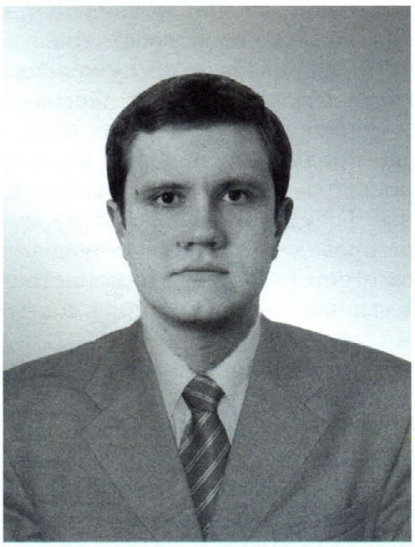
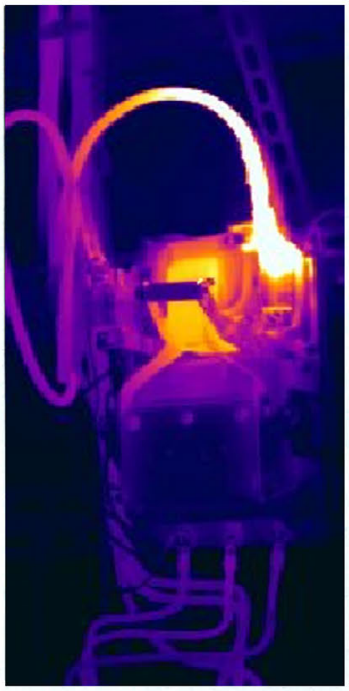
Тепловой контроль технического состояния электрооборудования с целью обеспечения электробезопасности и пожаробезопасности



Р.Т. Троицкий-Марков ,
специалист научно-технического отдела
ООО "Технологический институт энергетических обследований диагностики и неразрушающего контроля ВЕМО"

Российский и международный опыт последних лет показывает, что сформировавшийся ранее и остающийся принципиально важным подход к функционированию жизненно важных технических систем (к которым, бесспорно, относится электроэнергетика) по критериям надёжности в ближайшей перспективе должен быть развит **в область прямых количественных критериев безопасности и рисков.**



По данным МЧС, **ежедневно в России возникает 115** (около 20% от общего количества) **пожаров по причине неисправности электрооборудования и неправильной его эксплуатации. Прямой материальный ущерб от каждого такого пожара в среднем составляет около 9 млн. рублей** (данные относительно "спокойного" первого полугодия 2006 г.).

По количеству пострадавших и экономическому ущербу в общей статистике пожаров случаи возгораний из-за неисправности электрооборудования из года в год устойчиво держат скорбную пальму первенства, опережая случаи неосторожного обращения с огнем.

Обеспечение надежной работы и безопасной эксплуатации электроустановок, предупреждение наступления аварийных ситуаций регламентируются "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей" (утверждены Приказом Министерства энергетики РФ от 13.01.2003 г. № 6, зарегистрированы Минюстом РФ 22.01.2003 г., № 4145).

Диагностические испытания электрооборудования могут осуществляться как на основе непосредственных электрических измерений, что вполне традиционно, так и путем измерения косвенных характеристик работы электроустановок, в частности, температуры поверхности как установки в целом, так и её элементов.

В последнем случае наибольший приоритет отдается бесконтактному *тепловому неразрушающему контролю* (ТНК).

Традиционные методы контроля электрооборудования, как правило, ориентированы на необходимость временного вывода его из работы (что иногда, например при испытаниях повышенным напряжением, может привести и к окончательному выходу его из строя). В отличие от них тепловизионная диагностика позволяет производить поэлементную, а также общую оценку технического состояния электрооборудования в процессе его работы, выявлять многие дефекты на ранней стадии их развития, а также определять приемлемые эксплуатационные ограничения, препятствующие развитию дефектов.

При этом обеспечиваются:

- 100% объективная инструментальная фиксация фактического состояния электрооборудования (по тепловому полю) посредством термограмм и фотографий, прилагаемых к отчету;
- выявление дефектов, оценка степени их опасности, получение прямой экспериментальной информации для оценки остаточного ресурса объекта и разработка рекомендаций по устранению дефектов и предотвращению их развития;
- выявление средствами тепловизионного контроля случаев недостоверности сведений о проведении регламентных мероприятий и периодических испытаний электроустановок на объектах проверки;
- создание компьютерного архива результатов контроля для ретроспективного анализа и прогнозирования технического состояния электроустановок, планирования эксплуатационных мероприятий и обновления.

В последнее время увеличивается тенденция проведения ремонтов электрооборудования по результатам профилактического контроля и мониторинга, а не в зависимости от продолжительности эксплуатации, что повышает востребованность и значение ТНК как оперативного, информативного и достоверного метода диагностики.

С учетом особой эффективности данного метода в пункте 3.6.30. ПТЭ специально указано, что "**тепловизионный контроль состояния электрооборудования следует по возможности производить для электроустановки в целом**".

Вместе с тем слабая информированность эксплуатационного персонала о функциональных достоинствах тепловизионного контроля, а также недостаточная его методическая оснащенность препятствовали широкому применению данного вида диагностики в практику, а массовое присутствие в заключениях о состоянии электрооборудования субъективного фактора - "человеческого фактора", приводит к большим случайным погрешностям, что повышает вероятность перебраковки или пропуска дефектов. Учёт всех факторов, влияющих на температурный режим работы оборудования и на результаты измерений, а также минимизация любых погрешностей в измерениях и расчётах говорят о необходимости автоматизации процесса тепловизионной диагностики электрооборудования.

Все больше руководителей энергослужб осознают, что в условиях недостаточности средств на проведение технического обслуживания и модернизацию тепловизионная диагностика может стать **основой для организации надежного наблюдения за техническим состоянием оборудования**, позволяя обнаруживать дефекты контактных соединений, участки перегрузки кабелей, производить оценку работоспособности трансформаторов, электродвигателей, разрядников и другого электрооборудования в процессе их эксплуатации без снятия напряжения. Такая диагностика информативна, экономична и удобна. В реконструируемых, вновь сооружаемых и эксплуатируемых электроустановках применение тепловизионной диагностики позволяет выявить проблемы конструктивного и технологического характера на ранней стадии с опережающим принятием мер и в целом **переходить от ППР к ремонтам по наблюдениям.**

Периодичность тепловизионного контроля оборудования зависит от его повреждаемости и затрат на профилактику. При этом современные предприятия, заботясь о повышении надежности и устойчивости производства, по собственной инициативе вводят периодичность тепловизионной диагностики электрооборудования с интервалом в полгода, чтобы не выпустить ситуацию из-под контроля.

При оценке технического состояния электрооборудования используются следующие критерии дефектности:

1) **соблюдение условий эксплуатации оборудования:**

- **по климатическим параметрам** (температура и относительная влажность воздуха), установленным нормативно-технической документацией для данного типа оборудования;
- **по степени нагрузки** (отношение измеренного рабочего тока нагрузки контролируемого узла к номинальному току, на который рассчитано контролируемое оборудование согласно его технической документации);

2) **соблюдение предельно допустимой температуры контролируемого участка (узла) оборудования**, установленной нормативами (РД 34.45-51.300-97) для конструктивных особенностей данного типа узлов;

3) **соблюдение предельно допустимого превышения температуры контролируемого участка (узла) оборудования**, установленного нормативами (РД 34.45-51.300-97) для конструктивных особенностей данного типа узлов;

4) **степень перегрева контролируемого участка (узла) оборудования относительно предела**, установленного нормативами (РД 34.45-51.300-97);

5) **степень перегрева контролируемого участка (узла) оборудования относительно нагрева эталона**, т.е. выбранного экспертом базового (бездефектного) участка (узла).

ТНК в классическом виде присущи многие недостатки, характерные для большинства известных методов контроля ("человеческий фактор"), они снижают достоверность, объективность и производительность результатов контроля, а поскольку объекты электрооборудования контролируются в комплексе (до нескольких сотен объектов одновременно), то задача повышения достоверности с одновременным увеличением производительности и объективности контроля выходит на первое место.

В связи с этим автором разработан метод автоматизированного процесса теплового контроля электрооборудования, включающий в себя следующие основные этапы:

- анализ нормативной, технической документации на контролируемый объект и условий его эксплуатации;
- математическое моделирование процесса теплового контроля;
- регистрация первичной информации: реальных эксплуатационных характеристик, температурных полей, параметров окружающей среды и т.п.;

- обработка информации посредством специального программного обеспечения с целью обнаружения дефектов, определения степени их опасности и др.;

- оформление и выпуск отчетной документации по результатам контроля, заключение и рекомендации.

Одним из основных этапов контроля является автоматическое обнаружение потенциально опасных участков в большом массиве анализируемых объектов, их выборка, идентификация и классификация. Для диагностируемого элемента в зависимости от его типа, технических особенностей и режима работы определяется оптимальное пороговое значение (гистограммный метод, основанный на поиске минимума, который соответствует оптимальному положению порога), т.е. разграничиваются качественные и аномальные зоны. На следующем этапе происходит сопоставление предполагаемых дефектов (аномальных зон) с эталонными образцами дефектов путем сравнения термограмм по контрольным точкам или областям с последующим анализом по вышеперечисленным критериям дефектности.

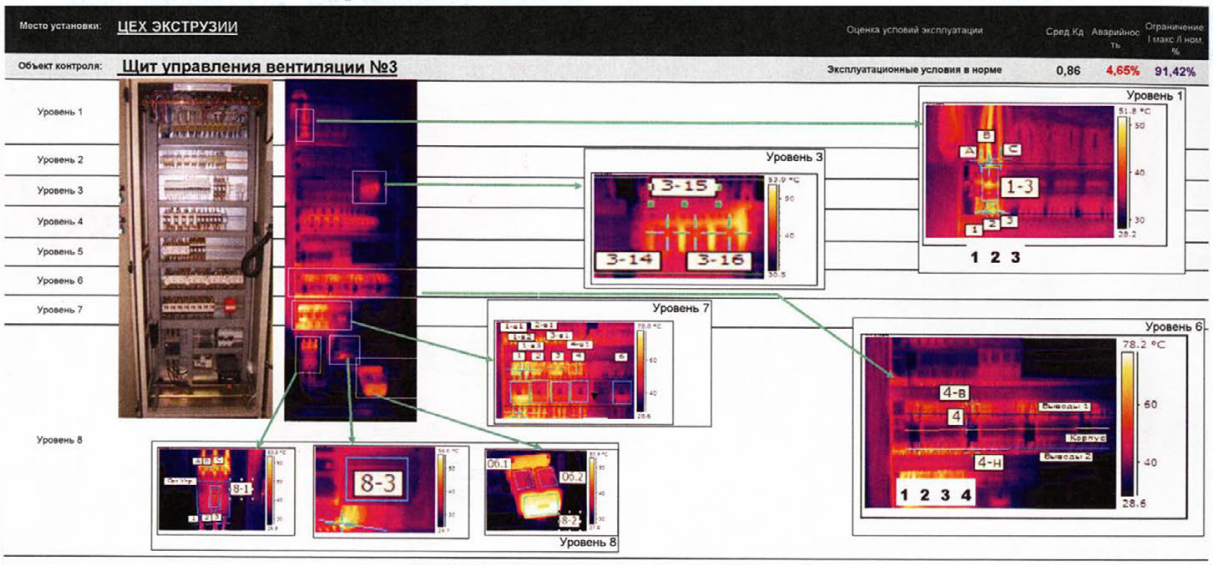
На рис.1 показан пример ведомости тепловизионного наблюдения за техническим состоянием элементов системы электроснабжения.

Появились новые методики проведения теплового контроля электрооборудования, применяющиеся не только для высоковольтного оборудования, но и на самом широком спектре потребительских электроустановок, в которых чаще всего и происходят отказы, аварии и возгорания. Новое методическое обеспечение имеет возможность, опираясь на теоретические основы ТНК и накопленный опыт теплового неразрушающего контроля, по-новому, более обоснованно, подойти как к организации измерений, так и к определению браковочных признаков.

Помимо этого общим требованием для всех методик тепловизионного контроля, допускаемых к применению в эксплуатации электроустановок, является их аттестация и регистрация в Федеральном реестре методик выполнения измерений, а для объектов, подведомственных Ростехнадзору, - в независимом органе по аттестации методических документов, аккредитованном в системе Ростехнадзора.

В помощь организациям, применяющим метод тепловизионной диагностики, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 13 декабря 2006 г. утверждены и введены в действие **"Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах (РД-13-04-2006)"**, устанавливающие базовые принципы тепловизионного контроля, в т.ч. систем энергоснабжения.

Организация надежного тепловизионного мониторинга технического состояния электроустановок в связи с проблемой пожароопасности имеет еще один существенный аспект, на котором следует остановиться особо.



№ уровня монтажа	№ аппарата	Элемент контроля	Эталон	T max	DT	I раб./I ном.	Полнота исх. данных	Кд к нормативу	Кд к эталону	DКд предыдущ.	Тепловое состояние по критериям: I раб.	T max	DT	Кдн	Кдэ	Заключение: Сред Кд	Аварийность	Ограничение: I макс / I ном, %
6	4	Эл.вывод 1 (верх) изолир.	Щит управления вентиляции №3/6/4/Эл.вывод 1 (низ) изолир.	60,4°С	33,0°С	0,89	Р	0,72	1,10	0,00	+	+	+	+	!	0,9	!	100,00%
6	4	Корпус не мет.	Щит управления вентиляции №3/6/4/Корпус не мет.	43,1°С	15,7°С	0,89	Р	0,36	1,00	0,00	+	+	+	+	+	0,4	+	100,00%
6	4	Эл.вывод 1 (низ) изолир.	Щит управления вентиляции №3/6/4/Эл.вывод 1 (низ) изолир.	56,8°С	29,4°С	0,89	Р	0,65	1,00	0,00	+	+	+	+	+	0,7	+	100,00%
7	1	Эл.вывод 1 (верх) изолир.	Щит управления вентиляции №3/7/4/Эл.вывод 1 (низ) изолир.	76,2°С	48,8°С	0,78	Р	1,12	1,48	0,00	+	+	+	!	Р	1,3	Р	89,48%
7	1	Эл.вывод 2 (верх) изолир.	Щит управления вентиляции №3/7/4/Эл.вывод 1 (низ) изолир.	77,8°С	50,4°С	0,78	Р	1,15	1,52	0,00	+	+	+	!	Р	1,3	Р	87,33%
7	1	Эл.вывод 3 (верх) изолир.	Щит управления вентиляции №3/7/4/Эл.вывод 1 (низ) изолир.	80,6°С	53,2°С	0,78	Р	1,19	1,58	0,00	+	+	+	!	А	1,4	А	83,88%

Рис. 1. Ведомость тепловизионного наблюдения за техническим состоянием электрооборудования

При оценке надежности системы противопожарной защиты от факторов неисправности систем электроснабжения очень часто ошибочно возлагаются неоправданные надежды на такие известные методы защиты, как автоматика отключения (защита от токов короткого замыкания, перегрузки или утечки). Между тем реальной причиной пожаров является, как правило, не "короткое замыкание" (чаще всего фигурирующее в протоколах), а искрение в некачественных соединениях и контактах (например, по причине ослабления крепежа) или в местах разрыва жил проводника.

Пожары, возникающие из-за искрения в электропроводке, не могут быть предотвращены существующей автоматикой защиты от токов, так как токи искрения протекают по штатной цепи и не превышают штатных токов нагрузки.

Проводники электрических цепей при протекании по ним электрического тока нагреваются. Значения температур различных элементов электрооборудования не должны превышать предельное значение температуры, обусловленное классом нагревостойкости материалов, из которых они изготовлены.

Природа перегрева (искрения) объясняется образованием переходного сопротивления в местах недостаточно плотного соприкосновения подвижных и неподвижных контактов коммутирующих элементов (реле, выключателей, разъединителей и др.), а также в местах некачественного соединения проводов, шин, фидеров (в соединительных коробках, штекерных и других соединениях) и подключения в электросеть различных элементов (электроламп, плавких вставок, вилок и пр.). Переходное сопротивление характеризует процесс циклического образования и гашения электрической искры при относительно малых "паразитных" токах, обуславливающих выделение и постепенное накопление тепловой энергии в местах ослабленного крепления проводов, что и приводит к возгоранию.

Протекающий через неисправное соединение ток обычно не превышает номинальной величины, и его изменение не связано с изменением сопротивления изоляции проводов, поэтому автоматика защитного отключения (в том числе и УЗО) нечувствительна к неисправностям такого типа.

В данном случае тепловизионный мониторинг состояния электрических контактов и соединений незаменим, так как способен с помощью регистрации тепловых выделений обнаруживать неисправности даже в скрытой проводке.

Прямой материальный ущерб, причиненный пожарами, ежегодно прирастает на 22%. Этот факт (не говоря уже о жизни и здоровье людей) должен подтолкнуть руководителей, заботящихся об устойчивом положении своих предприятий, ускорять внедрение современных методов технической диагностики и мониторинга в практику эксплуатация электроустановок.

Учитывая, что технологии теплового неразрушающего контроля электрооборудования позволяют предупредить аварии, оптимизировать затраты на его ремонт и эксплуатацию и к настоящему времени практически полностью обеспечены необходимой методической, технической и организационной базой, можно с уверенностью констатировать, что роль их в повышении надежности и безопасности систем электроснабжения будет год от года возрастать.

Литература

1. Методика тепловизионной неразрушающей диагностики электрооборудования (основные положения).- Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля ВЕМО 08.00.00.000 ДМ, 2003., св.атт. №022/442-2003 от 19 августа 2003 г., ФР.1.32.2006.02.661.

2. Бажанов С.А., .Будадин О.Н, Абрамова Е.В., Троицкий-Марков Т.Е. и др. Комментарии и пояснения к "Методике тепловизионной неразрушающей диагностики электрооборудования".- Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля ВЕМО 08.00.00.000 ДМ, 2003, 168 с.

3. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий.- М.: Наука, 2002.-472 с.

4. Бажанов С.А. ИК-диагностика электрооборудования распределительных устройств. - М.: НТФ "Электропрогресс", 2000.-76 с. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик"; Вып.4(16)].

ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ в документах и фактах

2008 3
май-июнь

Библиотека руководителя и специалиста

Международная электротехническая комиссия (МЭК)
(стр. 3)

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
Приказ от 7 апреля 2008 года №212
"Об утверждении Порядка организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок"
(стр. 45)

ISSN 1816-4358