Третья Российская
с международным участием
научно-практическая конференция
Новосибирск

ЛЭП 2008

Линии электропередачи 2008:
проектирование, строительство
опыт эксплуатации и
научно-технический прогресс

ЗАЩИТА ВЛ ОТ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ. НЕДОСТАТКИ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ СИСТЕМ. РЕШЕНИЯ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВ УЗПН-10. ВОПРОСЫ КООРДИНАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ВЛ.

Деев А.В.

Рассмотрены защита ВЛ от грозовых перенапряжений и недостатки наиболее распространенных систем, решения по их устранению с применением устройств УЗПН-10 и вопросы координации электрической прочности изоляции ВЛ.

Актуальность.

По данным РАО «ЕЭС России», общая протяжённость, находящихся в эксплуатации в Российской Федерации ВЛ 6 и 10 кВ превышает 1200 тыс. км.

Надёжность электроснабжения потребителей в значительной мере определяется надёжностью работы ВЛ 6 и 10 кВ. В силу ряда объективных и субъективных причин надёжность работы ВЛ 6 и 10 кВ является относительно низкой.

Одной из основных причин аварий и нарушений питания на ВЛ 6-10 кВ являются грозовые воздействия, которые составляют до 40% от общего числа их отключений. Они вызывают повреждения изоляторов, опор, проводов, приводят к замыканиям на землю, дуговым перенапряжениям и автоматическим отключениям. Вследствие низкого уровня импульсной прочности линейной изоляции, ВЛ 6-10 кВ являются весьма подверженными грозовым отключениям, так как практически все случаи грозовых перенапряжений от прямых ударов молний и значительная часть индуктированных перенапряжений приводят к перекрытиям изоляторов, с большой вероятностью переходящим в силовую дугу напряжения промышленной частоты.

Кроме того, внедрение в нашей стране распределительных ВЛ с проводами защинными изоляцией (ВЛЗ) которые имеют ощутимые эксплуатационно-техническими преимущества перед ВЛ с неизолированными проводами по меньшей повреждаемости, надежности электроснабжения потребителей, безопасности, габаритам, предопределяет необходимость применения какой-либо системы их грозозащиты для предотвращения пробоев изоляции и пережога проводов силовым током короткого замыкания.

Особенностью проблемы грозозащиты ВЛЗ является то, что в случае отсутствия специальных мер, при грозовом перекрытии изоляторов линии, сопровождаемом пробоем твердой изоляции провода, образующаяся с большой вероятностью дуга промышленной

частоты не имеет возможности перемещаться по проводу и горит в месте пробоя изоляции до момента отключения линии. Это может привести к обжигу изоляции провода, изоляторов линии, а в случае больших токов короткого замыкания – к пережогу провода.

Наиболее массово применяемое конструктивное решение защиты ВЛЗ 10 кВ от грозовых перенапряжений с использованием устройств УЗД

УЗД 1.1 и УЗД 1.2

УЗД 1.2

Принцип действия

Случай №1 - длительное однофазное замыкание на землю.

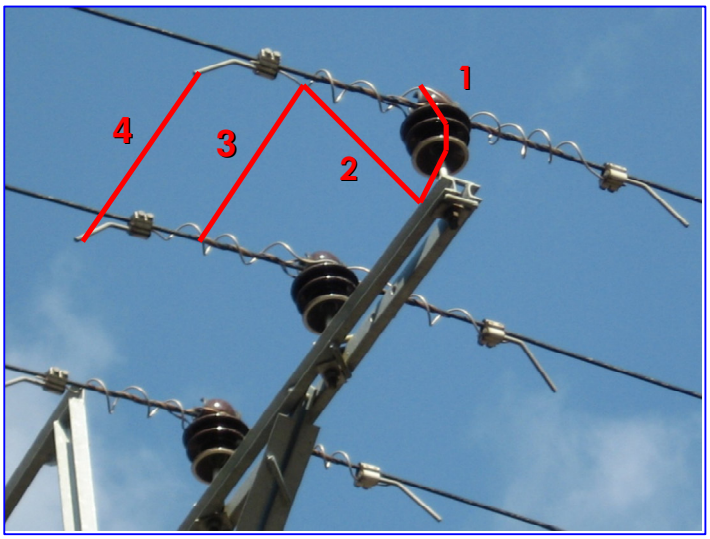
Конструкция и размещение УЗД выполнены таким образом, чтобы любое длительное однофазное замыкание переходило в межфазное, при котором автоматическая защита отключает всю воздушную линию. Последующим АПВ или РПВ линия приводится в исходное состояние.

1 - Перекрытие изолятора, сопровождаемое возникновением силовой дуги поддерживаемой током и напряжением промышленной частоты;

2 - Перемещение силовой дуги по защитным шунтам УЗД под воздействием электромагнитного поля провода (электромагнитное поле провода отталкивает дугу);

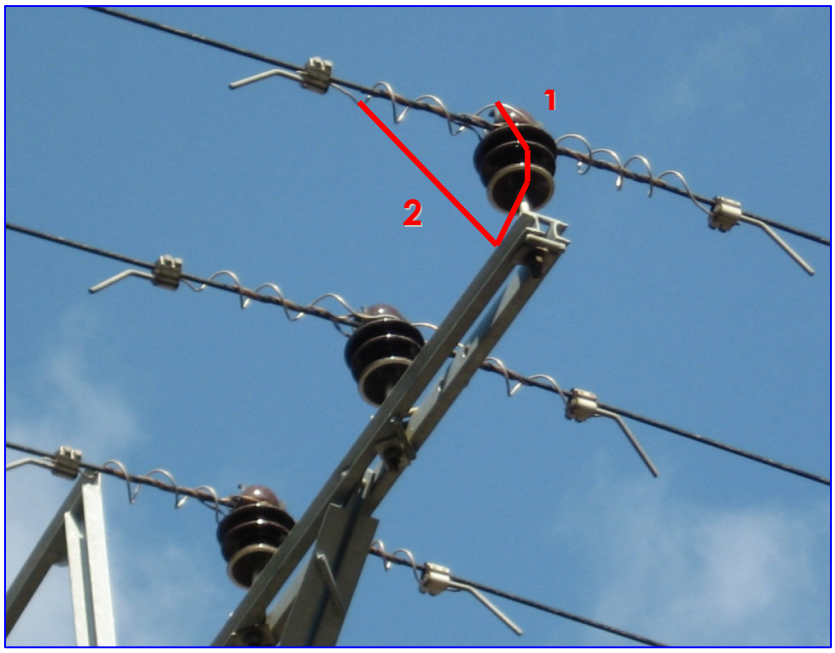
3 - Удлинение дуги в условиях высокой ионизации воздуха создает предпосылки к ее «перебросу» на соседнюю фазу и продолжение движения по шунтам под воздействием электромагнитного поля провода. Уже в этот момент линия может быть обесточена автоматикой из-за межфазного замыкания ;

4 - Силовая дуга является материальным объектом на который воздействует сила земного притяжения. Поэтому в случае задержки с отключением линии дуга отводится от проводов на дугоотводные рога, где с высокой вероятностью происходит «стекание» дуги по дугоотводным рогам УЗД под воздействием земного притяжения



Случай №2 - кратковременное однофазное замыкание на землю.

Кратковременное однофазное замыкание благодаря спиральным шунтам защищающим провод в районе изоляторов не представляет опасности для изолированного провода, не приводит к межфазному замыканию и соответственно к отключению линии автоматической защитой, что доказано опытом эксплуатации ВЛ с «голыми» проводами. В этом случае дуга под воздействием электродинамических сил также как и в случае с «голыми» проводами будет иметь возможность свободного перемещения по защитному шунту УЗД, что исключит возможность длительного теплового воздействия на изолированный провод, находящегося под защитным шунтом.



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПО ИСПЫТАНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ АППАРАТУРЫ"

ОАО НИЦ ВВА

Аттестат аккредитации
№ РОСС.RU.0001.21 МВ06
Дата регистрации 10.03.99г.
Окончание действия 10.03.2002г.
Адрес: 127566, Россия, г.Москва,
Высоковольтный проезд, 13

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
А.В.Малышев
14.05.2001

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ
№ 003 - 067 - 2001

Объект испытаний	*Устройства защиты от дуги УЗД 1.1 и УЗД 1.2*
Технические условия	*ТУ 3449-001-53764944-00*
Изготовитель и заказчик на проведение испытаний	*ООО "ТехЭлкомс", г. Москва*
Цель испытаний	*Проверка работоспособности*
Нормативный документ, на соответствие которому проводились испытания	*ТУ 3449-001-53764944-00*
Место проведения испытаний	*ОАО НИЦ ВВА*
Дата поступления образцов	*8 мая 2001 г.*
Дата проведения испытаний	*8 мая 2001 г.*
Договор	*г/п № 57-2001 от 04.05.2001*

ПРОТОКОЛ СОДЕРЖИТ: *Всего листов: 16*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: *Устройства защиты от дуги УЗД 1.1 и УЗД 1.2 соответствуют требованиям ТУ 3449-001-53764944-00 в части работоспособности*

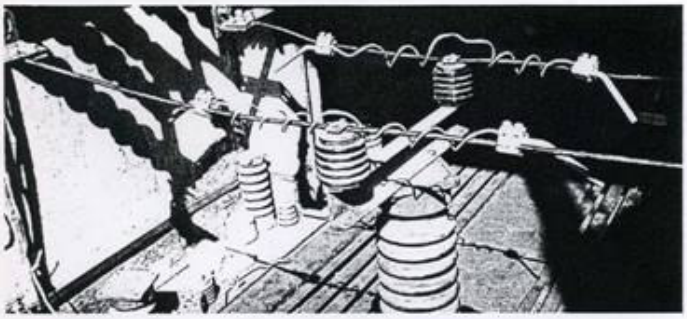
Заведующий лабораторией
испытаний высоковольтной
аппаратуры
А.К.Быструев

Москва 2001

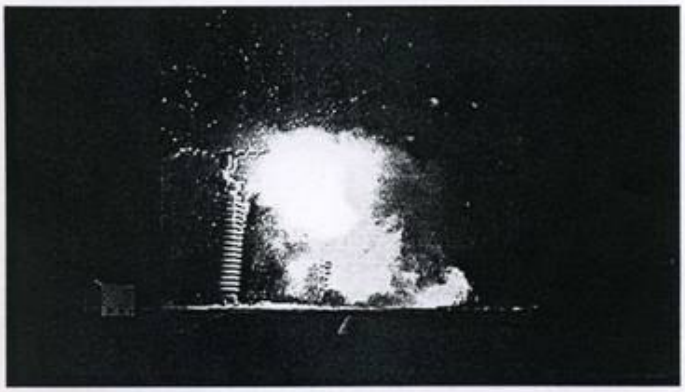
Запрещается передача и перепечатка материалов данного протокола без разрешения ОАО НИЦ ВВА.
Результаты испытаний, изложенные в настоящем протоколе, касаются образцов, подвергнутых испытаниям.

8. ФОТОГРАФИИ

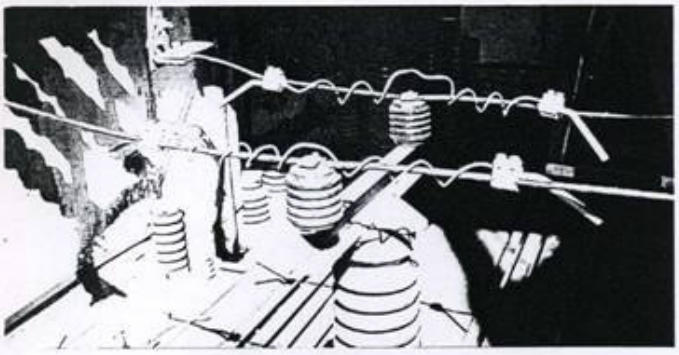
а)



б)



в)



а) до испытаний;

б) во время испытаний;

в) после испытаний

Рис. 8.1

Вид устройств при испытаниях в опыте № 105321

7. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

7.1. Результаты испытаний приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

№№ опыта	Напряжение холостого хода, кВ	Ток короткого замыкания (действующее значение), кА	Ударный ток, кА	Длительность протекания тока, с
105321	8,5	10,30	25,0	0,20
105322	8,5	10,40	25,3	0,20
105323	8,5	10,45	25,7	0,20
105324	8,5	10,40	25,0	1,02

7.2.1. В опытах №№ 105321-105322 открытая дуга загорелась в месте установки медной проволоки на дугоотводных стержнях (слева на рис. 8.1, 8.2), затем перемещалась вдоль провода по шунту в сторону, противоположную от источника, и в дальнейшем горела на дугоотводных стержнях справа. Оплавления изоляторов опоры и повреждения изоляции проводов не обнаружено. Результаты опытов положительные.

Для следующих опытов были заменены 2 дугоотводных стержня (справа), а также установлены шунты ∅ 6 мм.

7.2.2. В опытах №№ 105323-105324 открытая дуга загорелась в месте установки медной проволоки на дугоотводных стержнях (слева на рис. 8.3-8.4), затем перемещалась вдоль провода по шунту в сторону, противоположную от источника, и в дальнейшем горела на дугоотводных стержнях справа. После опыта № 105324 обнаружено оплавление правых дугоотводных стержней. Оплавления изоляторов опоры и повреждения изоляции проводов не обнаружено. Результаты опытов положительные.

7.3. Вид устройств до, во время и после испытаний представлен на рис. 8.1-8.4. На рис. 9.1-9.4 приведены копии осциллограмм опытов при проверке работоспособности устройств.

Преимущества.

УЗД являются самым простым и наиболее дешёвым средством грозозащиты ВЛЗ.

Недостатки.

При питании некоторых ответственных потребителей недопустимо полное прерывание питания даже на паузу АПВ. Но при установке на линии устройств грозозащиты типа УЗД количество отключений ВЛ сильно увеличивается, т.к. многие из однофазных замыканий будут переходить в межфазные и приводить к отключению ВЛ.

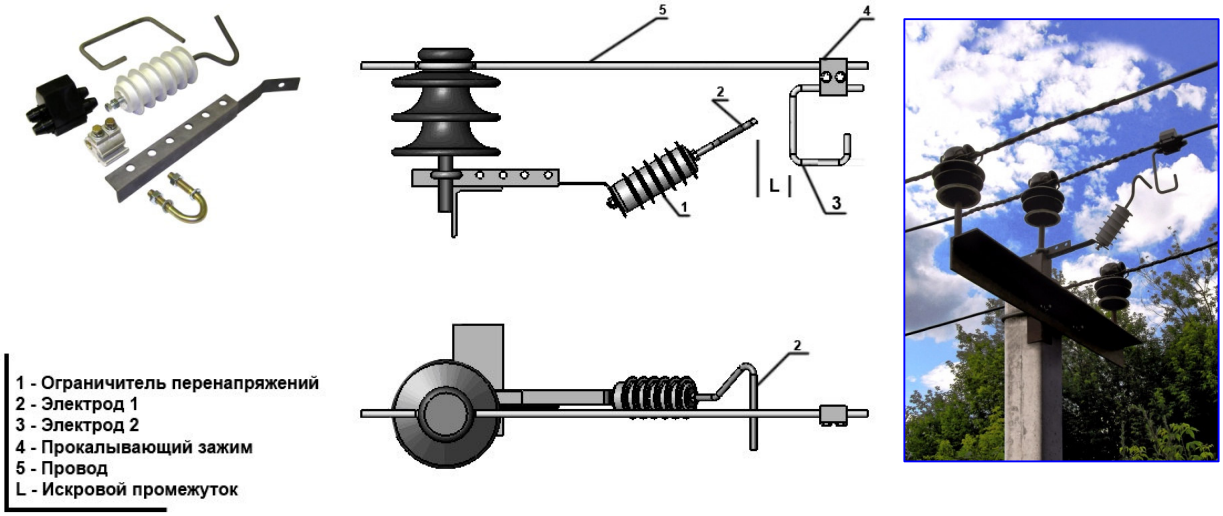
Еще одним недостатком данной системы является возможность межфазного замыкания при попадании на дугозащитные рога посторонних предметов (например, в лесистой местности), что может привести к выходу линии из строя уже на продолжительное время.

Кроме того, УЗД защищая от пережога непосредственно защищенные изоляцией провода не защищают от перекрытия изоляторы ВЛ, что не лучшим образом сказывается на состоянии изоляторов ВЛ в целом.

Основной недостаток устройства – практически каждое срабатывание может приводить к отключению ВЛ.

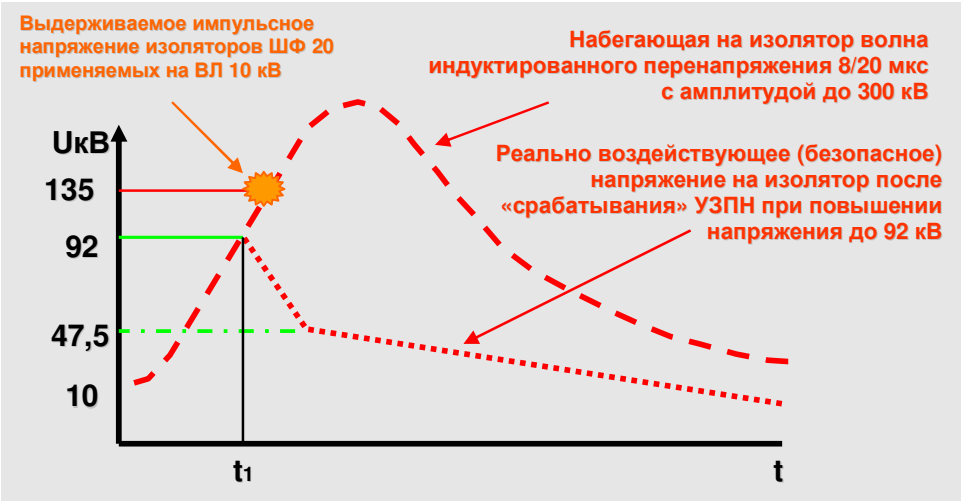
Вывод: устройства работоспособны, но морально устарели и не соответствует современным требованиям, требуется замена на современные системы типа УЗПН-10

Новое конструктивное решение защиты ВЛЗ от грозовых перенапряжений образца 2007 г. с использованием устройств УЗПН



При воздействии на провода индуктированных перенапряжений вызванных грозовыми разрядами вблизи ВЛ или прямых ударов молний искровой промежуток УЗПН «пробивается» и подсоединяет к проводу специальный нелинейный ограничитель перенапряжений (ОПН), который благодаря снижению собственного сопротивления в этот момент осуществляет эффективный сброс перенапряжения на заземленные части опор через электроды минуя изоляторы, что предохраняет их от перекрытия и повреждения, а провод от пережога. После снятия грозового перенапряжения при воздействии напряжения промышленной частоты ток через ОПН, за счёт возврата сопротивления ОПН до исходных значений ограничивается до величины, при которой существование дуги в искровом промежутке не возможно и дуга гаснет

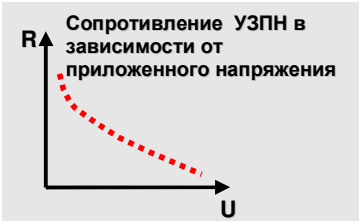
Устройство защиты от перенапряжений типа УЗПН - принцип действия

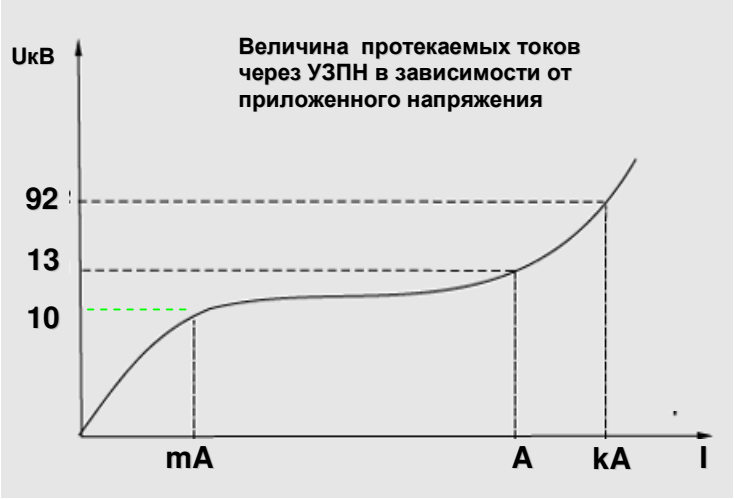


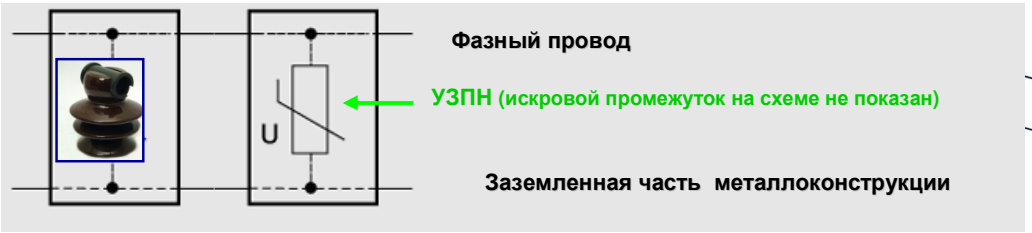
Выдерживаемое импульсное напряжение изоляторов применяемых на ВЛ 10 кВ составляет 135-145кВ. Набегающая на изолятор ВЛ 10 кВ волна индуктированного перенапряжения может иметь амплитуду до 300 кВ и соответственно способна привести к перекрытию изолятора с образованием силовой дуги, горение которой впоследствии может

поддерживаться током и напряжением промышленной частоты. Соответственно возникает опасность пережога провода защищенного изоляцией данной силовой дугой.

Для исключения такого варианта развития событий параллельно изолятору через искровой промежуток подключается устройство УЗПН. Выдерживаемое импульсное напряжение искрового промежутка УЗПН составляет 92 кВ. Соответственно при набегании на изолятор ВЛ 10 кВ волны перенапряжения с амплитудой более 92 кВ в момент t_1 искровой промежуток УЗПН будет перекрыт с образованием силовой дуги между электродами УЗПН. В этот момент сопротивление ОПН входящего в конструкцию УЗПН значительно снизится. Остающееся при этом напряжение на УЗПН, а соответственно и на параллельно подключенном в цепь изоляторе не буде превышать уровня 47,5 кВ, что обусловлено параметрами примененных в конструкции ОПН варисторов. Тем самым изолятор будет защищен от перекрытия силовой дугой, а провод от пережога. После снятия грозового перенапряжения и снижения напряжения на УЗПН до штатного напряжения в 10кВ ток через ОПН, за счёт возврата его сопротивления до исходных значений ограничивается до величины в несколько mA , при котором существование дуги в искровом промежутке не возможно и дуга гаснет.







Устройство защиты от перенапряжений типа УЗПН

Расчеты.

Характеристики ограничителей перенапряжений, предназначенных для комплектации УЗПН:

- удельная энергоёмкость, не менее – 0,3 кДж/кВ;
- остающиеся напряжения при воздействии номинального импульса тока 5 кА, не более 17 кВ для УЗПН-6 и не более 38 кВ для УЗПН-10.

Выбор остающегося напряжения обуславливался условием обрыва сопровождающегося тока.

Испытания.

В 2006 году в ОАО "НИИПТ" были проведены следующие испытания УЗПН 6-10 кВ:

1. Проверка пропускной способности при воздействии:
   - прямоугольных импульсах тока длительностью 2000 мкс с максимальным значением 300 А;
   - грозовых импульсах тока 8/20 мкс с максимальным значением 5000 А;
   - импульсах большого тока 4/10 мкс с максимальным значением 65 кА.
2. Определение остающихся напряжений при воздействии:
   - грозовых импульсах тока 8/20 мкс;
   - быстронарастающих импульсах тока 1/10 мкс с максимальным значением 5000 А.
3. Испытания по определению вольт-секундной характеристики и 50%-го разрядного напряжения искрового промежутка УЗПН.
4. Испытания изоляции, механической прочности, испытания на взрывобезопасность были проведены ранее для соответствующих ограничителей перенапряжений.

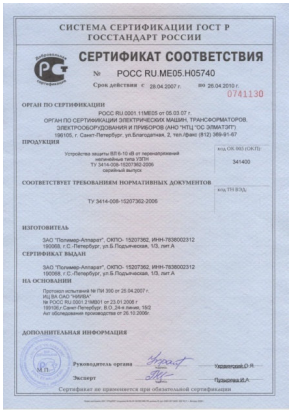
Основные технические параметры УЗПН

1. Класс напряжения сети, кВ – 10.
2. Остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс, кВ с амплитудой:
   5000 А - 38,9;
   10000 А - 42,1;
   20000 А - 47,53.
3. Количество воздействий импульсов большого тока 4/10 мкс с максимальным значением 65 кА, не менее - 2.
4. Способность к рассеиванию энергии, кДж не менее - 12,4.
5. Искровой промежуток, мм - 60.
6. Импульсное 50%-е разрядное напряжение, кВ – 92.

Особенность УЗПН – наличие внешнего искрового промежутка в цепи ОПН, предотвращающего развитие аварийной ситуации даже при выходе ОПН из строя . Искровой промежуток предотвратит замыкание провода на землю.

Дополнительным достоинством устройств типа УЗПН является возможность присоединения к электродам формирующим искровой промежуток штатных штанг переносного заземления для обеспечения выполнения требований техники безопасности при работах на ВЛ, что до сих пор представляло значительные технические трудности на линиях с изолированными проводами.

Сертификация. В апреле 2007 года изделия прошли сертификацию, а 8-9 октября 2007 г. аттестационная комиссия ОАО «ФСК ЕЭС» осуществила приемку изделия УЗПН и рекомендовала его к использованию в электрических сетях.


СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р
ГОССТАНДАРТ РОССИИ

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.ME05.H05740

Срок действия с 26.04.2007 г. по 26.04.2010 г.

0741130

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

РОСС RU.0001.11ME05 от 05.03.07 г.

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, ТРАНСФОРМАТОРОВ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ПРИБОРОВ (НАО "НТЦ "ОС ЭЛМАТЭП")

196105, г. Санкт-Петербург, ул.Благодатная, 2, тел./факс (812) 369-91-67

ПРОДУКЦИЯ

Устройства защиты ВЛ 6-10 кВ от перенапряжений комбинированные типа УЗПН

ТУ 3414-009-15207362-2006

серийный выпуск

код ОК 005 (ОКП):

341400

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

код ТН ВЭД:

ТУ 3414-009-15207362-2006

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

ЗАО "Полимер-Аппарат", ОКПО: 15207362, ИНН 7838002312

190068, г.С.-Петербург, ул.Б.Подъяческая, 1/3, лит.А

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

ЗАО "Полимер-Аппарат", ОКПО: 15207362, ИНН 7838002312

190068, г.С.-Петербург, ул.Б.Подъяческая, 1/3, лит.А

НА ОСНОВАНИИ

Протоколов испытаний № ПИ 350 от 25.04.2007 г.

ИЦ/АА ОАО "НИИПТ"

№ РОСС RU.0001.21ME01 от 23.01.2006 г.

196105 г.Санкт-Петербург, В.О.,2-я линия, 18/2

Акт обследования производства от 26.12.2006г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

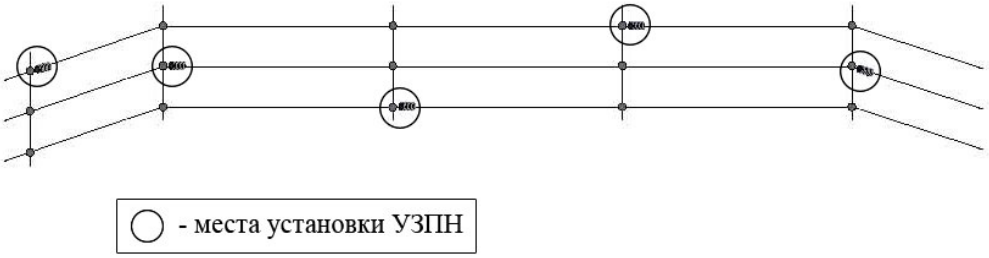
Руководитель органа Украинский О.Я.

Эксперт Пузырева И.А.

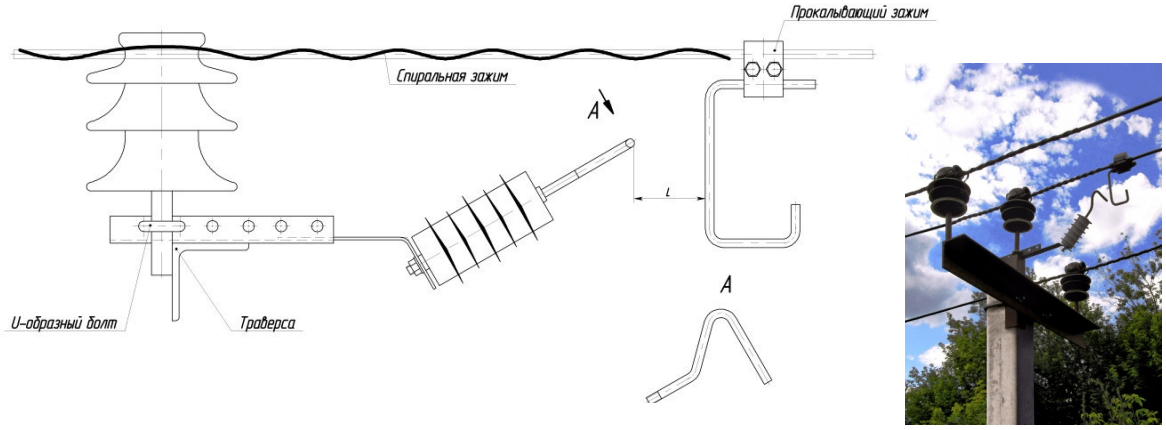
Сертификат не применяется при обязательной сертификации

Монтаж УЗПН

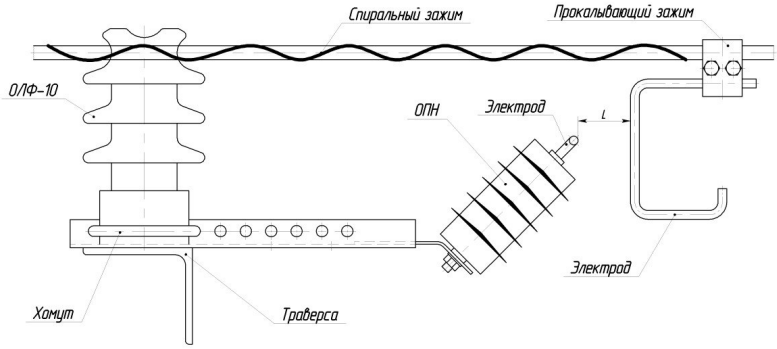
Устройства устанавливаются с последовательным чередованием фаз по одному на каждую опору**.**



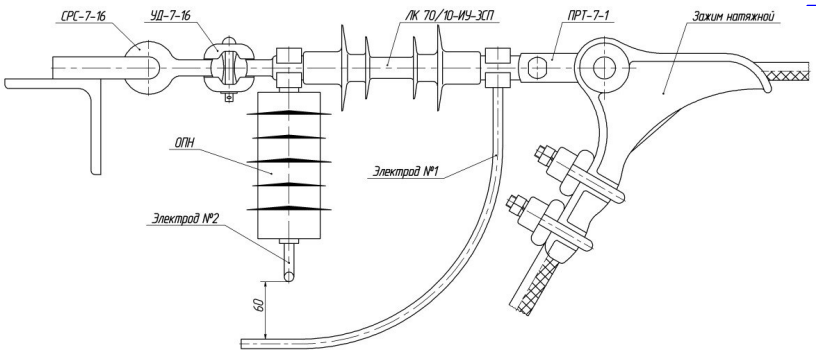
Монтажа УЗПН-10-ПШ на промежуточной опоре со штыревыми изоляторами

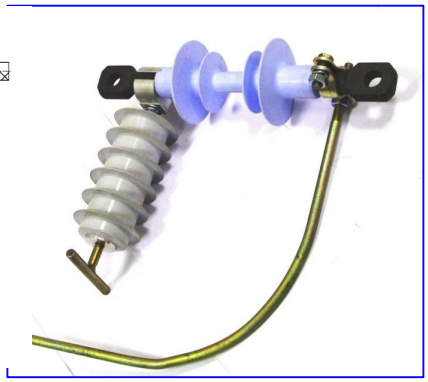


Монтаж УЗПН-10-ПО на промежуточной опоре с
опорными линейными фарфоровыми изоляторами типа ОЛФ-10.



Монтаж УЗПН-10-АП на анкерной опоре с полимерными подвесными изоляторами





Мировой опыт.

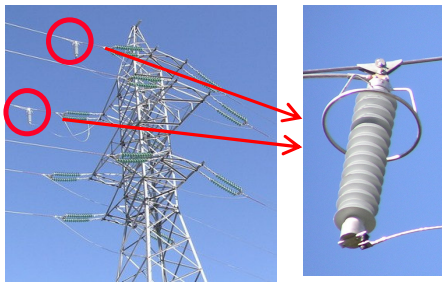
Устройства, подобные УЗПН, уже несколько десятилетий успешно применяются во многих странах.

Защита ВЛ от перенапряжений с использованием ОПН позволяет выработать единую систему и концепцию линейной защиты от перенапряжений на базе ОПН практически во всех классах напряжения ВЛ, которая уже активно реализуется как в России, так и за рубежом.

В мире накоплен огромный положительный опыт применения ОПН для защиты от перенапряжений практически для ВЛ всех классах напряжения:

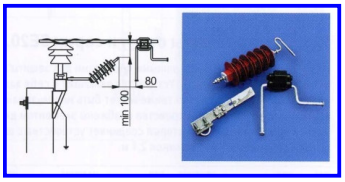
1. Япония - на ВЛ в диапазоне от 22 кВ до 800 кВ установлено на момент 1992 года более 29 000 шт. ОПН и продолжается их установка в количествах около 7000 шт. в год;
2. Франция - на ВЛ в диапазоне от 0,4 кВ до 90 кВ;
3. Бразилия -на ВЛ до 230 кВ. На момент 2006 года установлено более 2500 шт.;
4. Румыния - на ВЛ до 400 кВ;
5. Финляндия - на ВЛ в диапазоне от 0,4кВ до 20 кВ;
6. США – на ВЛ до 230 кВ;
7. КИТАЙ – на ВЛ до 400 кВ;
8. РОССИЯ – на ВЛ до 500 кВ.

При этом он считается сегодня безальтернативным при защите от перенапряжений подстанционного оборудования непосредственно подключаемого к ВЛ.



Отечественные системы для ВЛ высокого напряжения

Французская система CLX для ВЛ среднего напряжения



Финская система SDI 46 для ВЛ среднего напряжения

«Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» утвержденное в 2006 году прямо указывает на необходимость защиты ВЛ 6-35 кВ от грозовых перенапряжений.

Одним из вариантов защиты указывается использование ограничителей перенапряжений нелинейных - ОПН .

Ранее финансовые возможности отечественных энергосистем не позволяли массово применять подобные наиболее надежные системы грозозащиты ВЛ импортного производства (около 8 тыс. рублей за комплект защиты одной фазы на опоре). Сегодня современные технологии позволили ЗАО «МЗВА» и НПО "Полимер-Аппарат" создать отечественные аналоги лучших зарубежных устройств линейной грозозащиты на базе ОПН. При этом стоимость УЗПН не на много превышает стоимость таких устройств как УЗД.

Проблемные вопросы защиты ВЛ от грозовых перенапряжений.

Ранее защита от грозовых перенапряжений анкерных опор осуществлялась с помощью «УЗД» (рис.1). Сегодня несмотря на вариант применяемой более современной системы грозозащиты типа «УЗПН» (рис.2) или РДИП (рис.3) на ВЛ анкерные опоры с изолирующими подвесками на базе стеклянных подвесных изоляторах ПС-70 остаются без защиты (рис.4). Как показывает опыт строительства и анализ типовых проектных решений ВЛЗ 10 кВ строители и проектаны понимают практическую невозможность создания требуемых искровых промежутков между электродами истройств грозозащиты при закреплении последних на шлейфах проводов анкерных опор (рис.5,6). Поэтому анкерные опоры зачастую остаются вообще без какой-либо защиты.

Решением проблемы является применение в изолирующих подвесках ВЛ 10кВ вместо стеклянных изоляторов – современных высоконадежных полимерных изоляторов которые обеспечивают простой и надежный способ установки современных устройств грозозащиты (рис 7,8).

Рис.1

Рис.2

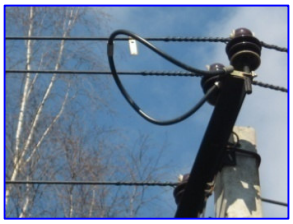


Рис.3

Рис.4

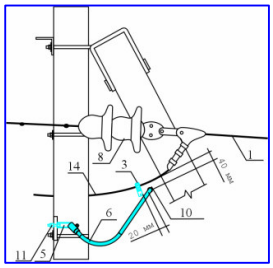


Рис.5

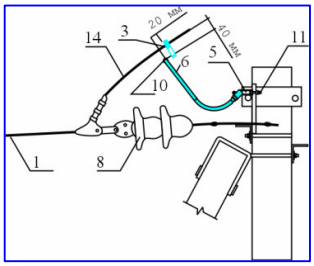


Рис.6

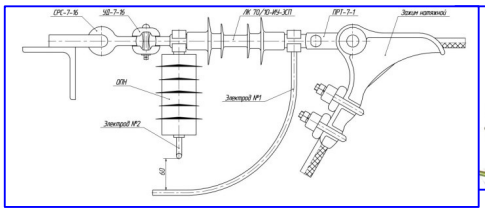


Рис.7

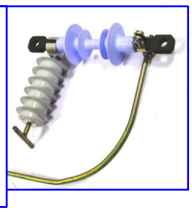


Рис.8

Однако анализ характеристик электрической прочности существующих образцов полимерных изоляторов говорит о том, что данная схема гарантированно работоспособна только при применении в составе изолирующих подвесок полимерных изоляторов с *величиной испытательного выдерживаемого напряжение полного грозового импульса* не менее 120 кВ, что обусловлено следующими факторами:

- импульсное 50%-ное разрядное напряжение РДИП-10 - 90-110 кВ
- импульсное 50%-ное разрядное напряжение УЗПН-10 - 92 кВ
- Испытательное выдерживаемое напряжение полимерных изоляторов типа ЛК 70/10 для ВЛ 10 кВ разных производителей указанное в официальных каталогах заводов в 2006 году:

ХАРАКТЕРИСТИКИ	СЗ	10 кВ				20 кВ			
		ИНСТА	Энергия-21	ЗПИ	НПО «Изолятор»	ИНСТА	Энергия-21	ЗПИ	НПО «Изолятор»
4. Испытательное выдерживаемое напряжение, кВ	2-4								
• полный грозовой импульс		145	**75**	**75**	**100**	180	125	125	125
• промышленной частоты в сухом состоянии		70	42	42	50	90	65	65	65
• промышленной частоты под дождем		45	28		40	60	50		50
Масса, кг, не более		0,95	1,5	1,4	1,55	1,15	1,8	1,7	1,55

Таким образом только у «десятикиловольтного» полимерного изолятора ЗАО «ИНСТА» величина испытательного выдерживаемого напряжение полного грозового импульса гарантировано обеспечивает правильную координацию изоляции ВЛ в системе «изолятор-устройство грозозащиты». В остальных случаях согласно заявленным техническим характеристикам в данной системе первыми могут быть «перекрыты» силовой дугой именно изоляторы, а не разрядники которые имеют более высокое импульсное разрядное напряжение. Поэтому в случае применения изоляторов других производителей целесообразно приобретение полимерных изоляторов на 20 кВ, что однако значительно дороже.