

формации $\epsilon = (2 \div 3) \cdot 10^{-4}$ оно составляет $(4 \div 5) \%$ и при $\epsilon = (6,5 \div 7) \cdot 10^{-4}$ равняется $(10 \div 14) \%$.

5. При повышенной температуре логарифмический декремент колебаний пластиков существенно увеличивается (рис. 4). Это связано с качественным изменением полимеров.

Так в материале I при нагревании происходит дополнительное сшивание полимера с образованием жесткой сетчатой структуры. Для других материалов (IX, XI) на первой стадии нагрева (до $90-100^\circ$) происходит дополнительное сшивание полимеров, а затем развиваются процессы, связанные с потерей прочности у связующего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов А. В. Экспериментальное исследование рассеяния энергии колебаний в стеклопластике СТЭК-45 при несимметричном цикле нагружения. Настоящий сборник.
2. Тарнопольский Ю. М. Методы статических испытаний армированных пластиков. Рига, 1972.
3. Писаренко Г. С. Рассеяние энергии при механических колебаниях. АН УССР, 1962.
4. Хильчевский В. В. Об одной методике экспериментального исследования рассеяния энергии в материале. В кн. Труды научно-технического совещания по изучению рассеяния энергии при колебаниях упругих тел АН УССР. Киев, 1958.
5. Чернышов В. М. Внутреннее рассеяние энергии в пластмассах при вибрациях. Труды НАМИ, вып. 49, 1962.

М. Н. Лившиц, Г. В. Князев

ДИАГНОСТИКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВИБРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Обеспечение надежности является одной из важнейших проблем при производстве изделий. Надежность партии изделий (до их эксплуатации) часто устанавливается по результатам ресурсных испытаний одного или нескольких изделий из партии. Основанием для такого способа оценки является предположение об идентичности показателей надежности изделий всей партии. При этом исходят из стабильности производства изделий, которая должна обеспечиваться при неизменных конструкторской и технологической документации и производственном оборудовании.

Стабильность производства определяется не только неизменностью документации и оборудования, но и многими случайными факторами, например, различиями (в пределах допусков) в геометрии деталей, свойствах материалов, зазорах и посадках собираемых узлов и т. п.

Уменьшение влияния случайных факторов, например, за счет «ужесточения» допусков, усложняет производство, а

«свободные» допуски могут привести к нестабильности производства и существенным различиям показателей надежности отдельных изделий.

Поэтому в ряде случаев для оценки стабильности производства целесообразно применить дополнительные критерии. При этом оказывается удобным, чтобы величина, параметры которой используются в качестве критериев стабильности производства, во-первых, характеризовала работу изделия с точки зрения надежности и, во-вторых, была достаточно чувствительной к изменениям стабильности производства.

Указанными свойствами обладают амплитуды колебаний корпусов. Обычно допустимые значения амплитуд колебаний нормируют, исходя из условий обеспечения требуемой прочности.

При этом значения параметров амплитуд колебаний (например, среднее значение амплитуд партии изделий) и иногда оказываются существенно ниже нормы. В этих случаях при нестабильном производстве возможны значительные отклонения амплитуд колебаний корпусов отдельных, признанных годными изделий от среднего (для партии) значения.

Поэтому дополнительным критерием стабильности производства могут служить параметры распределения статистической модели, адекватной статистике амплитуд колебаний однотипных изделий при достаточном объеме выборки.

В случаях, когда объем выборки недостаточен, определение адекватности модели может встретить существенные трудности. Иногда даже трудно решить, не противоречит ли полученная статистика какому-либо закону распределения. В этих случаях для несколько более грубой оценки вибрационного критерия стабильности производства можно использовать неравенство Чебышева [1]. Согласно этому неравенству для любых законов распределения случайной величины x с конечным математическим ожиданием m_x и дисперсией D_x имеем:

$$P(|x - m_x| \geq \alpha) \leq \frac{D_x}{\alpha^2}. \quad (1)$$

Преобразуя (1)

$$P(|x - m_x| \leq \alpha) \geq 1 - \frac{D_x}{\alpha^2} \quad (2)$$

и принимая

$$m_x = \bar{x}; D_x = \sigma^2; \alpha = 3\sigma,$$

где $\bar{x}$ — среднее значение и σ — среднее квадратичное отклонение эмпирического распределения, получим

$$P(|x - \bar{x}| \leq 3\sigma) \geq 0,889 \quad (3)$$

Таким образом, не менее 88,9% амплитуд колебаний изделий, принадлежащих к одной генеральной совокупности, должны иметь значения

$$x \leq |\bar{x} + 3\sigma|. \quad (4)$$

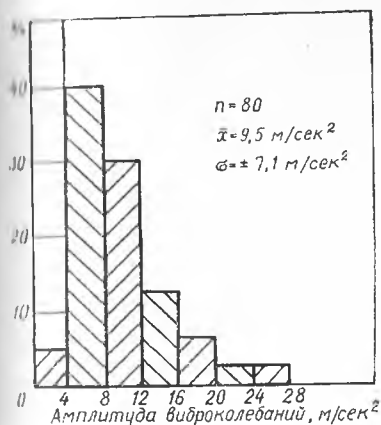


Рис. 1. Гистограмма амплитуд колебаний при контрольных испытаниях

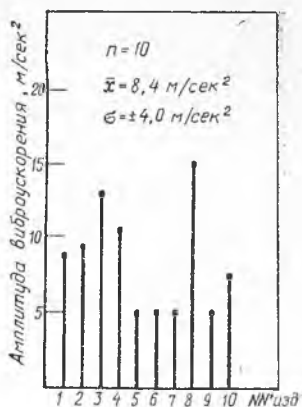


Рис. 2. Точечная диаграмма амплитуд колебаний при ресурсных испытаниях

Для иллюстрации метода использования дополнительного критерия оценки стабильности производства на рис. 1 приведена гистограмма амплитуд виброускорений* роторной частоты 80 контрольных испытаний однотипных изделий; на рис. 2 приведена точечная диаграмма амплитуд виброускорений* роторной частоты 10 ресурсных испытаний изделий этого типа.

Как видно из рис. 1 и 2, средние значения $\bar{x}$ и средне-квадратичные отклонения амплитуд виброускорения σ составили:

$$\bar{x}_k = 9,5 \text{ ед}, \quad \sigma_k = 7,1 \text{ ед},$$

$$\bar{x}_p = 8,4 \text{ ед}, \quad \sigma_p = 4,0 \text{ ед},$$

где индексами «к» и «р» обозначены соответственно контрольные и ресурсные испытания.

На рис. 3 показан пример установления вибрационного критерия стабильности производства, определенного для условия (4). Как видно из рис. 3, появление изделий с амплитудами колебаний, превышающими границы, установленные дополнительным критерием, должно служить сигналом о возможном нарушении технологического процесса производства и целесообразности проведения соответствующего контроля. При этом, без изменения норм прочности в сторону их ужесточения, обеспечивается повышение надежности изделий за счет своевременного устранения возможных производственных дефектов.

Рассмотренные вибрационные критерии могут быть использованы и в случаях возникновения дефектов при изготовлении изделий. Например, при внедрении одного изделия в серий-

* Для каждого изделия за амплитуду колебаний принималось экстремальное значение огибающей амплитуд.

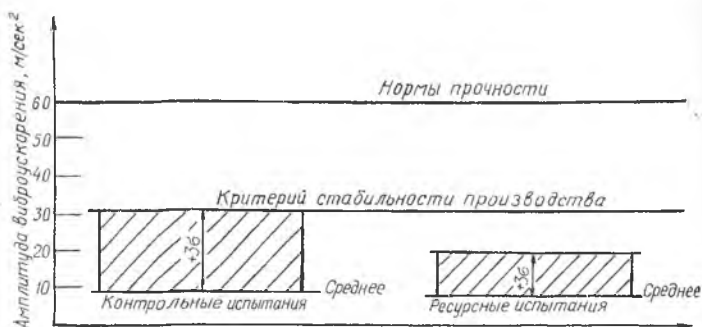


Рис. 3. Диаграмма определения вибрационного критерия стабильности производства

ное производство наблюдались частые дефекты подшипников роторов после сдаточных испытаний; в опытном производстве аналогичных изделий наблюдались лишь единичные случаи дефектов (при сопоставимых объемах выборки).

Анализ виброхарактеристик показал, что на изделиях серийного производства среднее значение амплитуд колебаний с роторной частотой существенно выше среднего значения соответственных амплитуд колебаний изделий опытного производства, причем дисперсии амплитуд также отличались. При этом значения амплитуд колебаний серийных изделий соответствовали нормам прочности.

Исходя из статистики опытного производства по предельным значениям наблюдавшихся амплитуд колебаний были временно введены ограничения допустимых амплитуд колебаний.

Анализ технологического процесса изготовления изделий, превысивших введенные нормы, и устранение выявленных недостатков позволили значительно сократить число дефектов при испытаниях изделий.

При введении вибрационных критериев стабильности производства устанавливаемые (по имеющейся выборке проведенных испытаний изделий) значения критериев могут иметь «обратную связь» с характеристиками технологического процесса. Например, введение дополнительного контроля значений амплитуд колебаний может способствовать улучшению процесса балансировки роторов, что в свою очередь приведет к снижению значения вибрационного критерия при следующей статистической выборке. Этот процесс повторится до исчерпания реальных запасов улучшения качества производства.

Таким образом, применение дополнительных критериев по вибрационным характеристикам изделий может служить одним из способов диагностики стабильности производства и повышения надежности изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1968.
2. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах М., «Мир», 1969.
3. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. Кол. инг. М., «Машиностроение», 1972.

Ф. Н. Шалаев, Ч. А. Светлаков

О НЕКОТОРЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКАХ РАЗРУШЕНИЯ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ

Анализ вибраций корпусов машин во многих случаях позволяет выявить диагностические признаки отдельных дефектов, обнаружить наличие дефектов в начальной стадии, проследить за динамикой их развития и в комплексе с другими мероприятиями установить их причины. Практически это делается путем сопоставления параметров спектра вибрации или в различные моменты времени работы изделия, или для различных экземпляров изделий [1]. Известно, что спектр вибрации ГТД имеет сложный частотный состав.

Зачастую отдельные составляющие спектра (в частности, это относится к сигналам, характеризующим состояние подшипников) имеют малую интенсивность и либо не проявляются на корпусе изделия, либо неразличимы на фоне общего шума. На рис. 1 представлена спектрограмма виброускорений одного из малоразмерных ГТД простейшей конструкции. Вибрационный сигнал датчика ИС-313, установленного на корпусе редуктора, анализировался с помощью анализатора спектра частот С 4—12 с записью спектра на самописец Н-320.

На спектрограмме не проявляются сигналы с частотой ниже 2300 гц, в частности, соответствующие частотам прокатывания шариков по наружной и внутренней обоймам.

В работе 2 предложено исследование состояния подшипника посредством тензометрирования специального П-образного упругого элемента, вставляемого с небольшим натягом между наружной обоймой подшипника и корпусом, как это показано на рис. 2. Такой метод позволяет локализовать сигнал и приблизить чувствительный элемент к исследуемой детали.

В настоящей работе использован аналогичный метод получения диагностического сигнала. Однако при работе подшипников в ГТД частотная структура сигнала настолько сложна, что осциллограммы практически не поддаются расшифровке. В связи с этим сигналы с тензодатчиков подавались через тензоусилитель ТУП-4 на анализатор спектра частот С 4-12, и спектр частот записывался самописцем Н-320 на диаграммную бумагу.