

УДК 62-83:681.518.54:534.647

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ ВИБРОМОНИТОРИНГА И ВИБРОДИАГНОСТИКИ РОТОРНОГО ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

**В. И. ЛУКОВНИКОВ, В. В. ЛОГВИН,
Д. А. ХАБИБУЛЛИН, В. В. ШАПОРОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Современная тенденция обслуживания и ремонта технического оборудования все более и более ориентируется на обследование фактического состояния рабочих машин, которое достигается только при использовании современных методов и средств технической диагностики [1]–[3].

Наиболее достоверным является диагностирование с помощью комплексных систем диагностики [4]–[6], основной составляющей которых является вибродиагностирование [3], [4], [7].

Целью диагностики должно быть, с одной стороны, выявление оборудования, находящегося в предельном состоянии и требующего замены, а, с другой стороны, определение такого оборудования, которое исчерпало определенный заводом-изготовителем ресурс работы, но может эксплуатироваться далее, если норма амортизационных отчислений на их полное восстановление не превышает 3,7 % от балансовой стоимости [1]–[3].

Как показывает опыт, эпизодическое вибродиагностирование не дает уверенного прогноза в сроках выхода оборудования из строя. Необходимы вибромониторинг и автоматическая вибродиагностика, которые можно осуществлять только с помощью стационарной виброаппаратуры.

Цель работы

Целью настоящей статьи является обзор и критический сравнительный анализ современных стационарных систем вибромониторинга и вибродиагностики, наиболее подходящих для использования в комплексной диагностике технического состояния силового роторного энергооборудования.

Общие положения

Роторное оборудование существующих энергетических установок разделяют на 5 категорий [1], [2]:

Категория 1 – критические основные агрегаты большой единичной мощности, где внезапный отказ приводит к значительным потерям продукции, экологическим последствием и др. (обычно безрезервные агрегаты мощностью свыше 1 МВт).

Категория 2 – критические основные агрегаты средней единичной мощности, где внезапный отказ приводит к значительным потерям продукции, экологическим последствиям и др. (обычно безрезервные агрегаты мощностью свыше 0,2...1 МВт).

Категория 3 – критические или склонные к внезапным отказам основные агрегаты со сложным техническим оборудованием, где внеплановый отказ подвергнет опасности остановки, но не прервет производство (обычно безрезервные агрегаты мощностью свыше 200 кВт).

Категория 4 – критическое вспомогательное оборудование, требующее необременительного обслуживания. В эту категорию включают агрегаты мощностью менее 200 кВт.

Категория 5 – некритическое вспомогательное оборудование, технологические обвязки (трубопроводы, аппараты, арматура).

Оборудование первой категории и наиболее ответственные позиции оборудования второй и третьей категорий необходимо оснащать стационарной системой непрерывного контроля рабочих параметров.

Стационарные системы вибродиагностирования в отличие от переносных осуществляют непрерывный контроль (мониторинг) состояния оборудования, что позволяет:

- автоматизировать процесс сбора и обработки вибрационной информации и диагностирования технического состояния агрегатов;
- защитить оборудование от внезапных отказов;
- обнаружить неисправности на ранней стадии их развития;
- проводить вибромониторинг и вибродиагностику дефектов с точностью до узла;
- контролировать переменные режимы работы агрегатов (пуск, торможение, наброс нагрузки и т. д.), что повышает достоверность вибродиагностирования.

Это дает возможность:

- оптимизировать планирование ремонтов за счет первоочередного вывода в ремонт агрегатов с высоким общим уровнем вибрации и растущими спектральными составляющими вибрации;
- определять изменение технического состояния агрегата после ремонта;
- сократить внеплановые простои агрегатов, вызванные авариями в межремонтный период;
- использовать вибродиагностический комплекс в системе АСУ ТП для определения фактического состояния контролируемого оборудования.

Дополнительно к общим требованиям к стационарным системам вибромониторинга и вибродиагностирования предъявляется специфическое требование наличия программного обеспечения автоматической вибродиагностики не в виде оболочки, а наполненной базой знаний (сводкой правил диагноза).

Такое программное обеспечение должно с достоверностью не хуже 70 % обнаруживать следующие основные дефекты:

- несбалансированность ротора двигателя и насоса;
- изгиб валов;
- расцентровка с указанием плоскости смещения; разболтанность крепления узлов и всего агрегата;
- дефекты подшипников качения и скольжения;
- проблемы системы электродвигателя и насоса;
- проблемы муфты;
- проблемы гидродинамики;
- проблемы трубопроводов.

Результаты обзора современного состояния современных стационарных систем вибромониторинга и вибродиагностики

Ниже в виде таблицы представлены технико-экономические характеристики 20 типов стационарных систем вибромониторинга и вибродиагностики, выпускаемых 15 фирмами России (г. Москва, Санкт-Петербург, Пермь, Омск, Таганрог, Королев), Украины (г. Киев, Харьков), Беларуси (г. Минск), Германии (г. Дрезден).

**Технические характеристики стационарных систем виброконтроля,
мониторинга и вибродиагностики**

Изготовитель		ИТЦ «Оргтехдиагностика», г. Москва		Фирма «Schenk», г. Дрезден	ЗАО «СИЭЛ», г. Санкт-Петербург
Тип		СДКО	ЦАСТД	VIBROCAM 4000	ТАНДЕМ
Частотный диапазон, Гц		10–1000 (1–5000)	1–1000 (1–5000)	10–1000 (1–50000)	10–1000 (2–5000)
Диапазоны измерения	виброускорение, м/с ²	нет			
	виброскорость, мм/с	0,2–50	0,2–50	0,4–100	0,2–50
	виброперемещение, мкм	по заказу	нет		3–300
Погрешность измерения, %		*	*	*	3
Диапазон рабочих температур	прибор, °С	–40...+55	–40...+55	0...+65	–25...+50
	вибропреобразователь, °С	–50...+100	–50...+100	–50...+100	–60...+150
Электропитание		24±2,4	24±2,4; сеть 220 В, 50 Гц	48±4,8	24±6, сеть 220±44 В, 50 Гц
Тип преобразователя	вибрация	пьезо ABC 070	пьезо	пьезо VS 068/069	пьезо MB–43; MB–44
	смещение вала	нет			вихреток 166 Д
	температура	нет			
	другие параметры	нет	давление масла	нет	
Входы	количество, шт.	17	по заказу	24	16
	напряжение, В	0–10	0–10	0–25	0–5
Выходы	источник вытекания тока	30 В, 4/20 мА	4/20 мА	4/20 мА	4/20 мА
	реле «сухие контакты»	4 шт.; 250 В; 0,2 А	по заказу	есть	48 В; 0,1 А
Взрывозащита		Exibll A	1 Exibll CT6	Exibll A	1 Exibll CT6
Габариты, мм		280x206x52,5	*	438x305x266	600x200x150
Масса, кг		3,5	*	*	5,0
ПО	мониторинг и виброанализ	«Мониторинг 1х», «Виброанализ 2,5х»	есть	VIBROEXPERT CM–470	«Видас»
	вибродиагностика и прогнозирование	«Эксперт 1х», по архиву (доп. поставка)	«OES», в реальном времени	*	*
	язык интерфейса	русский	русский	нем., англ., фр.	русский
Сертификация		Россия № 2600 от 03 04 97	есть	Германия, система	Россия, датчики и усилители
Апробация		РБ, г. Несвиж, ГПС	Газпром	Германия, НПС Росток-Шведт	Россия, АО «Невский завод»

Продолжение

Изготовитель		НПФ «Датос Лтд», г. Киев	НПЦ «Динамика», г. Омск	ИИТ БГУИР, г. Минск	НИИ Приборостроения, г. Омск	
Тип		АС- ДИАГНОСТИ КА-КВД	КОМПАКС	ВиЗаМД-014	Бриг-В	Бриг-ТВ
Частотный диапазон, Гц		5–1000 (5–15000)	*	10–1000 (100–8000)	10–1000	10–1000
Диапазоны измерения	виброуско- рение, м/с ²	нет	1–100	0,1–300	нет	нет
	виброско- рость, мм/с	есть	1–100	0,1–100	0,5–30	0,5–30
	вибропе- ремеще- ние, мкм	есть, осевое	1–100	нет		
Погрешность измерения, %		*	3,5	*	2,5	2,5
Диапазон рабочих температур	прибор, °С	0...+45	*	+5...+40	0...+70	0...+70
	вибропре- образо- ватель, °С	–40...+100	*	–40...+100	–40...+70	–40...+70
Электропитание		*	220±22 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	*	*
Тип преобразователя	вибрация	пьезо ВК-310А	*	*	емкость со встр. усил. Э4-82	емкость со встр. усил. Э4-82
	смещение вала	вибрация АР35-100	*	нет	нет	нет
	темпера- тура	нет	–40...+100 °С, ТХК	нет	нет	–50...+100 °С
	другие па- раметры	нет	давление, уровень, расход	нет	нет	нет
Входы	количество, шт.	28	*	6	12	12 – вибрац. 8 – темпер.
	напряже- ние, В	*	*	3	*	*
Выходы	источник вытекания тока	4/20 мА	4/20 мА	4/20 мА	*	*
	реле «сухие контакты»	*	*	2 шт.	1 шт. 250 В, 100 ВА	1 шт. 250 В, 100 ВА
Взрывозащита		*	0 Exiall СТ6	Exib – датчики, IP54 – прибор	Exiall С	Exiall С
Габариты, мм		*	*	250x215x50,55x30x16	156x380x310	170x190x45 156x380x310
Масса, кг		*	*	3,8	8,0	8,0

Продолжение

ПО	мониторинг и виброанализ	есть			
	вибродиагностика и прогнозирование	есть	нет		
	язык интерфейса	русский			
Сертификация	*	RU.C.28.004.A № 8784 от 05.10.2000 г.	*	*	*
Апробация	НПС «Кременчуг»	*	ГПС «Минская»	*	*

Продолжение

Изготовитель	НПО Измерительной техники Московская обл., г. Королев		НПГГ «ВиКонТ», г. Москва	Центр технической диагностики	ЗАО НПФ «Виброприбор-сервис», г. Таганрог	ООО «Диамех 2000», г. Москва	
Тип	СВКА 1-03	СВКА 1-02.03	«Каскад» ВК-300	Вибромонитор-4ПМ	СВК	Алмаз	
Частотный диапазон, Гц	10–1000	10–1000	10–1000 (10–20000)	10–1000	10–1000	10–1000	
Диапазоны измерения	виброскорость, м/с ²	по заказу		нет			
	виброскорость, мм/с	1–15	1–15	0,1–30	0,1–50	0–20	*
	виброперемещение, мкм	нет		1–500	нет		
Погрешность измерения, %	*	*	5	*	10	*	
Диапазон рабочих температур	прибор, °С	*	*	–30...+80	0...+50	0...+70	*
	вибропреобразователь, °С	–50...+250	–50...+250 (+400)	–40...+120	–40...+100	–50...+150	*
Электропитание	*	*	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	*	
Тип преобразователя	вибрация	пьезо АНС 066-02	пьезо АНС 066-02	пьезо ВК-312	*	пьезо ВТД-106	*
	смещение вала	нет		вихретоков ВК-316	нет		
	температура	нет		нет			есть
	другие параметры	нет		нет			есть
Входы	количество, шт.	1	6	32	4	16	*
	напряжение, В	*	*	3	*	*	*

Продолжение

Выходы	источник вытекания тока	*	*	4/20 мА			*
	реле «сухие контакты»	*	есть	2 шт.	*	есть	есть
Взрывозащита		есть	есть	Exibll C	*	Exibll C	*
Габариты, мм		175x80x60	375x340x132	136x68x25,5	400x140x120	*	*
Масса, кг		0,8	10,0	2,0	6,0	*	*
ПО	мониторинг и виброанализ	по заказу	по заказу	«Вибромонитор» ВК-333	есть	есть	«Алмаз-монитор»
	вибродиагностика и прогнозирование	по заказу	по заказу	нет			
	язык интерфейса	русский					
Сертификация		есть	есть	ОС ВРЭ Воет НИИ № 728-В	*	*	*
Апробация		изделие «Буран» и др.	РАО «Газпром»	ПО «УСМИ», г. Уфа, ПО «ПМН», г. Самара	РАО «Норильский никель», Комбинат «Урал-электромедь»	*	*

Продолжение

Изготовитель		ЗАО НПП «Техника для Измерений и Контроля», г. Пермь			НПП «РОС», г. Пермь	АОЗ «Констар», г. Харьков
Тип		ТИКПКТ8-1	ТИКМ4	ТИКК500	РОС-Мониторинг	ПТККВТ
Частотный диапазон, Гц		3–5000	3–5000	3–5000	*	*
Диапазоны измерения	виброскорение, м/с ²	0–50	0–50	0–100	*	*
	виброскорость, мм/с	0–20	0–24	0–20	есть	*
	виброперемещение, мкм	0–200	0–240, осевой сдвиг 0,5–2,5 мм	0–500, осевой сдвиг 1,5±1 мм	*	*
Погрешность измерения, %		5	5	5	*	*
Диапазон рабочих температур	прибор, °С	+10...+40	+10...+40	+10...+40	*	*
	вибропреобразователь, °С	–40...+70	–40...+75	–40...+70	*	*
Электропитание		*	*	*	220±22 В, 48–62 Гц	220 В, 50 Гц

Продолжение

Тип преобразователя	вибрация	есть				
	смещение вала	нет	есть	есть	*	нет
	температура	ТС (Си, Pt) 0–200 °С	ТС (Си, Pt) 0–200 °С	ТС(Си,Pt) 50–1000°С	есть	есть
	другие параметры	нет	есть	есть	есть	Давление масла, утечки
Входы	количество, шт	8	24 – вибрации, 32 – температуры	64 – вибрации, 64 – температуры	12	32 – вибр., 24 – темпер., 12 – давл., 8 – утечки
	напряжение, В	*	*	*	*	*
Выходы	источник вытекания тока	4/20 мА	4/20 мА	4/20 мА	4/20 мА	*
	реле «сухие контакты»	есть 220 В; 0,2 А	есть 220 В; 0,2 А	есть 220 В; 2,5 А	*	есть
Взрывозащита		1 Exibll CT6	1 Exibll CT6	1 Exibll CT6	по доп. соглашению	*
Габариты, мм		468x160x300	483x235x370	483x133x276	185x490x485	*
Масса, кг		14,0	17,0	10,0	12	*
ПО	мониторинг и виброанализ	нет			Мониторинг	нет
	вибродиагностика и прогнозирование	нет			Сервис	нет
	язык интерфейса	русский	русский	нет	русский	русский
Сертификация		есть	есть	есть	*	*
Апробация		*	*	*	ПО использовано на НПС «Кременчуг»	НПС «Кременчуг»

* – нет сведений.

Обсуждение полученных результатов, выводы

Сравнительный анализ современных стационарных систем вибромониторинга и вибродиагностики по общим требованиям и требованию наличия автоматической вибродиагностики и технико-экономическим характеристикам позволил сделать выводы:

1. Полностью отвечают требованиям взрывозащиты, сертификации, апробации и наличия автоматической вибродиагностики стационарные системы ЦАСТД (ИТЦ «Оргтехдиагностика», г. Москва), РОС-Мониторинг (НЛП «РОС», г. Пермь), КОМПАКС (НПЦ «Динамика», г. Омск), АС-ДИАГНОСТИКА-КВТД (НПФ «Датос Лтд», г. Киев), VIBROCAM 4000 (Фирма «Schenk», г. Дрезден).

2. Не имеют программного обеспечения с диагностическими правилами для нефтяных насосных агрегатов, но остальным требованиям удовлетворяют системы ТАНДЕМ (ЗАО «СИЭЛ», г. Санкт-Петербург), СВКА 1-02.03 (НПО Измерительной

техники, Московская обл., г. Королев), «Каскад» ВК-300 (НЛП «ВиКонт», г. Москва), ВиЗаМД-014 (ИИТ БГУИР, г. Минск).

3. Системы ТИКК500 (ЗАО НЛП «Техника для Измерений и Контроля», г. Пермь), Бриг-ТВ (НИИ Приборостроения, г. Омск) и ПТККВТ (АОЗ «Констар», г. Харьков) производят комплексный мониторинг технического состояния агрегатов по вибрации, температуре, давлению масла и утечкам.

Из перечисленных стационарных систем вибродиагностики можно рекомендовать для использования системы КОМПАКС, РОС-Мониторинг и АС-ДИАГНОСТИКА-КВТД.

Система VIBROCAM 4000 не рекомендуется по тем причинам, что она не русифицирована и ориентирована на диагностику зарубежного насосного оборудования.

Система ЦАСТД развернута в Беларуси на ГПС г. Несвиж. Она ориентирована на газоперекачивающее оборудование.

Из рассмотренных стационарных систем вибромониторинга наиболее перспективными для использования являются ТАНДЕМ (собственное производство и отличная сертификация с апробацией), СВКА 1-02.03 (собственное производство и апробация на роторном оборудовании космической техники), «Каскад» ВК-300 (апробация на нефтетранспорте гг. Уфа и Самара).

Их, конечно, следует дополнить программным обеспечением автоматической диагностики, например, из нижеследующих: – «DREAM for Windows» Ассоциации ВАСТ (г. Санкт-Петербург):

- «ЭКСПЕРТ» фирмы «Инкотес» (г. Нижний Новгород).
- «Сервис» НПП «РОС» (г. Пермь).
- «Технология диагностики и мониторинга» ООО НПФ «ЭДМОН» (г. Екатеринбург).

Из перечисленных наиболее перспективна многоканальная (500 каналов!) система комплексного мониторинга ТИК К 500.

Литература

1. Алексеев, Б. А. Определение состояния (диагностика) крупных турбогенераторов / Б. А. Алексеев. – Москва : ЭНАС, 1997. – 140 с.
2. Алексеев, Б. А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов / Б. А. Алексеев. – Москва : ЭНАС, 1998. – 140 с.
3. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг технического состояния оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – Москва : Спектр инжиниринг, 1995. – 276 с.
4. Бордовский, М. А. Проблема диагностирования технического состояния силового электрооборудования / М. А. Бордовский, В. И. Луковников // Современные проблемы машиноведения : Материалы МНТК, посвящ. 105-й годовщине со дня рожд. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2000. – Т. 2. – С. 162–163.
5. Луковников, В. И. Концепция построения системы комплексной диагностики насосных агрегатов / В. И. Луковников, М. А. Бордовский // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – № 1. – С. 35–40.

6. Луковников, В. И. Комплексное диагностирование технического состояния силового роторного энергооборудования / В. И. Луковников // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – № 4. – С. 63–66.
7. Вибродиагностирование технического состояния роторного оборудования взрывоопасных химических производств и процессов / В. И. Луковников [и др.] // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – № 2. – С. 33–38.

Получено 01.03.2006 г.