

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

414-1

УДК 681.518.5

Я.В.МИРОНЕНКО, заместитель генерального директора
АО «РЭС Групп», г. Владимир

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНДА АКТИВНОСТИ ЧАСТИЧНЫХ
РАЗРЯДОВ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Министерством Энергетики Российской Федерации в 2017 год был сформирован ведомственный проект «Цифровая энергетика». В 2018 году созданная на его основе программа цифровой трансформации электроэнергетики была обозначена Президентом Российской Федерации как одно из приоритетных направлений развития.

В рамках данного проекта закреплен окончательный переход к риск-ориентированному управлению ЕЭС в целом и следующие ключевые показатели в частности [1]:

- Снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI/SAIFI) на 5%;
- Повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% без повышения затрат на поддержание технического состояния;
- Снижение на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов.

Достижение указанных ключевых показателей возможно только с развитием предиктивной диагностики, что также находит свое отражение в проекте «Цифровая энергетика», согласно которому к 2024 году должно быть создано не менее 2 аналитических продуктов для прогнозирования, выявления, анализа и оценки рисков аварий на основном оборудовании объектов электроэнергетики [1].

В отрасли, в которой доля выработавшего свой ресурс оборудования по разным источникам составляет от 40 до 70% данное направление является особенно актуальным. Среди направлений развития предиктивной диагностики перспективным является использование мониторинга частичных разрядов в изоляции электрооборудования, в качестве источника измерительных данных. Это объясняется тем, что:

- Большинство аварийных выходов из строя электрооборудования связано с нарушением изоляции;
- Мониторинг ЧР, как направление диагностики, стремительно развивается и по уровню надежности приближается к традиционным диагностическим методам;

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

414-2

- Мониторинг ЧР можно использовать не только в режиме on-site, но и в режиме on-line;
- Данный метод может быть полностью автоматизирован;
- Использование данного метода диагностики является сравнительно дешевым.

Тем не менее, на сегодняшний день использование данного метода затруднено из-за сложности экспертной обработки измеренных данных. Достаточно простым в этом ключе выглядит использование временного тренда в развитии ЧР при оценке состояния изоляции. Наличие временного тренда в измерении таких интегральных характеристиках ЧР, как интенсивность ЧР и максимальное значение кажущегося заряда повторяющихся ЧР, практически однозначно говорит о наличии проблем в изоляции [2].

Для оценки тренда развития ЧР в изоляции электрооборудования необходимо:

1. Выбрать параметр ЧР, по которому будет происходить оценка тренда
2. Выбрать временной промежуток, по которому будет происходить оценка тренда
3. Произвести обработку данных измерительных комплексов ЧР и подготовить график временного распределения выбранного параметра ЧР
4. Представить временное распределение параметра ЧР в линейном виде и определить линейный коэффициент
5. Дать оценку линейному коэффициенту и на основании этого сделать вывод о состоянии изоляции рассматриваемого оборудования

Частичные разряды могут регистрироваться электрическими датчиками, соединенными с высоковольтной шиной через конденсатор связи (или его эквивалент), электромагнитными датчиками, использующими внешние антенны специальной конструкции, и акустическими датчиками, регистрирующими звуковые эффекты от ЧР [3]. При выборе параметра ЧР необходимо учитывать специфику инструмента регистрации ЧР на конкретном объекте – так данные акустического мониторинга не позволят получить сведения об энергетических параметрах единичных ЧР, а рассматривают активность ЧР в целом.

Как правило, в действующей системе регистрации ЧР применяются приборы, регистрирующие максимальную амплитуду импульса в виде напряжения. Количественное соотношение между измеренными амплитудами напряжения и кажущимися зарядами ЧР в этом случае определяется по формуле [3]:

$$Q_i = A_q U_{max}, \quad (1)$$

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

414-3

где A_q – градуировочный линейный коэффициент, Кл/в.

Интенсивность частичных разрядом (или Partial Discharge Intensity) – интегральный параметр, учитывающий соответственно время наблюдения, и определяемый по формуле:

$$PDI = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^m Q_i U_d \quad , (2)$$

где T – время наблюдения, m – число зарегистрированных ЧР за время T , U_d – действующее значение напряжения.

Распределение единичных частичных разрядов носит случайный характер [4] и соответственно значение максимального кажущегося заряда ЧР является в большей части случайной величиной, и для оценки на длительной временной плоскости более информативными и надёжными видятся интегральные характеристики, например, интенсивность ЧР. Стоит отметить, что в рамках анализа должны участвовать уже обработанные данные о ЧР, без учета погрешности и влияния помех.

Выбор оптимальной длительности временного отрезка для оценки тренда активности ЧР определяется возможностями диагностической службы на объекте. В случае, если существует система непрерывной диагностики, то активность ЧР можно в теории рассматривать на любом промежутке времени, но наиболее информативным будет тот, что с одной стороны охватывает различные режимы работы диагностируемого оборудования, а с другой оставляет достаточное время для обнаружения дефекта и его устранение до коллапса изоляции. В случае дискретного мониторинга критерии выбора аналогичны, но могут быть дополнительно ограничены временем мониторинга.

В рамках данного исследования в качестве исследуемого параметра была выбрана интенсивность ЧР на временном промежутке в один месяц.

Линейная зависимость интенсивности от времени в этом случае была представлена формулой:

$$PDI = a + k \cdot t \quad (3)$$

где линейный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot \sum_{i=1}^n PDI_i - n \sum_{i=1}^n PDI_i t_i}{(\sum_{i=1}^n t_i)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i} \quad (4)$$

После расчета линейного коэффициента тренда активности, необходимо произвести его экспертную оценку. При этом необходимо учитывать, что нормальное старение изоляции является одной из причин для роста

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

414-4

активности ЧР помимо возникающих дефектов. Для исключения этой составляющей и соответственно выбора нормального значения линейного коэффициента могут использоваться обобщенные статистические данные о значении интенсивности ЧР за длительный промежуток эксплуатации. Пример такого распределения для силовых трансформаторов представлен на рис. 1 [5]. Представленная зависимость является достаточно грубой, не учитывающей множество факторов, вроде типа изоляции и условий эксплуатации, но может использоваться для инженерных расчетов.

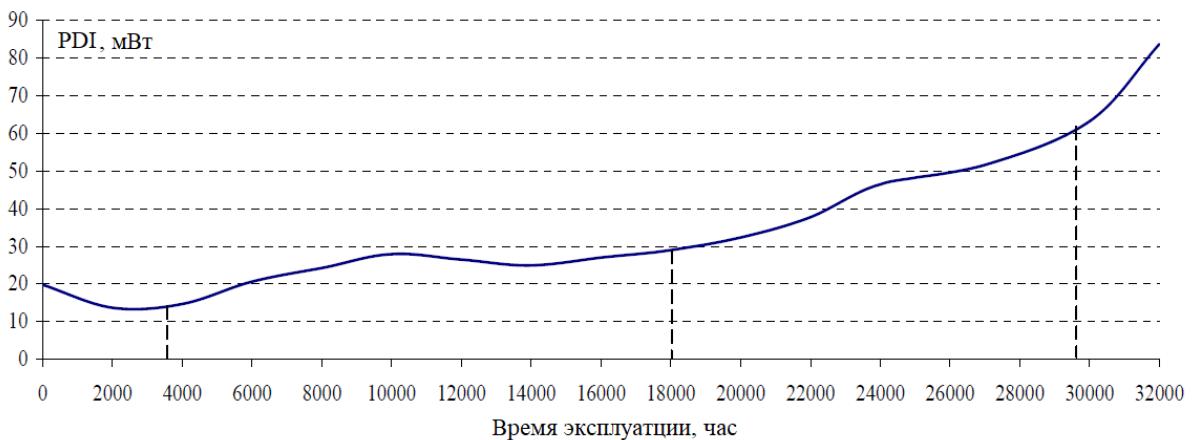


Рис. 1. Зависимость интенсивности ЧР от времени эксплуатации

Исходя из имеющихся данных линейный коэффициент тренда интенсивности ЧР при бездефектной изоляции на отрезке в 1 месяц составляет 1,12 – 1,15. Данное значение коэффициента можно считать нормальны при оценке тренда активности ЧР. Можно также вводить дополнительный коэффициент для исключения различного рода переходных режимов в изоляции, а также отрезков возвращения нормального роста после снижения активности. Таким образом, при первом приближении нормой для критического значения линейного коэффициента тренда интенсивности ЧР в течение месяца видится значение в диапазоне 1,3 - 1,5.

Для практической оценки полученных пороговых значений анализ тренда интенсивности ЧР был произведен на 11 силовых трансформаторах на энергообъектах Владимирской области, со сроком службы более 20 лет. Итоги оценки в сравнении с результатами диагностики другими методами представлены в Таблице 1.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

414-5

Таблица 1

**Сравнение результатов оценки тренда ЧР с другими диагностиче-
скими методами**

№ п/п	Тип трансфор- матора	Тренд ак- тивности ЧР	Вывод при оценке тренда	Подтверждение вы- вода другими мето- дами диагностики
1	TM – 6/0,4 250	1,54	Дефекты	Да – ХАРГ
2	TM – 6/0,4 250	2,04	Дефекты	Да – вскрытие бака трансформатора
3	TM – 6/0,4 630	1,04	Норма	Да – ХАРГ
4	TM – 6/0,4 400	0,97	Норма	Да – ХАРГ
5	TM – 10/0,4 400	1,30	Норма	Да – ХАРГ
6	TM – 6/0,4 400	1,77	Дефекты	Да – ХАРГ
7	TM – 6/0,4 400	1,71	Дефекты	Да – вскрытие бака трансформатора
8	TM – 6/0,4 630	1,67	Дефекты	Нет – ХАРГ
9	TM – 35/0,4 630	- 0,65	Норма	Да – ХАРГ
10	TM – 10/0,4 250	1,12	Норма	Да – ХАРГ
11	TM – 6/0,4 400	- 0,84	Норма	Да – ХАРГ

Полученные результаты с одной стороны говорят о достаточной надежности и информативности метода на сегодняшний день, а с другой определяют дальнейшие направления его развития: совершенствование алгоритмов определения временных интервалов для оценки тренда и ключевых пороговых значений линейных коэффициентов трендов активности.

Список литературы:

1. Описание ведомственного проекта Министерства энергетики Российской Федерации «Цифровая энергетика»
<https://digital.gov.ru/uploaded/files/vedomstvennyij-proekt-tsifrovaya-energetika.pdf>
2. Русов В.А. Диагностический мониторинг высоковольтных силовых трансформаторов / Пермь: DIMRUS, 2013;
3. Агамалов О.Н. Кластерный анализ частичных разрядов. / EXPOENTA PRO, № 3-4 (7-8), 2004;
4. Шахнин В.А., Чебрякова Ю.С., Мироненко Я.В. Математическое моделирование статистических характеристик частичных разрядов при

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

414-6

диагностике высоковольтного оборудования. / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №6, 2013;

5. Федосов Е.М. Частичные разряды в элементах электротехнических комплексов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Уфа, 2009.

Информация об авторе:

Мироненко Ярослав Владимирович, заместитель генерального директора АО «РЭС Групп», 600017, г. Владимир, ул. Сакко и Ванцетти, д. 23, оф.9, yaroslav.mironenko@inbox.ru