

## АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ОП ЗАЭС

к.т.н., проф. В.Е. Пустоваров, Ю.А. Переяслов, доц. Э.Т. Красовская

*В статье приведены результаты проведенных в ОП Запорожской АЭС (ЗАЭС) исследований повреждаемости электрооборудования и проанализированы результаты внедрения перспективного метода ранней диагностики – инфракрасного контроля состояния электрооборудования.*

**Постановка проблемы.** При эксплуатации электроустановок весьма важным является своевременное и качественное диагностирование состояния электрооборудования. Особенно это актуально для электроустановок атомных электростанций, где любые отказы и аварии электрооборудования приводят не только к недоотпуску электроэнергии и порче дорогостоящего оборудования, но и снижают безопасность работы АЭС.

**Анализ литературы и исследований.** На ОП ЗАЭС произведен анализ повреждаемости основного силового оборудования напряжением 150...750 кВ за период 1985 – 2002 гг. Повреждаемость оборудования классифицирована по категориям отказов, принятым на ОП ЗАЭС:

- оборудование повреждено, требуется восстановительный ремонт или замена;
- оборудование повреждено по вине персонала;
- оборудование повреждено при разрушении соседнего оборудования, требуется восстановительный ремонт или замена;
- повреждения оборудования не допущено, дефект диагностирован.

Результаты анализа статистических данных повреждаемости основного электрооборудования представлены в виде диаграмм на рис. 1 и 2.

На рис. 1 приведено распределение отказов основного электрооборудования по категориям отказов (общий итог), а на рис. 2 – распределение обнаруженных дефектов по применяемым на ЗАЭС методам. Из анализа диаграмм видно, что 76% повреждений оборудования не допущено, дефект диагностирован, а это значит – уровень диагностики на ЗАЭС достаточно высокий. Тем не менее следует всесторонне развивать и модернизировать существующие методы диагностики, а также внедрять передовой опыт, новые технологии и новые приборы для снижения ава-

рийности электрооборудования.

Опыт эксплуатации показал, что традиционные методы контроля и критерии удовлетворительного состояния оборудования в большинстве случаев оказываются недостаточно эффективными [1]. В последнее десятилетие происходило формирование новой системы испытаний. При этом можно выделить следующие тенденции: развитие методов, чувствительных к местным дефектам в начальной стадии их возникновения; нормирование и контроль параметров, непосредственно влияющих на работоспособность оборудования; осуществление контроля без отключе-

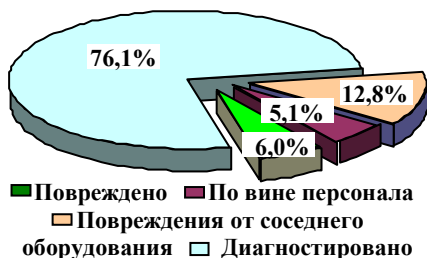


Рис. 1. Распределение отказов основного оборудования по категориям отказов

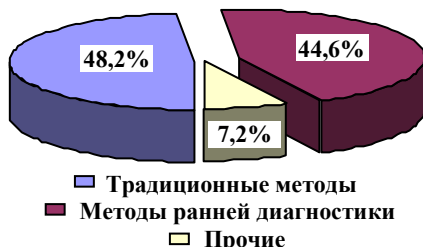


Рис. 2. Распределение обнаруженных дефектов по методам

ния электрооборудования от сети.

В связи с тем, что наиболее многочисленные узлы любой электроустановки – контактные соединения, к ним предъявляются особые требования. Для оценки состояния внутренних контактных соединений существует несколько методов. Это метод амперметра-вольтметра и метод косвенных измерений (хроматографический анализ газов, растворенных в масле). Контроль внешних контактных соединений производится по методу амперметра-вольтметра, при помощи моста постоянного тока типа Р-333 или микроамперметра; а также при помощи инфракрасной техники, в соответствии с требованиями ГОСТ 17441-84, ГОСТ 10434-82 и ГОСТ 8024-90 [2].

Из-за того, что под рабочим напряжением невозможно проконтролировать качество контрольного соединения, необходимо вести периодический тепловизионный контроль контактных соединений электрооборудования.

**Целью статьи** является ознакомление с достоинствами одного из перспективных методов диагностики и анализ результатов внедрения этого метода на ПО ЗАЭС. Инфракрасная термография (далее – ИКТ) – это метод получения информации об объекте диагностики путем бесконтактной (без прикосновений к объекту) регистрации излученного, отраженного и пропущенного им оптического излучения в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра [2]. Информация представляется с

помощью устройства, называемого тепловизором (иногда его называют термовизором или термографом), в виде визуализированного теплового поля объекта на экране отображающего устройства тепловизора. Большинство современных тепловизоров позволяют измерять температуру в любой точке полученной тепловой картины, строить температурные профили, выделять области с одинаковой температурой (изотермы), запоминать тепловую картину объекта на магнитном или электронном носителе информации в компьютерном формате, осуществлять ряд других измерительных и сервисных функций. Благодаря своей физической сути и хорошей технической базе, появившейся на рынке в последнее десятилетие, метод ИКТ хорошо дополняет другие известные методы диагностики электрооборудования и имеет перед ними ряд неоспоримых преимуществ:

- метод ИКТ является бесконтактным, и применим к электротехническим объектам, находящимся под напряжением и нагрузкой (разумеется, его применение возможно и на выведенном в ремонт оборудовании, при испытаниях);

- дефекты в электрооборудовании обнаруживаются методом ИКТ на ранних стадиях, что позволяет избежать аварийных остановов и спланировать ремонт или техническое обслуживание на удобное для эксплуатационного персонала время;

- при использовании метода ИКТ электроустановки поддерживаются на низком уровне дефектности, что повышает общую эффективность и безопасность работы электростанции;

- для проведения тепловизионных обследований не требуется отключения электрооборудования, что повышает эффективность его работы;

- процесс проведения диагностики очень прост в применении и безопасен для персонала, ее производящего; с точки зрения техники безопасности проведение диагностики можно приравнять к обычному осмотру.

Технология ИКТ применяется на ЗАЭС со II-й половины 1996 года. Для проведения обследований используется тепловизор Thernovision-489 (выпускается шведской компанией «Agema»).

Плановому обследованию и контролю без вывода из работы подвергаются следующие основные группы электрооборудования:

- контактные соединения сборок и присоединений 0,4 кВ (около 20316 контактов);

- контактные соединения ОРУ-750 кВ (около 2144 контактов);

- подвижные контакты ножей разъединителей (около 420 контактов);

- вентильные разрядники 6 – 750 кВ блоков № 1 – 6 (силовые и измерительные трансформаторы, системы возбуждения, выпрямительно-преобразовательные установки, высоковольтные вводы, выключатели,

конденсаторы, высокочастотные заградители и т.п.).

Как правило, плановый контроль каждого контактного соединения или единицы электрооборудования проводится 2 раза в год: перед проведением планового ремонта электрооборудования – для выявления дефектов, появившихся в межремонтный период и после планового ремонта – для контроля устранения выявленных дефектов. В необходимых случаях частота контроля увеличивается для отслеживания динамики развития дефектов и недопущения перехода их в аварийную стадию.

В ОП ЗАЭС разработана программа и методика измерений. К контрольным параметрам относятся: превышение температуры  $\Delta t_{\text{пр}}$  и коэффициент дефектности  $K_{\text{д}}$ .

Параметры вычисляются по формулам:

$$\Delta t_{\text{пр}} = T - t_{\text{ср}}; \quad K_{\text{д}} = \Delta t_{\text{пр}} / (T_{\text{ш}} - t_{\text{ср}}),$$

где  $T$  – температура окружающей среды, °С;  $T_{\text{ш}}$  – температура шины (провода), °С.

Параметры пересчитываются, если электрическая нагрузка ( $P$ ) осматриваемого оборудования менее номинального значения и составляет  $(0,6...1) P_{\text{ном}}$ ; если скорость ветра при осмотре более 1 м/с. Тепловое состояние контактов и соединений оценивается по результатам измерений абсолютной температуры окружающей среды ( $T$ ), превышению температуры ( $\Delta t_{\text{пр}}$ ) и коэффициенту дефектности ( $K_{\text{д}}$ ).

Температура нагрева контактных соединений при протекании номинального тока не должна превышать значений, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Температура нагрева контактных соединений

| Контролируемый узел  | Наибольшее допустимое значение |   |
|--|--------------------------------|---|
|  | температура нагрева (Т), °С    | превышение температуры ( $\Delta t_{\text{пр}}$ ), °С |
| Контакты из меди и медных сплавов:                             |                                |   |
| – без покрытия;  | 75                             | 35  |
| – с накладными серебряными пластинами;                         | 120                            | 80  |
| – с покрытием серебром или никелем;                            | 105                            | 65  |
| – с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм;               | 120                            | 80  |
| – с покрытием оловом   | 90                             | 50  |
| Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: |                                |   |
| – без покрытия;  | 90                             | 50  |
| – с покрытием оловом;  | 105                            | 65  |

|                                    |     |    |
|------------------------------------|-----|----|
| – с покрытием серебром или никелем | 115 | 75 |
|------------------------------------|-----|----|

Степень развития дефекта определяется в соответствии с табл. 2 ( $T_{\text{доп}}$ ,  $\Delta t_{\text{пр доп}}$  – наибольшие допустимые значения параметров из табл. 1).

Таблица 2

Степень развития дефекта

| Характер дефекта и степень его развития | $T_{\text{доп}}$       | $\Delta t_{\text{пр}}$       | $K_d$          |
|---|------------------------|------------------------------|----------------|
| Начальная стадия                        | менее $T_{\text{доп}}$ | менее $\Delta t_{\text{пр}}$ | 1,2 ... 2      |
| Развивающийся                           | менее $T_{\text{доп}}$ | менее $\Delta t_{\text{пр}}$ | более 2,0      |
| Аварийный                               | более $T_{\text{доп}}$ | любое значение               | любое значение |

Все выявленные дефекты классифицируются по степени их развития, заносятся в базу данных для последующего анализа и выдачи рекомендаций руководящему персоналу ремонтной службы. В табл. 3 приведено количество дефектов, обнаруженных группой тепловизионного контроля за период со II-й половины 1996 г. по 2001 г. включительно.

Таблица 3

Количество дефектов, обнаруженных группой тепловизионного контроля

| Оборудование  | Год  |      |      |      |      |      | Всего |
|---|------|------|------|------|------|------|-------|
|   | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |       |
| Силовые трансформаторы и реакторы                   | 57   | 41   | 54   | 25   | 17   | 10   | 204   |
| ТТ-, ТН-, Вч-заградители                            | 39   | 24   | 19   | 16   | 9    | 7    | 114   |
| Разъединители РПД-750, РПД-330                      | 43   | 27   | 19   | 14   | 10   | 8    | 121   |
| Генераторы, выключатели нагрузки и токопровод 24 кВ | 41   | 39   | 37   | 33   | 28   | 26   | 204   |
| Контактные соединения сборок 0,4 кВ                 | 105  | 91   | 44   | 38   | 30   | 27   | 335   |
| Итого   | 285  | 222  | 173  | 126  | 94   | 78   | 978   |

Как следует из табл. 3, в период с 1996 по 2001 гг. выявлено 335 дефектов контактных соединений электрооборудования 0,4 кВ, 121 дефект подвижной контактной системы (ножей) разъединителей 330 – 750 кВ.

Обращает на себя внимание то, что при диагностике выявлено значительное количество аварийных дефектов (до 20% от общего количества дефектов). Учитывая, что среди них обнаружено 186 дефектов с температурами 120 – 320 °С, можно с высокой степенью вероятности утверждать, что с помощью технологии ИКТ удалось предотвратить ряд

отказов и аварий электрооборудования, вызванных повреждением сильно нагретых контактных соединений (отгораний токоведущих частей и коротких замыканий в электроустановках).

Вышеизложенные данные свидетельствуют о том, что применение технологии ИКТ и процедура взаимодействия диагностирующего и ремонтного персонала были достаточно эффективными. Особенно обнадеживающе выглядит динамика снижения количества аварийных дефектов электрооборудования 0,4 кВ, позволяющая с высокой степенью вероятности прогнозировать снижение количества этих дефектов в недалеком будущем до величины хотелось бы надеяться, менее 1% (т.е. из 100 работающих присоединений менее 1-го будут иметь аварийный дефект).

**Выводы:** 1. Внедрение новых методов диагностики развивающихся повреждений позволяет существенно повысить эффективность профилактического контроля.

2. Целесообразно разработать единую систему научно обоснованных критериев диагностики методом ИКТ, которая в настоящее время в Украине отсутствует.

3. Целесообразно пересмотреть “Объем и нормы испытания электрооборудования” и внести в него метод тепловизионного контроля контактных соединений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Техническая диагностика и профилактика повреждений мощных трансформаторов. Переводы докладов Международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ – 82) / Под ред. С.Д. Лизунова – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 197 – 204.*
2. *«Объем и нормы испытания электрооборудования» РД 34.45-51300-97: издание шестое. – М.: ЭНАС, 1998. – 64 с.*
3. *Левитин И.Б. Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. – Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1981. – 137 с.*

Поступила 3.09.2003

**ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич**, канд. техн. наук, профессор УИПА. В 1961 году окончил Харьковское высшее военное авиационно-инженерное училище. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика.

**ПЕРЕЯСЛОВ Юрий Анатольевич**, инженер ПО Запорожской АЭС. В 2001 году окончил УИПА. Область научных интересов – высоковольтные испытания электрооборудования.

**КРАСОВСКАЯ Эмма Терентьевна**, доцент УИПА. В 1961 году окончила ХПИ. Область научных интересов – техника высоких напряжений.