

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-

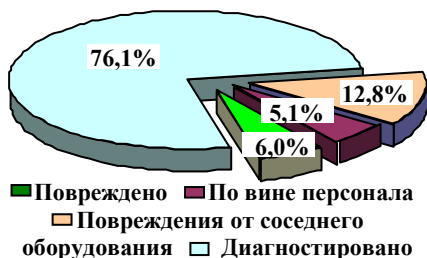


Рис. 1. Распределение отказов основного оборудования по категориям отказов

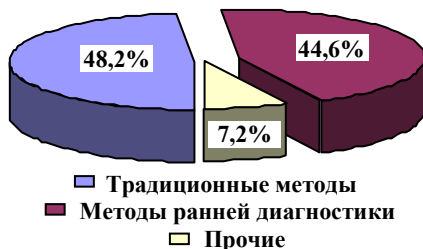


Рис. 2. Распределение обнаруженных дефектов по методам

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 $\Delta t_{пр}$ и коэффициент дефектности K_d .

Параметры вычисляются по формулам:

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

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

Параметры пересчитываются, если электрическая нагрузка (P) осматриваемого оборудования менее номинального значения и составляет $(0,6...1) P_{ном}$; 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 ($\Delta t_{пр}$) и коэффициенту дефектности (K_d).

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 ($\Delta t_{пр}$), °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.