

Ваттметрия. Диагностика электроприводной арматуры по мощности – возможность перехода от ремонта по регламенту к ремонту по техническому состоянию

А.К. Адаменков (ВоАЭС), И.Н. Веселова (ВИ (ф) ЮРГТУ(НПИ)),
В.Д. Козырев (ОАО «Атоммашэкспорт»)

Арматура, кроме неразборных конструкций обратных затворов, относится к классу ремонтпригодных восстанавливаемых изделий с нормируемой надежностью (ОТТ-87). Показатели надежности (долговечность, безотказность, назначенный срок службы, назначенный ресурс) определяют исправность арматуры в течение всего срока службы.

В настоящее время исправность электроприводной арматуры (ЭПА) на предприятиях оценивается при её разборке во время проведения планово-предупредительных ремонтов. Это трудоемкие и длительные по времени регламентные работы, заключающиеся в демонтаже, последующей разборке, визуальном и инструментальном контроле всех элементов арматуры. После технического освидетельствования и, если выявлен дефект, ремонта, арматура собирается и устанавливается на штатное место. На рисунке 1 представлена структура причин разборки арматуры в период проведения планово-предупредительного ре-

монта. Необходимо отметить, что более 80% от всего парка арматуры подвергается разборке либо для проведения технического освидетельствования, либо для выполнения регламентных ремонтных работ. При этом ремонтный персонал предприятий не имеет информации о дефектах, которые могут быть в разбираемой ими арматуре. Такая профилактическая разборка по стоимости составляет 20...30% от стоимости арматуры, а сам ремонт, с вырезкой арматуры из контура, равен ее стоимости. Кроме этого, сборка арматуры после ее вскрытия, освидетельствования, ремонта зачастую приводит к появлению или формированию дополнительных дефектов. Свою лепту в формирование дефектов в арматуре вносит и персонал, осуществляющий настройку путевых выключателей, моментной муфты или тока затяжки. Так, неправильная настройка моментной муфты или тока затяжки приводит к чрезмерному уплотнению запорного органа задвижки, появлению на нем «задиров», а самое худшее – к обрыву штока при ее открытии (потери работоспособности). А неправильная сборка приводит к перекосу фланцев, как следствие этого – заедание, появление течей, задиров, нарушение сцепления гайки со штоком.

В новых экономических условиях встает вопрос о переходе от ремонта ЭПА по регламенту к ремонту по техническому состоянию. В этом случае принятие решения о техническом состоянии арматуры базируется как на положениях нормативных документов, так, и во многом, на результатах диагностического обследования.

Рис. 1. Структура причин разборки арматуры в период проведения планово-предупредительного ремонта

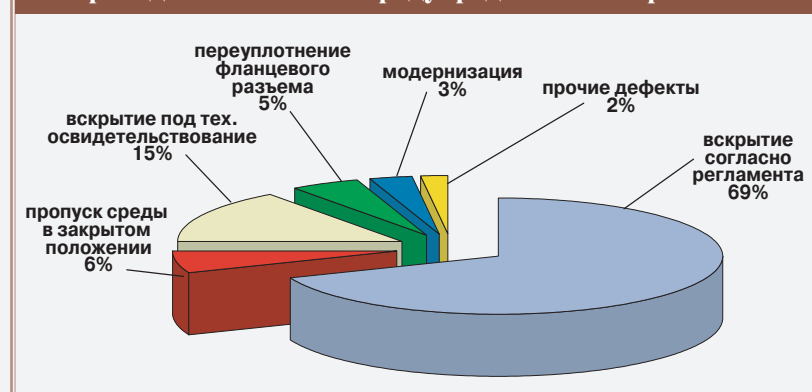
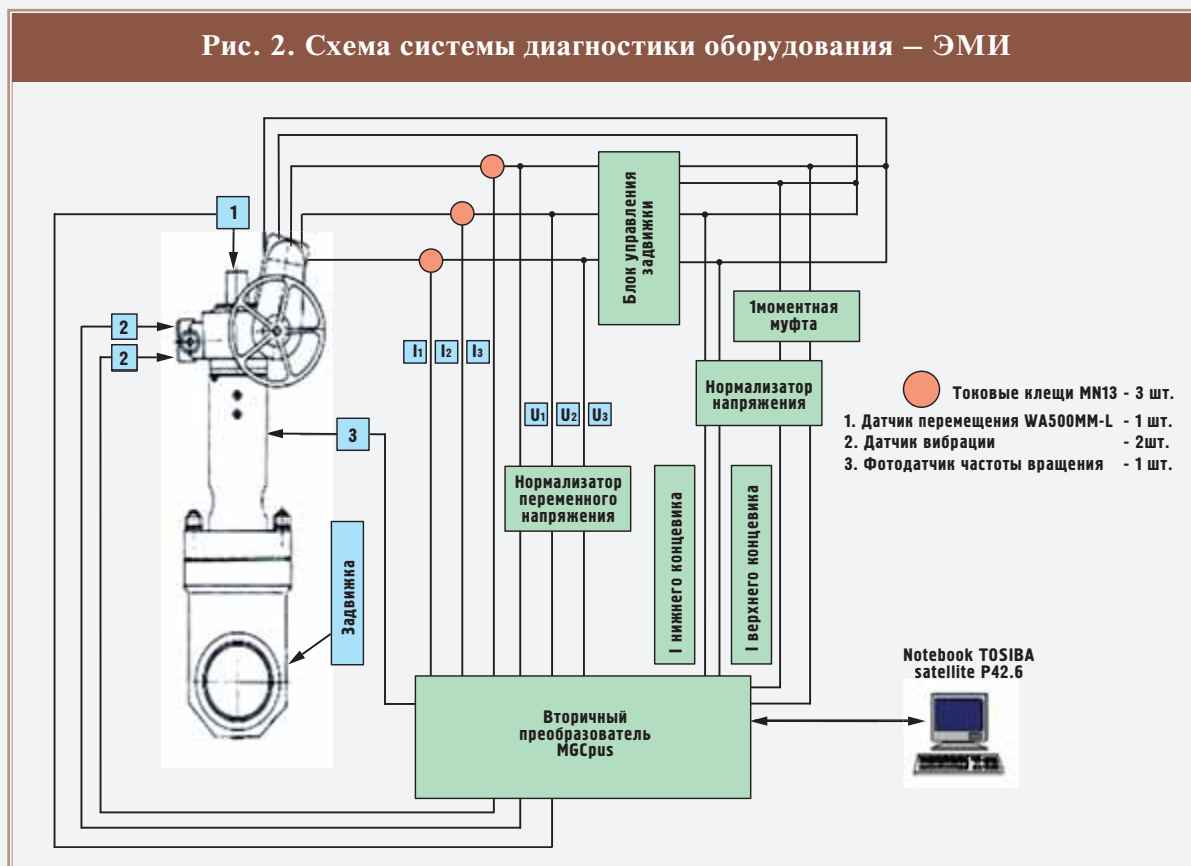


Рис. 2. Схема системы диагностики оборудования – ЭМИ



До настоящего времени диагностика ЭПА, основанная на виброизмерениях, была затруднена по следующим объективным причинам, а именно:

1. В приводе арматуры частота вращения двигателя редуцируется в частоту вращения гайки с передаточным числом 30...60. То есть, при частоте вращения двигателя 1500...3000 об/мин или 25...50 Гц, частота вращения гайки может составлять 6...40 об/мин или 0,1...0,8 Гц. Виброакселерометры современных вибродиагностических систем позволяют измерять вибросигнал с 10 Гц, самые лучшие с 1 Гц. Это не позволяет при диагностировании задвижки охватить весь спектр частот виброакустического сигнала от 0 до 2000 Гц.

2. На полезный сигнал, измеряемый на корпусе арматуры, оказывают влияние вибрации трубопровода и потока рабочей среды.

3. Современные виброанализаторы делят измеренную частоту сигнала на 4096 полос, что не позволяет точно анализировать весь спектр частот. Так, при анализе частотного спектра в диапазоне от 0 до 20000 Гц деление одной полосы составит 4,88 Гц, а от 0 до 2000 Гц – 0,488 Гц. Что в обоих случаях не позволит правильно оценить дефект на гайке, а во втором случае – также и дефект венцовой шестерни.

4. Время открытия/закрытия арматуры DN 100...300 (основной парк ЭПА) составляет более 1,5 мин., поэтому для фиксирования полезного сигнала необходим большой объем памяти, который может составлять 10...20 Мб.

В настоящее время появилась совершенно новая прогрессивная возможность диагностирования ЭПА – ваттметрия. При этом в качестве датчика выступают обмотки статора электродвигателя. Методика базируется на особенности конструкции асинхронного двигателя. А, имен-

Рис. 3. Изменение мощности электродвигателя при закрытии задвижки

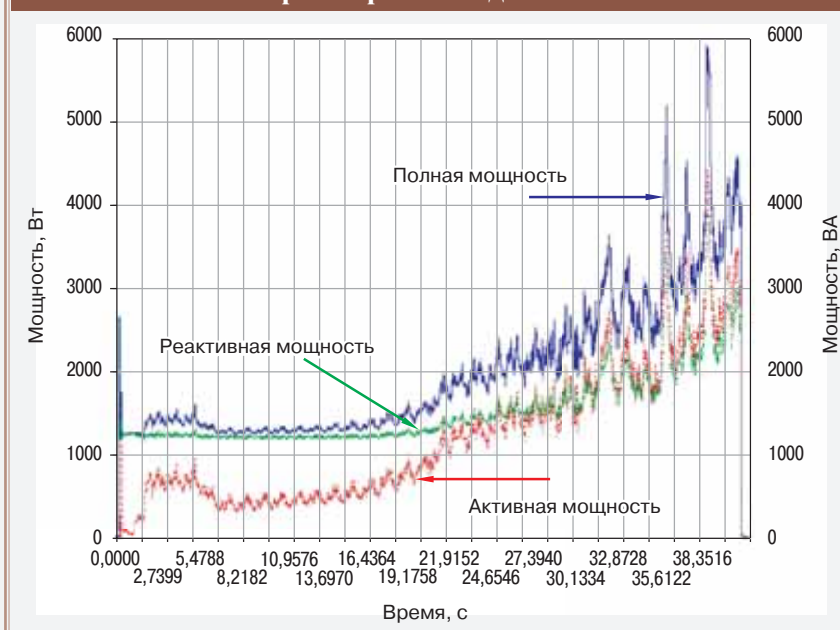
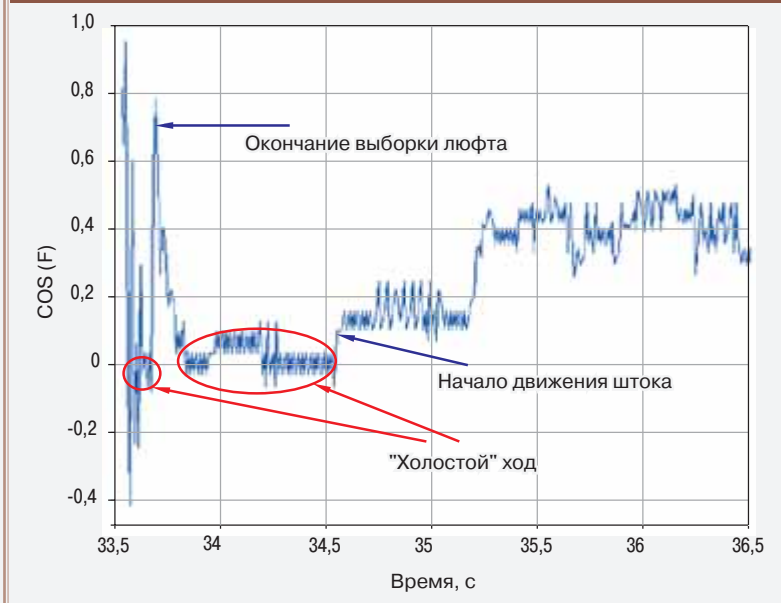


Рис. 4. Изменение $\cos(\varphi)$ при закрытии задвижки



но, наличие незначительного воздушного зазора между ротором и статором, который равен 0,2–0,3 мм. Наличие такого маленького зазора приводит к тому, что незначительные его изменения, вызванные колебанием механических нагрузок на вал, вызывают существенные изменения тока и напряжения и, как следствие этого, активной мощности двигателя. При этом на изменении мощности электродвигателя сказываются и усилия, которые возникают не только в приводе, но и в запорном органе задвижки.

В качестве диагностических параметров определены: мощность, потребляемая электроприводом, коэффициент мощности и ток в обмотках двигателя. Измерения тока и напряжения по трем фазам проводились с помощью системы диагностики электроприводных задвижек – ЭМИ (рисунок 2).

На рисунке 3 представлены изменения активной, реактивной и полной мощности электродвигателя при закрытии клиновой задвижки. На графиках, во временной области, можно отметить следующие участки, характеризующие изменение технического состояния задвижки при ее закрытии:

1. 0–0,05 с – время включения электродвигателя;
2. 0,05–0,5 с – время выборки люфта редуктора;
3. 0,5–1 с – время холостого хода;
4. 1–1,5 с – время начала движения штока;
5. 2–16 с – период, характеризующийся повышенной мощностью, вследствие аномальной работы пары «винт – гайка»;
6. 19–30 с – затирание штока в сальнике;
7. 30–42 с – затирание клина в посадочном месте.

Разборка арматуры, последующая дефектация и анализ показали, что деградация элементов (износ ходовой гайки, штока и посадочного узла) обусловлены двумя коренными причинами:

1. Ошибкой ремонтного персонала при сочленении фланца бугеля арматуры с корпусом после очередного планового ремонта.

2. Бесконтрольной эксплуатацией после ремонта, в течение которой работоспособность арматуры оценивалась только по способности ЭПА выполнять полный цикл на открытии/закрытии.

На рисунке 4 представлено изменение коэффициента мощности ($\cos(\varphi)$) при закрытии задвижки. Когда нагрузки нет, $\cos(\varphi)=0$. На графике четко видно два участка, при которых $\cos(\varphi)=0$. Это первый участок после включения электродвигателя, который характеризует выборку люфта в шестернях редуктора и второй, характеризующий выборку люфта в паре «винт – гайка». Знание изменений люфтов в редукторе и в паре «винт – гайка» во времени позволяет оценивать изменение их технического состояния во времени.

На рисунке 5 показан спектр тока фазы при наличии развивающегося дефекта – «обрыв или нарушение контакта в стержнях или кольцах «беличьей клетки»». Этот дефект выражается в том, что в спектре тока около $f_{cem}=50$ Гц появляются «боковые лепестки» модулированной частоты, равной частоте скольжения.

Использование ваттметрии для диагностики ЭПА дает возможность достаточно хорошо описать техническое состояние арматуры. В процессе диагностирования задвижки анализируются как указанные выше временные измене-

Рис. 5. Спектр тока фазы А при открытии задвижки с дефектом «обрыв или нарушение контакта в стержнях или кольцах «беличьей клетки»»

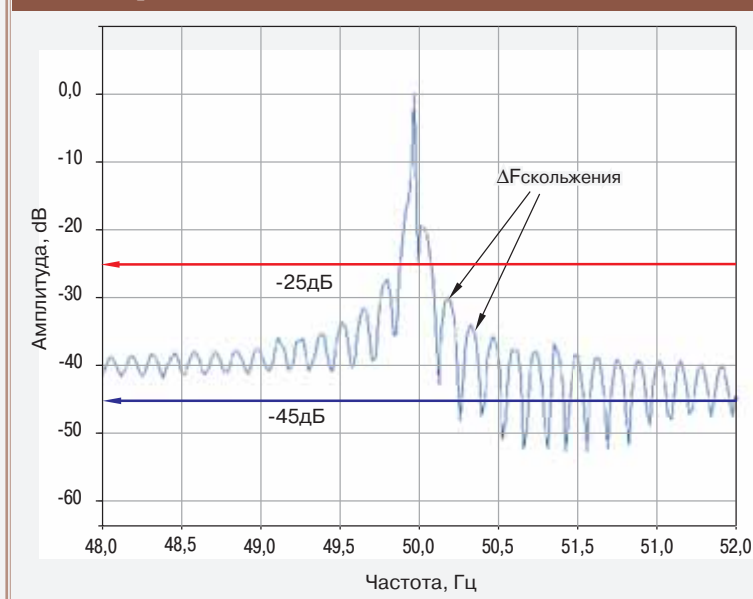


Таблица 1. Перечень диагностируемых неисправностей					
№ п/п	Признак дефекта	Узлы ЭПА			
		Электро-двигатель	Редуктор	Силовой узел	Посадочный узел
1	Обрыв фазы	+			
2	Перекас по фазам	+			
3	Обрыв или нарушение контакта в стержнях или кольцах "беличьей клетки" в асинхронном двигателе	+			
4	Ослабление прессовки всего пакета стали ротора или только в области зубцов	+			
5	Ослабление прессовки пакета стали, обрыв или замыкание в обмотке статора	+			
6	Эксцентриситет внешней поверхности ротора относительно оси его вращения	+			
7	Износ, неправильная установка, дефект подшипников	+	+	+	+
8	Люфт в сопряжениях механических передач	+	+	+	+
9	Износ (неравномерность трения) в сопряжениях механических передач		+	+	+
10	Искривление (обрыв) штока			+	+
11	Заедание (залипание) диска, клапана с седлом, заклинивание штока			+	+
12	Чрезмерная затяжка сальникового уплотнения			+	

ния электрических параметров, так и спектры этих сигналов.

Анализ временных изменений сигналов и спектральной плотности фиксируемых сигналов позволяет решить первую задачу диагностики, а именно, выполнить оценку технического состояния ЭПА.

С одной стороны, временные изменения фиксируемых сигналов при срабатывании арматуры позволяют выполнить оценку технического состояния на основе анализа следующих параметров:

- нормируемого отношения величин пускового тока к рабочему;
- нормируемой величины времени срабатывания арматуры;
- эмпирически установленных величин тока (мощности) уплотнения и срыва рабочего органа;
- эмпирически установленной величины плавности хода.

С другой – по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) спектра активной мощности

$$A_j = 20 \cdot \lg \left(\frac{A_j}{A_{ref}} \right),$$

где A_j – текущая амплитуда спектра на j -ой частоте;

A_{ref} – референтная амплитуда,

оцениваются три уровня работоспособности арматуры:

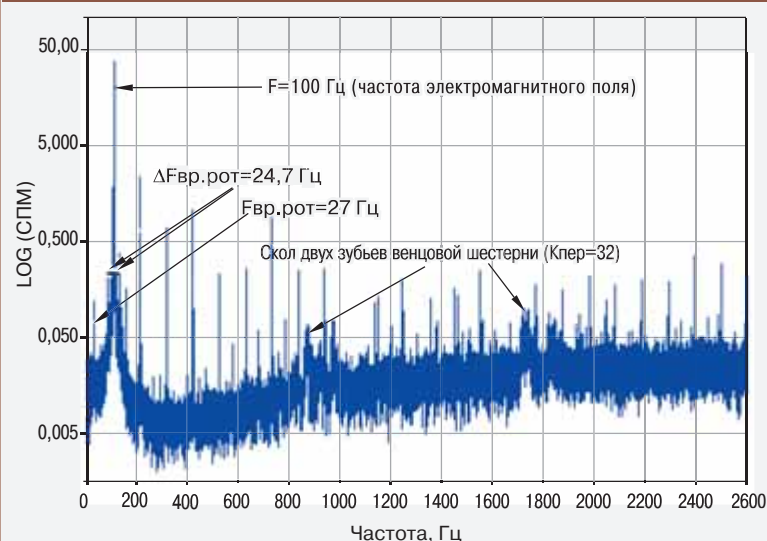
1. $A_j < -45$ дБ – работоспособная ЭПА;

2. -25 дБ $> A_j > -45$ дБ – частично работоспособная ЭПА;

3. $A_j > -25$ дБ – не работоспособная ЭПА.

Дальнейший анализ АЧХ даёт возможность решить вторую задачу диагностики – оценить техническое состояние отдельных элементов арматуры, прогнозировать время и объем ремонта. Изменения амплитуды спектра на частотах, соответствующих собственным частотам отдельных элементов ЭПА, позволяет выделить градацию дефектов и диагностировать конкретные неисправности.

Рис. 6. Спектр активной мощности при открытии задвижки с дефектом «скол двух зубьев венцовой шестерни»

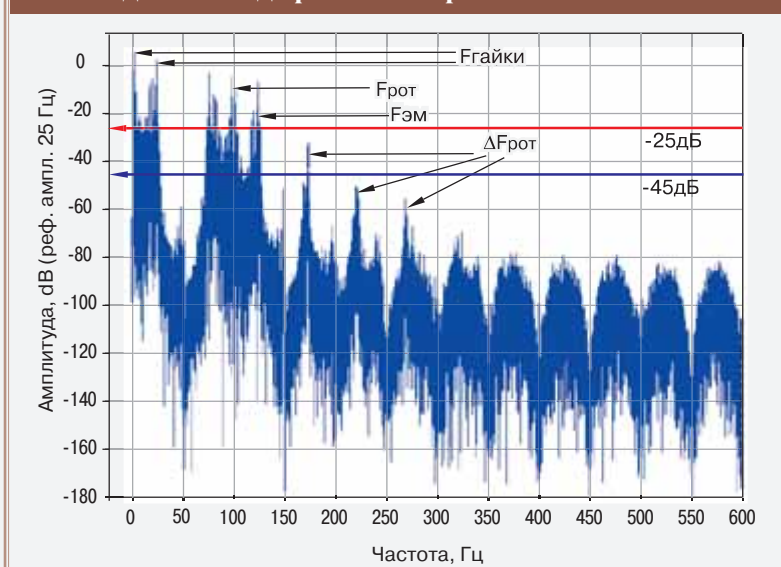


В таблице 1 приведен перечень диагностируемых неисправностей, которые можно определить, используя приведенную выше методику. Этот перечень охватывает все основные дефекты арматуры, учет и анализ которых позволит определять категорию требуемого ремонта для каждой диагностируемой арматуры.

Приведем некоторые примеры определения дефектов в арматуре по спектрам тока и активной мощности электродвигателя. На рисунке 6 представлен спектр активной мощности фазы А при дефекте – «скол двух зубьев венцовой шестерни». На рисунке 7 представлен спектр активной мощности фазы А при дефекте – «дефект пары «винт - гайка»».

Вывод: переход на стратегию технического обслуживания и ремонта арматуры по техническому состоянию позволит управлять не только ресурсом диагностируемого оборудования, но и затратами на его эксплуатацию. Так, затраты на диагностическое обследование ЭПА, определенные согласно прейскуранта №81-27-02 (оптовые цены на экспериментально-наладочные рабо-

Рис. 7. Спектр активной мощности при открытии задвижки с дефектом «пары «винт - гайка»»



ты по совершенствованию эксплуатации АС) составляют порядка 4 000 рублей. С другой стороны, стоимость разуплотнения, ремонта выемной части арматуры DN 200, подсчитанная в ценах 2005 года, приблизительно равна 12 000 рублей. Экономия можно подсчитать самим.