

УДК 62-83:681.518.54:534.647

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

В. И. ЛУКОВНИКОВ,

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

М. А. БОРДОВСКИЙ

*Республиканское унитарное предприятие
Гомельтранснефть «Дружба»*

При построении системы комплексной диагностики технического состояния очень важным является определение комплекса параметров, по которым будет осуществляться диагностика [1-3]. Он не должен быть чрезмерно большим, чтобы не усложнять реализацию диагностической системы сверхразумных пределов, и, в то же время, число контролируемых параметров должно быть необходимым и достаточным для осуществления достоверной диагностики.

Инженерный центр концерна «Белнефтехим» (Беларусь, г. Минск) рекомендует для комплексного диагностирования синхронных генераторов и высоковольтных электрических двигателей насосов контролировать:

- механические параметры с помощью измерения вибраций электрических машин и виброакустических помех со стороны насоса и трубопровода;
- тепловые параметры за счет измерения температурного поля машин;
- электрические параметры с помощью измерения частичных разрядов на работающем агрегате и определения параметров изоляции после отключения машины.

Инженерный центр ГП «Белтрансгаз» (Беларусь, г. Минск) при определении предельного состояния синхронных электродвигателей привода ЭГПА-СТД-4000-2 рекомендует контролировать:

- механические параметры за счет измерения вибрации машины;
- тепловые параметры с помощью измерения температуры обмотки или конструктивных частей;
- электрические параметры, определяя уровень частичных разрядов;
- химические параметры за счет хроматографии аэрозолей.

Акционерное общество закрытого типа «Констар» (Украина, г. Харьков) предоставляет предназначенный для использования на магистральном (подпорном) насосном агрегате программно-технический комплекс контроля вибрации и температуры (ПТК КВТ), который осуществляет защиту по результатам контроля:

- механических параметров по виброскорости подшипниковых узлов;
- тепловых параметров по температуре обмотки статора, сердечника статора, воздуха на выходе электродвигателя, подшипниковых узлов, корпуса насоса;
- технологических параметров по давлению нефти на выходе насоса, утечкам нефти;
- давлению масла в подшипниковых узлах электродвигателя и насоса.

Акционерное общество закрытого типа «Экспресс Анализ Системз, Ltd» (Россия, г. Москва) сообщает о создании уникального интеллектуального датчика «Motor

Status», предназначенного для стационарного автономного (в течение 2-5 лет без перезарядки батареи в температурном режиме – 40+100 °С) контроля, измерения, анализа и регистрации следующих характеристик асинхронного электродвигателя:

- механические параметры за счет измерения вибрации;
- электрические параметры (дисбаланс амплитуд, частоты и гармонического состава напряжений) через контроль магнитного потока;
- тепловые параметры с помощью определения температуры корпуса;
- технические параметры за счет измерения частоты вращения, нагрузки, времени разгона, числа пусков, наработки.

Уникальность аппаратуры «Motor Status» заключается в том, что она является промежуточной между стационарной и переносной системами контроля. «Motor Status» в виде «наездника» или «прилипалы» закрепляется на корпусе электродвигателя (один анализатор на один электродвигатель) и в течение нескольких лет (!) не только собирает, но анализирует и регистрирует информацию, вычисляя 76 оперативных и 54 кумулятивных тренда.

В любое время персонал служб техобслуживания или капремонта электродвигателей может снять информацию с анализатора и загрузить ее в компьютер для диагностики состояния электродвигателя.

К сожалению, прибор Motor Status определяет параметры по информации в месте закрепления на машине и поэтому для одного мощного электропривода и насосного агрегата таких приборов все-таки потребуется несколько.

Самой универсальной на сегодняшний день является комплексная система непрерывного контроля HYDROSCAN (MCM Enterprise Ltd, 1994 г.) [2]. В ней используется сканирующее устройство, телеметрически «опрашивающее» датчики контроля температуры (7056 точек измерения во всех 504 пазах, частота опроса 1 кГц), радиочастотные датчики (дипольные антенны с ферритовыми сердечниками, расположенные по оси каждого полюса и настроенные на 10,7 МГц), два индуктивных датчика величины воздушного зазора (точность – 0,64 мм), датчики Холла (измеряются индукции вращающегося магнитного поля по 3 осям), акустические датчики – микрофоны (спектр шумов разбит на 256 поддиапазонов для анализа по быстрому преобразованию Фурье), вибродатчики ускорения с оптической телеметрической системой передачи данных.

Кроме указанного, система измеряет температуру воздуха в зазоре, наблюдает за подшипниками, щеточно-контактным аппаратом, КПД, кавитацией.

Сложность «сканирующей» системы с лихвой окупается экономией, которую она дает при эксплуатации (на одном генераторе 35 МВт – 750 тыс. дол., на другом 350 МВт – 2 млн дол.)

Итак, система HYDROSCAN контролирует телеметрически механические, тепловые, электрические, магнитные, радиотехнические, акустические и технологические параметры.

Резюмируя изложенное, можно утверждать, что набор параметров, контролируемых системой HYDROSCAN, для комплексной диагностики насосных агрегатов слишком велик, достаточно будет измерять механические, тепловые, электромагнитные и технологические параметры.

Это, в частности, подтверждается тем, что эксперты рабочей группы 11.02 СИГРЭ на основе обработки ответов на вопросник, разосланный специалистам-энергетикам, назвали минимально достаточным для комплексного диагностирования гидрогенераторов набор из первых трех определенных нами групп контролируемых параметров [2].

Современные методики и аппаратуру комплексного диагностирования технического состояния силовых роторных агрегатов можно разделить на две группы [1-3].

В первой группе сбор информации осуществляется через прямой контакт аппаратуры с диагностируемым агрегатом, осуществляемый с помощью вибродатчиков, датчиков смещения вращающихся валов, датчиков величины воздушного зазора, встроенных датчиков Холла, датчиков давления нефти и масла в подшипниках, штатных электрических измерительных приборов.

Во второй группе осуществляется бесконтактный контроль за акустическим, тепловым, магнитным, радиотехническим, электрическим и атмосферным полями, излучаемыми работающим агрегатом, с помощью акустических датчиков-микрофонов, тепловизоров, радиочастотных датчиков, датчиков Холла, измерителей частичных разрядов, хромотографов.

Наиболее полно указанный ассортимент датчиков и аппаратуры использован в системе комплексного контроля HYDROSAN. Для диагностики насосных агрегатов он, конечно, избыточен. Достаточным будет, на наш взгляд, использование хорошо зарекомендовавшей себя виброанализирующей аппаратуры, виброакустических датчиков-микрофонов, термопар и измерителей частичных разрядов. Причем, обязательным должно быть привлечение к диагностике штатной измерительной аппаратуры насосного агрегата, что позволит расширить число диагностируемых неисправностей и повысить достоверность диагноза с использованием минимума специальных измерительно-анализирующих средств.

В таблице 1, обобщенно представлены рекомендуемые для комплексной диагностики насосного агрегата контролируемые параметры, аппаратура для их измерения и анализа, а также диагностируемые при этом неисправности.

Видна корреляция между различными группами контролируемых параметров и определяемых с их помощью различных неисправностей. Это говорит о том, что не удастся осуществить четкого разделения системы комплексного диагностирования на подсистемы в соответствии с группами параметров и средствами их измерения. Однако условно выделить в две большие подсистемы диагностики по механическим и немеханическим параметрам можно.

Такие подсистемы, названные нами подсистемами электромагнитной диагностики и вибродиагностики, представлены в детализированном виде в работе [4].

Подсистема электромагнитной диагностики, представленная в виде обобщенной диагностической матрицы, пригодна для диагностирования асинхронных и синхронных приводных электродвигателей насосных агрегатов, в том числе при электромашином или тиристорном возбуждении синхронных электродвигателей.

Матрица включает в себя не только контроль электромагнитных, но и тепловых, и частично механических параметров, определяющих причины наступления предельного технического состояния электродвигателей из-за одинаковых неисправностей.

Методика определения предельного состояния основывается на сравнении величин контролируемых параметров с их предельными значениями, с так называемыми критериями предельного состояния (КПС).

При наличии, хотя бы одного, КПС состояние электродвигателя считается предельным, дальнейшая работа его с точки зрения физического износа, становится невозможной, электродвигатель должен быть выведен из эксплуатации и передан в капитальный ремонт или на списание.

Таблица 1

**Измеряемые параметры, аппаратура и контролируемые неисправности
при комплексной диагностике насосных агрегатов**

Измеряемые параметры		Измерительная аппаратура	Диагностируемые неисправности
1		2	3
Механические	<p>1. Общий уровень вертикально-горизонтальной вибрации корпусов, подшипниковых узлов, муфты, валов, лобовых частей обмоток</p> <p>2. Субгармонические и гармонические составляющие вертикально-горизонтальной вибрации узлов агрегата</p> <p>3. Осевое смещение валов</p> <p>4. Крутильные колебания муфты</p> <p>5. Общий уровень и спектральный состав виброакустических помех</p> <p>6. Частота вращения (фаза)</p>	<p>1. Виброизмерительная анализирующе-диагностирующая переносная или стационарная аппаратура</p> <p>2. Виброакустическая измерительно-анализирующая аппаратура</p> <p>3. Тахометры или отметчики фазы вращающихся частей</p> <p>4. Внешний осмотр</p>	<p>1. Дисбаланс</p> <p>2. Расцентровка</p> <p>3. Разболтанность</p> <p>4. Проблемы муфты</p> <p>5. Неисправность подшипниковых узлов</p> <p>6. Недостаточная (чрезмерная) смазка</p> <p>7. Эксцентриситет воздушного зазора</p> <p>8. Обрыв стержней ротора</p> <p>9. Ослабление крепления обмоток в пазах и лобовых частях</p> <p>10. Распушение железа магнитопровода</p> <p>11. Задевания вращающихся частей</p> <p>12. Фундаментные и корпусные дефекты</p> <p>13. Электрическая и магнитная несимметрия электродвигателя</p> <p>14. Несимметрия сети электропитания</p> <p>15. Низкое качество потребляемой электроэнергии</p> <p>16. Нарушения гидродинамики потока нефти</p> <p>17. Лопаточные или зубчатые дефекты насоса</p> <p>18. Чрезмерная нагрузка агрегата</p>
	<p>1. Температура окружающей среды агрегата</p> <p>2. Температура или перегрев корпусов электродвигателя и насоса, подшипников и подшипниковых опор</p> <p>3. Температура или перегрев обмоток статора, якоря и возбuditеля</p> <p>4. Температура или перегрев тиристорного возбuditеля</p> <p>5. Перепад температур охлаждающего воздуха на входе и выходе из электродвигателя</p> <p>6. Уровень и состав аэрозолей в охлаждающем воздухе</p>	<p>1. Термометры на основе термопар</p> <p>2. Пирометры</p> <p>3. Тепловизоры</p> <p>4. Хромотографы</p> <p>5. Внешний осмотр</p>	<p>1. Электрическая и магнитная несимметрия электродвигателя</p> <p>2. Несимметрия сети электропитания</p> <p>3. Низкое качество потребляемой электроэнергии</p> <p>4. Короткие межвитковые замыкания в обмотках и замыкание обмоток на корпус</p> <p>5. «Пожар» в стали – повреждения межлистовой изоляции</p> <p>6. Проблемы смазки подшипников</p> <p>7. Задевания (трение) вращающихся частей</p> <p>8. Неисправность щеточно-коллекторного узла возбuditеля</p> <p>9. Загрязнение или перекрытие каналов для охлаждающего воздуха</p>
Тепловые			

Продолжение табл. 1

	1	2	3
Тепловые	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нагар и искрение щеток 2. Температура смазки в подшипниках 3. Температура нефти на входе и выходе из насоса 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Запах и задымленность охлаждающего воздуха на выходе электродвигателя 2. Насосные дефекты 3. Перегрузка агрегата
Электромагнитные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Величина и баланс фазных напряжений (токов) электросети 2. Частота сети электропитания 3. Гармонический состав потребляемых токов (напряжений) 4. Уровень и спектр магнитного потока электродвигателя 5. Магнитный поток рассеяния 6. Намагниченность вала двигателя 7. Сопротивление обмоток постоянному току 8. Уровень токов в обмотках 9. Сопротивление изоляции обмоток 10. Коэффициент абсорбции 11. Уровень частичных разрядов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Штатные электрические приборы: вольтметры, амперметры, электросчетчики, частотомеры, мегомметры 2. Веберметры, датчики магнитного потока 3. Аппаратура измерения частичных разрядов 4. Анализаторы спектра электрических и магнитных сигналов 5. Внешний осмотр 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкое качество потребляемой электроэнергии 2. Электрическая и магнитная несимметрия электродвигателя 3. Несимметрия сети электропитания 4. Короткие межвитковые замыкания в обмотках и обмотках на корпус 5. Обрыв или трещины в стержнях ротора 6. Нарушения в магнитопроводе 7. Эксцентриситет воздушного зазора 8. Выход магнитного потока за пределы электродвигателя 9. Нарушение электрической изоляции между валом, подшипниками, подшипниковыми узлами и фундаментом 10. Наличие блуждающих токов в конструктивных узлах агрегата
Технологические	<ol style="list-style-type: none"> 1. Частота вращения агрегата 2. Электропотребление электродвигателя и тиристорного возбуждателя 3. Производительность насоса нефти 4. Напряжения и токи в обмотках электродвигателях и узлах тиристорного возбуждателя 5. Давление нефти на выходе насоса 6. Давление и расход смазки в подшипниках 7. Число пусков и время разгона агрегата 8. Нарботка 9. Нагрузка на валу электродвигателя 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Штатные электрические приборы: вольтметры, амперметры, электросчетчики 2. Тахометр 3. Таймер 4. Осциллограф 5. Расходомер 6. Внешний осмотр 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заклинивание вращающихся частей агрегата 2. Нет асинхронного пуска электродвигателя 3. Электродвигатель выпадает из синхронизма 4. Качения ротора с большой амплитудой 5. Повышенное электропотребление 6. Неноминальный режим работы электродвигателя 7. Низкая производительность насоса 8. Закупорка каналов или загустение смазки 9. Течь смазки 10. Неисправности в насосе нефти

Определение КПС осуществляется только для невосстанавливаемых объектов: тиристорный (электромашинный) возбудитель, подшипниковые узлы, валы, стержни ротора, обмотки.

Подсистема вибродиагностики представлена в виде перечня неисправностей (причин), вызывающих повышенную вибрацию, с указанием характерных частот, на которых проявляется та или иная неисправность.

В соответствии с требованиями ГОСТ 20815-75(СТ СЭВ 1097-78) и результатами наших исследований в качестве общего диагностирующего параметра выбрано среднеквадратичное значение (СКЗ) виброскорости в диапазоне частот 1–2000 Гц. С целью селектирования и идентификации дефектов используется спектральный анализ вибрационных характеристик с последующим ранжированием по величине СКЗ 16 частот, равных 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0 от оборотной.

Определение предельного состояния агрегата основано на сравнении СКЗ общей виброскорости и СКЗ виброскорости на перечисленных частотах с КПС, равным 7,2 мм/с согласно рекомендаций ГОСТ.

Литература

1. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных турбоагрегатов. – М.: ЭНАС, 1997. – 140 с.
2. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов. – М.: ЭНАС, 1998. – 140 с.
3. Цветков В.А. Диагностика мощных генераторов. – М.: ЭНАС, 1995. – 223 с.
4. Разработка методики и аппаратурной реализации для вибродиагностического прогнозирования технического состояния электроприводов с насосными агрегатами ГПТН «Дружба» //Научно-технический отчет, № ГР 1999836. – Гомель: ГО БИА.– 2000. – 61 с.

Получено 06.02.2001 г.