

КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

АВТОР:

А.В. ХАКИМОВ
НЕЗАВИСИМЫЙ ЭКСПЕРТ

В экстремальных природно-климатических условиях Севера, при больших расстояниях и проблемах с доставкой элек-

трической и тепловой энергии потребителям от надежности и устойчивости энергоснабжения напрямую зависит жизнеспособность территорий.

Ключевые слова: электрическое оборудование; дефекты; износ; эксплуатация; резерв; эффективные методы.



Период отрицательных температур на Крайнем Севере составляет около 250 дней и более. Начало периода с отрицательными температурами — конец сентября — начало октября, а окончание — середина апреля

ВВЕДЕНИЕ

Все технические объекты и предметы, когда-либо созданные человеком, с течением времени подлежат износу, различным повреждениям и в итоге замене. Эта проблема не обошла стороной и электрическое оборудование.

Сам по себе износ не имеет ничего критичного: это естественное явление, которому подлежит все, созданное человеком. Но в зависимости от различных окружающих факторов (среда и условия эксплуатации, температурный режим и т. д.) степень износа оборудования периодически достигает критических показателей, что представляет невозможность его восстановления ввиду высокого процента повреждений и износа. Этот фактор является глобальной проблемой для отечественной электроэнергетики. Очень важно внедрять эффективные методы контроля и технической диагностики, чтобы на регулярной основе в полном объеме, а главное, своевременно иметь возможность оценивать техническое состояние электрооборудования. Очевидно, что это обязательное условие как для бесперебойной работы, так и для исключения аварийных и прочих нештатных ситуаций.

Также необходимо обозначить основной комплекс критериев при оценке электрооборудования, которые помогут увеличить эффективность методов диагностики и впоследствии увеличить срок его эксплуатации. Рассмотрим данный вопрос на примере подстанции 220 кВ.

ДЕФЕКТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Под дефектом, если мы говорим об электрооборудовании, понимается любое повреждение, которое

может привести к нарушению нормальной работы. Несмотря на то что в части эксплуатации/диагностики/ремонта электрического оборудования существует обширный объем нормативно-правовой базы, до сих пор отсутствует обобщающий документ, который в полной мере отражает критерии выявления дефектов различного плана с прогнозом негативных последствий в дальнейшем.

К примеру, существует Приказ Министерства энергетики РФ от 25.10.2017 № 1013 «Об обеспечении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок». Данный документ подробно раскрывает вопросы технического обслуживания, планирования, подготовки, ремонта и приемки, но очень косвенно и не в полной мере представляет самые важные критерии, которые, возможно, не приведут к внеплановому ремонту или отсрочат плановый. Также в данный период времени действуют Правила технической эксплуатации станций и сетей, которые подробно описывают модернизацию электрооборудования и его ремонт, но опять же комплексно не отражают способы дефектовки, которые впоследствии избавят энергокомпанию от глобальных ремонтов и финансовых затрат.

В данной работе мы проклассифицируем дефекты электрооборудования по критериям различного типа на примере вышеупомянутой типичной подстанции 220 кВ, которая эксплуатируется в условиях Крайнего Севера, поскольку в России достаточно регионов с суровым климатом. Выделим самые важные из всех дефектов для существующего оборудования и предложим методы контроля, которые в обязательном порядке должны проводиться.

ВНЕШНИЕ ДЕФЕКТЫ

Фактически это зрительная проверка элементов электрооборудования, иногда при использовании средств технологического оснащения, увеличивающих зрительное восприятие (например, бинокля). Сложность данного вида контроля определяется тем, что большинство дефектов выражены не так ярко, т. е. зачастую выявить неисправность (например, микротрещину или скол; рис. 1) довольно сложно. К тому же рассматриваемый нами объект расположен в суровых климатических условиях: зима очень холодная, а средняя температура в самом теплом месяце — августе — редко превышает 15 °С. Любые поверхности (аппаратов или же кабелей/проводов) при значительно низких температурах в большей степени подвержены появлению трещин, куда может попадать влага (климат Крайнего Севера влажный и ветреный) и снижать сопротивление изоляции.

На визуальный контроль объектов электроэнергетики, находящихся в неблагоприятных климатических условиях, рекомендуется обращать более пристальное внимание. Понятно, что при сдаче/приемке смены дежурный персонал делает обходы с целью осмотра оборудования. Это предписано должностными инструкциями. Совершенно очевидно, что при таких осмотрах невозможно на 100% объективно произвести внешнюю оценку, что обусловлено различными факторами: отсутствием достаточного количества времени на обход при сдаче/приемке смены; большими площадями объектов электроэнергетики; безопасными расстояниями от токоведущих частей; суровым климатом и т. д.

Как же тогда довести внешние осмотры оборудования до оптимального уровня? Ответ на этот вопрос очень прост. Необходимо обеспечить каждый особо значимый объект

(например, наша подстанция является основным питающим энергоузлом областного центра) хотя бы цифровой видеокамерой в формате 4 К с хорошим зумом. Если проанализировать рынок данных устройств, то оптимальным будет использование камер вида IP: они напрямую связаны с Интернетом, что позволяет проводить съемку в режиме онлайн (и оперативно принять меры по предотвращению аварий и прочих технологических нарушений при такой необходимости), имеют дальность действия 20 м, сравнительно невысокую потребляемую мощность (не более 385 Вт) и широкий диапазон рабочих температур.

Далее по отработанной схеме дежурный персонал раз в неделю (суббота или воскресенье) при благоприятных погодных условиях делает глобальный обход оборудования с видеосъемкой по заранее составленному плану с акцентом на труднодоступные для визуального контроля элементы оборудования. Руководитель объекта, в свою очередь, тщательно

изучает видеозаписи на предмет выявления несоответствий.

Очевидно, что скептики не оценят данный метод, ссылаясь на финансовую составляющую. Не спорю, таковая имеет место, но незамеченная трещина или скол (например, на изоляции вводного или линейного выключателя, который систематически подвергается вибрации при коммутации) могут повлечь гораздо более серьезные финансовые затраты (недоотпуск электроэнергии, капитальный ремонт или замена оборудования). К тому же финансовые затраты на приобретение видеооборудования не так высоки: одна вышеуказанная камера стоит примерно 15 тыс. руб.

Оснащение объектов такими камерами незначительно «ударит» по бюджету энергокомпаний, но существенно снизит социальные и экономические риски, предотвратив тот же недоотпуск электроэнергии потребителю или поломку дорогостоящего оборудования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Если при проведении визуального контроля мы изначально подразумеваем, что электрическое оборудование находится в исправном состоянии, обеспечивающем надежную и бесперебойную работу, то резервную оценку целесообразно проводить, тщательно анализируя статистику технологических отказов или непредвиденных отключений/выхода его из строя.

Как известно, оценка резерва электрооборудования делится на два типа: для ремонтируемого оборудования и неремонтируемого (второй тип мы не рассматриваем в рамках нашей статьи).

Аналитический расчет состоит из трех этапов.

1. Определение суммарной вероятности отказов (в данном контексте событие, которое проявилось в нарушении работоспособности или перевело с одного уровня работоспособности на другой, более низкий).

Изначально расчет отказов был придуман для сельскохозяйственного оборудования для сокращения простоев, однако при незначительной трансформации его можно адаптировать под силовое оборудование подстанции.

2. Выявление численного значения, что за время ремонта произойдет определенное число отказов. Начнем расчет с вероятности выхода единицы оборудования из строя:

$$V = \frac{\sum t_{\text{в}}}{\sum t_{\text{в}} \pm \sum T}, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ — суммарная длительность текущих, капитальных ремонтов оборудования за пять лет;

T — время работы оборудования за пять лет.

Для расчета выберем период длительностью пять лет, ориентируясь на основное силовое оборудование подстанций — трансформаторы. Например, их ревизию проводят примерно каждые три года, а капитальные ремонты в зависимости от мощности — от 5–6 лет до 12 максимум. Пять лет является достаточным периодом, за который можно оценить возможное снижение резервного фонда и провести необходимые мероприятия.

Далее на основании полученного значения и вышеуказанной нормативно-технической документации (Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, Приказ Министерства энергетики РФ «Об обеспечении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок») определим мероприятия, применимые к основному оборудованию (трансформаторы, коммутационные аппараты, разъединители, распределительные устройства и т. д.) подстанции при различных вероятностях:

- вероятность $\leq 0,3$. В данный момент времени электрическое оборудование надежно: выход его из строя маловероятен (только в случае аварийной ситуации). Дополнительные мероприятия не требуются;
- $0,7 \leq$ вероятность $\geq 0,3$. Электрооборудование подверглось износу, есть риск выхода из нормальных режимов работы.

НАРУШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

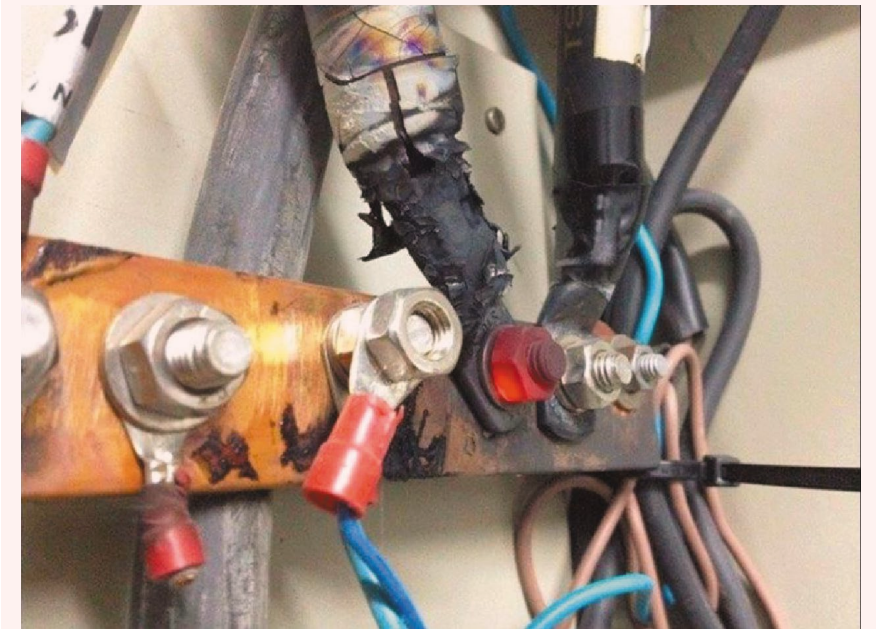


Рис. 2

Рекомендуются дополнительные меры диагностики: тепловизионный контроль или усиление визуального контроля оперативным персоналом;

- вероятность $\geq 0,7$. Оборудование находится в критическом состоянии: возможен внезапный выход из строя, что в результате может привести к остро негативным последствиям как для оборудования, так и для жизни людей. Срочно требуется внеплановый ремонт.
3. Оценка резервного фонда исходя из данных о вероятности отказов (чем меньше вероятность суммарного выхода электрического оборудования из строя, тем больше суммарная величина резервного фонда).

ИНФОРМАЦИЯ

Современную диагностику электрооборудования можно разделить на три основных направления:

1. Параметрическая диагностика.
2. Диагностика неисправностей.
3. Превентивная диагностика.

Параметрическая диагностика — это контроль нормируемых параметров оборудования, обнаружение и идентификация их опасных изменений.

Диагностика неисправностей — это определение вида и величины дефекта.

Превентивная диагностика — это обнаружение всех потенциально опасных дефектов на ранней стадии развития, наблюдение за их развитием и на этой основе долгосрочный прогноз состояния оборудования.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ (ТРЕЩИНА) ПРОВОДА

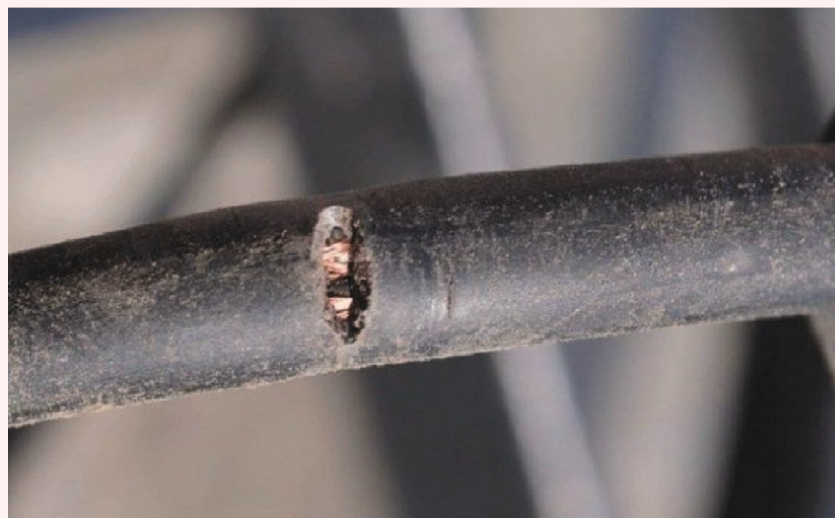


Рис. 1

ИЗ «ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ» (ПРИКАЗ МИНЭНЕРГО РФ ОТ 19 ИЮНЯ 2003 Г. № 229)

1.5. Технический контроль. Технический и технологический надзор за организацией эксплуатации энергообъектов

1.5.1. На каждом энергообъекте должен быть организован постоянный и периодический контроль (осмотры, технические освидетельствования, обследования) технического состояния энергоустановок (оборудования, зданий и сооружений), определены уполномоченные за их состояние и безопасную эксплуатацию лица, а также назначен персонал по техническому и технологическому надзору и утверждены его должностные функции.

Все энергообъекты, осуществляющие производство, преобразование, передачу и распределение электрической и тепловой энергии, подлежат ведомственному техническому и технологическому надзору со стороны специально уполномоченных органов.

1.5.2. Все технологические системы, оборудование, здания и сооружения, входящие в состав энергообъекта, должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию.

К тому же, чтобы свести к минимуму длительность простоев на производстве, нужно учитывать количество электрооборудования в работе, которое в ближайшее время не будет нуждаться в ремонте (ни в текущем, ни в капитальном). Чем больше изначальный запас,

ДЕФЕКТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

№ п/п	Вид дефектов	Основные характеристики
1.	Внешние	Зрительная проверка, характеризующаяся выявлением микротрещин, сколов, прочих внешних поврежденных поверхностей
2.	Резервные	Путем проведения аналитического расчета, основанного на определении вероятности отказов
3.	Производственно-технологические	Возникающие при производстве электрического оборудования
4.	Влияющие на диагностические параметры	Определяют номинальные параметры работы электрического оборудования

Таблица 1

тем менее критично снижение резервного фонда.

Стоит добавить, что особенно важно определение резерва для объектов изолированной (автономной) системы энергоснабжения. Особенностью таких систем в условиях Крайнего Севера является дефицит мощности электростанций, а также высокая вероятность изношенности оборудования. Кроме того, в подобных локациях комплектующие, как правило, не производятся и поставляются из Центральной части России. Поэтому особенно важно понимать, сколько электрооборудования и какого вида необходимо иметь в резерве, чтобы избежать как дефицита, так и профицита.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ

Дефекты и несоответствия, возникающие непосредственно при производстве электрического оборудования (при применении таких видов работ, как сварка, спайка, резка металла, термическая и др.) и ремонте. Выражаются в производ-

ственном браке как нарушение креплений, обгорание и нарушение контактов (рис. 2), ослабление бандажа и т. д. Ввиду воздействия низких температур (что увеличивает разрушающий эффект) настоятельно не рекомендовано применение электрооборудования с применением хоть какого-нибудь вида производственных дефектов.

ДЕФЕКТЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Под диагностическими параметрами в данном случае подразумеваются те, которые влияют на техническое состояние, работу отдельных элементов и номинальные параметры:

1. Чувствительность — способность оборудования реагировать определенным образом на внешнее воздействие.
2. Надежность — свойство электрооборудования выполнять заданные функции (сохранять работоспособность в различных режимах работы) в заданных

пределах (диапазонах), соответствующих его условиям эксплуатации и ремонта.

Если мы говорим о надежности, то в нашем контексте ее можно связать с частотой происхождения неблагоприятного события (поломка отдельных элементов, выход из строя целого объекта, нарушение работы системы и т. д.):

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (2)$$

где m — число появлений события A ;

n — общее число произведенных опытов.

Чем больше вероятность $P(A)$, тем больше вероятность неблагоприятного исхода.

3. Информативность, которую также можно назвать достоверностью. Это свойство, которое при недостоверности или избыточности может снизить эффективность процесса работы в дальнейшем.
4. Долговечность — особенность технического средства сохранять работоспособность до наступления предельного состояния.

Вышеупомянутые параметры, если разобраться, тесно связаны между собой: это набор свойств, которые в комплексе характеризуют стабильность электрооборудования на разных этапах его эксплуатации. Также они напрямую влияют на характеристики оборудования и его номинальные параметры, что в большой мере определяет износ.

С целью предотвращения износа электрооборудования и соответственно выхода его из строя рекомендуется использовать не один метод контроля в качестве превентивных мер, а сразу несколько, например, тепловизионный контроль и элек-

трические методы неразрушающего контроля.

Тепловизионный контроль очень удобен для реализации его на различных объектах энергетики (на подстанциях в том числе), поскольку не требуется отключения электрооборудования, что значительно упрощает его проведение. Из плюсов можно отметить его простоту, быструю скорость проведения измерений, доступность (приемлемый ценовой диапазон) и универсальность (применимость для любого типа оборудования).

Электрический метод неразрушающего контроля основан на оценке целостности и основных рабочих параметров. Идеально подходит для способа выявления дефектов электрооборудования на подстанции, так как на начальных этапах позволяет обнаруживать недостатки при оценке целостности изоляции и оценке качества скрепления материалов и устранить их при необходимости.

ВЫВОДЫ

В вышеприведенной статье мы проанализировали классификацию дефектов электрического оборудования по различным характерным признакам: внешние дефекты, связанные с истощением резервных запасов; производственно-технологические, влияющие на диагностические параметры. Определили степень важности каждого из них, в том числе для региона, находящегося в суровых климатических условиях.

Даны общие рекомендации по проведению мероприятий, связанных с приемкой, техническим обслуживанием, ремонтом (необходимость, примерные сроки) и раскрыты причины, по которым особенно важно уделять внимание оценке и выявле-

нию дефектов электрооборудования в качестве превентивных мер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций. Учеб. пособие: [Электронный ресурс]. URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/1362281228/>
2. Белов О.А. Методология оценки технического состояния электрооборудования при развитии параметрических отказов//Вестник Государственного Астраханского университета. Сер. № 3, 2015.
3. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика и контроль технического состояния изделия. Основные термины и определения, 2009.
4. Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей: Учеб. для нач. и проф. образования. М.: ИРПО: Изд. центр «Академия», 2003.
5. Приказ Минэнерго России от 19.06.2003 № 229 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ»: [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/186039/>
6. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: Учеб. Пособие. М.: Нов. знание, НИЦ — Инфа-М, 2013.
7. Таранов М.А. Эксплуатация электрооборудования. Задачник: Учеб. пособие/М.А. Таранов, Ю.А. Медведько, В.Я. Хорольский. М.: Форум, 2016.
8. Неразрушающий контроль: справочник в 7 т./Под ред. В.В. Клюева. М., 2005.
9. Барынин В.А. Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов/В.А. Барынин, О.Н. Буданин, А.А. Кульков. М.: Спектр, 2013.
10. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И., Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций. М.: Изд. дом «Спектр», 2011.
11. Виноградов А.В., Персков Р.А. Анализ повреждаемости электрооборудования электрических сетей и обоснование мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей//Вестник НГИЭИ, 2015.
12. Левин В.М., Секретарев Ю.А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов//Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2019.