

Оформление виброиссл_ТИ

1. Содержание отчета о вибрационных исследованиях

Содержание отчета:

1. Данные всех измерений в полном объеме, представленные в виде формуляров, таблиц, графиков;
2. Анализ полученных данных измерений;
3. Выявленные зависимости вибраций опор от режимных параметров в графическом и табличном виде;
4. Индивидуальные и специфические особенности вибрационного состояния турбоагрегата (резонансы опор, фундаментов, спектральный состав вибрации и т.д.);
5. Графики АФЧХ всех подшипников (для опор с повышенным уровнем вибрации – АФЧХ по всем трем направлениям вертикальном, осевом, поперечном);
6. Анализ базовых и полученных при виброисследовании виброхарактеристик турбоагрегата и указание причин, которые могут вызвать повышенный уровень вибрации;
7. Оценку характера распределения дисбаланса валопровода;
8. Выводы о вибросостоянии турбоагрегата;
9. Предложения в виде конкретных мероприятий по виброналадке турбоагрегата (при необходимости).

2. Общая характеристика форм представления результатов

Примеры представления результатов вибрационных исследований и балансировки агрегатов представлены в приложении № 2.

Программа «WinПОС-Expert» позволяет произвести анализ нестационарных, динамических процессов, в том числе и вибрационных. Алгоритмы виброанализа позволяют построить зависимость выбранных характеристик этих сигналов от времени или исследовать характеристики сигнала в привязке к сигналам датчика оборотов (тахосигнал). Эти же характеристики могут быть оформлены в виде вибропаспорта изделия, т.е. в виде файлов или таблиц специального вида. Алгоритм предназначен для пакетного расчета вибрационных характеристик и формирования отчета-паспорта в виде, диктуемом отраслевыми нормативными документами.

Перечень рассчитываемых характеристик и их обозначений приведен в таблице:

| Название характеристики | Обозначение |
|-------------------------|-------------|
| Тахо | n / f |
| СКЗ гармоники | $e(f)$ |
| Амплитуда гармоники | $a(f)$ |
| Размах гармоники | $r(f)$ |
| Фаза гармоники | $F(f)$ |
| СКЗ от частоты | $es(f)$ |
| Амплитуда от частоты | $as(f)$ |
| Размах от частоты | $rs(f)$ |
| СКЗ | e |
| Амплитуда | a |
| Размах | r |
| МО | m |
| НЧВ | h / fh |
| СКЗ в полосе | f |
| Спектральный анализ | $F / K(f)$ |

Оформление виброиссл_ТИ

Данные измерений и расчетов вибрационных параметров представляются в виде формуляров, таблиц, графиков и рисунков. Состав вибрационных параметров, содержащихся в формулярах, таблицах и отображаемых на графиках, может быть любым, по усмотрению заказчика. Данные из формуляров используются программой «Extendet PVT» для балансировки ТА и анализа векторных изменений вибрации.

3. Данные измерений

Результаты измерений вибрационных параметров опор турбоагрегата на различных режимах его работы могут представлены:

1. В виде формуляров (Таблица 1, Таблица 2). Состав вибрационных параметров в формулярах может меняться по усмотрению заказчика.
2. Из файлов отчетов экспресс-измерений, сформированных во время проведения вибрационных исследований, в виде таблиц (Таблица 3, Таблица 4) или рисунков (Рис.1), отображающих окна настройки аппаратуры.
3. В виде трендов, т.е. графиков изменений во времени вибрационных параметров, при этом, значения параметров вибрации в характерных точках графиков трендов фиксируются курсорами или флажками. (Рис.2).
4. В виде трендов (с маркерами) (рис.3 и 4), при этом данные со значениями вибрационных параметров в точках, отмеченных маркерами, сводятся в таблицу (Таблица 5).

4. Скоростные (амплитудо-фазо-частотные) характеристики

Скоростные или амплитудо-фазо-частотные характеристики (АФЧХ) – это зависимости параметров вибрации от частоты вращения, которые могут быть представлены в виде:

1. Графиков, у которых значения параметров вибрации на критических частотах вращения и в других характерных точках, отмеченных флажками, отображаются в надписях на флажках, а в точках отмеченных курсорами - в легенде графиков (рис.5 и 6).
2. Графиков, отмеченных маркерами (рис.7-10), с отображением значений параметров вибрации в отдельных таблицах (Таблицы 6-8).
3. Формуляров с расчетными данными значений вибрационных параметров на фиксированных частотах вращения, определяемых автоматически программой «WinПОС -Expert» на основании заданного шага изменения частоты (Таблицы 9-10).

Формулярные значения параметров вибрации АФЧХ используются в дальнейшем программой виброналадки турбоагрегатов «Extendet PVT» для:

- сравнительного анализа АФЧХ, полученных в разное время;
- расчета векторных изменений вибрации на промежуточных и критических частотах вращения при диагностировании причин изменений вибрационного состояния ТА;
- расчета динамических коэффициентов влияния (ДКВ) балансировочных грузов при балансировках валопроводов ТА во всем диапазоне частот; вращения и формирования базы данных "ДКВ-АФЧХ";
- расчета балансировочных грузов с учетом данных "ДКВ-АФЧХ".

Оформление виброиссл_ТИ

5. Спектральные характеристики

В рамках спектрального анализа вычисляются оценки следующих характеристик:

- амплитудный спектр, спектр мощности, спектральная плотность мощности, спектральная плотность энергии, комплексный спектр;
- взаимный спектр;
- функция когерентности, когерентная выходная мощность, некогерентная выходная мощность, отношение сигнал/шум;
- передаточные функции.

Аппаратура и программное обеспечение обеспечивают получение спектральных характеристик в частотном диапазоне от 1 Гц до 35 КГц с разрешением до 0,01 Гц. Фактический частотный диапазон спектров вибрации определяется характеристиками применяемых вибропреобразователей (датчиков) и частотой дискретизации при записи вибросигналов.

Анализ спектральных характеристик является основой метода вибродиагностики и позволяет выявлять и распознавать колебания, возбуждаемые отдельными источниками возмущений, осуществлять диагностику резонансных явлений. Для анализа спектров вибрации в программе WinПОС-Expert применяются:

- Расчет мгновенного спектра сигнала в точке расположения курсора;
- Представление спектров в виде 3-х мерных графиков (каскадных спектров), с возможностью изменения их пространственного положения;
- Порядковый анализ спектров в трехмерном изображении.

Примеры спектральных характеристик, с результатами их анализа и диагностирования источников и причин повышенной вибрации, представлены на рис.11-24.

6. Анализ режимных изменений вибрации

Исходными данными для анализа являются результаты измерений вибрационных параметров при различных режимах работы турбоагрегата, представленные в виде графиков (рис.1-10) и таблиц (таблицы 1 – 10). Для анализа векторных изменений вибрации программой WinПОС-Expert дополнительно формируется формуляр (таблица 11) с данными значений оборотной составляющей вибрации (размах виброперемещения – S_1 или СКЗ виброскорости – V_{el}) и фазы φ , град. Расчет векторов влияния (режимных, нагрузочных, тепловых и др.) выполняется программой «Extendet PVT». Результаты расчета оформляются в виде векторных диаграмм с таблицами исходных данных и рассчитанными значениями векторов влияния (рис.25-33). Кроме того, конечные результаты расчета заносятся в формуляр «Режимные вектора влияния» (таблица 12).

В случаях выявления тепловой нестабильности вибрационного состояния агрегата, дополнительно проводится сравнительный анализ параметров вибрации опор на промежуточных и критических частотах вращения при различных тепловых состояниях ТА (при пусках из холодного состояния и при остановах из горячего состояния). При анализе сравниваются АФЧХ при различных тепловых состояниях (рис.34), рассчитываются векторные изменения оборотной составляющей вибрации на критических частотах вращения. При необходимости векторные изменения могут быть рассчитаны во всем диапазоне частот вращения, с представлением результатов расчета в графическом и табличном виде (Таблица 13).

Оформление виброиссл_ТИ

7. Анализ вибрационных характеристик

При анализе выявляются характер и специфические особенности вибрационного состояния агрегата: режимы с повышенным уровнем, резкими изменениями и всплесками вибрации; наличие низкочастотной и высокочастотной вибрации, резонансов отдельных элементов установки и др.

Для установления причин особенностей, в характерных точках проводится дополнительная обработка и анализ вибрационных сигналов (рис.18). Для этого применяются: спектральный и автокорреляционный анализ сигналов, выделение и спектральный анализ огибающей сигнала, спектральный анализ логарифмированного спектра сигнала, синхронное детектирование сигнала, фильтрация сигнала с помощью полосовых и гребенчатых фильтров, получение функций частной и множественной когерентности.

8. Диагностирование технического состояния агрегата

Конечной целью проведения вибрационных исследований агрегата является определение его технического состояния методами вибрационной диагностики. При диагностировании учитываются конструктивные характеристики агрегата и фундамента, особенности конструктивного исполнения отдельных узлов, элементов и агрегата в целом.

Высокая степень достоверности диагностирования достигается применением разработанного НТЦ «Тюменьинжиниринг» метода диагностирования резонансных колебаний и усталостных трещин. Метод основан на обработке вибрационных сигналов с применением взаимного спектрального и корреляционного анализа и получением функции когерентности, которая является количественной мерой взаимосвязанных колебательных процессов. Одновременному анализу подвергаются вибрационные сигналы с двух подшипников в одноименных направлениях или с одного подшипника в ортогональных направлениях. Используя высокие значения (0,8-1,0) частотных составляющих функции когерентности (рис.16) выделяются колебательные процессы, возбуждающиеся в данном узле, что значительно повышает достоверность определения источника и причин их возбуждения. Данный метод реализован в программе вибродиагностики «Expert-VD» (НТЦ «Тюменьинжиниринг») и позволяет с высокой степенью достоверности диагностировать:

- дисбалансы роторов;
- расцентровки;
- дефекты подшипников;
- дефекты муфт;
- ослабление жесткости соединения деталей;
- резонансные колебания.

9. Диагностика резонансных процессов

Важность диагностики резонансных процессов определяется тем, что они сопровождаются максимальным уровнем вибрации и динамических напряжений элементов установки и, в большинстве случаев, являются первопричиной неисправностей и поломок оборудования.

Резонансные колебания деталей приводят к усталостным поломкам, и любые из них могут привести к отказам или серьезным авариям. Резонансные колебания валов, дисков, лопаток, опор, корпусов и фундаментов, трубопроводной обвязки маслоснабжения подшипников, охлаждения дисков турбины и т. д. приводят к серьезным повреждениям и длительным простоям оборудования, т.к. все эти элементы являются важными звеньями обеспечения работоспособности и безопасности эксплуатации турбоагрегатов.

Своевременное выявление резонансных колебаний с точной локализацией места возбуждения позволяет предупредить усталостные повреждения деталей и узлов

Оформление виброиссл_ТИ

турбоагрегата, предотвратить цепь последующих разрушений и сохранить работоспособность агрегата.

Диагностика резонансных процессов осуществляется с помощью программы вибродиагностики «Expert-VD». Диагностика резонансов заключается в установлении объекта, который резонирует, определении частот резонансов и выявлении источников динамических возмущений, возбуждающих резонансные колебания. При этом следует особо выделять такие резонансные явления, как критические частоты вращения гибких роторов турбомашин; в этих случаях гибкий ротор является одновременно, как резонирующим объектом, так и источником динамических возмущений.

Наиболее полную информацию о резонансных процессах несут вибрационные сигналы, получаемые на режимах пуска/останова установки. Первичная диагностика резонансных процессов выполняется при рассмотрении диаграмм каскадных спектров вибрации (рис.14, 15, 22). В дальнейшем применяются порядковый анализ (рис.23, 24) спектров вибрации и метод диагностирования резонансных колебаний, с получением функций когерентности (рис.16).

10.Динамическая балансировка валопровода турбоагрегата

Необходимость и целесообразность проведения балансировки обосновывается результатами виброисследований, вибродиагностики и анализа виброхарактеристик турбоагрегата.

Целью балансировки является снижение дисбалансов роторов валопровода, остаточное значение которых **при любой частоте вращения** не должно вызывать превышения допустимых уровней вибрации опор и динамических прогибов валопровода.

Балансировка валопровода турбоагрегата проводится по утвержденной **Программе**, содержащей:

- Исходные данные по вибрации.
- Результаты анализа о характере распределения дисбаланса вдоль валопровода.
- Данные по ДКВ.
- Результаты предварительных расчетов корректирующих масс (по имеющимся ДКВ) для различных вариантов комбинаций использования плоскостей коррекции.
- Принятый вариант установки балансировочных грузов.
- Предполагаемое количество балансировочных пусков.
- Режимы работы турбоагрегата, при которых должны производиться замеры вибрации.
- Перечень и порядок измерения и контроля дополнительных параметров турбоагрегата.
- Количество необходимых пусков (выбегов) после каждой новой установки балансировочных грузов, для снятия АФЧХ роторов турбоагрегата.

Примечание: Для сокращения числа пусков (остановов) турбоагрегата, снятие АФЧХ должно осуществляться стационарной виброаппаратурой или многоканальной (не менее 8 каналов) переносной аппаратурой.

Балансировочные расчеты производятся с помощью программы виброналадки турбоагрегатов «Extendet PVT» и дублируются с помощью другой программы «Баланс». Для достижения целей балансировки – снижения вибрации до допустимого уровня во всем диапазоне частот вращения, включая критические, в расчет вводятся данные не только на рабочей частоте вращения, но и на критических частотах. Исходные данные для расчета формируются программой «WinПОС-Expert» в виде формуляров MS Excel: измерений

Оформление виброиссл_ТИ

вибрации на рабочей частоте вращения (таблица 14) и на промежуточных частотах вращения – формуляр АФЧХ (таблицы 9 – 10).

Программа «Extendet PVT» осуществляет:

- автоматический ввод исходной и конечной вибрации с формуляров Microsoft Excel;
- автоматический расчет ДКВ с последующим их выводом в формуляры MS Excel - «ДКВ» и загрузкой в программу для последующих расчетов;
- автоматический поиск оптимальных положений и масс балансировочных грузов при многоплоскостной балансировке;

Расчет балансировочных грузов программой «Extendet PVT» производится методом векторных диаграмм, который позволяет наглядно отображать процесс балансировки и оперативно осуществлять экспресс-анализ влияния изменений в исходных данных, а также изменений массы и углов установки балансировочных грузов, на конечные результаты расчета. Программа «Extendet PVT» практически не имеет ограничений по количеству балансировочных плоскостей, ДКВ и векторов вибрации, участвующих в расчете.

Измерения вибрации и расчет АФЧХ подшипников производится при всех без исключения пусках и остановах турбоагрегата, после каждой установки балансировочного груза или выполнении любых виброналадочных и ремонтных работ (перецентровке, устранении коленчатости, ремонте или ревизии соединительных муфт и т.д.). Вновь снятые АФЧХ анализируются и сравниваются с предыдущими; рассчитываются и строятся графики новых АФЧХ-ДКВ, - как векторная разность двух сравниваемых АФЧХ, результаты расчета заносятся в формуляры (таблицы 9 – 10).

Формулярные значения параметров вибрации АФЧХ используются в дальнейшем программой виброналадки турбоагрегатов «Extendet PVT» для:

- расчета балансировочных грузов с учетом данных "ДКВ-АФЧХ; сравнительного анализа АФЧХ, полученных в разное время;
- расчета векторных изменений вибрации на промежуточных и критических частотах вращения при диагностировании причин изменений вибрационного состояния ТА;
- расчета динамических коэффициентов влияния (ДКВ) балансировочных грузов при балансировках валопроводов ТА во всем диапазоне частот вращения и формирования базы данных "ДКВ-АФЧХ".

Примеры расчета вариантов установки балансировочных грузов программой «Extendet PVT» представлены на рис.36 – 38.

На рис.39 изображена схема турбоагрегата.

После окончания балансировки:

1. Проводится виброисследование ТА по типовой программе;
2. Снимаются АФЧХ всех роторов;
3. Составляется новая вибрационная характеристика турбоагрегата на основании данных, полученных при балансировке и виброисследованиях турбоагрегата, после балансировки;
4. Составляется отчет о проведении балансировки и виброналадки турбоагрегата, содержащий:
 - полные данные всех измерений вибрационных параметров при всех пусках турбоагрегата;
 - полную информацию о снятых и установленных балансировочных грузах: вес, плоскость, угол установки;
 - ДКВ, - известные до балансировки и полученные в период балансировки;
 - АФЧХ всех подшипников, снятые при балансировочных пусках;

Оформление виброиссл_ТИ

- техническую характеристику и подробную информацию о выполненных виброналадочных и ремонтных работах;
- программу балансировки, ее анализ: причины изменения или невыполнения (при наличии таких фактов);
- выводы и рекомендации по дальнейшему снижению вибрации.