

Диагностика состояния ОПН 110 кВ и выше с полимерной изоляцией в процессе эксплуатации

Колычев А.В., заместитель директора по научной работе АО «Полимер-Аппарат»

Кемпонен М.Э., заместитель директора по научной работе АО «Полимер-Аппарат»

Профилактические испытания ограничителей перенапряжений (ОПН) проводят в соответствии с РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования». Они состоят из измерения сопротивления ограничителя, измерения тока проводимости или проведения тепловизионного контроля ОПН.

Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки. При тепловизионном контроле фиксируются значения температуры по высоте и по периметру ограничителя, а также зоны с локальными нагревами.

Задачи диагностики ОПН должны заключаться в выявлении факторов развития дефектов в изоляционной крышке и варисторной колонке, которые проявляются в увеличении воздействующего напряжения в части варисторной колонки ОПН больше допустимой величины.

Развитие дефектов в изоляционной крышке в большинстве случаев связано с плохой адгезией резиновой оболочки со стеклопластиковой трубой и, как следствие, попаданием влаги. Что приводит к образованию проводящего трека в стеклопластике. За счет емкостных связей развитие трека приводит к шунтированию части варисторов и повышению воздействующего напряжения на остальные варисторы ОПН.

За допустимую величину напряжения в варисторной колонке или на отдельных варисторах необходимо принять значение испытательного напряжения при проведении квалификационных испытаний ОПН (секции ОПН, варисторов) на старение. Обычно испытательное напряжение составляет $U_{исп} = 1,1U_{нр0}$, которое учитывает допустимую степень неравномерности распределения электрического поля вдоль колонки варисторов. При увеличении воздействующего напряжения свыше $U_{исп}$ в колонке варисторов ОПН может произойти деградация варисторной керамики и старение варисторов. При этом происходит значительное увеличение активной составляющей тока утечки и мощности потерь.

Активная составляющая тока ОПН сильно зависит от величины приложенного синусоидального напряжения. Нелинейность вольтамперной характеристики варисторов при приложении синусоидального

напряжения производит высшие нечетные гармоники в полном токе утечки. Высшие гармоники тока — 3, 5, 7 и т.д. характеризуют активную составляющую тока. Гармоническое содержание зависит от величины активной составляющей тока и степени нелинейности, которая, в общем случае, является функцией напряжения и температуры. Например, содержание третьей гармоники к полному активному току составляет от 10% до 20%. Наличие высших гармоник активного тока, протекающего через варистор, может быть использовано как индикатор состояния нелинейного ограничителя перенапряжений. Дополнительный ток утечки, связанный с увлажнением слоя загрязнения на поверхности изоляции, в большей степени влияет на величину тока основной частоты и в меньшей степени — на увеличение тока нечетных гармоник.

На рисунке 1 показаны экспериментальные зависимости относительного роста тока третьей гармоники для ОПН-110 кВ и ОПН-500 кВ, изготовленные на варисторах фирмы «Epcos AG». Характерные зависимости относительного роста активного тока, третьей гармоники тока, а также мощности потерь в зависимости от напряжения и температуры показаны на рисунках 2 и 3 [1], отнесенные к аналогичным показателям при $U_{нр0}$ и $T = +20^{\circ}\text{C}$, соответственно.

За критерий оценки состояния ОПН с полимерной изоляцией можно использовать значение тока третьей гармоники, который характеризует активную составляющую тока утечки ОПН.

Табл. 1. Степень неисправности ОПН 110–750 кВ по значениям тока третьей гармоники

Увеличение третьей гармоники тока	Принимаемые меры
От 1 до 2 раз	Начальная степень дефекта, провести очистку внешней изоляции
От 2 до 3 раз	Запланировать дополнительные испытания ОПН
Свыше 3-х раз	Аварийный дефект, вывести аппарат из эксплуатации в течение 15 дней, провести дополнительные испытания в лаборатории

Как видно из рисунков 1–2, повышение напряжения на 10% приводит к росту третьей гармоники в 1,8–2 раза. При увеличении приложенного напряжения до $1,2U_{нро}$ рост третьей гармоники происходит в 4–4,5 раза. Например, для ОПН-110 кВ значение третьей гармоники при $U_{нро}$ составляет 20 мкА, для ОПН-500 кВ — 40 мкА. Допустимые значения тока проводимости в режиме измерения третьей гармоники 150 Гц для ОПН-110 кВ составляют не более 60 мкА, для ОПН-500 кВ — 120 мкА.

Соответственно, диагностику ОПН по третьей гармонике можно осуществлять по критерию увеличения действующего значения (таблица 1).

При эксплуатации ОПН в районах с сильным загрязнением атмосферы перед измерением токов проводимости ограничителей рекомендуется провести очистку внешней изоляции мыльным раствором или активными растворами на водной основе от загрязнений. При устойчивой тенденции увеличения тока проводимости и превышения допустимых значений аппараты должны быть выведены из эксплуатации для проведения испытаний в лаборатории согласно ПСИ и определения причин изменения характеристик аппаратов.

Компания «Полимер-Аппарат» разработала устройства для измерений тока проводимости ОПН под рабочим напряжением. К ним относятся ИТУС-1 и ИТУС-2. Прибор ИТУС-1 предназначен для комплексного контроля состояния ОПН. Прибор устанавливается в цепи заземления ограничителя. Устройство позволяет делать измерение амплитуды и действующего значения 1, 3 и 5 гармоник тока утечки ОПН 110–750 кВ. Выход прибора из строя не влияет на работу ОПН. Также ИТУС-1 регистрирует импульсы тока, протекающие через ОПН: грозовой импульс тока с амплитудой 1 кА и более, коммутационный импульс тока с амплитудой 0,2 кА и более. Индикация полученных значений — цифровая, на светодиодном индикаторе. Снятие показаний информации происходит

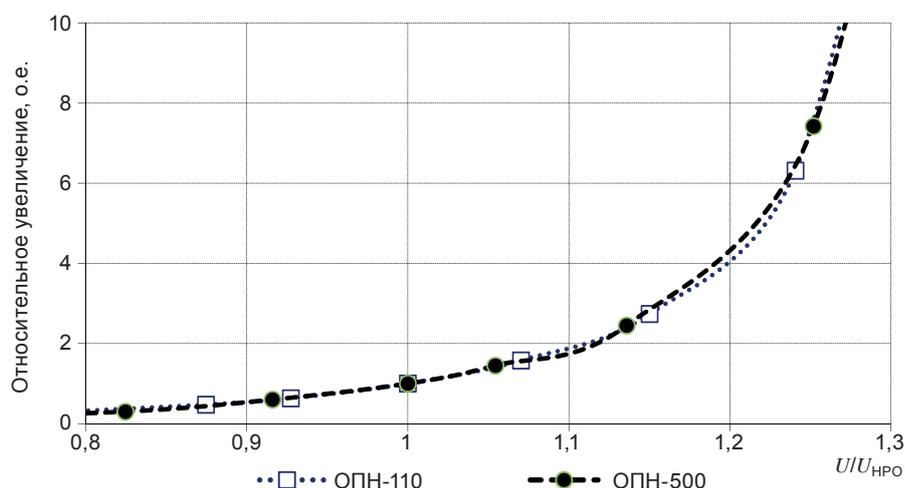


Рис. 1. Зависимости тока третьей гармоники ОПН-110 кВ и ОПН-500 кВ от приложенного напряжения при использовании различных типов варисторов

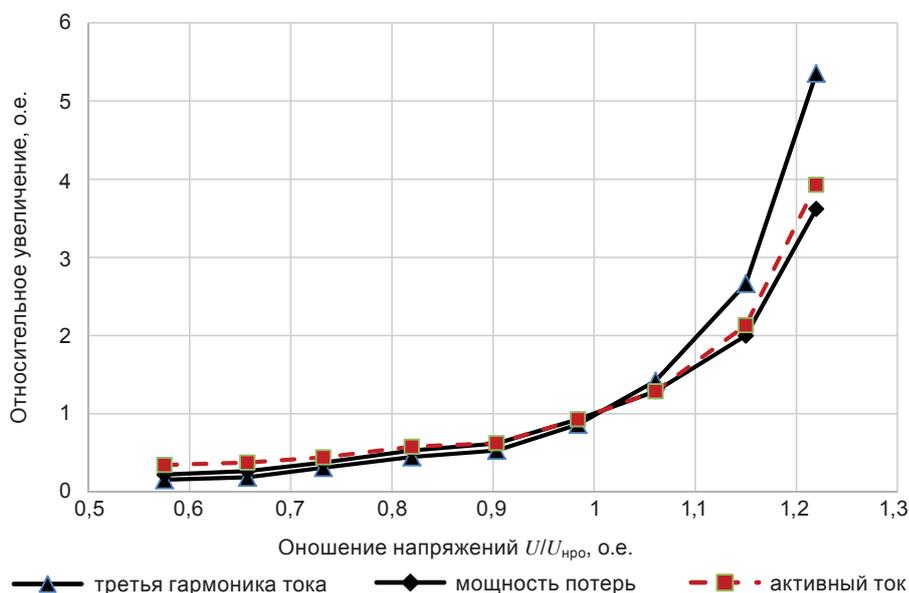


Рис. 2. Характерные зависимости активного тока, третьей гармоники тока и мощности потерь ОПН в зависимости от приложенного напряжения

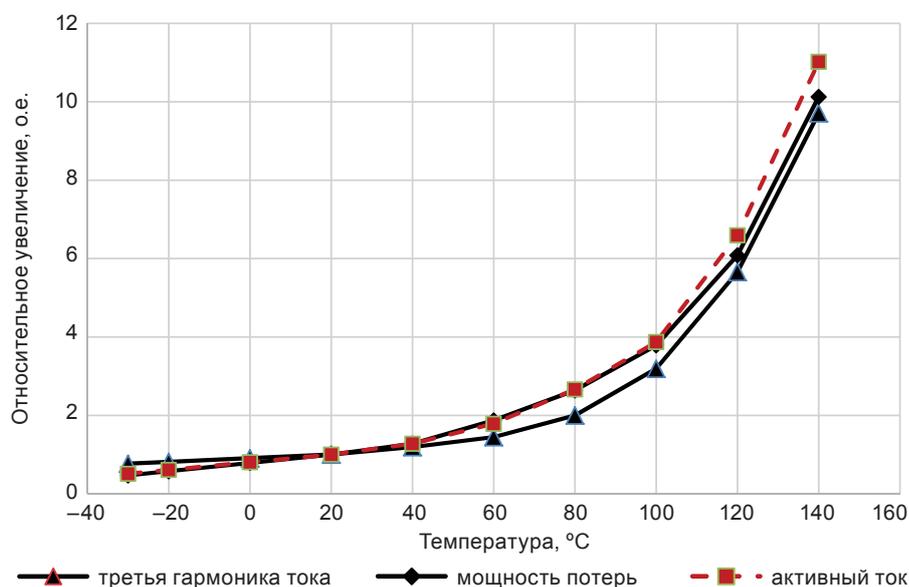


Рис. 3. Характерные зависимости активного тока, третьей гармоники тока и мощности потерь ОПН в зависимости от температуры

путем нажатия на кнопки прибора, расположенные на изоляционном корпусе без касания токоведущих частей.

Приборы ИТУС-1 прошли опытную эксплуатацию в энергосистемах России и имеют соответствующие сертификаты.

Прибор ИТУС-2-LR, встраиваемый в шину заземления ОПН, позволяет с помощью пульта сбора данных ИТУС-ПСД-1 дистанционно проводить измерения тока утечки, протекающего через ОПН под рабочим напряжением сети.

Пульт дистанционного сбора данных ИТУС-ПСД-1 в совокупности с набором приборов мониторинга состояния ОПН ИТУС-2-LR образуют беспроводную сеть, позволяющую в любой момент получить информацию о состоянии всех ОПН объекта (электростанции, подстанции и т.д.). Для считывания и просмотра данных о состоянии ОПН к ИТУС-ПСД-1 подключается ПК. С помощью фирменного ПО данные передаются в ПК, где они могут быть сохранены, просмотрены, проанализированы и выведены на печать в виде протокола. ИТУС-ПСД-1 имеет возможность передавать данные мониторинга ОПН в АСУ ТП подстанции.

Питание ИТУС-2-LR — автономное, от встроенного элемента питания. Средний срок службы от одного элемента питания — не менее 10 лет.

Передача измеренных параметров осуществляется автоматически, не реже 1 раза в сутки. Также передача данных может быть осуществлена при запросе обслуживающего персонала.

Система позволяет проводить следующие измерения:

- амплитудного значения тока утечки ОПН (в диапазоне частот от 50 Гц до 500 Гц) от 0,1 мА до 10 мА;
- действующего значения 1, 3 и 5-й гармоник тока утечки ОПН от 0,01 мА до 10 мА;
- температуры окружающего воздуха в диапазоне от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

- регистрировать число срабатываний ОПН при протекании импульсных токов.

Достоинством прибора ИТУС-2-LR является возможность встраивания его в систему АСУ-ТП.

Применение системы мониторинга состояния ОПН ИТУС-2-LR допустимо в местах с повышенными значениями электромагнитного поля, где работа обслуживающего персонала ограничена по времени.

Система комплексного мониторинга состояния ОПН имеет положительный опыт эксплуатации в электрических сетях ПАО «Россети Юг». При эксплуатации не было нареканий на работу приборов ИТУС-1 и пульта передачи данных.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОПН

Появление дефектов в изоляционной крышке или варисторной сборке, как правило, приводит к росту температуры в данной области ОПН. Изменение температуры происходит как на колонке варисторов, так и на внешней изоляционной крышке.

Критерии удовлетворительной оценки состояния ограничителей:

- все ограничители (в случае одинаковых условий их эксплуатации) должны иметь одинаковый нагрев;
- превышение температуры ограничителя над температурой окружающей среды во всем диапазоне рабочих температур окружающей среды не должно превышать определенного значения ΔT ;
- не должно отмечаться точек локального нагрева.

Недостатки тепловизионной диагностики нелинейных ограничителей перенапряжений с полимерной изоляцией:

- необходимо учитывать влияние внешних источников тепла, таких как нагрев от токоведущих шин, нагрев солнечным светом;
- фиксируются значения температуры на внешней поверхности полимерной крышки ОПН, а не варисторной сборки ОПН;

– температура ОПН зависит от токов утечки, протекающих по поверхности увлажненного слоя загрязнения изоляционной крышки ОПН [2];

– температура ОПН зависит от внешних факторов охлаждения ограничителя и конструктивных особенностей.

Температурные зависимости построены исходя из тепловой модели ОПН на основе уравнений осесимметричной теплопроводности ОПН, которое справедливо в пределах высоты варисторной колонки аппарата [3, 4].

На рисунке 4 представлена зависимость температуры варисторной керамики и внешней изоляционной крышки в зависимости от мощности активных потерь в ОПН.

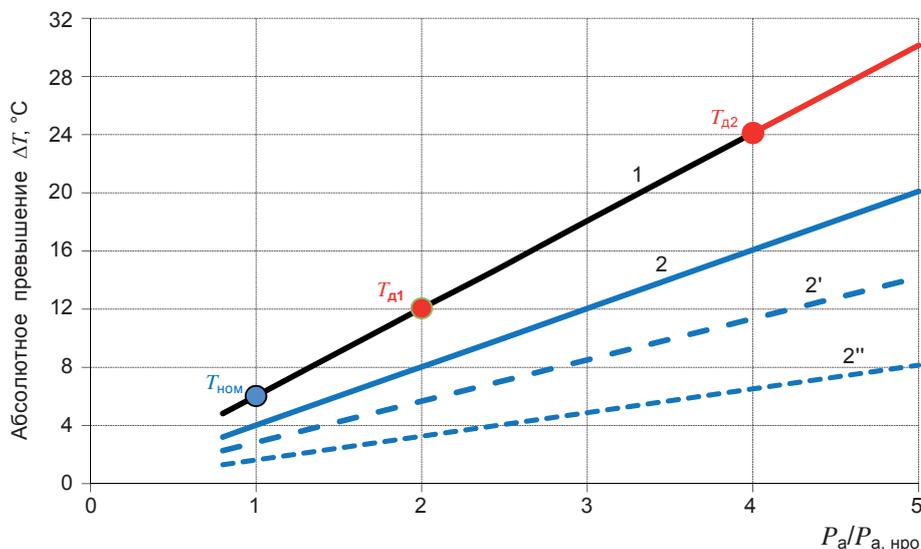


Рис. 4. Зависимость превышения температуры ОПН, ΔT ($^{\circ}\text{C}$) над температурой окружающего воздуха ($T_{\text{окр}} = 20^{\circ}\text{C}$) в зависимости от активной мощности, выделяемой в ограничителе: 1 — температура варисторной колонки ОПН; 2, 2' — температура на крышке и ребрах ОПН; 2'' — температура на крышке ОПН с учетом внешнего охлаждения

Табл. 2. Степень неисправности ОПН 110–750 кВ по значениям превышения температуры

Превышение температуры	Принимаемые меры
От 0°С до 5°С	Нормальная эксплуатация ОПН
От 5°С до 12–15°С	Запланировать дополнительные испытания ОПН, провести очистку внешней изоляции
Свыше 15°С	Аварийный дефект. Вывести аппарат из эксплуатации в ближайшее время, провести дополнительные испытания в лаборатории

Кривая 1 соответствует температуре на колонке варисторов, кривые 2 и 2' — температуре на изоляционной крышке и на ребрах, кривая 2'' — температуре на крышке с учетом факторов внешнего охлаждения.

Как видно из рисунка 4, температура варисторной колонки ОПН может значительно отличаться от температуры на изоляционной крышке.

За допустимую величину перегрева варисторной колонки можно принять 25°С, температура на внешней изоляции — 12–15°С. При этом воздействующее напряжение в колонке варисторов или в ее части будет превышать $1,2 U_{нр0}$.

Соответственно, диагностику ОПН по тепловизионному контролю можно осуществлять по критерию превышения температуры ОПН над температурой окружающего воздуха (таблица 2).

Однозначно определить допустимую температуру аппарата без учета всех факторов представляется достаточно сложной задачей. Например, при увеличении теплоотдачи за счет внешнего охлаждения (например, ветра) температура может значительно отличаться от температуры ОПН в нормальном режиме эксплуатации. **Р**

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 53735.5-2009. Разрядники вентильные и ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Часть 5. Рекомендации по выбору и применению. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200081517>.
- Дмитриев В.Л. Диагностика ОПН в эксплуатации // Новости Электротехники, 2007, № 5 (47).
- Колкунова И., Кадзов Г.Д., Титков В.В., Таджибаев А.И. Исследование тепловых режимов в ограничителях перенапряжения при различных повреждениях. Материалы Международной научно-технической конференции «Перенапряжения и надежность эксплуатации электрооборудования». Санкт-Петербург, 2003.
- Агавердиев И.Н., Эйвазов Д.Г., Титков В.В. Особенности теплового режима нелинейных ограничителей перенапряжений в условиях длительной перемежающейся дуги заземления // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2004, № 6.

Санкт-Петербургское научно-производственное объединение АО «Полимер-Аппарат» разрабатывает и производит

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

(ОПН)

Для любого класса напряжений от 0,22 кВ до 750 кВ

 научно-производственное объединение
АО «Полимер-Аппарат»

www.polymer-apparat.ru
тел./факс: (812) 331-40-40
(многоканальный)

Гарантия до 10 лет
Срок службы 30 лет

Для комплектации ограничителей используются варисторы различных диаметров и толщин производства фирмы EPCOS (Германия)

Возможно изготовление ОПН с любым наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением

Вся продукция прошла полный комплекс испытаний в лабораториях ОАО «НИЦ ВВА», ОАО «НИИПТ», ОАО «НИИВА»