

# Состояние и перспективы внедрения систем мониторинга и технического диагностирования электрических машин и аппаратов

**В.И. Завидей**

д.т.н., главный научный сотрудник<sup>1</sup>  
zavideyvi@mail.ru

**М.А. Свиридов**

начальник группы<sup>1</sup>  
sviridovma@gmail.com

**В.Н. Руцинский**

начальник группы<sup>2</sup>  
rushsn@yandex.ru

<sup>1</sup>ВНИИФ-ВЭИ, Москва, Россия

<sup>2</sup>ВНИИФ, Снежинск, Россия

**Представлен анализ современных методов и средств мониторинга и диагностики технического состояния асинхронных и синхронных электродвигателей и рекомендации по выбору оптимальных систем контроля для применения на действующем и отключенном оборудовании. Показано что, основываясь на измерениях комплекса основных параметров, полученных одной системой контроля, обслуживание и ремонт электрических машин может, производятся по их техническому состоянию без плановых отключений, вскрытия и профилактических испытаний.**

## Материалы и методы

Наряду с классическими параметрами оценки технического состояния электрической машины использованы фазовый и частотный параметры.

## Ключевые слова

электродвигатели, системы контроля, мониторинг, диагностика

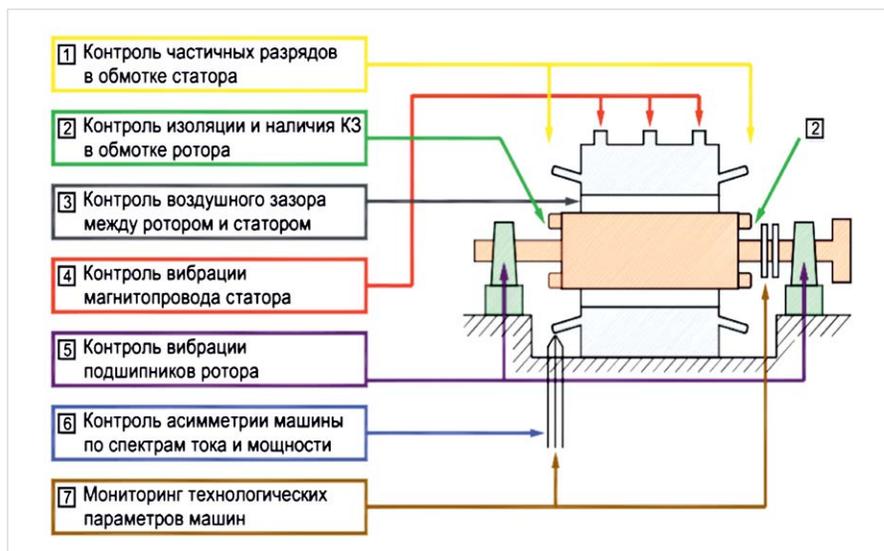


Рис. 1 — Схема системы мониторинга REMM [2]  
Fig. 1 — Scheme of monitoring system of the REMM [2]

Электрические двигатели широко применяются во многих отраслях народного хозяйства. Синхронным и асинхронным электроприводом потребляется более половины электроэнергии, производимой в мире. Мощные электродвигатели распространены в нефтедобыче при транспортировке нефти и газа и его переработке. От их надежности функционирования зависит уровень издержек при массовом выпуске продукции, а также безопасность, надежность и устойчивость работы атомных реакторов при сбоях в функционировании подачи теплоносителя. В этой связи решение проблемы мониторинга и технической диагностики электродвигателей не потеряла своей актуальности в настоящее время.

Целью работы являлся анализ и выбор реализации подходов к построению системы мониторинга и оценки технического состояния мощных электрических машин. В настоящее время поддержание эксплуатационной надежности электрических машин осуществляется методами диагностики в отключенном состоянии. Тестовое диагностирование — основной вид выявления дефектов электрооборудования в отечественной энергетике. Оно определило сложившуюся структуру технического обслуживания и ремонта по регламенту. Несмотря на то что технические решения по созданию систем мониторинга электрических машин существуют, на сегодня эффективность их практического применения доказана частично [1, 2].

В создании систем мониторинга, сформировалось два основных направления. Одно из них связано с прямым получением как можно более подробной информации о состоянии параметров важных подсистем электрической машины (рис. 1).

В данной системе мониторинга предлагается проводить контроль тока статорной

обмотки и его последующий спектральный анализ. Проводится контроль уровня вибрации и температуры корпуса и подшипников, кроме того, внутренними датчиками, установленными в статор, проводятся контроль асимметрии положения ротора. Контроль состояния изоляции производится по частичным разрядам, а температурный режим активной стали и обмоток с помощью термодатчиков, установленных в статорной обмотке. В последнее время на мощных турбогенераторах систему мониторинга дополняют температурными датчиками охлаждения установленных на сливных коллекторах охлаждения обмоток статора. Есть примеры установки датчиков вибраций на выводных и соединительных шинах статорной обмотки.

Достаточно очевидно, что такой подход требует установки многочисленных датчиков. В системе REMM предполагается установка более чем тридцати чувствительных элементов в конструкцию двигателя, поэтому подобные технические решения можно рассматривать только на стадии проектирования двигателя. Из-за сложности систем подобного типа, их применение целесообразно на мощных турбогенераторах и гидрогенераторах. Включение в систему мониторинга контроля частичных разрядов, представляется нерациональным, из-за слабой помехоустойчивости этих подсистем. На рис. 2, в качестве иллюстрации, показана панорама разрядных явлений, зафиксированная при высоковольтных испытаниях нового асинхронного двигателя ГЦН с рабочим напряжением 6,3 кВ.

Фиксируемый уровень частичных разрядов в изоляции статорной обмотки достигал практически предельного уровня порядка 8пС, при номинальном линейном напряжении 4,5 кВ. Подобный результат был обусловлен проникновением сетевой помехи в канал контроля частичных разрядов. По этой

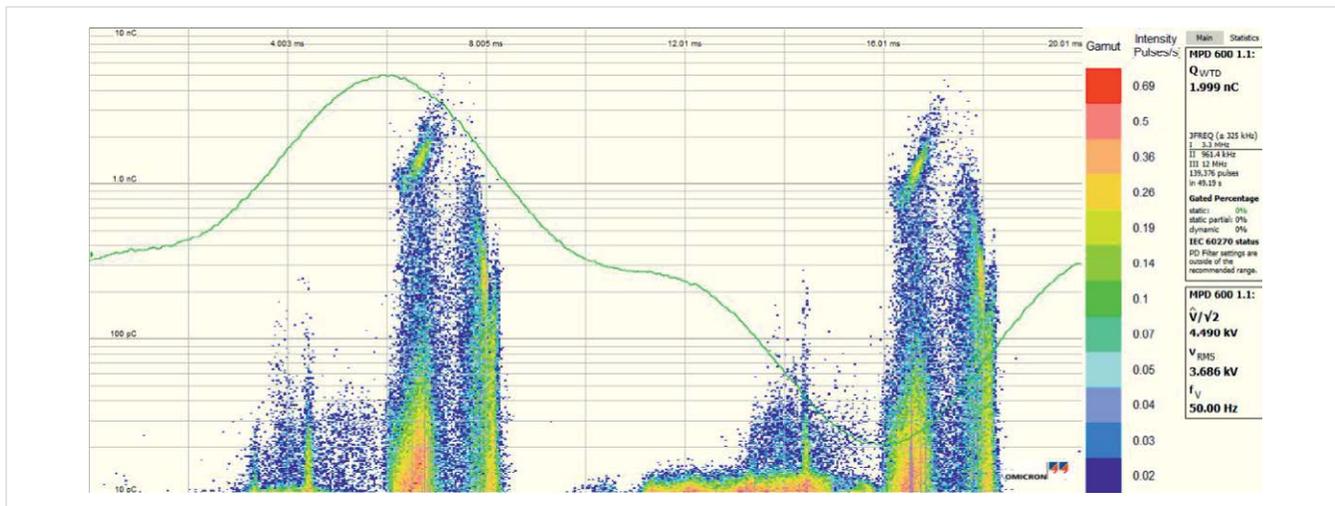


Рис.2 — Панорама разрядных явлений, зафиксированная системой контроля частичных разрядов MPD-600 при высоковольтных испытаниях нового асинхронного электродвигателя типа А-310 с заторможенным ротором при номинальном напряжении от сети в пределах периода рабочего напряжения  
 Fig. 2 — Panorama bit phenomena recorded MPD partial discharge monitoring system-600 when high-voltage tests the new asynchronous motor type a-310 with slow rotor at rated voltage from the network within a period operating voltage

причине введение в систему мониторинга канала контроля уровня частичных разрядов, по нашему убеждению, может рассматриваться исключительно в качестве дополнительного информационного канала. Системы мониторинга подобного типа, в единичном и усеченном исполнении, нашли единичное применение на мощных турбогенераторах и гидрогенераторах.

Другое направление работ в области создания систем мониторинга основано на предположении, что информация о состоянии всех подсистем электрической машины заложена в токе его статорной обмотки. Метод нашел свое отражение в ГОСТ ISO 20958-2015 [3] и известен под названием «сигнатурный анализ электрических сигналов потребляемого тока, напряжения питания и мощности электродвигателя». Статорная обмотка работающего двигателя является неким универсальным «датчиком» состояния цепей питания машины и других ее подсистем, в том числе и механических узлов. Информационными сигналами служат питающее напряжение и потребляемые токи, которые модулируются самим двигателем в работе под нагрузкой и формируют выходной сигнал в виде спектра гармоник тока статора. Нарушения в работе двигателя могут быть обнаружены по составляющим гармоникам потребляемого тока. Речь идет не только о нарушениях в электрической части обмоток, но и о механических неисправностях, которые вызывают характерные спектральные изменения в потребляемом токе.

Методу спектрального анализа тока, потребляемого электродвигателем, посвящены в основном работы зарубежных авторов. Согласно доступным данным, сигнатурный анализ позволяет выявлять в работающем электродвигателе ряд серьезных дефектов и неисправностей.

Для выявления развивающихся дефектов роторных машин заводом «ВИРАТОР» освоен выпуск системы мониторинга СДРМ [4, 5]. В системе использована методика, в основу которой положена математическая модель, описывающая идеальную роторную машину и систему, в которой она работает. Как и в реальной роторной машине, в математической

модели входными величинами являются напряжения, а выходными — токи. В процессе моделирования сравнивается измеренный и рассчитанный спектры тока. По их разнице делается вывод о степени дефекта. Чем больше различие, тем более серьезный дефект. Более подробная информация о дефектах может быть получена при анализе дополнительных параметров. Механические дефекты будут выявлены по изменению параметров математической модели. Таким образом, данная технология чувствительна не только к электрическим дефектам, но также и к механическим. На сегодня в отечественной практике работы, посвященные вопросам контроля состояния, мониторинга и диагностики двигателей методом спектрального анализа потребляемого тока, практически отсутствуют.

По заявлению производителя, система СДРМ предназначена для:

- анализа электрических и механических параметров роторной машины;
- обнаружения и отслеживания развития различных дефектов.

В процессе работы СДРМ сравнивает измеренные параметры двигателя с параметрами опорной модели, полученными в процессе

обучения устройства. Если параметры значительно отличаются друг от друга, то система указывает на наличие в ней неисправностей или дефектов. Чем выше это отличие, чем дольше оно продолжается и чем больше отличающихся контролируемых параметров, тем выше степень и серьезность развития дефекта. Согласно заявленным возможностям СДРМ обнаруживает:

- ослабленное крепление опор;
- разбалансировку ротора;
- нарушение сцепления двигателя с приводными механизмами;
- дефекты подшипников;
- дефекты элементов трансмиссии/приводного оборудования;
- дефекты ротора и дефекты обмотки статора;
- дефекты контактных соединений.

Параметры, измеряемые и рассчитываемые системой:

- фазное напряжение;
- потребляемый ток;
- активная мощность.

К основным электрическим и механическим параметрам, при превышении которых принимается решение об отключении электрической машины, относят:

Параметр	Обозначение параметра	Минимум частоты, Гц	Максимум частоты, Гц
Состояние контактов	M1	0,00	8,54
Несоосность соединений	M2	8,54	26,86
Частота питающей сети	M3	26,86	43,95
Балансировка ротора	M4	43,95	57,37
Балансировка нагрузки	M5	57,37	70,80
Обмотка статора	M6	70,80	96,44
Подшипники двигателя	M7	96,44	108,64
3-я гармоника	M8	108,64	141,60
Подшипники нагрузки	M9	141,60	158,69
4-я гармоника	M10	158,69	168,46
Крепление двигателя	M11	168,46	191,65
6-я гармоника	M12	191,65	499,27

Таб. 1 — Частотные диапазоны параметров электродвигателя  
 Tab. 1 — Frequency ranges of parameters of electric motor

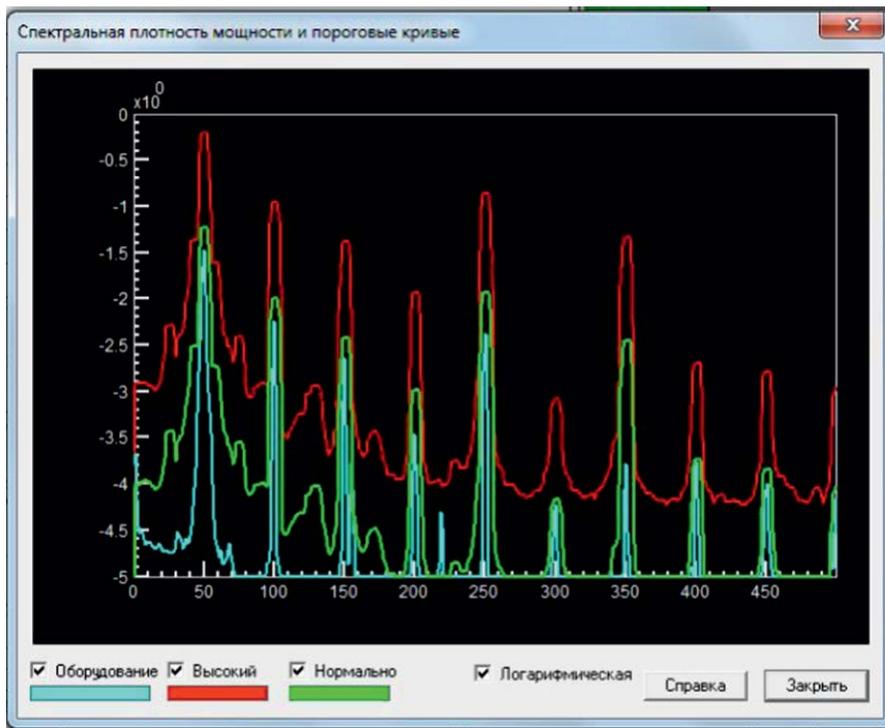


Рис. 3 — Частотный спектр плотности мощности двигателя по результатам мониторинга (огибающая спектра, обозначена красным цветом — предельно допустимый уровень)

Fig. 3 — Frequency spectrum of the power density of the engine based on the results of monitoring (envelope spectrum marked red—the legal limit)

- работу с повышенной нагрузкой, снижение КПД и перегрев двигателя;
- повышенный пусковой ток;
- вибрации;
- повышенный уровень температуры узлов двигателя.

В техническом описании системы приведен перечень возможных дефектов, обнаруживаемых системой, но отсутствуют сведения, каким образом они соотносятся с наблюдаемым спектром мощности гармоник. Отклонения этих параметров свыше уровня огибающей спектра мощности, рассматривается как наличие повреждения. Каждой полосе частот приписаны функциональные элементы электрической машины (таб. 1).

Очевидно, что при наличии скольжения вала, положение гармоник изменяется по частоте, это требует расширения полосы окна анализа, и тогда чувствительность к распознаванию дефектов снижается. Различные по природе механические и электрические дефекты могут генерировать близкие гармоники, что не позволяет отделить их друг от друга. К таким причинам можно отнести:

- качество питающего напряжения (дисбаланс напряжения между фазами, или недопустимый уровень высокочастотных гармоник);
- дефекты литья вала и ротора;
- дефекты обмоток и систем возбуждения;
- повреждение или обрыв статорных обмоток и стержней ротора;
- дефекты подшипников;
- эксцентриситет ротора;
- неправильная установка и перекос торцевых крышек электродвигателя;
- нарушением центровки между электродвигателем и ведомым агрегатом;
- изменением жесткости креплений электродвигателя к фундаменту.

Все изменения электрических параметров обмоток и изоляции, ведут к увеличению потерь, повышению температуры. Очевидно, что различные причины могут приводить к интегральным изменениям спектральных параметров. Проблемным звеном в успешном применении систем является интерпретация полученных данных. Отсутствие таких наработок и является основным препятствием внедрения систем мониторинга в практику.

Проведенные эксперименты, направленные на идентификацию дефекта короткого замыкания статорной обмотки синхронного двигателя, показали:

- амплитуды спектра тока на боковых частотах любой нечетной гармоники имеют различные значения и могут отличаться на порядок и более;
- амплитуды спектра боковых частот уменьшаются с ростом частоты нечетной гармоники.
- величина амплитуд боковых спектральных составляющих диагностических частот увеличивается примерно пропорционально степени короткого замыкания. При этом, чем больше число витков обмотки подвергается короткому замыканию, тем на более ранней стадии развития обнаруживается дефект.

Определение спектральных составляющих тока от ослабления крепления или обрывов стержней ротора показали:

- амплитуды спектра тока на боковых частотах первой гармоники имеют существенные изменения от обрыва стержней ротора, а на боковых частотах гармоники большего порядка быстро уменьшаются;
- величина амплитуд боковых спектральных составляющих диагностических частот возрастает с увеличением числа оборванных

стержней ротора, но закономерности их изменения выявить не удалось;

- при малых нагрузках на валу, когда коэффициент скольжения ротора стремится к нулю, дефекты обрыва обмотки ротора не определяются.

Определение составляющих спектра тока от износа подшипников показали:

- дефекты дорожек колец и тел качения в виде отдельных сколов, раковин, вмятин методом спектрального анализа спектра тока не идентифицируются;
- дефекты износа тел качения, если они приводят к увеличению люфта подшипника, хорошо идентифицируется методом спектрального анализа спектра тока на диагностических частотах;
- амплитуда составляющих спектра тока воздушного зазора или эксцентриситета, идентифицируется в диапазоне частот от 200 до 1500 Гц, их значения в каждом поддиапазоне могут отличаться на несколько порядков. Идентификацию наличия и развития дефекта эксцентриситета наиболее целесообразно проводить на поддиапазонах в пределах от 500 до 1200 Гц, где изменение амплитуд наибольшие по величине и интенсивности;
- при оценке степени развития эксцентриситета, как динамического, так и статического, следует учитывать возможность влияния на него других дефектов: короткозамкнутых витков статора, обрыв стержней ротора, несоосность валов и качества питания электродвигателя;
- при расчете значений диагностических частот эксцентриситета требуется более высокая точность в определении величины скольжения ротора, поскольку ошибки в ее оценке влияют на чувствительность обнаружения эксцентриситета.

Спектральные составляющие тока от несоосности валов, ослабления крепления станины, колебание ротора, показывают, что идентифицировать дефект подобных вибраций не представляется возможным. Дефект автоколебаний ротора в подшипниках является частным случаем общего износа подшипника (люфта), с той же оценкой величины амплитуд спектральных составляющих тока.

Проведенные экспериментальные исследования асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором указывают на принципиальную возможность оценки ряда дефектов или неисправностей и позволяют оценить их пороговые значения обнаружения. Но в части интерпретации данных спектрального анализа энергетического спектра по току статора еще предстоит немалая работа. В качестве иллюстрации на рис. 3 приведен вид экрана монитора, по которому принимается решение о выводе двигателя из работы.

Определение дефектов, как правило, возлагается на последующее техническое диагностирование двигателя в отключенном состоянии и применение так называемых дополнительных «многопараметрических» методов контроля [6, 7]. Наиболее эффективными, с точки зрения полноты данных, представляются подходы, связанные с одновременным получением возможно более полной информации о наличии дефектов на отключенном двигателе и в работе. Корреляция статических и динамических данных испытаний дает возможность оценить реальное

техническое состояние двигателя и дать надежный прогноз его работоспособности. Среди систем подобного назначения, в которых реализованы эти возможности, можно отнести анализатор цепей двигателей (МСЕ) и систему динамического анализа (DMA), производимых корпорацией PdMA.

Особенности предлагаемой методологии построения системы, апробированы авторами этой работы на синхронных и асинхронных электродвигателях, так и силовых трансформаторах состоит в построении двух уровневой системы мониторинга и технической диагностики. Двухуровневая система мониторинга оптимально сочетает упреждающие действия персонала до возникновения повреждения оборудования и последующих действий по обнаружению конкретных неисправностей.

**Первым уровнем** в данной системе является контроль параметров двигателя в работе и получение предварительных данных. Производится контроль параметров токов и напряжений в работе двигателя.

При этом определяются:

- спектральный состав питающего напряжения, тока и мощности;
- температурный режим корпуса статора и подшипников и привода.

На основании этих измерений делаются выводы:

- о качестве питающего напряжения;
- наличие и уровня нечетных боковых гармоник, связанных с дефектами обмоток статора и ротора.

До отключения двигателя проводится вибрационный и тепловой контроль состояния корпусных, подшипников и приводных элементов. Тепловой контроль подсистем проводится тепловизионным методом. При наличии превышений пороговых уровней спектральных, температурных и вибрационных параметров контроля электродвигатель выводится из работы.

**Второй уровень.** Контроль параметров на отключенном оборудовании для сопоставимости результатов измерений производится в автоматическом режиме по всем фазам и параметрам. Контроль выполняется по параметрам, значения которых строго регламентированы предельными уровнями. Данные контроля по всем фазам выводятся на монитор. Сопоставление параметров производится между фазами или тождественным параметрам объекта сравнения. Оперативный анализ полученных данных позволяет с вероятностью 90–95 % определить характер дефекта, степени опасности и его развития и места расположения.

Ниже представлены данные контроля асинхронного электродвигателя масляного насоса турбины 4АМ-225М-4У2 55кВт, 0,4 кВ зав. № 12451. Контроль параметров проводился удаленно из помещения КРУ в автоматическом режиме по фазам без отключения кабеля (длина кабеля электропитания 75 м).

При включении двигателя срабатывала система мониторинга в виде защиты. Причина неисправности определялась по шести параметрам. Выводы о наличии дефекта в виде замыкания витков статорной обмотки принимались по различию фазовых сдвигов и частотному параметру (таб. 2).

Процедура контроля параметров и оценки технического состояния двигателя не

Параметры	Данные контроля		
	А-В	А-С	В-С
Фазы			
Сопр. активное, $R_0$ Ом	0,186	0,189	0,183
Компл. Сопр., $Z$ Ом	23	25	24
Фазовый сдвиг, $\phi$ град	<b>73°</b>	<b>71°</b>	<b>65°</b>
Индуктивность, L мГн	4	5	4
Отношение Ток /частота, I/F, %	<b>-44</b>	<b>-42</b>	<b>-50</b>
Сопротивление изоляции $R_i$ , Мом	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>31</b>

Заключение: (витковое замыкание и ухудшение изоляции на землю). **Дефект статорной обмотки.**

Таб. 2 — Значения основных диагностируемых параметров на двигателе с дефектом  
Tab. 2 — Values of main parameters of diagnosed on the engine with a defect

Наименование. параметров			
Фазы	А-В	А-С	В-С
Сопротивление $R$ , Ом	1,35	1,36	1,36
Компл. сопротивление, $Z$ Ом	218	219	220
Фазовый сдвиг, $\phi$ град	83°	84°	83°
Индуктивность, L мГн	14	14	14
Отношение Ток /частота, I/F %	-44	-43	-43
Сопротивление изоляции $R_i$ , МОм	$\geq 99$	$\geq 99$	$\geq 99$

Заключение: Все параметры находятся в пределах нормы. **Двигатель в исправном состоянии.**

Таб. 3 — Значения основных диагностируемых параметров на исправном двигателе  
Tab. 3 — Values of main parameters of diagnosed on a serviceable engine

превышала 7 минут. При этом одновременно был обнаружено и ухудшение состояния изоляции подводящего кабеля электропитания.

В качестве сравнения в табл. 3 приведены параметры исправного асинхронного двигателя 4АОВ-400-4У3  $P = 500$  кВт  $U = 6,3$  кВ конденсатный насос турбины при дистанционном контроле из помещения КРУ 6–12Б. Длина кабеля питания ~70м.

Одним из несомненных достоинств подобной двухуровневой системы мониторинга и определения технического состояния и конкретных неисправностей электродвигателей является наличие четких критериев на параметры контроля. Одни из них следуют из существующей нормативной документации (Объемы и Нормы...), другие, такие как фазовый и частотный критерии браковки, еще не нашли своего отражения в нормативной документации, но с учетом высокой информативности их, по-видимому, следует вводить законодательно на отраслевом уровне. К подобным параметрам можно отнести такие параметры, как индекс поляризации и значения тангенса потерь, определенные методами низкочастотной диэлектрической спектроскопии, а также усовершенствованный тепловизионный метод контроля, позволяющий судить о возникновении в машине повреждений, ведущих к росту тепловых потерь и ускоренному старению изоляции [6–8].

## Выводы

1. Проведен анализ основных концепций существующих технических решений по созданию систем мониторинга мощных электрических машин. Показано, что системы мониторинга, основанные на сигнатурном анализе токов статора, решают поставленную

задачу частично.

2. Отмечено что применение систем мониторинга основанных на широком охвате параметров контроля следует принимать во внимание уже на стадии проектирования и изготовления электрических машин. В систему мониторинга, следует включать необходимое количество важных и надежно контролируемых параметров, обеспечивающих защиту электрической машины от серьезных повреждений. Из-за слабой помехоустойчивости в систему мониторинга нерационально включать измерения частичных разрядов.

3. Проблемным звеном в создании и успешном применении систем мониторинга, является интерпретация полученных данных, отсутствие таких наработок и является основным препятствием внедрения систем мониторинга в практику.

4. Оперативное обнаружение, возникших дефектов после отключения электрической машины, следует возлагать на другую, мобильную систему, которую можно рассматривать как второй уровень системы мониторинга.

5. Применение комплексных систем диагностики электродвигателей, в том числе многопараметрических методов, позволяет реализовать технологию обслуживания оборудования по фактическому состоянию, актуальную для отечественной энергетики.

## Литература

1. Афанасьев Д.О., Сидельников Л.Г., Седунин А.М. Методы и проблемы вибродиагностики асинхронных двигателей. Пермь: Пермский государственный технический университет, ООО «ТестСервис». 2013. 20 с.
2. Система "REMM" — мониторинг и

диагностика технического состояния крупных электрических машин. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.samarapribor.ru/dop\\_materials/remm+++tex\\_specification.pdf](http://www.samarapribor.ru/dop_materials/remm+++tex_specification.pdf)

- ГОСТ ISO 20958-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя. М.: Стандартинформ, 2016.
- Система диагностики роторных машин

(СДРМ). Руководство по эксплуатации ВРМЦ.411112.001 РЭ. СПб.: АО «Вибратор», 2017.

- Барков А.В. и др. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току. СПб.: НОУ «Северо-западный учебный центр», 2012. 67 с.
- Завидей В.И., Милованов С.В. Комплексный подход в оперативной диагностике электрических машин // Экспозиция Нефть Газ. 2012. №5. С. 121–124.

7. Завидей В.И., Крупенин Н.В., Ваньков С.М., Печенкин В.И., Каланчин С.В. Критерий Колмогорова-Смирнова и возможности его применения в диагностике электрооборудования методами ИК-термографии. Вестник РАЭН, 2012.

8. Завидей В. И., Печенкин В. И., Каланчин С. В. Возможности применения тепловизионного контроля для диагностики технического состояния силовых трансформаторов // Энергоэксперт. 2011. №6. С. 64–67.

ENGLISH

ELECTRICAL ENGINEERING

UDC 621.3

## Status and prospects of implementing monitoring systems and technical diagnostics of electrical machines and devices

### Authors

**Viktor I. Zavidyev** — Sc.D., chief researcher<sup>1</sup>; [zavidyevi@mail.ru](mailto:zavidyevi@mail.ru)

**M.A. Sviridov** — head of group<sup>1</sup>; [sviridovma@gmail.com](mailto:sviridovma@gmail.com)

**V.N. Rushchinskiy** — head of group<sup>2</sup>; [rushsn@yandex.ru](mailto:rushsn@yandex.ru)

<sup>1</sup>VNIITF-VEI, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>VNIITF, Snezhinsk, Russian Federation

### Abstract

An analysis of modern methods and tools for monitoring and diagnosis of technical condition of asynchronous and synchronous motors and advice on choosing the best monitoring systems for use on existing and disabled equipment. It is shown that, based on measurements of basic parameters of complex by a single system of control, maintenance and repair of electrical machines, produced on their technical condition with no planned outages, and intrusion prevention tests.

### Materials and methods

Along with classical parameters for assessing the technical condition of electric machine used the phase and frequency parameters.

### Keywords

electric motors, control systems, monitoring, diagnostics

### Conclusions

- The analysis of the basic concepts of existing solutions to establish monitoring systems of high-power electrical machines. It is shown that the monitoring system based on signature analysis of stator currents, solve the task.
- Noted that the use of monitoring systems based on a wide scope of control parameters should be taken into account already at the stage of designing and manufacturing electric cars. The monitoring system should include the necessary amount of important and reliably controlled parameters that protect electrical machines from serious damage. Due to poor interference immunity in monitoring system

of partial discharge measurements include irrational.

- Problematic link in the creation and successful application of monitoring systems, is an interpretation of the obtained data, the absence of such developments and the main obstacle is the introduction of monitoring systems in practice.
- Rapid detection of encountered defects after disconnecting the electrical machine should be placed on other, mobile system, which can be considered as the second level monitoring system.
- Application of integrated systems for diagnostics of electric motors, including multiparameter methods allows you to implement a technology hardware maintenance on actual condition relevant to domestic energy.

### References

- Afanas'ev D.O., Sidel'nikov L.G., Sedunin A.M. *Metody i problemy vibrodiagnostiki asinkhronnykh dvigateley* [Methods and problems of vibro-asynchronous engines]. Perm: Perm State Technical University, JSC "TestServis", 2013, 20 p.
- Sistema "REMM" — monitoring i diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya krupnykh elektricheskikh mashin* [System "REMM" — monitoring and diagnostics of the technical condition of large electric machines]. Available at: [http://www.samarapribor.ru/dop\\_materials/remm+++tex\\_specification.pdf](http://www.samarapribor.ru/dop_materials/remm+++tex_specification.pdf)
- ISO 20958-201. *Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Signaturnyy analiz elektricheskikh signalov trekhfaznogo asinkhronnogo dvigatelya* [Signature analysis of electric signals and frequency three-phase asynchronous motor]. Moscow: Standartinform, 2016.
- Sistema diagnostiki rotornykh mashin (SDRM)* [Diagnosis system of rotating machines]. Manual, VRMC 411112.001 RE, JSC "Vibrator", 2017.
- Barkov A.V. and others. *Metodika diagnostirovaniya mekhanizmov s elektroprivodom po potrebyaemomu toku* [Method of diagnosing electrically driven mechanisms on the machine's current]. St. Petersburg: Northwest training center, 2012, 67 p.
- Zavidyev V.I., Milovanov S.V. *Kompleksnyy podkhod v operativnoy diagnostike elektricheskikh mashin* [Integrated approach operational diagnostics of electrical machines]. Exposition Oil Gas, 2012, issue 5, pp. 121–124/
- Zavidyev V.I., Krupenin N.V., Van'kov S.M., Pechenkin V.I., Kalanchin S.V. *Kriteriy Kolmogorova-Smirnova i vozmozhnosti ego primeneniya v diagnostike elektrooborudovaniya metodami IK-termografii* [Criterion Kolmogorov-Smirnov and the possibility of its application in the diagnosis of electrical equipment by IR-thermography]. Vestnik RAEN, 2012.
- Zavidyev V. I., Pechenkin V. I., Kalanchin S. V. *Vozmozhnosti primeneniya teplovizionnogo kontrolya dlya diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya silovykh transformatorov* [Possibility of applying thermal monitoring for diagnosis of technical condition of power transformers]. Energoekspert, 2011, issue 6, pp. 64–67/