

# ЭКСПЕРТНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ

**Е.Л. Трыков\*, И.В. Трыкова\*\*, К.И. Коцоев\*\*,\*\*\***

\* АО «НТЦ Дианпром»

249031, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, д. 6, пом. 22-23

\*\* ООО «КВАНТ ПРОГРАММ»

111558, г. Москва, Зеленый проспект, д. 5/12, стр. 3, пом. Б1

\*\*\* МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1



Одним из основных факторов безопасной эксплуатации АЭС является безотказная работа электроприводной арматуры (ЭПА). ЭПА, являясь ответственным оборудованием, входит как в системы безопасности, так и системы, важные для безопасности. Поэтому к надежности ЭПА предъявляются самые высокие требования.

ЭПА является самым многочисленным классом оборудования АЭС. В зависимости от проекта один энергоблок содержит от 1500 до 3000 единиц только электроприводной арматуры. Из анализов отказов в работе АЭС следует, что значительная их часть связана с отказами электроприводной арматуры систем безопасности и систем, важных для безопасности.

Приводится описание автоматизированной системы диагностирования запорной и регулирующей ЭПА, применяемой на трубопроводах АЭС. Разработанные алгоритмы диагностирования позволяют учитывать вариабельность технических параметров ЭПА, одновременно с этим учитывая паспортные ограничения на диагностические параметры в том случае, если таковые имеются.

**Ключевые слова:** безопасность АЭС, электроприводная арматура, трубопроводы, диагностирование, нейронные сети, сегментация, автоматизированная система.

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации ЭПА подвергается воздействию значительного числа факторов, зачастую случайных, например, варьирование параметров рабочей и окружающей сред. При этом, чем выше вариация параметров технического состояния, тем менее эффективны регламентные схемы ТОиР, так как в этом случае всегда присутствует фактор неопределенности технического состояния объекта. Таким образом, несмотря на регулярно проводимые ППР не все дефекты ЭПА возможно своевременно выявить.

В работе представлена система диагностирования, позволяющая проводить полностью автоматизированную оперативную диагностику ЭПА на ранних стадиях развития неисправности. Разработанные алгоритмы диагностирования позволяют учитывать вариабельность технических параметров ЭПА и паспортные ограничения на диагностические параметры в том случае, если таковые имеются. В [1, 2] приведен обзор характерных дефектов ЭПА.

© Е.Л. Трыков, И.В. Трыкова, К.И. Коцоев, 2021

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В статье приняты термины согласно методике [3] «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010», утвержденной и введенной в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 27.03.2012 № 9/270-17.

Методика [3] устанавливает требования к содержанию и организации работ по оценке технического состояния электроприводной запорной, запорно-регулирующей и регулирующей арматуры, установленной в технологических системах энергоблоков АЭС, с использованием средств и методов технической диагностики.

Требования методики распространяются на арматуру, относящуюся к классам безопасности 2, 3, 4 по квалификации НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) и группам В и С по ПНАЭ Г-7-008-89, разработанную в соответствии с требованиями НП-068-05, ОТП-87, а также разработанную до введения в действие ОТП-87.

В статье, согласно [3], используются следующие термины с соответствующими определениями:

- активная мощность – величина, равная среднеарифметическому значению мгновенной мощности двухполюсника за период (ГОСТ Р 52003);
- диагностический (контролируемый) параметр – параметр объекта, используемый при его диагностировании (ГОСТ 20911);
- циклограмма – временной ряд (ток, напряжение, активная мощность и т.п.), описывающий один цикл «открытия» или «закрытия» ЭПА.

## ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

### Исходные данные

Опыт эксплуатации ЭПА и анализ неисправностей электрических машин показывают, что для определения вида технического состояния (оценки работоспособности) арматуры, находящейся в составе технологических систем энергоблоков ТЭС и АЭС, достаточно информативным является токовый сигнал и (или) сигнал активной мощности электродвигателя, измеренный для одной или трех фаз [3]. Регистрируемой информацией для расчета диагностических параметров являются электрические параметры тока и напряжения со статорных обмоток электродвигателя (ЭД).

Сигналы тока, напряжения со статорных обмоток ЭД (по трем фазам) и концевых выключателей регистрируются в режиме реального времени измерительными модулями в шкафах РТЗ0 и передаются посредством сети Ethernet в базу данных системы сбора данных. Архитектура системы сбора данных приведена в [4].

Диагностирование ЭПА по сигналам тока ЭД, потребляемого в процессе выполнения операций «открытие» и «закрытие», рассмотрено в [5 – 7].

### Получение циклограммы активной мощности

Ключевую роль при диагностировании неисправностей играет циклограмма активной мощности, рассчитанная по сигналам тока и напряжения по формуле

$$P(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(\tau) \cdot i(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $T$  – период несущей частоты (50 Гц);  $u(\tau)$ ,  $i(\tau)$  – мгновенные значения напряжения и тока в момент времени  $\tau$  соответственно. Пример циклограммы активной мощности приведен на рис. 1.

Далее из циклограмм активной мощности и тока выделяются диагностические признаки, на основании которых делается вывод о наличии того или иного дефекта.

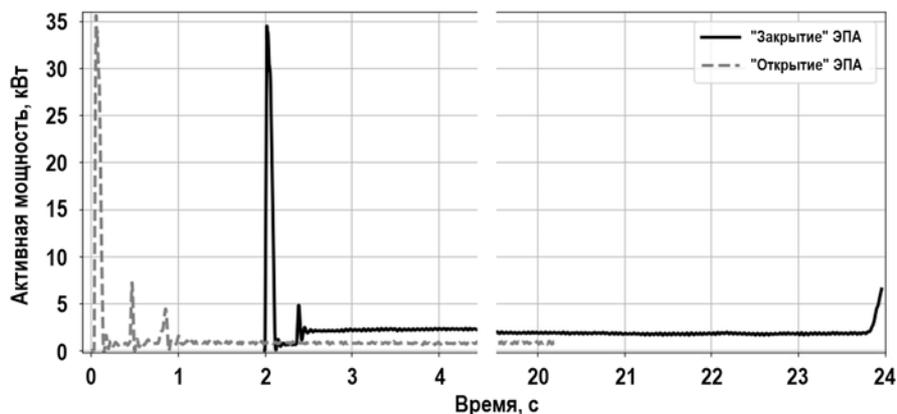


Рис. 1. Циклограмма активной мощности

### Алгоритм работы системы диагностирования

Алгоритм работы системы диагностирования приведен на рис. 2

**Шаг 0. Обучить нейронную сеть по максимально возможному количеству сигналов различных типов ЭПА**



**Шаг 1. Обучить систему диагностирования. Определить допустимые границы диагностических признаков для конкретной ЭПА**



**Шаг 2. Диагностировать. Определить характер неисправности для конкретного срабатывания ЭПА**



Рис. 2. Алгоритм работы системы диагностирования

### МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

#### Сегментация сигнала активной мощности

Основной идеей предлагаемого подхода является сегментация циклограммы активной мощности с последующим вычислением диагностических признаков по сег-

ментам (рис. 3).

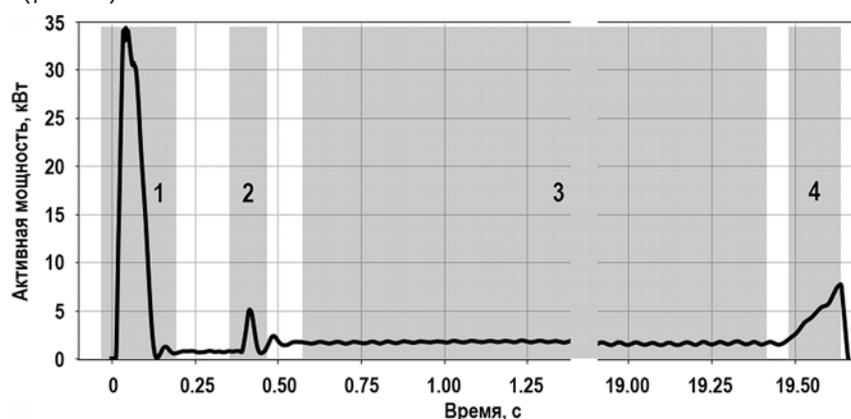


Рис. 3. Сегментация циклограммы активной мощности: 1 – старт (разворот) двигателя; 2 – подрыв запорного органа (для «открытия»); 3 – рабочий ход; 4 – уплотнение (для «закрытия»)

Отличительной особенностью нашего подхода является то, что сегментация производится полностью автоматически, при помощи предварительно обученной нейронной сети типа U-Time [8] (сверточная сеть, адаптированная для сегментации временных рядов и построенная по принципу энкодер-декодер, использующая skip-connections – элементы, соединяющие части декодера и энкодера в каждом масштабе). Подробное описание архитектуры сети и доказательства ее эффективности в применении к сегментации сигнала активной мощности приведены в [9].

Для каждой временной точки циклограммы активной мощности нейронная сеть предсказывает вероятность того или иного сегмента. Таким образом, выбрав множество точек циклограммы активной мощности, для которых вероятность определенного сегмента близка к единице (например, больше 0.95), можно утверждать, что эти точки относятся к выбранному сегменту и определить его границы (рис. 4).

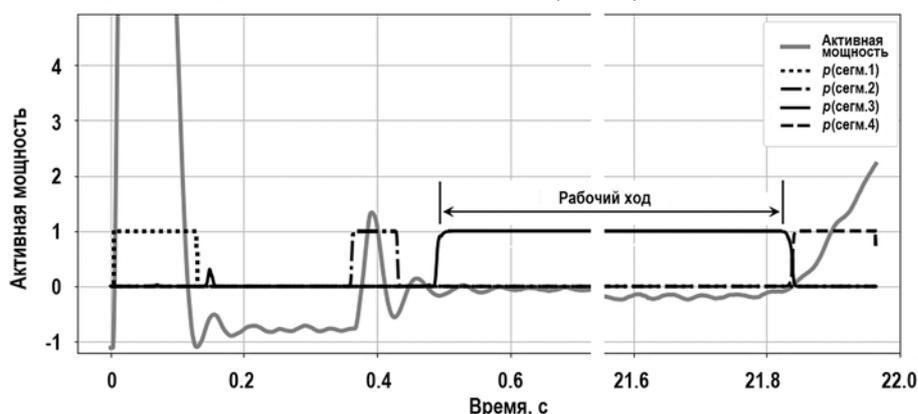


Рис. 4. Результат сегментации циклограммы активной мощности. Вероятность каждого сегмента  $p(\text{сегм. } N)$ ,  $N \in [1, 4]$  получена нейронной сетью

Обучение нейронной сети производится на большом массиве сигналов ЭПА (циклограмм), необязательно для какого-то конкретного типа арматуры, как на сигналах открытия, так и закрытия, на запорной и регулирующей ЭПА. Обученная таким образом нейронная сеть способна сегментировать любой «относительно похожий» сигнал ЭПА.

В процессе обучения весь массив обучающих данных разбивается на две части – собственно данные, на которых происходит обучение («тренировочная» выборка), и данные для проверки качества работы обученной сети («валидационная» выборка).

Как показано в [9], сеть, обученная на тренировочной выборке в 500 циклограмм, правильно выделяет сегменты на валидационной выборке (150 циклограмм) в следующих процентных соотношениях:

- сегмент 1: 98.28%;
- сегмент 2: 92.60%;
- сегмент 3: 99.73%;
- сегмент 4: 71.65%.

Следовательно, обучение нейронной сети необязательно проводить каждый раз для каждой конкретной ЭПА. Достаточно обучить однократно по большому набору «похожих» данных, также возможно использовать когда-то ранее обученную сеть. При неудовлетворительном качестве сегментации сеть всегда можно дообучить на сигналах этой ЭПА.

### **Определение набора диагностических признаков**

Для каждого сегмента вычисляется набор диагностических признаков. При этом наравне с сигналом активной мощности используются информация, рассчитанная по сигналам тока (по фазам), и спектры Фурье от сигналов активной мощности и тока.

При определении набора диагностических признаков были учтены результаты работ [3, 10].

Согласно [3], при диагностировании ЭПА из циклограммы извлекаются следующие характеристики:

- время выполнения операции «открытие» («закрытие»), с;
- разность времени открытия и закрытия, абсолютная в секундах и относительная в %;
- ток рабочего хода при открытии (закрытии), А;
- мощность рабочего хода при открытии (закрытии), кВт;
- время рабочего хода при открытии (закрытии), с;
- отношение величины пускового тока к рабочему (пусковой мощности к рабочей) при рабочем ходе на открытие (закрытие);
- отношение тока (мощности) срыва к рабочему току (мощности) при выполнении операции «открытие»;
- отношение тока (мощности) уплотнения к рабочему току (мощности) при выполнении операции «закрытие»;
- плавность рабочего хода по токовому сигналу (сигналу активной мощности) при открытии (закрытии);
- коэффициент расхождения значений тока (активной мощности) в пределах границ времени выполнения операций «открытие» и «закрытие»;
- интервал времени пуска ЭД, с;
- время уплотнения запорного органа при закрытии, с;
- время отключения ЭД при окончании операций «открытие» и «закрытие», с;
- время срыва запорного органа при выполнении операции «открытие», с;
- несимметричность рабочего тока (напряжения) в фазах *A, B, C*;
- амплитуда гармоники, соответствующей частоте вращения выходного вала ЭД.

Перечисленные диагностические признаки определяются по сегментам (для каждого сегмента составляется свой набор диагностических признаков).

В работе [10] исследовались стохастические характеристики циклограмм (такие как энтропия) в зависимости от степени выраженности дефектов. В [10] теоретически показана связь энтропии Шеннона с состоянием ЭПА и показана большая чувствительность энтропии Шеннона по отношению к отдельным видам дефектов.

В связи с этим, в качестве диагностических признаков были выбраны (дополнительно к вышеописанным) такие характеристики, как энтропия Шеннона и перестановочная энтропия [11].

Обе энтропии характеризуют вариабельность процесса. Причем с ухудшением состояния объекта в сигнале появляются дополнительные гармоники, и вариабельность возрастает. Когда вариабельность возрастает, энтропия Шеннона увеличивается, а перестановочная энтропия уменьшается [12].

В работе [13] показывается связь между энтропийными показателями и характером неисправности ЭПА (неисправность электрической либо механической части).

Для каждого сегмента были рассчитаны следующие диагностические признаки.

Сегмент 1 (старт и разворот двигателя):

- ширина на половине высоты;
- максимум по сегменту;
- сумма квадратов отклонений от линейной регрессии по фронту нарастания.

Сегмент 2 (подрыв запорного элемента, для «открытия»):

- ширина на половине высоты;
- максимум по сегменту.

Сегмент 3 (движение заслонки):

- среднее расстояние между верхней и нижней огибающими (по максимумам и минимумам) по активной мощности;
- спектральная энтропия;
- энтропия Шеннона;
- перестановочная энтропия;
- рабочее значение тока по фазам;
- несимметричность рабочего тока;
- плавность хода (по току) по фазам (по огибающей, Гильберт);
- разница плавности тока по фазам;
- амплитуда спектра.

Сегмент 4 (уплотнение, для «закрытия»):

- максимум по сегменту;
- угол наклона (линейная регрессия);
- сумма квадратов отклонений от линейной регрессии по сегменту;
- расстояние между максимумом и минимумом.

Общие характеристики по циклограмме:

- отношение мощности пуска к мощности рабочего хода;
- отношение мощности подрыва к мощности рабочего хода;
- отношение мощности уплотнения к мощности рабочего хода;
- отношение тока пуска к току рабочего хода;
- отношение тока подрыва к току рабочего хода;
- полное время срабатывания арматуры;
- индикатор наличия подрыва;
- индикатор наличия уплотнения.

Этот набор диагностических признаков не является окончательным и может быть изменен оператором (оператор может принять решение, что какие-то из признаков являются несущественными при диагностировании конкретной ЭПА, и «отключить» их).

#### **Получение допустимых границ диагностических признаков**

При наличии базы данных по конкретной ЭПА обученная нейронная сеть сегментирует каждую циклограмму, далее по сегментам вычисляются диагностические признаки. В предположении, что большинство операций «открытия» и «закрытия» происходят нормально (нет критических массовых отказов и арматура в целом функционирует), появляется возможность по накопленной статистике определить допустимые интервалы по каждому диагностическому признаку (используя 0,25-квантиль  $Q_1$  и 0,75-квантиль  $Q_3$ , рис. 5). Единичные «дефектные» срабатывания отсеиваются автоматически.

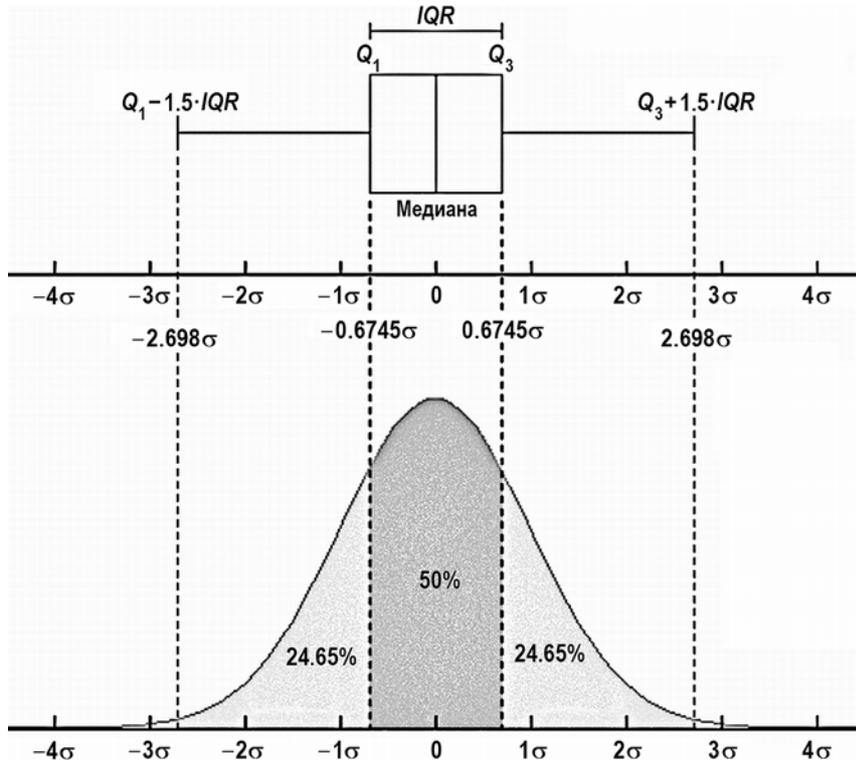


Рис. 5. Получение квантилей распределения по каждому диагностическому признаку

В системе диагностирования также предусмотрен ручной режим задания допусков по диагностическим признакам, что важно при недостаточной статистике либо, когда эти границы жестко указаны в паспорте на ЭПА. Оператор имеет возможность задать допустимые интервалы вручную, далее выбрать режим работы – только статистика, статистика с ручными ограничениями, только ручные ограничения (например, арматура новая и статистики еще нет).

Те циклограммы, диагностические признаки которых выходят за границы допустимых интервалов, определяются как «дефект».

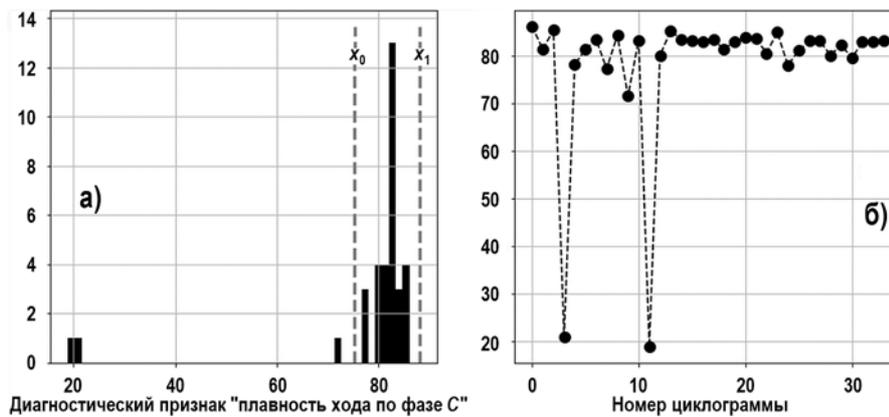


Рис. 6. Диагностический признак «плавность хода по фазе С»: а) – гистограмма,  $x_0 = 75.32$  и  $x_1 = 88.06$  – левая и правая допустимые границы по квантилям; б) – значение диагностического признака по статистике циклов «закрытия» для одной и той же ЭПА

Пример определения допустимых интервалов по статистике приведен на рис. 6 для

диагностического признака «плавность хода по фазе С». Диагностический признак «плавность хода»  $\gamma$ , вычисляется по сегменту 3 как

$$\gamma = \left( 1 - \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{med}}} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$ ,  $I_{\text{med}}$  – наибольшее, наименьшее и медианное значения огибающей сигнала тока.

Согласно [3], значение  $\gamma$  менее 75% трактуется как неисправное состояние.

### АНАЛИЗ ЦИКЛОГРАММЫ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОЗА

После того, как были определены допустимые интервалы по диагностическим признакам, система диагностирования может сформировать диагноз для каждой конкретной циклограммы.

Постановка диагноза производится согласно «приложению П» методики [3]. Это приложение состоит из перечня возможных дефектов каждого узла ЭПА и описания того, как проявляется данный дефект через характеристики циклограммы.

Таблица 1

**Пример сопоставления характеристик циклограммы и диагностических признаков**

Дефект	Проявление на циклограмме	Диагностические признаки
Биение выходного вала электропривода	Время «открытия», «закрытия» больше нормативного Плавность рабочего хода ниже нормы (одинаково во всех трех фазах)	<u>Общие характеристики</u> по циклограмме: полное время срабатывания арматуры <u>Сегмент 3</u> : плавность хода (по току) по фазам (по огибающей, Гильберт); разница плавности тока по фазам
Недостаточно смазки или загрязнение смазки в редукторе электропривода	Плавность рабочего хода ниже нормы (одинаково во всех трех фазах) Большой момент затяга при закрытии арматуры Пусковой ток значительно превышает рабочий Время «открытия», «закрытия» больше нормативного Двигатель работает с повышенной нагрузкой	<u>Сегмент 3</u> : несимметричность рабочего тока; плавность хода (по току) по фазам (по огибающей, Гильберт); амплитуда спектра <u>Общие характеристики</u> по циклограмме: отношение тока пуска к току рабочего хода; полное время срабатывания арматуры <u>Сегмент 4</u> : максимум по сегменту; расстояние между максимумом и минимумом
Повреждения (дефекты) обмотки электродвигателя	Несимметричность рабочего тока и напряжения в фазах (перекос фаз более 10%)	<u>Сегмент 3</u> : несимметричность рабочего тока
Отклонения в работе электродвигателя	Пусковой ток значительно превышает рабочий Большое время пуска электродвигателя Рабочий ток больше номинального значения Время «открытия», «закрытия» больше нормативного	<u>Сегмент 1</u> : ширина на половине высоты; максимум по сегменту; сумма квадратов отклонений от линейной регрессии по фронту нарастания <u>Сегмент 3</u> : рабочее значение тока по фазам <u>Общие характеристики</u> по циклограмме: отношение тока пуска к току рабочего хода; полное время срабатывания арматуры

Полученную конкретную циклограмму нейронная сеть сегментирует и определяет

диагностические признаки по сегментам. Если все эти признаки находятся внутри допустимых интервалов, такой сигнал определяется как «норма». Если один или несколько признаков выходят за допустимые границы, то детектируется «неисправность», сопоставление выявленной неисправности и возможного дефекта ЭПА производится согласно [3] (табл. 1).

Учитывая, что одновременно несколько признаков могут указывать на одну и ту же неисправность (например, одновременный выход за допустимые границы признаков по сегменту 3 «несимметричность рабочего тока», «плавность хода (по току) по фазам (по огибающей, Гильберт)», «амплитуда спектра»; признаков по сегменту 4 «максимум по сегменту», «расстояние между максимумом и минимумом», указывающих на один и тот же дефект «Недостаточно смазки или загрязнение смазки в редукторе электропривода»), было введено понятие «повторяемости» дефекта. Повторяемость дефекта тем выше, чем большее количество признаков (среди общего числа признаков, вышедших за допустимые границы) указывает на данный дефект.

Пример вывода системы диагностирования приведен в табл. 2.

Таблица 2

**Пример диагноза для циклограммы сигнала**

Неисправность	Повторяемость
Односторонний износ в червячной паре ЭП	25,00%
Недостаточно смазки или загрязнение смазки в редукторе ЭП	25,00%
Биение выходного вала ЭД	18,75%
Износ кинематических пар редуктора, поломка зубьев зубчатых передач ЭП	18,75%
«Волнистость» активной мощности повышена. Отклонение от характерного для данной арматуры	6,25%
КЗ в обмотках статора ЭД	6,25%

**ВЫВОДЫ**

Разработан и реализован прототип автоматизированной системы определения неисправностей ЭПА.

Разработанная система позволяет производить быстрое онлайн-диагностирование работы ЭПА, что значительно повышает вероятность выявления дефектов на ранних стадиях, не дожидаясь критических отказов, что позволит более эффективно использовать оборудование, скорректировать графики ремонта оборудования и снизить затраты, предупредить неожиданный выход оборудования из строя.

Система допускает гибкую настройку под конкретный тип ЭПА, позволяет учитывать как паспортные ограничения по параметрам арматуры, так и влияние среды в трубопроводах АЭС. Оператор может задать свой набор диагностических признаков, наиболее полно и точно описывающих функционирование конкретной ЭПА.

За счет автоматизации процесса сегментации исключается влияние человеческого фактора, становится возможным анализировать статистику срабатываний ЭПА, находить тренды в изменениях диагностических признаков и прогнозировать ухудшение состояния арматуры. Все вышеуказанное позволяет значительно повысить надежность определения неисправностей ЭПА, сделать диагностику более полной и адресной.

По результатам тестирования работы разработанной системы диагностирования перечень неисправностей арматуры совпал с перечнем неисправностей, полученным при оффлайн-диагностировании «Комплексной системой диагностирования арматуры», установленной на шестом блоке Нововоронежской АЭС.

**Литература**

1. Адаменков А.К. Диагностическое обеспечение перехода на техническое обслуживание и ремонт запорно-регулирующей арматуры АЭС по техническому состоянию. / Автореферат дисс. к.т.н. – Волгоград: ВИТИ, 2009. – 26 с.
2. Слепов М.Т., Сысоев Н.П. Диагностика ЭПА – опыт работы Нововоронежской АЭС. // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2 (11). – С. 79-85.
3. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010. Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика. Введена в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 27.03.2012. № 9/270-17.
4. Матвеев А.В., Жидков С.В., Адаменков А.К., Галивец Е.Ю., Усанов Д.А. Комплексный подход к диагностированию электроприводной арматуры применительно к задачам управления ресурсом. // Арматуростроение. – 2009. – № 2 (59). – С. 53-59.
5. Абидова Е.А., Малик О.В., Гавриленко Д.С. Система обработки диагностических сигналов электроприводной арматуры. // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 2 (15). – С. 56-62.
6. Матвеев А.В., Складников А.Ф. Диагностирование арматуры с электроприводом при помощи параметров активной мощности. // Арматуростроение. – 2009. – № 3 (60). – С. 67-71. Электронный ресурс: <https://docplayer.ru/74845967-Diagnostirovanie-armatury.html> (дата доступа 20.02.2021).
7. Матвеев А.В., Складников А.Ф. Диагностирование арматуры с электроприводом при помощи относительных электрических параметров. // Арматуростроение. – 2009. – № 3 (60). – С. 40-51. Электронный ресурс: <http://www.diaprom.com/publication/?id=5/> (дата доступа 20.02.2021).
8. Perslev M., Jensen M.H., Darkner S., Jennum P.J., Igel C. U-Time: A Fully Convolutional Network for Time Series Segmentation Applied to Sleep Staging. // arXiv:1910.11162v1 [cs.LG] 24 Oct – 2019. – 19 p.
9. Коцоев К.И., Трыков Е.Л., Трыкова И.В. Применение сверточной нейронной сети для сегментации сигналов ЭПА. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2021. – № 2. – С. 158-168. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe/2021.2.14>.
10. Абидова Е.А., Хегай Л.С., Чернов А.В., Драка О.Е., Пугачёва О.Ю. Диагностирование электроприводной арматуры с использованием энтропийных показателей. // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 4 (21). – С. 69-77.
11. Абидова Е.А., Хегай Л.С., Чернов А.В., Булава В.А., Соловьёв В.И., Пугачёва О.Ю. Диагностирование дизель-генераторного оборудования АЭС с использованием детерминированных и стохастических методов. // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 3 (20). – С. 74-79.
12. Чумак О.В. Энтропии и фракталы в анализе данных. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. – 164 с.
13. Хегай Л.С. Программно-технический комплекс системы диагностики электромеханического оборудования АЭС на основе энтропийной параметризации диагностических сигналов. / Дисс. к.т.н. – Волгоград: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 138 с.

Поступила в редакцию 25.02.2021 г.

**Авторы**

**Трыков** Евгений Львович, IT-специалист, канд. физ.-мат. наук  
E-mail: [trykov@diaprom.ru](mailto:trykov@diaprom.ru)

**Трыкова** Ирина Владимировна, программист  
E-mail: [trykova@kvantprogramm.ru](mailto:trykova@kvantprogramm.ru)

**Коцоев** Константин Игоревич, инженер  
E-mail: [kotsoev@kvantprogramm.ru](mailto:kotsoev@kvantprogramm.ru)

UDC 621.646

## EXPERT NEURAL NETWORK SYSTEM FOR DIAGNOSING ELECTRICALLY ACTUATED VALVES

Trykov E.L.\*, Trykova I.V.\*\*, Kotsoev K.I.\*\*,\* \*\*

\* JSC STC Diaprom

6, rooms 22-23 Koroleva str., 249031 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

\*\* KVANT PROGRAMM LTD

5/12, bld. 3, room B1 Zeleny Av., 111558 Moscow, Russia

\*\*\* Bauman Moscow State Technical University

5, bld. 1, 2-nd Baumanskaya Str., 105005 Moscow, Russia

### ABSTRACT

One of the main factors for the safe operation of a nuclear power plant (NPP) is the trouble-free operation of electrically actuated valves (EAVs). The EAVs, being an important part of critical equipment, are included both in security systems and safety-related systems. Therefore, the highest requirements are imposed on the reliability of the EAVs.

The EAVs constitute the most numerous class of NPP equipment. Depending on the design, one power unit contains from 1,500 to 3,000 units of electrically actuated valves only. As the analyses of failures in the operation of NPPs show, a significant part of them is associated with failures of electrically actuated valves of security systems and safety-related systems. The main reason for sudden failures of valves is the lack of control of their technical condition during power operation.

Violation of the EAV operation can lead to a decrease in the safety of the NPP power unit as a whole. Considering that under the conditions of an operating power unit, the EAVs are often located in rooms with an increased radiation level, it is impossible to use contact diagnostic methods. Currently, the EAVs are diagnosed by a current and voltage signal recorded from the stator windings of an electric motor (EM).

Difficulty in diagnosing EAVs arises due to the fact that during operation the valves are exposed to a significant number of factors, often random ones (changing parameters of the working environment). As a result, there is a dispersion of the parameters of the technical state of the EAVs. At the same time, the higher the variation of the technical condition parameters, the less effective the routine maintenance and repair schemes, since, in this case, there is always a factor of uncertainty in the technical condition of the object.

This paper describes an automated diagnostic system for shut-off and regulating EAVs used in NPP pipelines.

**Key words:** NPP safety, electrically actuated valves, pipelines, diagnosing, neural networks, segmentation, automated system.

### REFERENCES

1. Adamenkov A. K. *Diagnostic Support for the Transition to Maintenance and Repair of Shut-off and Control Valves at NPP Based on their Technical Condition*. Cand. Sci. (Engineering) Diss. Abstr. Volgodonsk. VITI Publ., 2009, 26 p. (in Russian).
2. Slepov M.T., Sysoev N.P. Electrodrived valves diagnostics – experience of the Novovoronezh NPP. *Globalnaya Yadernaya Bezopasnost'*. 2014, no. 2 (11), pp. 79-85 (in Russian).
3. MT 1.2.3.02.999.0085-2010. *Diagnosing of Pipeline Electrodrived Valves*. Methodology. Put into act by the order of Rosenergoatom Concern JSC dated 27.03.2012. No. 9/270-17 (in Russian).

4. Matveev A.V., Zhidkov S.V., Adamenkov A. K., Galivets E.Yu., Usanov D.A. An Integrated Approach to Diagnosing Electrodriven Valves to Applied to the Tasks of Resource Management. *Armaturostroenie*. 2009, no. 2 (59), pp. 53-59 (in Russian).
5. Abidova E. A., Malik O.V., Gavrilenko D.S. System of Electrodriving Fittings Diagnostic Signals Processing. *Globalnaya Yadernaya Bezopasnost'*. 2015, no. 2 (15), pp. 56-62 (in Russian).
6. Matveev A.V., Skladnikov A.F. Diagnosing of Electrodriven Valves Using Active Power Parameters. *Armaturostroenie*. 2009, no. 3 (60), pp. 67-71. Available at: <https://docplayer.ru/74845967-Diagnostirovanie-armatury.html> (accessed Feb. 20, 2021) (in Russian).
7. Matveev A.V., Skladnikov A.F. Diagnosing of Electrodriven Valves Using Relative Electrical Parameters. *Armaturostroenie*. 2009, no. 3 (60), pp. 40-51. Available at: <http://www.diaprom.com/publication/?id=5/> (accessed Feb. 20, 2021) (in Russian).
8. Perslev M., Jensen M.H., Darkner S., Jennum P.J., Igel C. U-Time: A Fully Convolutional Network for Time Series Segmentation Applied to Sleep Staging. *arXiv:1910.11162v1 [cs.LG]* 24 Oct 2019, 19 p.
9. Kotsoev K.I. Trykov E.L., Trykova I.V.. Application of convolutional neural network for segmentation of electric driven valves signals. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2021, no. 2, pp. 158-168; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe/2021.2.14> (in Russian).
10. Abidova E.A., Hegay L.S., Chernov A.V., Draka O.E., Pugachyova O.J. Diagnosis of Valves Using Entropy Indicators. *Globalnaya Yadernaya Bezopasnost'*. 2016, no. 4 (21), pp. 69-77 (in Russian).
11. Abidova E.A., Hegay L.S., Chernov A.V., Bulava V.A., Soloviev V.I., Pugachyova O.Yu. Diesel Generator Equipment Diagnostics of Nuclear Power Plant Using Deterministic and Stochastic Methods. *Globalnaya Yadernaya Bezopasnost'*. 2016, no. 3 (20), pp. 74-79 (in Russian).
12. Chumak O.V. *Entropies and Fractals in Data Analysis*. Moscow-Izhevsk. NITs «Regulyarnaya i Khaoticheskaya Dinamika», Institut Kompyuternykh Issledovaniy Publ., 2011, 164 p. (in Russian).
13. Hegay L.S. *Software and Hardware Complex of the Diagnostic System for Electromechanical Equipment of NPP Based on Entropy Parameterization of Diagnostic Signals*. Cand. Sci. (Engineering) Diss. Volgodonsk. VITI NIYaU MIFI Publ., 2017, 138 p. (in Russian).

#### Authors

Trykov Evgeny L'vovich, IT Specialist, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: [trykov@diaprom.ru](mailto:trykov@diaprom.ru)

Trykova Irina Vladimirovna, Programmer

E-mail: [trykova@kvantprogramm.ru](mailto:trykova@kvantprogramm.ru)

Kotsoev Konstantin Igorevich, Engineer

E-mail: [kotsoev@kvantprogramm.ru](mailto:kotsoev@kvantprogramm.ru)