

ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ДИАГНОСТИКА В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гайворонский А.С.

Зам.директора филиала – начальник отдела инжиниринга, к.т.н.

Филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики» - СибНИИЭ

630126, г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1

E-mail: gas@npp-sne.ru, тел/факс: 8 (383) 2680520

В докладе представлены результаты лабораторных испытаний линейных подвесных стержневых полимерных изоляторов с частичными повреждениями после эксплуатации, а также результаты обследования полимерных изоляторов на ВЛ 220, 330 кВ. Обсуждаются причины и характер повреждения изоляторов в эксплуатации и возможности диагностики поврежденных изоляторов методами инфракрасной и ультрафиолетовой дефектоскопии.

1 Типичные повреждения полимерных изоляторов

Диагностика любого оборудования должна начинаться с анализа особенностей его конструкции и выявления слабых мест. Слабыми местами конструкции полимерных изоляторов являются герметичность защитной оболочки в месте ее сопряжения с металлической арматурой и граница раздела между оболочкой и стеклопластиковым стержнем. Согласно опыту эксплуатации, большинство повреждений и отказов полимерных изоляторов, так или иначе, связаны с нарушением герметичности защитной оболочки и проникновением влаги в изолятор.

Можно выделить три характерных вида повреждения полимерных изоляторов, которые наблюдаются в эксплуатации (рис. 1-3).

Первый вид повреждения – это образование трека на поверхности защитной оболочки и, как следствие, эрозия оболочки. Данное повреждение может возникать при эксплуатации изоляторов в районах с сильными загрязнениями, из-за воздействия поверхностных разрядов и частичных дужек в условиях увлажнения изоляторов. В районах с умеренными загрязнениями за период

эксплуатации более 20 лет подобные повреждения изоляторов с кремнийорганической защитной оболочкой не наблюдались.

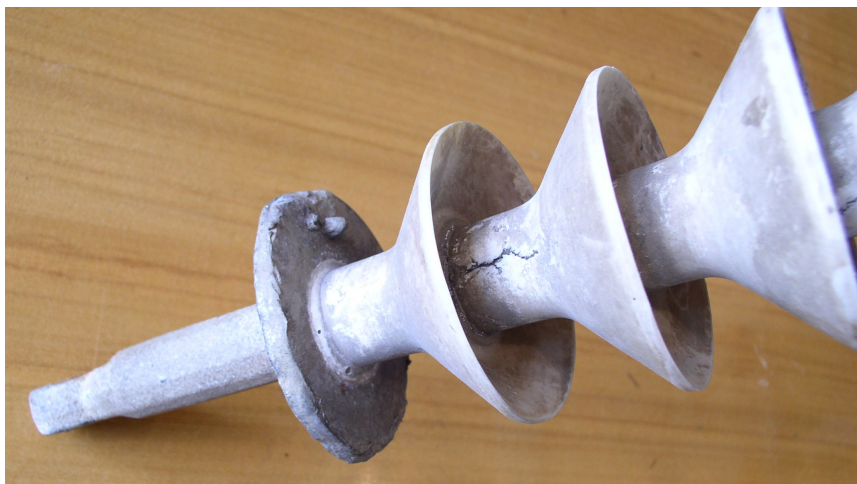


Рисунок 1 – Трек, эрозия защитной оболочки изолятора.



Рисунок 2 – Образование дендритов, треков на границе раздела, внутренняя эрозия защитной оболочки.

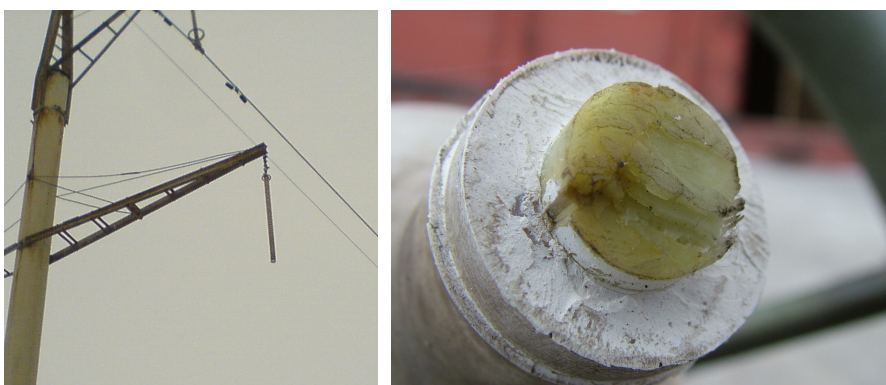


Рисунок 3 – Хрупкий излом изолятора.

Второй вид повреждения – это образование дендритов в стеклопластиковом стержне и треков на границе раздела «стержень - оболочка». Зачастую это сопровождается внутренней эрозией защитной оболочки вплоть до образования сквозных отверстий. Данное повреждение связано с проникновением влаги в

изолятор. Первопричиной повреждения чаще всего является дефект конструкции изолятора, а именно: недостаточная герметичность границы раздела между оболочкой и металлической арматурой и плохая адгезия оболочки к стеклопластиковому стержню. Кроме того, нарушение герметичности может быть связано с повреждением (разрывами) оболочки при транспортировании изоляторов или монтаже.

По опыту эксплуатации данный вид повреждения полимерных изоляторов является наиболее распространенным.

Третий вид повреждения – это так называемый «хрупкий излом». Как предполагается, «хрупкий излом» возникает в результате разрушения стекловолокон под действием кислот, которые образуются при частичных разрядах в изоляторе в присутствии влаги. Развитие данного повреждения, как и в предыдущем случае, связано с нарушением герметичности и проникновением влаги в изолятор.

По опыту эксплуатации полимерных изоляторов в России известны только единичные случаи отказов изоляторов по причине «хрупкого излома».

С точки зрения диагностики полимерных изоляторов в эксплуатации наибольший интерес представляют дефекты изоляторов, связанные с нарушением герметичности и проникновением влаги в изолятор. Данные дефекты изоляторов рассматриваются ниже.

2 Лабораторные испытания изоляторов, поврежденных в процессе эксплуатации

Испытывались полимерные изоляторы двух типов, демонтированные с ВЛ 220 и 330 кВ (табл. 1). Часть изоляторов имели внешние признаки повреждений. Два изолятора на напряжение 220 кВ имели сквозные отверстия в оболочке в результате эрозии. Один изолятор на напряжение 330 кВ, состоящий из двух элементов, имел пробой нижнего элемента (демонтирован после короткого замыкания на ВЛ). Остальные изоляторы не имели внешних признаков повреждения. Следует отметить, что все поврежденные изоляторы

сохраняли работоспособность вплоть до того момента, как были демонтированы с ВЛ.

Таблица 1.

Номинальное напряжение, кВ	Тип изолятора, период эксплуатации	Испытуемые образцы	Внешние повреждения
220	ЛК 70/220 1999-2007 г.г.	1	Сквозные отверстия в оболочке
		2	
		3	Отсутствуют
330	ЛК 120/330 декабрь 2005- июнь 2007 г.	1	Пробой нижнего элемента
		2	Отсутствуют

Программа испытаний включала:

- длительное приложение к изоляторам переменного напряжения промышленной частоты, равного номинальному напряжению; при этом проводился контроль состояния изоляторов методами инфракрасной и ультрафиолетовой дефектоскопии;

- последующие испытания для оценки остаточного ресурса изоляторов по электрической и механической прочности, в том числе: испытание переменным напряжением при естественном загрязнении и увлажнении изоляторов, испытание напряжениями грозовых импульсов, испытание механической силой на растяжение.

После испытаний изоляторы препарировались, и характер их внутренних повреждений определялся визуально.

Признаки повреждения изоляторов по результатам ИК и УФ контроля.

Отличительными признаками повреждения изоляторов являются: повышенный нагрев изоляционной части, а также коронные разряды, возникающие на поверхности изоляторов. Данные признаки могут проявляться по-разному в зависимости от степени повреждения изолятора, условий доступа влаги в зону повреждения и степени ее увлажнения. При этом меняются место и размеры

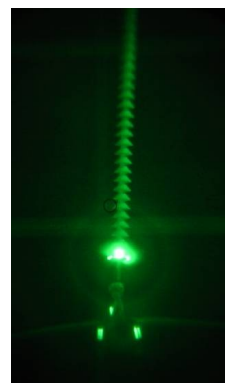
области повышенного нагрева, величина избыточной температуры и условия возникновения коронных разрядов (их наличие или отсутствие).

Начальная стадия повреждения (рис. 4). В этом случае область повышенного нагрева изолятора находится непосредственно у оконцевателя (в зоне повреждения), размеры области составляют **10-15 см**, избыточная температура – **не более 2⁰С**. Коронные разряды на изоляторе **отсутствуют**. Коронные разряды, которые видны на эопограмме (рис. 4), возникают на оконцевателе изолятора. Безусловно, это также является недостатком его конструкции, однако к рассматриваемому повреждению изолятора из-за проникновения влаги это не имеет отношения. Более того, как будет показано далее, при сильном повреждении изолятора коронные разряды на оконцевателе могут исчезать. И это служит дополнительным браковочным признаком для выявления поврежденных изоляторов.

Сильная степень повреждения, но без сквозной эрозии оболочки и прямого доступа влаги в изолятор (рис. 5). Как и в предыдущем случае, область повышенного нагрева изолятора находится непосредственно у оконцевателя, однако размеры области достигают уже **50 см**, избыточная температура – **5⁰С**. Коронные разряды на изоляторе по-прежнему **отсутствуют**.

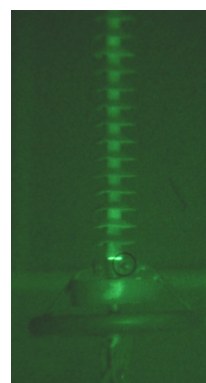
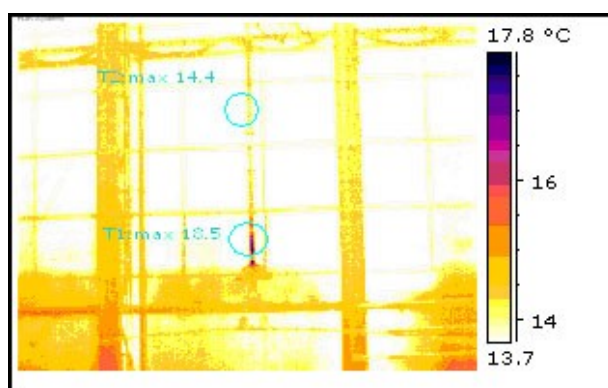
Сильная степень повреждения со сквозной эрозией оболочки и прямым доступом влаги в изолятор (рис. 6,7). При данном повреждении условия нагрева и возникновения коронных разрядов на изоляторах могут меняться в зависимости от степени увлажнения поврежденной части изолятора за счет прямого доступа влаги.

В отсутствие увлажнения (изоляторы длительное время находились в сухом помещении, рис. 6) картина нагрева аналогична предыдущей. На поверхности изолятора могут возникать коронные разряды в местах сквозных отверстий в оболочке. Однако условия их возникновения не стабильны, и они могут отсутствовать в течение длительного времени.



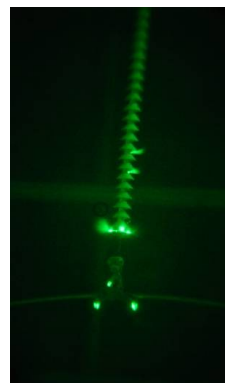
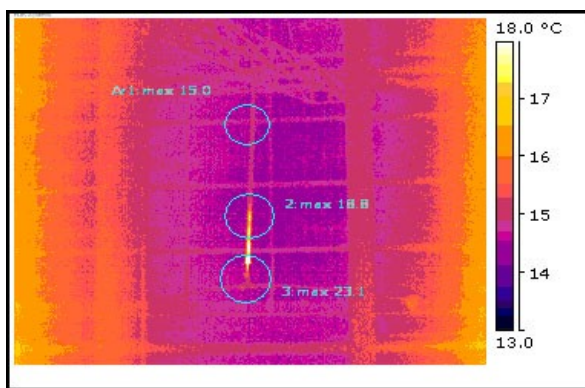
Область повышенного нагрева 10-15 см вблизи оконцевателя, избыточная температура – 2°С, коронные разряды на изоляторе отсутствуют.

Рисунок 4 – Изолятор ЛК70/220, образец 3.



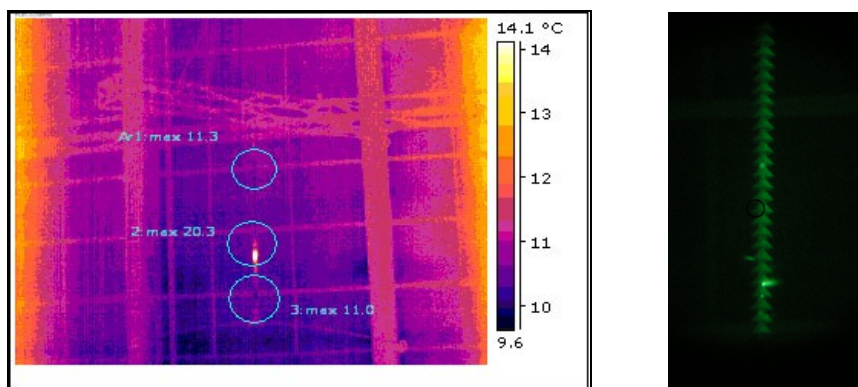
Область повышенного нагрева 50 см вблизи оконцевателя, избыточная температура – 4-5°С, коронные разряды на изоляторе отсутствуют.

Рисунок 5 - Изолятор ЛК70/220, образец 1.



Область повышенного нагрева 40-50 см вблизи оконцевателя, избыточная температура – 4-8°С, коронные разряды на изоляторе не стабильны.

Рисунок 6 - Изолятор ЛК70/220, образец 2.



Область локального нагрева на расстоянии 40 см от оконцевателя, избыточная температура – 8-9°C, коронные разряды на изоляторе стабильны.

Рисунок 7 - Изолятор ЛК70/220, образец 1.

При сильном увлажнении (изолятор выдерживался в воде в течение 60 часов) картина нагрева изолятора и коронных разрядов меняется радикальным образом (рис. 7). На участке повреждения изолятора непосредственно у оконцевателя нагрев отсутствует. Область повышенного нагрева находится на границе зоны повреждения, ее размер составляет **~15 см**, избыточная температура достигает **9°C**. Наблюдаются стабильные коронные разряды в местах разрывов оболочки, а также на границе зоны повреждения, где сквозные отверстия в оболочке отсутствуют.

Характер повреждения изоляторов. Некоторые фрагменты изоляторов после препарирования, иллюстрирующие характер их повреждения, показаны на рис. 8,9.

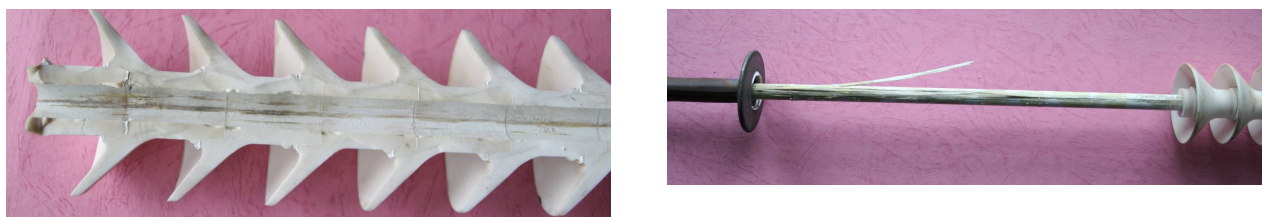


Рисунок 8 – Изолятор ЛК70/220, образец 3.

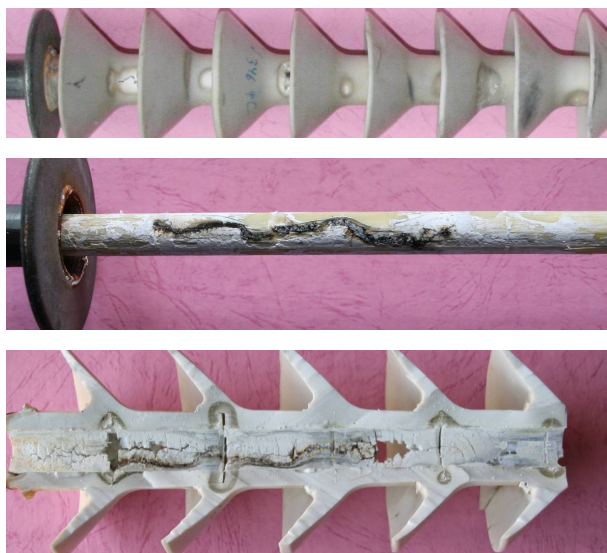


Рисунок 9 – Изолятор ЛК70/220, образец 1.

Начальная стадия повреждения: незначительные повреждения стержня вблизи оконцевателя без образования треков по границе раздела, незначительная начальная эрозия защитной оболочки.

Сильная степень повреждения: образование дендритов и треков на длину более 50 см, значительная эрозия оболочки с образованием сквозных отверстий; возможно также образование дендритов и треков на длину ~100 см, с эрозией защитной оболочки, но без образования сквозных отверстий.

Остаточный ресурс изоляторов по электрической и механической прочности.

Характеристики электрической и механической прочности изоляторов, полученные в результате испытаний, представлены в табл. 2. Можно констатировать, что изоляторы даже с сильной степенью повреждения сохраняют достаточный ресурс по электрической и механической прочности и их характеристики близки к исходным характеристикам для новых изоляторов. Существенное снижение электрической прочности было зафиксировано только при напряжении грозовых импульсов у изоляторов на номинальное напряжение 330 кВ с очень сильными повреждениями нижних элементов.

Некоторые фрагменты испытаний изоляторов напряжениями грозовых импульсов показаны на рис. 10. Перекрытия изоляторов с начальной стадией повреждения происходили только по воздуху. Перекрытия изоляторов с

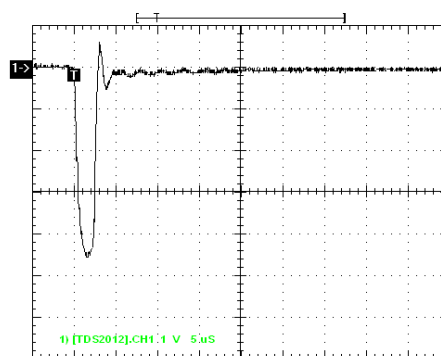
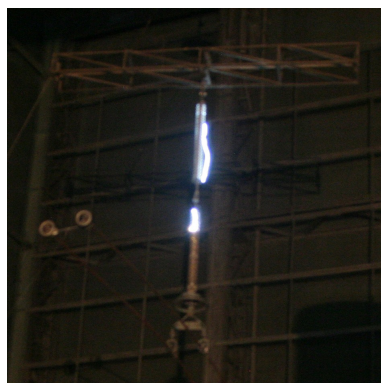
сильной степенью повреждения происходили с частичным заглублением разряда в изолятор при отрицательной полярности напряжения.

Таблица 2.

Характеристика	Значение	
	ЛК 70/220	ЛК 120/330
Разрядное напряжение при естественном загрязнении и увлажнении, кВ	не менее 220	не менее 315
Разрядное напряжение грозового импульса, кВ	не менее 1000	(+) 1250 (-) 670 (50%)
Механическая разрушающая сила на растяжение, кН	65 (93%)	не менее 120



а) изолятор ЛК 70/220, образец 1;



б) изолятор ЛК 120/330, образец 2.

Рисунок 10 – Испытание напряжениями грозовых импульсов.

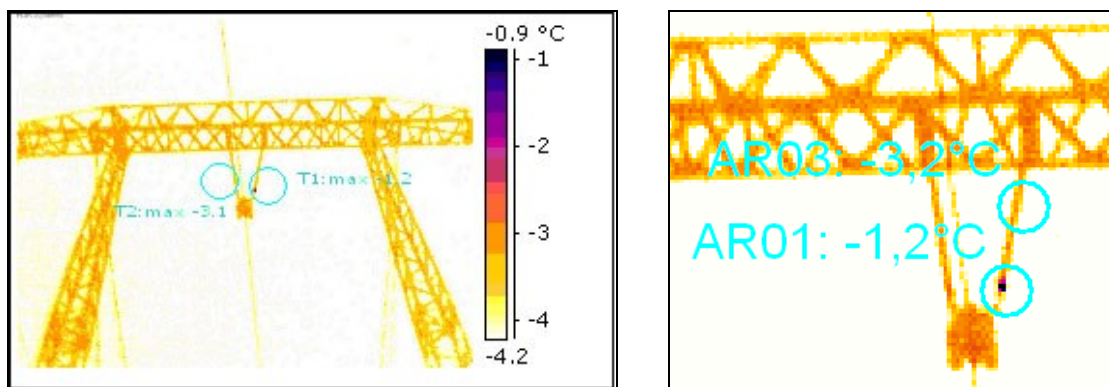
3 Диагностика изоляторов в эксплуатации

Проведено обследование полимерных изоляторов типа ЛК 70/220 на двух ВЛ 220 кВ (условно ВЛ №1 и ВЛ №2). Изоляторы находились в эксплуатации на указанных ВЛ в периоды с 1996 по 2007 год и с 1999 по 2007 год. В общей сложности были обследованы 1494 изолятора на 249 опорах. Обследование проводилось методами инфракрасной и ультрафиолетовой дефектоскопии. Для проведения ИК контроля использовались тепловизоры марки Flir ThermaCAM S65 и P60, для проведения УФ контроля – электронно-оптический дефектоскоп «Филин-6».

Оценка технического состояния изоляторов по результатам контроля основывалась на характерных признаках повреждения изоляторов, которые были установлены в ходе лабораторных испытаний. Все обнаруженные дефектные изоляторы были демонтированы с ВЛ. После этого был проведен внешний осмотр и препарирование изоляторов для подтверждения достоверности результатов диагностики.

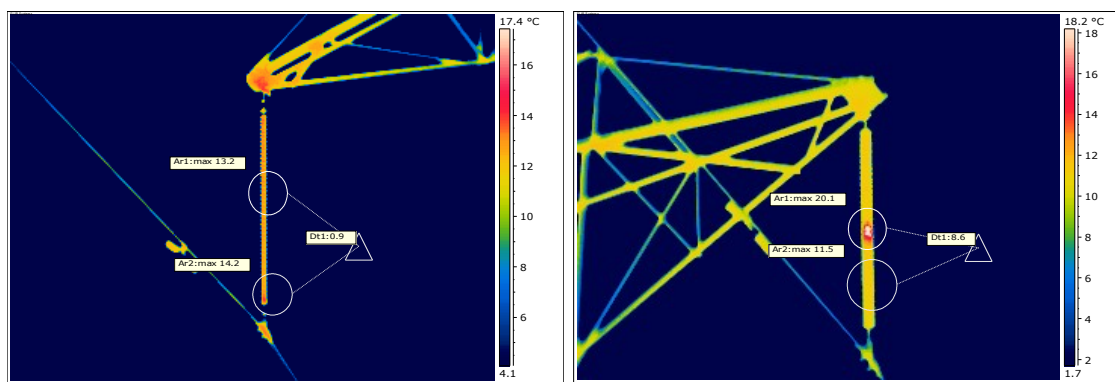
В результате обследования на двух линиях обнаружены 62 дефектных изолятора с различной степенью повреждения, в том числе, 27 изоляторов с сильной степенью повреждения. Осмотр изоляторов после демонтажа с ВЛ полностью подтвердил достоверность диагностики.

Характерные термограммы поврежденных изоляторов показаны на рис. 11-13. Признаки дефектных изоляторов на обеих обследованных линиях были схожими. Вместе с тем, в силу разных условий (по температуре и влажности), при которых проводились данные обследования, имели место некоторые отличия по характеру нагрева и избыточной температуре.



ИК контроль: локальный нагрев в нижней части изолятора, избыточная температура 2 °С; УФ контроль: отсутствуют разряды на оконцевателе.

Рисунок 11 - Обследование ВЛ 220 КВ №1

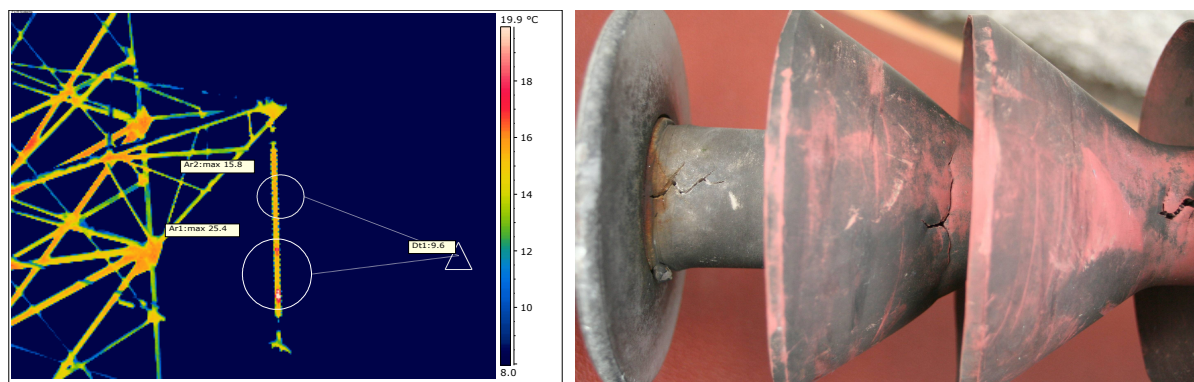


а)

б)

а) нагрев в нижней части изолятора, избыточная температура **0,9 °С**; б) локальный нагрев в средней части изолятора, избыточная температура **8,6 °С**.

Рисунок 12 - Обследование ВЛ 220 КВ №2.



Локальный нагрев в средней части изолятора, избыточная температура **9,6 °C**.

Рисунок 13 - Обследование ВЛ 220 КВ №2.

ВЛ №1. Как правило, наблюдался нагрев изоляторов в нижней части вблизи оконцевателя (рис. 11), избыточная температура – **(0,5 – 5,0)⁰C**. При избыточной температуре свыше 3,0⁰C на поверхности изоляторов как правило наблюдались коронные разряды. При меньших температурах коронные разряды чаще всего отсутствовали. В двух случаях ИК контроль не показал существенного нагрева изолятора, однако коронные разряды на поверхности изолятора при этом наблюдались. Изоляторы были определены как дефектные, что нашло подтверждение при последующем осмотре.

ВЛ №2. Наблюдался нагрев изоляторов как в нижней части у оконцевателя, так и в средней части на 1/5 – 1/2 изоляционной высоты (см. рис. 12). При нагреве в нижней части избыточная температура составляла **(0,4 – 1,5)⁰C**. При локальных нагревах в средней части изолятора избыточная температура изменялась **от 4 до 19⁰C**. К сожалению УФ контроль при данном обследовании не проводился. На всех изоляторах, у которых наблюдался локальный нагрев в средней части, при последующем осмотре были обнаружены сквозные отверстия в оболочке, как результат внутренней эрозии (рис. 13).

Выводы

Повреждения полимерных изоляторов в эксплуатации, как правило, обусловлены нарушением герметичности защитной оболочки и проникновением влаги в изолятор. Это наиболее распространенный вид повреждения.

Для диагностики полимерных изоляторов в эксплуатации рекомендуется применять в сочетании методы ИК и УФ контроля. При этом ИК контроль следует рассматривать, как основной метод, позволяющий выявлять дефектные изоляторы на начальной стадии повреждения. УФ контроль – как дополнительный метод, позволяющий выявлять дефектные изоляторы при сильной степени повреждения.

Диагностические признаки повреждения изоляторов по результатам ИК и УФ контроля, сформулированные в докладе, могут быть приняты за основу при разработке общих рекомендаций по диагностике полимерных изоляторов в эксплуатации.

Опыт обследования изоляторов на ВЛ свидетельствует о высокой эффективности диагностики поврежденных изоляторов методами ИК и УФ контроля.