

Анизотропия жесткости ротора

Поперечная трещина в роторе

- *Причины:* Различные жесткостные свойства вала в разных направлениях
- *Диагностические признаки:* **вибрация на удвоенной частоте вращения ротора;** *при трещине* наблюдается плавный рост вибрации с течением времени, зависимость вибрации от нагрузки и температуры, возможно появление высших гармоник частоты вращения ротора. Появляется резонанс на критических скоростях второго рода

Резонансные явления

- *Причины:* Совпадение собственных частот системы с частотой возмущающих сил
- *Диагностические признаки:* **собственные частоты не зависят от частот вращения ротора**, собственная частота системы на АФЧХ проявляется в виде резонанса, который **обязательно** сопровождается поворотом фазы на 180 градусов

Ослабления жесткости. 1 случай

- *Причины:* уменьшение структурной жесткости конструкции
- *Диагностические признаки:* повышенная вибрация на оборотной частоте. Место снижения жесткости **определяется снятием контурной характеристики.** В месте ослабления появляется скачок амплитуды вибрации и значительные изменения фазы **оборотной составляющей вибрации**

Ослабления жесткости. 2 случай

- *Причины:* люфты в неподвижных частях машины, приводящие к нелинейности жесткости опор в системе, нарушение целостности элементов конструкции (трещины)
- *Диагностические признаки:* **увеличение вибрации на частотах $\frac{1}{2}$ - 1-3 и более высоких гармониках от оборотной частоты, возможно появление шумовой подложки на спектре, нестабильные амплитуды вибрации, ассиметричная, нестабильная форма сигнала, наличие шумовой составляющей в сигнале ускорения, большая разница уровней вибрации в разных направлениях, возможно появление супергармоник (1,5; 2,5 и т.п.) оборотной частоты**

Ослабления жесткости. 3 случай

- *Причины:* ослабление жесткости в подвижных частях машины, динамические силы, действующие в системе, становятся нелинейными
- *Диагностические признаки:* **увеличение вибрации на большом числе гармоник (в том числе, возможно, на половинной) от оборотной частоты ротора. Следует обратить внимание на фазу гармоник, она может быть нестабильной во времени и, особенно, от пуска к пуску. возможно появление супергармоник (1,5; 2,5 и т.п.) оборотной частоты, также возможно появление в спектре шумовой подложки**

Неподвижные муфты

дефекты спаровки

- *Причины:* радиальное и торцевое биение муфт из-за дефектов изготовления; дефекты посадки муфт на вал, дефекты центровки по полумуфтам
- *Диагностические признаки:* повышенная **вибрация на оборотной частоте**, фаза вибрации соседних с муфтой подшипников указывает тип дефектов посадки полумуфт – синфазная вибрация – «излом оси», противофазная вибрация – «коленчатость»; **возможно появление в спектре второй гармоники от оборотной частоты**. Дефект муфт - коленчатость балансировкой не устраняются, возможна зависимость вибрации от крутящего момента.

Подвижные муфты

- *Причины:* дефекты изготовления и сборки, износ, заедание подвижных элементов муфт является источником вибрации
- *Диагностические признаки:* **вибрация на оборотной и второй гармонике от оборотной частоты зависит от крутящего момента, возможно появление высокочастотной вибрации, кратной числу элементов, передающих крутящий момент, в подвижной муфте**

Дефекты сопряжения валов

- *Причины:* линейное или угловое смещение осей соединяемых валов
- *Диагностические признаки:* расцентровка проверяется при разобранной муфте. **перераспределение статических сил, действующих на подшипники агрегата**, вызывает повышенный износ перегруженных подшипников, и низкочастотную вибрацию разгруженных подшипников скольжения, в зависимости от типов соединительных муфт **возникает характерная для дефектов муфт вибрация**, по фазовым соотношениям вибрации оборотной частоты на соседних с муфтой подшипниках можно судить о типе расцентровки, на форме сигнала ускорения можно наблюдать интенсивную вибрацию с удвоенной оборотной частотой, **в спектре могут присутствовать небольшое число гармоник (до 4-х) оборотной частоты, с доминированием 2-й гармоники от оборотной частоты.** Возможно возникновение резонанса из-за перераспределения жесткостей в системе

Дефекты подшипников скольжения. Износ

- *Причины:* предельный износ в процессе работы
- *Диагностические признаки:*
**появление в спектре сигнала
большого числа гармоник, в т.ч.
Половинной от оборотной
частоты, появление фоновой
шумовой составляющей
вибрации агрегата**

Дефекты подшипников скольжения. Срыв клина

- *Причины:* перераспределение статических нагрузок на подшипниках, дефекты смазки, естественный износ
- *Диагностические признаки:* **появление в спектре сигнала низкочастотной составляющей вибрации (0,40-0,48 от оборотной), нестабильная амплитуда вибрации на частоте срыва масляного клина**

Гидродинамические и аэродинамические силы.

Лопастная частота

- *Причины:* возмущения потока из-за несовершенства лопастей и направляющего аппарата, неравномерных зазоров между ними и корпусом агрегата
- *Диагностические признаки:*
повышенная вибрация на лопастной частоте, появление амплитудной модуляции частотой вращения ротора, появление гармоник лопастной частоты.

Гидродинамические и аэродинамические силы.

Турбулентность

- *Причины:* неравномерность скорости потока и давления
- *Диагностические признаки:*
повышенная низкочастотная случайная вибрация на частотах до 30 Гц, при возникновении помпажа высокочастотная случайная широкополосная вибрация

Гидродинамические и аэродинамические силы.

Кавитация

- *Причины:* понижение давления в отдельных областях потока из-за вихреобразования, образование газовых пузырьков и дальнейшие их схлопывание, сопровождаемое гидравлическим ударом.
- *Диагностические признаки:*
**ярковыраженная повышенная
высокочастотная случайная вибрация**

Зубчатые передачи. Износ зуба

- *Причины:* изменение геометрии рабочих поверхностей зубьев под действием абразивного износа
- *Диагностические признаки:* **появление собственной частоты шестерни, на которой присутствует износ, модулированной частотой вращения шестерни. Также обнаруживается рост высших гармоник частоты зубозацепления, модулированных частотой вращения изношенной шестерни**

Зубчатые передачи. Несоосность зубчатого зацепления

- *Причины:* непараллельность осей вращения шестерен
- *Диагностические признаки:* **рост четных гармоник частоты зубозацепления, появление модуляции оборотной частотой валов, появление гармоник от оборотной частоты валов**

Зубчатые передачи. Скол, трещина зуба

- *Причины:* появление ударных импульсов в момент входа в зацепление поврежденного зуба
- *Диагностические признаки:* **появление собственной частоты шестерни, на которой присутствует поврежденный зуб, модулированной частотой вращения шестерни. на сигнале наблюдаются большие ударные импульсы**

Асинхронные двигатели.

Проблемы статора

- *Причины:* неравномерный воздушный зазор между ротором и статором, КЗ или обрыв обмоток статора, коробление статора из-за дефектов крепления
- *Диагностические признаки:* **появление удвоенной (100Гц) частоты электрической сети**, следует отличать от второй гармоники частоты вращения ротора

Асинхронные двигатели.

Проблемы ротора 1

- *Причины:* непостоянный воздушный зазор между ротором и статором
- *Диагностические признаки:* **появление вибрации на оборотной частоте, появление удвоенной (100Гц) частоты электрической сети (ЧЭС), модулированной частотой прохода полюса (ЧПП), следует отличать от второй гармоники частоты вращения ротора.**

$$\begin{aligned}\text{ЧПП} &= [\text{частота скольжения (ЧС)}] * [\text{число полюсов (P)}], \\ \text{ЧС} &= 2\text{ЧЭС}/P - [\text{частота вращения ротора}],\end{aligned}$$

Асинхронные двигатели.

Проблемы ротора 2

- *Причины:* обрыв стержней ротора, КЗ обмоток ротора
- *Диагностические признаки:*
появление пазовой частоты и ее гармоник, модуляция обратной частоты и ее гармоник полюсной частотой

Ременные передачи. ремень

- *Причины:* изношенный, ослабленный ремень, проскальзывание
- *Диагностические признаки:*
появление оборотной ремня и ее гармоник

$$[\text{оборотная ремня}] = [\text{оборотная шкива}] * [\text{длина шкива}] / [\text{длина ремня}]$$

Ременные передачи.

Несоосность. Резонанс

- *Причины:* несоосность шкивов, проблемы натяжения ремня
- *Диагностические признаки:* **появление оборотной шкива в осевом направлении при несоосности, совпадение собственной частоты ремня с оборотной шкива при резонансе ремня**