

Метод диагностирования электроприводной арматуры с контролем диагностических параметров и опыт его применения на Смоленской АЭС

А.В. Добров, начальник лаборатории диагностики электроприводной арматуры ЦНИО «САЭС»

Задача технического диагностирования сводится к проверке готовности арматуры выполнять свои функции в процессе эксплуатации, а для арматуры 3, 4 классов безопасности еще и оптимизации межремонтного периода (ТОиР по техническому состоянию). В настоящее время существует много подходов к диагностированию, все понимают процесс и критерии диагностирования по-своему. Но, пожалуй, самым объективным является подход с контролем параметров.

Если исходить из требований нормативной документации, то в соответствии с ГОСТ 5762-2002 возможными отказами арматуры являются:

1. Потеря герметичности по отношению к внешней среде корпусных деталей и сварных соединений.
2. Потеря герметичности по отношению к внешней среде подвижных соединений.
3. Потеря герметичности по отношению к внешней среде неподвижных соединений.
4. Отклонение протечки в затворе от величины, нормируемой условиями эксплуатации.
5. Невыполнение функции «открытие – закрытие».
6. Непредусмотренное регламентом выполнение функции «открытие – закрытие».

Все эти отказы (за исключением п.2) являются критическими, т.е. отказы, при наличии которых арматура не выполняет свои функции (ГОСТ 15467-79).

Как проверить способность арматуры выполнять каждую из функций?

Функция арматуры по п.1 *таблицы 1* не требует пояснения.

По контролю функции арматуры по п.2 *таблицы 1* (герметичность в затворе) есть нерешенные моменты. Что такое «величина протечки, нормируемая условиями эксплуатации»? В настоящее время эксплуатационные протечки никем и ничем не нормируются (кроме здравого смысла). Применять к ним величины протечки согласно классу герметичности в условиях действующего оборудования энергоблоков некорректно по двум причинам:

1) герметичность в этом случае можно проверить только с вырезкой арматуры из системы (есть понятие «видимых протечек»);

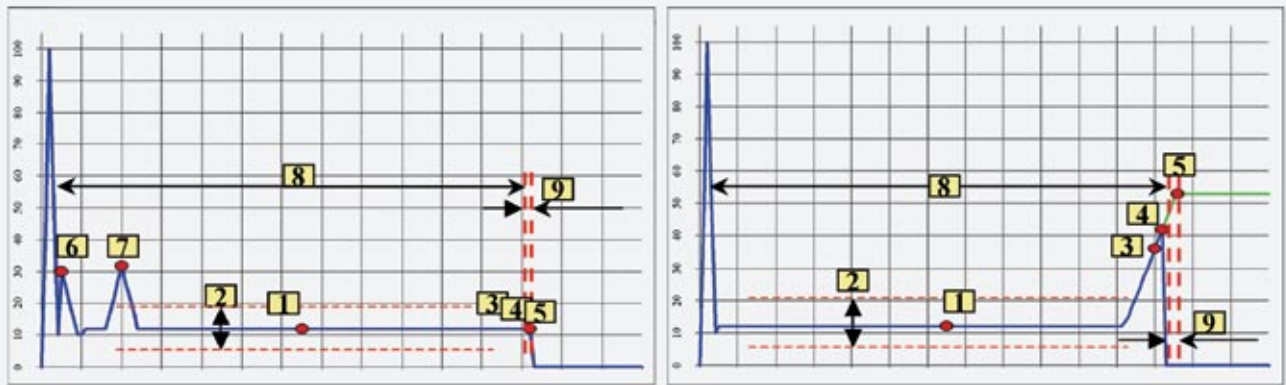
2) нормы герметичности даны при расчетном давлении среды (нужен испытательный стенд).

Остается здравый смысл: если протечки не мешают эксплуатации, значит, арматура считается герметичной.

Таблица 1

| № п/п | Функция арматуры | Способ контроля |
|-------|---|---|
| 1. | Герметичность по отношению к внешней среде корпусных деталей, неподвижных и подвижных соединений определяется органолептическим контролем. | Визуальным контролем отсутствия свищей, течей, в том числе через сальниковую камеру, пропаривания и т.д. при гидравлических испытаниях и в процессе эксплуатации при рабочих параметрах среды. |
| 2. | Герметичность в затворе (отклонение утечки в затворе от величины, нормируемой условиями эксплуатации). | Прямым контролем утечек через дренажи, воздушники и т.д. Косвенным контролем по перепаду температуры до и после арматуры. Контролем техническими средствами (например, методом акустической эмиссии). |
| 3. | Передача движения рабочему органу (невыполнение функции «открытие – закрытие», а также непредусмотренное регламентом выполнение функции «открытие – закрытие»). | Контролем (измерением) диагностических параметров во время срабатывания арматуры (в характерных точках) в цикле открытие/закрытие с использованием технических средств и сравнением их с диагностическими параметрами в этих же точках, полученными расчетным путем на основе диагностических моделей по соответствующим методикам. |

Рис. 1. Характерные точки в циклограмме «открытия – закрытия» задвижки



- 1 Номинальное значение среднего крутящего момента открытия и закрытия
- 2 Допуски номинальных значений среднего крутящего момента открытия и закрытия
- 3 Номинальное значение крутящего момента при срабатывании выключателя
- 4 Номинальное значение крутящего момента при максимальной мощности электропривода
- 5 Номинальное значение крутящего момента в крайнем положении
- 6 Номинальное значение крутящего момента начала разгрузки шпинделя
- 7 Значение крутящего момента подрыва запирающего элемента на открытие
- 8 Номинальное значение времени срабатывания арматуры
- 9 Номинальное значение времени задержки отключения электропривода

Отказы и дефекты при выполнении функции передачи движения запорному органу самые многочисленные и разнообразные: от дефектов микровыключателей, электрических цепей и самого привода до заклинивания запорного органа арматуры или даже его обрыва. Но все эти дефекты легко выявляются контролем параметров в характерных точках в цикле «открытия – закрытия».

Численные значения параметров в характерных точках, рассчитываются с использованием математических моделей (в том числе силовым расчетом). Измеряя эти параметры соответствующей аппаратурой, и сравнивая измеренные значения с расчетными, мы объективно и довольно точно делаем вывод о техническом состоянии арматуры. Если значения измеренных параметров находятся в области граничных значений – арматура работоспособна, если нет – требуется ремонт. При этом (на первом этапе) даже нет необходимости уточнения самого дефекта на стадии диагностирования. Как говорится – «Вскрытие покажет». Определение дефекта на стадии диагностирования возможно при развитии программы анализа, например, проводя спектральный анализ различных участков циклограммы «открытие – закрытие».

На рис. 1. приведена циклограмма работы запорной задвижки с указанием характерных точек.

Измеряя дополнительно ток и напряжение на клеммах электродвигателя привода, а также дискретные сигналы с концевых и моментных выключателей, мы дополнительно к механическим параметрам технического состояния арматуры и привода определяем и электрические:

- Несимметричность токов в фазах электродвигателя во время срабатывания арматуры.

- Состояние контактных пар моментных и концевых выключателей.
- Длительность блокировки моментных выключателей.
- Качество питающей сети и кабелей.
- Состояние обмоток электродвигателя (путем измерения сопротивления обмоток).
- Другие интересующие нас параметры.

Как измерить крутящий момент в цикле «открытия – закрытия»? Это можно сделать двумя способами.

Первый – поставить датчик крутящего момента между приводом и арматурой.

Второй – провести первоначальную калибровку привода (т.е. снять зависимость крутящего момента от активной мощности) отдельно от арматуры на стенде и в дальнейшем контролировать только активную мощность, которая программой анализа автоматически пересчитывается в крутящий момент. При этом сам откалиброванный привод становится датчиком параметров арматуры. Контролируемая активная мощность на двигателе электропривода является самым информативным и точным параметром, поскольку связана с крутящим моментом линейно и вычисляется по значениям измеренного тока и напряжения в 3-х фазах. Значения рабочего тока не так информативны, и примеры этому будут приведены ниже.

Второй способ предпочтительней и потому, что при этом появляется возможность настройки муфты ограничения крутящего момента привода без дополнительных недопустимых механических воздействий на арматуру и более качественное определение общего технического состояния электропривода, в том числе диапазон регулировки моментных выключателей. Калибровка произво-

дится только один раз, при базовых испытаниях (впервые проводимых на приводе). При очередном диагностировании контролируются только электрические параметры, а этот процесс не очень трудоемок.

Особенно необходимо отменить важность настройки моментных выключателей электроприводов в соответствии с ТУ на арматуру, на которой они установлены. По данным ЦКБА, превышение величины настройки крутящего момента на закрытие арматуры всего лишь на 17% от нормированного значения приводит к снижению ее ресурса в 1,5 раза!

Метод диагностирования с контролем параметров полностью реализован в диагностическом комплексе Framatome ANP, поставленном в рамках проекта TACIS на Смоленскую АЭС в 2005 году.

На Смоленской АЭС диагностированием трубопроводной арматуры начали заниматься еще в 1992 году. История внедрения и диагностики по этапам выглядит так:

- В 1992 году предприятие Смоленскатомэнерго совместно с Минским ОКБМ разрабатывает и изготавливает измеритель крутящего момента для электроприводов, и в этом же году начинается внедрение его на Смоленской АЭС.

- В 1994 году Смоленская АЭС приобретает у предприятия «Интерарм» переносное устройство сбора информации (ПУСИ). Разрабатывается документация по организации диагностирования и технологии, предполагающей комплексное использование моментомера и ПУСИ.

- В 1996 году на САЭС разрабатывается программное обеспечение для архивирования информации по диагностированию.

- В 1999 году на САЭС в составе ЦНИО создаётся лаборатория диагностики электроприводной арматуры.

- В 2005 г. в рамках проекта TACIS на САЭС поставлен диагностический комплекс Framatome ANP.

До 2005 г. с использованием моментомера и переносного блока сбора информации (ПУСИ) настроены моментные выключатели более 3 000 электроприводов, произведены замеры и запись диагностической информации, полученной в ~14 000 циклах срабатывания арматуры. (В настоящее время этих записей 17200).

Из-за отсутствия до 2005 г. нормативной базы, регламентирующей процедуру применения диагностирования, использовались методики анализа, наработанные в процессе накопления опыта диагностирования. Определение вида технического состояния диагностируемой арматуры производилось субъективно, в основном по виду кривых в циклограммах, сравнения их с предыдущими записями циклограмм и сравнения с записями на однотипной арматуре. Это происходило потому, что используемые средства технического диагностирования имеют низкую точность измерения и используются в качестве индикатора, а также имеют ограниченную номенклатуру измеряемых параметров (ток и напряжение в одной из фаз и вибрацию). Но, несмотря на это, количество выявляемых дефектов доходило до 20% от общего количества диагностируемой арматуры, и эффективность диагностирования была достаточно высокой.

Вот примерный перечень выявляемых при диагностировании дефектов:

- Выбор привода не соответствует требованиям ТУ на арматуру.
- Несоответствие схемы управления требованиям ОТТ-87.
- Механический износ электропривода.
- Отказы силового узла моментных муфт.
- Силовая цепь электропривода не соответствует мощности установленного электродвигателя.
- Деформация шпинделя.
- Износ резьбы ходового узла.
- Повреждения резьбы шпинделя.
- Коррозионный износ шпинделя.
- Деформация элементов дистанционного управления.
- Деформация уплотняющих поверхностей арматуры.
- Заклинивание арматуры.
- Отказы электротормоза.
- Отсутствие смазки в электроприводах.
- Отказы концевых выключателей.
- Отказы пускателей.
- Дребезг силовых контактов пускателя.
- Ослабление крепления электроприводов.
- Течь масла в электроприводах Modakt.
- Старение изоляции электрооборудования (силовые и контрольные кабели).

В результате:

- Повышена надежность электроприводной арматуры и, как следствие, безопасность и экономичность работы АС. Количество выявляемых дефектов снизилось с 20 до 3% от общего объема диагностируемой арматуры.

- Выявляется более 20 потенциально возможных механических и электрических дефектов в узлах и элементах арматуры.

- Диагностирование используется как эффективный дополнительный инструмент при обследовании арматуры при изменении сроков ее ремонта.

- Нарботан опыт, и заложена «платформа» для применения более современных средств технического диагностирования и расширения области применения диагностирования (переход на стратегию ТОиР по техническому состоянию).

Диагностический комплекс Framatome ANP – это уже совершенно новое качество, позволяющее перейти к стратегии ТОиР электроприводной арматуры по техническому состоянию. Технология определения им вида технического состояния основана на принципе измерения диагностических параметров. При этом измерение производится с погрешностью не более 1%.

А это:

1. Исключает субъективный подход к определению вида технического состояния арматуры.

2. Позволяет сравнивать значения диагностических параметров группы однотипной арматуры при поиске и уточнении дефектов, а также уточнения самих параметров при возникновении трудностей при их расчете.

3. Отслеживать тренд (изменение) диагностических параметров во времени для прогнозирования технического состояния.

В состав диагностического комплекса Framatome ANP входит:

1. Комплект имитаторов арматуры для настройки электроприводов.
2. Комплект датчиков для измерения механических величин (крутящего момента, перемещения червячного вала электропривода, скорости вращения выходного вала электропривода).
3. Устройство DAW для измерения электрических величин электроприводов (активная мощность, ток, напряжение, сигналы срабатывания микровыключателей).
4. Компьютеры сбора данных и анализа с программным обеспечением.
5. Документация, в том числе методики и инструкции по инженерной поддержке, где приводятся методы расчета контролируемых параметров и их анализа.

Диагностирование комплексом FANP подразделяется на базовое и периодическое.

Базовые испытания (первичные) состоят из 2-х этапов:

1 этап – стендовые испытания электропривода.

2 этап – измерения по месту установки арматуры (используя откалиброванный привод как датчик параметров арматуры).

Периодический (очередной) контроль проводится путем измерения только электрических параметров.

При стендовых испытаниях электропривода производится:

1. Снятие нагрузочных характеристик $P = f(M)$.
2. Настройка моментных выключателей электропривода.
3. Общая оценка технического состояния электропривода.

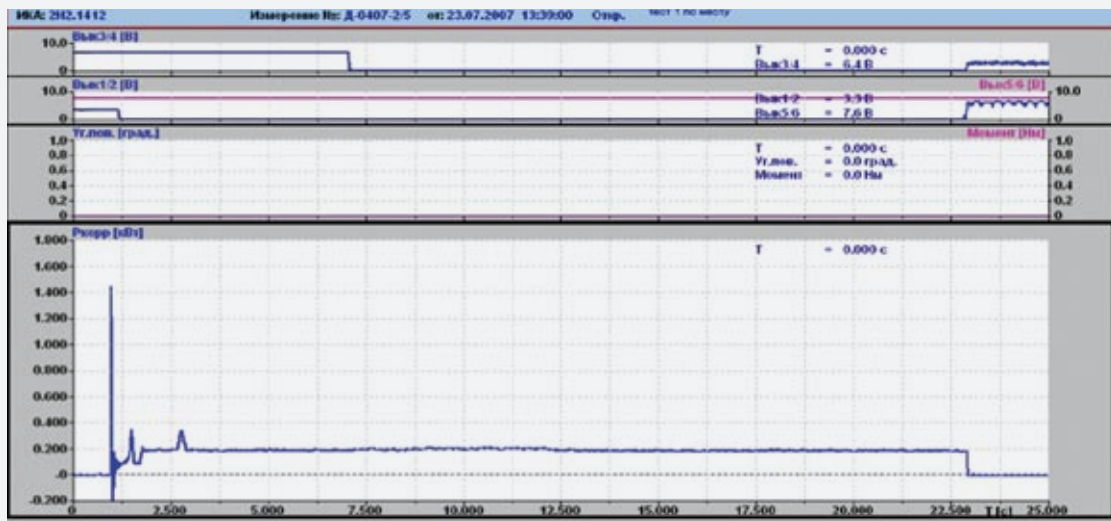
Рис. 2. Стенд с установленным на нем электроприводом



Рис. 3. Схема подключения диагностического оборудования по месту установки электроприводной арматуры



Рис. 4. Записанные диагностические данные (активная мощность и сигналы концевых и моментных выключателей)



Каждый из этапов заканчивается обработкой и анализом данных с использованием программного обеспечения

«ADAM», сохранением результатов в базе данных и полуавтоматической генерацией протокола.

Рис. 5. Фрагмент анализа данных. Калибровочная зависимость $P_{акт} = f(M_{кр})$

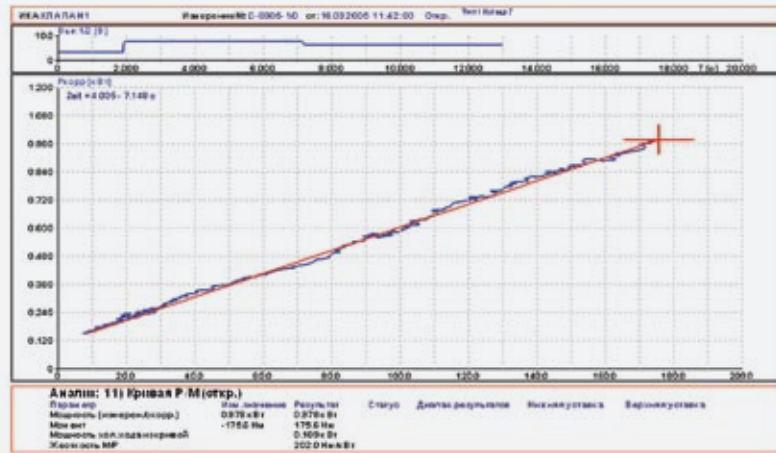


Рис. 6. Фрагмент анализа данных. Анализ характерной точки – максимальная мощность (отключение электродвигателя – точка 4 Рис. 1)

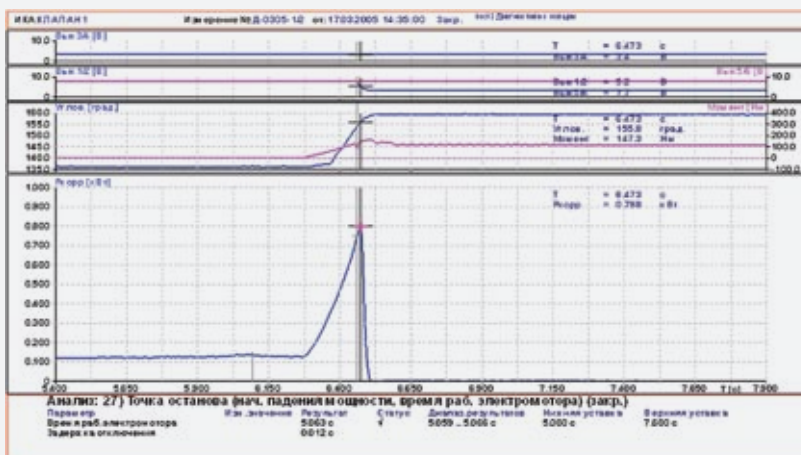


Рис. 7. Фрагмент анализа данных. Анализ характерной точки – отрыв из затяжки (смена флангов резьбы и начало разгрузки шпинделя – точка 6 Рис. 1)



Рис. 8. Пример протокола, генерируемого программным обеспечением ADAM

ADAM **Протокол измерения и анализа** **SMOL**
Диагностика DAW

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------|
| ИКА: 3Н2.1111 | Измерение: Харламов В.А. | | Дата печати: | 06.04.2007 14:26 |
| Имя ИКА: 2089/6 | Анализ: Харламов В.А. | | Дата измерения: | 11.08.2006 10:05 |
| № измер.: Д-0305-1/10 | | | Дата анализа: | 06.04.2007 14:25 |
| Базовые данные: | Арматура: | Привод | | |
| - Энергоблок: №3 | - Изгот-ель: Тяжпромарматура | - Изгот-ель: Тулаэлектрпривод | | |
| - Система: КМПС | - Тип: МА11112-800-06 | - Тип: Б099.102.15МУ2 | | |
| - № помещ.: 208/1 | - Ду: 800 | - Заводск.№: 1300 | | |
| | | - Отключение: 0.=в. мом., 3.=в. мом. | | |
| Значения и настройки: | Момент откл. | <u>Откр.</u> | <u>Закр.</u> | Матрица управления: |
| Длина стержня: 0 [мм] | - Ном.знач. | 1850,0 | 2130,0 [Нм] | M: A2 B1 C1 D1 E2 |
| Эл. адаптер: | - Настройка: | 1865,4 | 2073,4 [Нм] | F: F4 G1 H1 I2 |
| | Деление шкалы: | | | |
| Измерение: | Состояние системы | | | |
| R цепи питания: 1,07 [Ом] | Давление: | 0 [Бар] | Среда: Без среды | |
| Напряжение: 387,6 [В] | Температура: | 20 [°C] | | |

| Данные измерения и анализа в напр. Откр. : | | | | | | |
|--|----------|---------|---------|---------|---------------|----|
| Момент: | Ед. изм. | Факт | Погр. ± | Ном.зн. | Уставки | OK |
| При отрыве из затяжки | Нм | 1155,2 | | | | |
| При подрыве запорного органа | Нм | 1463,7 | 20,7 | | 319,5 1491,0 | ✓ |
| Средний при движении зап./рег. органа | Нм | 374,5 | 5,3 | 213,0 | 0,0 319,5 | ↑ |
| Колеб. при движении зап./рег. органа | Нм | 141,2 | 2,0 | | 213,0 | ✓ |
| При срабатывании КВ/МВ | Нм | 1704,8 | 24,1 | 1850,0 | 1665,0 2035,0 | ✓ |
| При максимальной мощности | Нм | 1742,5 | | | | |
| В крайнем положении | Нм | 2954,3 | 41,8 | 2035,0 | 1665,0 2543,8 | ↑ |
| Рост при входе в крайнее положение | Нм/с | 18642,7 | | | | |
| Спад при выходе из крайн. полож. | Нм/с | 39877,8 | | | | |
| Время | Ед. изм. | Факт | Погр. ± | Ном.зн. | Уставки | OK |
| Задержки отключения привода | с | 0,004 | 0,004 | | 0,100 | ✓ |
| Срабатывания арматуры | с | 85,23 | 0,004 | 86,30 | 77,70 94,90 | ✓ |
| Уплотнения арматуры | с | 0,156 | | | | |
| Прочее | Ед. изм. | Факт | Погр. ± | Ном.зн. | Уставки | OK |
| Интегральн. К трения резьбы штока | | --- | | | | |

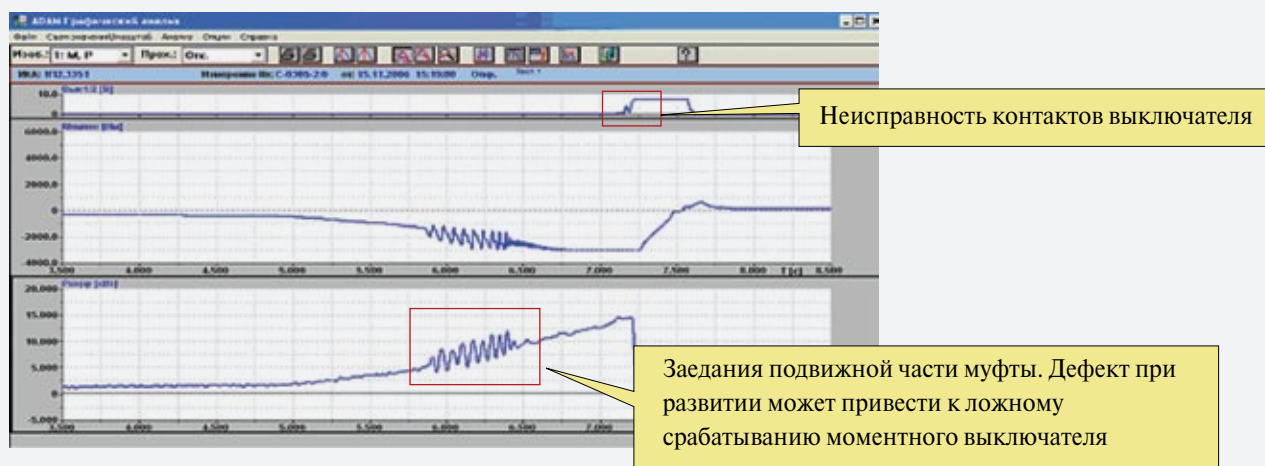
| Данные измерения и анализа в напр. Закр. : | | | | | | |
|--|----------|---------|---------|---------|---------------|----|
| Момент: | Ед. изм. | Факт | Погр. ± | Ном.зн. | Уставки | OK |
| При отрыве из затяжки | Нм | 929,7 | | | | |
| При подрыве запорного органа | Нм | 0,0 | | | | |
| Средний при движении зап./рег. органа | Нм | 270,5 | 3,8 | 213,0 | 0,0 319,5 | ✓ |
| Колеб. при движении зап./рег. органа | Нм | 110,1 | 1,6 | | 213,0 | ✓ |
| При срабатывании КВ/МВ | Нм | 2064,3 | 29,2 | 2130,0 | 1917,0 2343,0 | ✓ |
| При максимальной мощности | Нм | 2042,6 | | | | |
| В крайнем положении | Нм | 2272,5 | 32,1 | 2928,0 | 1917,0 2928,0 | ✓ |
| Рост при входе в крайнее положение | Нм/с | 3536,6 | | | | |
| Спад при выходе из крайн. полож. | Нм/с | 20875,7 | | | | |
| Время | Ед. изм. | Факт | Погр. ± | Ном.зн. | Уставки | OK |
| Задержки отключения привода | с | 0,004 | 0,004 | | 0,065 | ✓ |
| Срабатывания арматуры | с | 84,82 | 0,004 | 86,30 | 77,70 94,90 | ✓ |
| Уплотнения арматуры | с | 0,592 | | | | |
| Прочее | Ед. изм. | Факт | Погр. ± | Ном.зн. | Уставки | OK |
| Интегральн. К трения резьбы штока | | --- | | | | |

За 2006-2007 годы (во время ППР) с использованием диагностического комплекса FRAMATOME ANP проведены базовые испытания, выполнена настройка приводов и диагностирование 264 единиц арматуры.

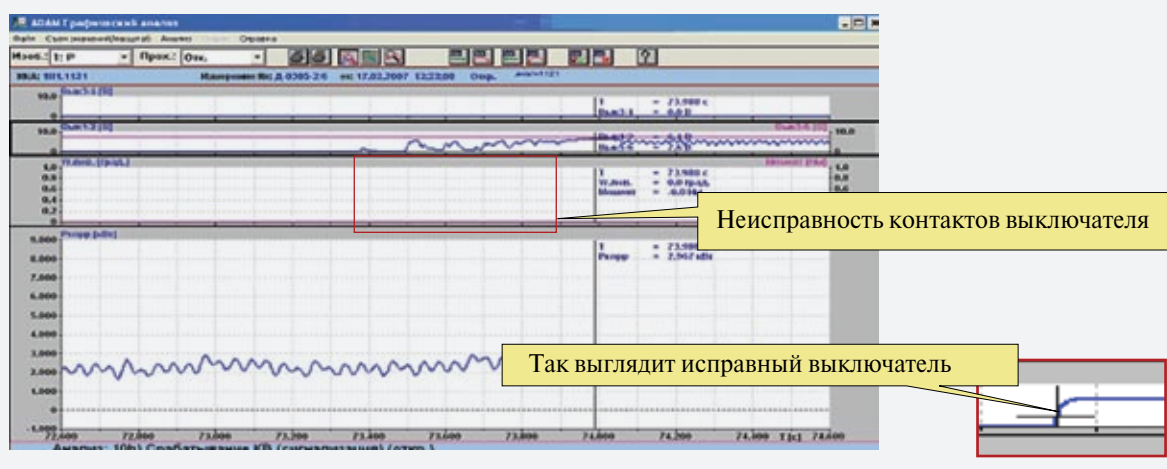
При использовании комплекса выявились очень существенные дефекты, определить которые без использования этих технических средств невозможно даже с полной разборкой арматуры и привода.

Примеры некоторых дефектов приведены далее.

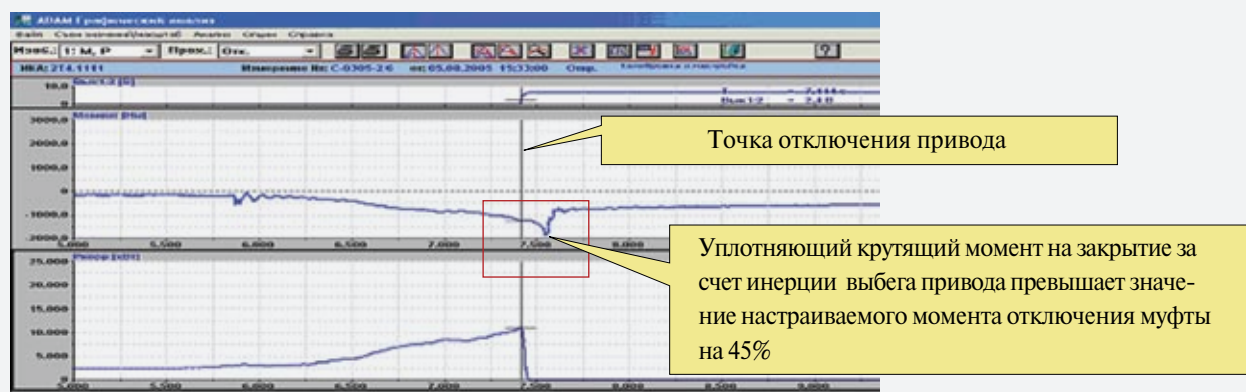
Пример 1. Привод Тип Г т.№ Б099.102 – 05М



Пример 2. Привод Тип Г т.№ Б099.102 – 05М



Пример 3. Привод МО125/160-75 т.№ 52005



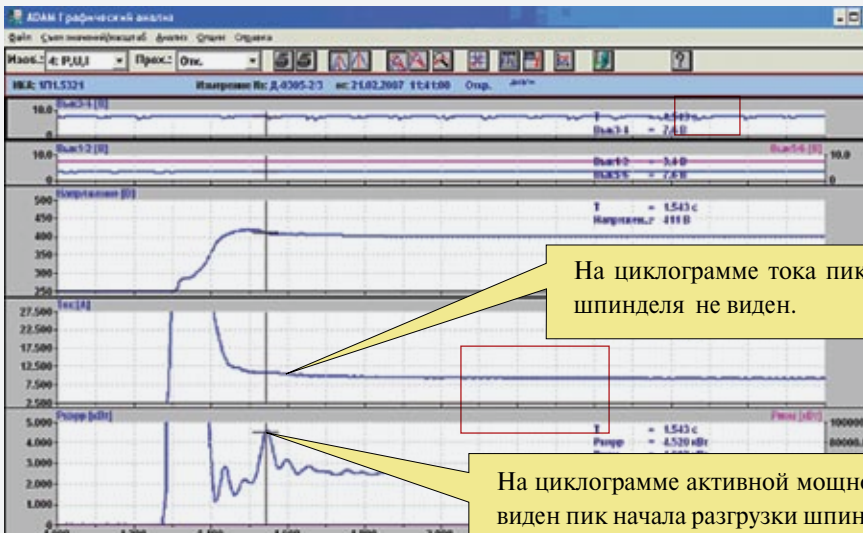
Пример 4. Задвижка Чеховского завода 895 – 400 – ЭА
(сравнение диагностических измерений до ремонта и после)



После устранения дефекта отчетливо видно возрастание мощности при подрыве клина

Неверно установленная ограничительная гайка на шпинделе арматуры. Отсутствует уплотнение клина. (На циклограмме не видно подрыва)

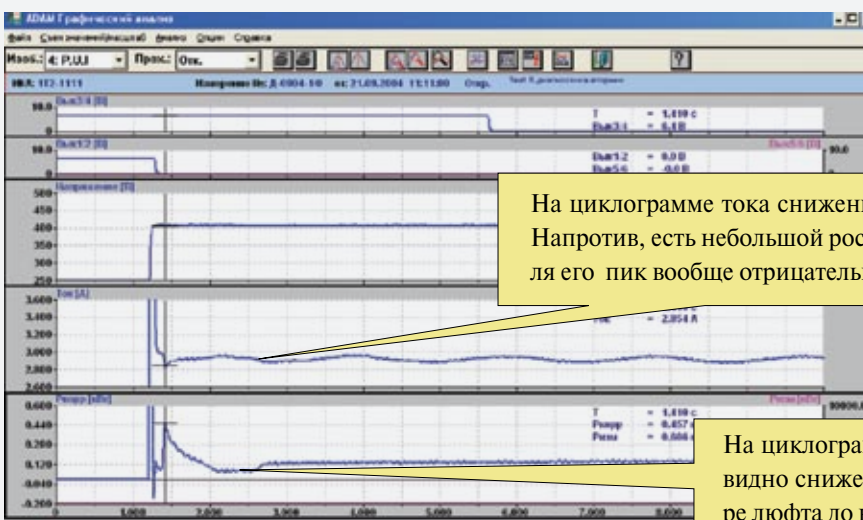
Пример 5.



На циклограмме тока пик начала разгрузки шпинделя не виден.

На циклограмме активной мощности отчетливо виден пик начала разгрузки шпинделя

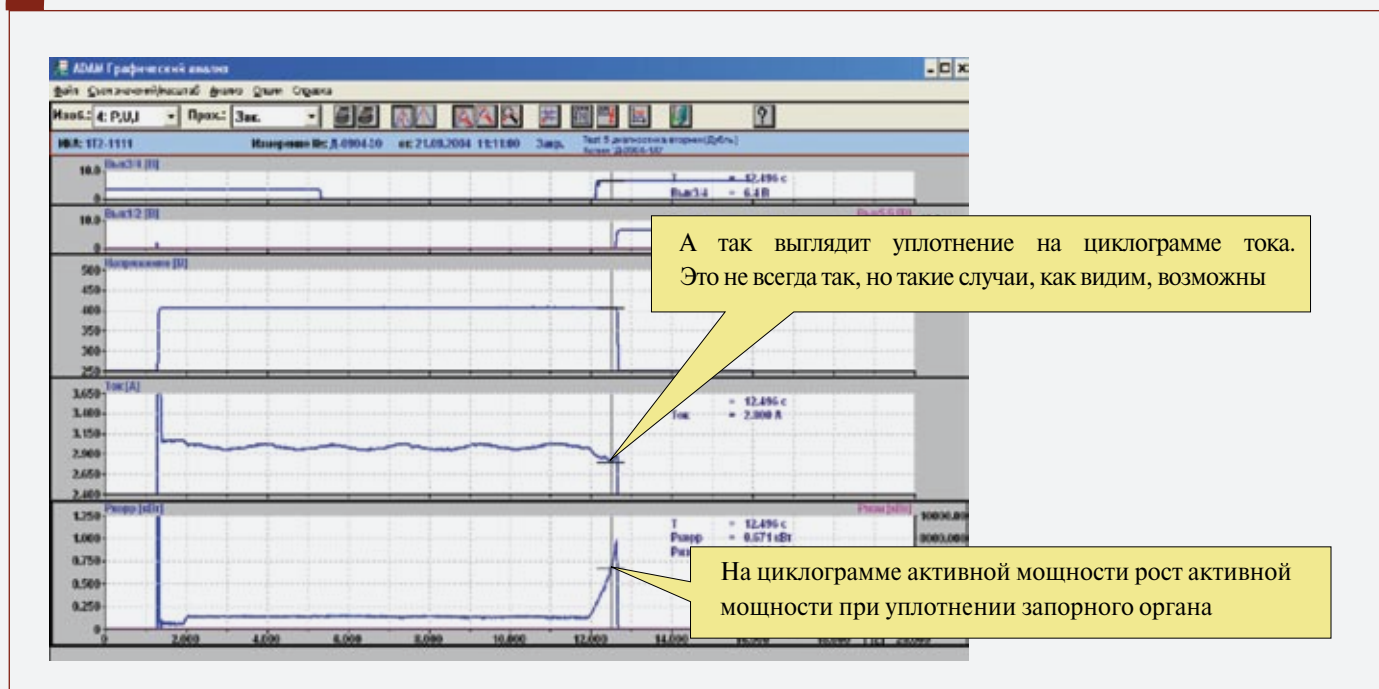
Пример 6.



На циклограмме тока снижения при выборе люфта не видно. Напротив, есть небольшой рост. А в начале разгрузки шпинделя его пик вообще отрицательный

На циклограмме активной мощности отчетливо видно снижение активной мощности при выборе люфта до начала подъема запорного органа

Пример 7.



Примеры 5, 6, 7 иллюстрируют преимущества контроля активной мощности в циклограмме «открытия – закрытия» перед током. Из иллюстраций видно, что циклограммы тока и активной мощности не идентичны, как можно было бы предположить. Иногда изменения значений тока и активной мощности прямо противоположны.

Для реализации стратегии ТОиР по техническому состоянию на Смоленской АЭС разработано «Временное положение о порядке применения на 1, 2, 3 энергоблоках САЭС стратегии ТОиР по техническому состоянию электроприводной запорной арматуры с использованием диагностического обеспечения Framatome ANP». Инв. №13 – 397. На основе этого Положения разработаны перечни арматуры, к которой применима стратегия ТОиР по состоянию. В период планово-предупредительного ремонта энергоблока №2 в августе 2007 года проведена отработка процедуры по определению вида технического состояния и принятия решения о продлении межремонтного периода на 10 единицах арматуры.

В конце хочу добавить существенное замечание. В результате статистической обработки данных проведенных испытаний выявлено, что нельзя проводить испытания (калибровку) какого-то одного привода и применять результаты к однотипным. При сравнении 4 абсолютно новых электроприводов типа МоА 1250-63 производства Чехии, имеющих достаточно высокое качество изготовления, выявлено, что калибровочные характеристики от-

личаются более чем на 5%. У приводов производства Чехии, длительное время эксплуатирующихся на станции, калибровочные характеристики отличаются более чем на 22%, а настройка моментных выключателей должна производиться с погрешностью не более 10%.

Заключение:

- Техническая диагностика с контролем параметров и сравнением их с расчетными (данными диагностического паспорта) не требует дополнительных изменений в конструкцию арматуры.
- Указанных диагностических параметров достаточно для определения вида технического состояния арматуры и его прогнозирования.
- При дальнейшем развитии средств анализа (например, введя спектральный анализ кривой активной мощности в ходе открытия/закрытия арматуры) возможно точное определение отказа (неисправности) уже в ходе диагностирования.
- В техническом обосновании безопасности энергоблоков желательно определить эксплуатационные протечки отсечной арматуры в составе технологической системы.
- При выпуске арматуры с завода-изготовителя снабжать её диагностическим паспортом, в котором должны указываться значения диагностических параметров. В этом случае отпадет необходимость проведения базовых испытаний на энергоблоках.