрации двигателей летательных аппаратов показывают, что наилучшим теоретическим распределением для статистики оценочных значений вибрации является двойное экспоненциальное распределение [1]

$$F(x) = e^{-e^{-y}}, \dots \quad (2)$$

где $y = \frac{s}{\sigma_N} \left(x - \bar{x} + y_N \frac{s}{\sigma_N} \right)$;

x и s — среднее и среднее квадратическое значение результатов по N измерениям;

σ_N и y_N — параметры, связанные с объемом выборки.

Используя понятие повторяющегося периода для двойного экспоненциального распределения, можно по данным имеющейся статистики прогнозировать получение наибольших значений с ростом объема выборки. Так были построены статистики результатов виброизмерений при контрольных испытаниях серийных двигателей для последовательно во времени полученных данных по 50, 100, 150 и 200 двигателям.

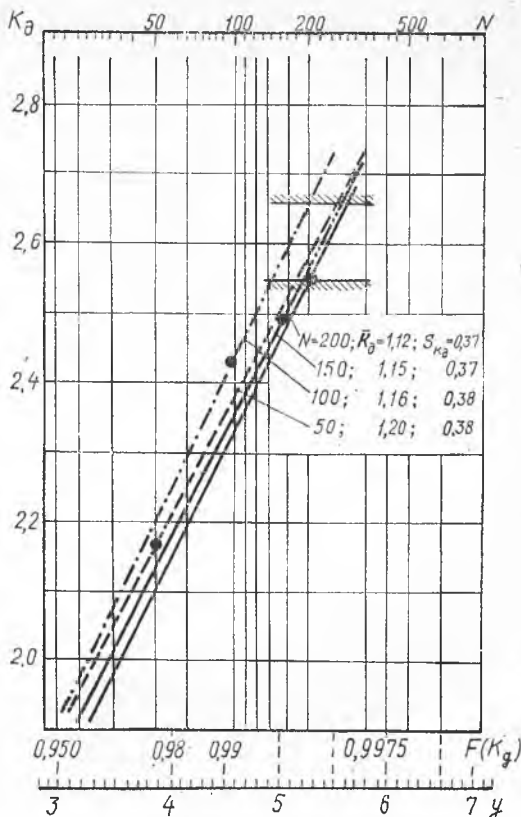
Проведенная экстраполяция позволила получить значение ожидаемого наибольшего уровня оценочного значения вибрации для двухсот двигателей по выборкам меньшего объема. Наибольшее расхождение реально полученного результата и оценки по экстраполяции составляет 4,3%. Это показывает, что с помощью повторяющегося периода даже по сравнительно малым выборкам может быть осуществлено довольно надежное прогнозирование. Соответствующие теоретические функции распределения представлены на рис. 1.

Обобщение статистических данных виброизмерений с помощью двойного экспоненциальног

о распределения может играть важную роль в своевременном выявлении влияния на вибросостояние двигателей мероприятий, проведенных при доводке или в серийном производстве.

Такая оценка является особенно трудной, если мероприятия проводятся без коренных изменений, не вызывающих, на первый взгляд, существенных сдвигов в вибрационном состоянии изделия. В подобном случае может быть сделан неправильный вывод о неудаче проведенных мероприятий.

В качестве типичного примера использования обобщенной статистики может служить проведенное нами исследование эффективности мероприятий, внедренных на воздушном стартере. Ввиду повышенного уровня вибраций на отдельных экземплярах стартеров, был проведен целый ряд конструктивно-технологических мероприятий, направленных на повышение качества сборки и стабильности балансировки.



● — Начало экстраполяции
 // — Наибольшая ошибка в пересчете на 200 двигателей

Рис. 1.

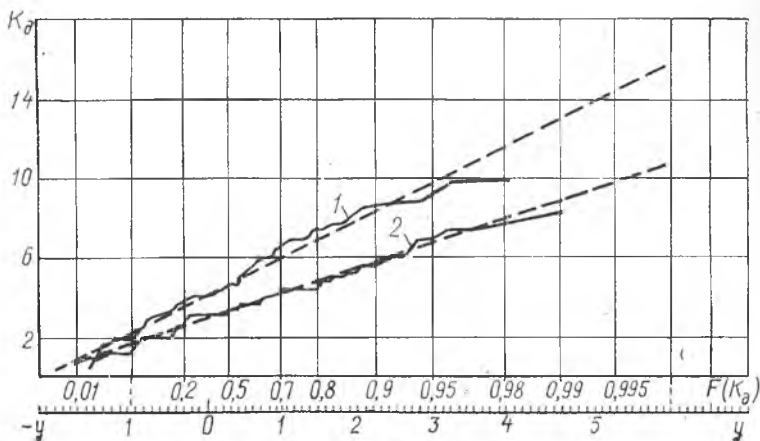


Рис. 2

Данные по уровню вибраций с частотой вращения ротора, полученные на стартерах без мероприятий и с мероприятиями, не позволяют сделать уверенного вывода об эффективности мероприятий.

На вероятностной бумаге двойного экспоненциального распределения (рис. 2) приведены порядковые статистики и линии теоретических распределений вибрации стартеров до проведения мероприятий 1 и с мероприятиями 2. Рассмотрение графиков показывает высокую эффективность проведенной работы, что обеспечило возможность выпуска стартеров с уровнем вибрации, не превышающим 30 мм/сек (10 д). Использование шкалы повторяющегося периода позволяет оценить экономическую эффективность проделанной работы. В первом случае средний процент забракованных двигателей при норме 10 д может составить 5%, а для двигателей с мероприятиями — 0,5% от общего числа запланированных к производству стартеров.

Возможность пропуска в эксплуатацию неподобных двигателей вследствие низкого уровня вибраций и сравнительно высокой нормы конкретно может быть проиллюстрирована на примере статистики вибраций одного из типов двигателей. По двумстам двигателям были получены величины среднего значения $K_d = 1,12д$ и среднеквадратичного отклонения $S = 0,37д$ вибраций по переднему фланцу компрессора с частотой первой роторной гармоники.

Установленная норма в тот период равнялась 4д.

Вероятность получения уровня вибрации, равного норме, для исследуемой совокупности согласно (1) и (2) определится значением $P_H = 0,000045$.

Очевидно, что событие с такой вероятностью для реальных объемов выпуска двигателей должно быть признано невозможным, а двигатели, имеющие уровень вибрации, близкий к норме, должны быть признаны неподобными. Нужно отметить, что из условий вибропрочности вибрация с уровнем 4д для такого типа двигателей является вполне допустимой. Впоследствии норма была уменьшена до 2,5 д, что для рассмотренной статистики дает вероятность $P_n = 0,005$, которую следует признать достаточной для того, чтобы практически наверняка были отбракованы неподобные двигатели. В данном случае надежность достигается ценой возврата в переборку примерно одного из двухсот выпускаемых двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Гумбель. Статистика экстремальных значений. М., «Мир», 1965.

М. Н. Лившиц

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Совершенствование методов и средств технического диагноза занимает значительное место в решении проблемы повышения надежности изделий. Характеристики предположительно одинаковых изделий часто оказываются различными вследствие влияния многих случайных факторов, поэтому становится необходимым определение статистических моделей, выражающих эти отличия.

В последнее время в технической диагностике изделий широкое распространение получили измерения вибраций корпусов. Однако при измерениях компонентов вибрации исследователю доступны результаты измерений, которые неизбежно содержат погрешности. Следовательно, используемые для анализа и построения статистических моделей вибрационных компонентов результаты измерений представляют собой композицию Z двух случайных величин: собственно компоненты вибрации X и погрешностей измерения Y

$$Z = X + Y. \quad (1)$$

Цель настоящей статьи — анализ действительных значений компоненты вибрации, т. е. статистических характеристик случайной величины X , получаемой исключением из результатов измерений Z погрешностей Y , вносимых методами и средствами измерений.

Статистические характеристики погрешностей Y поддаются измерению и оценке, поэтому в дальнейшем будем предполагать