



стример®
сохраняя свет

МОЛНИЕЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

СОДЕРЖАНИЕ

Молниезащита ВЛ 6-10 кВ на базе РДИ	4
Особенности длинно-искровых разрядников	5
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ от индуцированных перенапряжений РДИП-10-IV-УХЛ1	7
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ от индуцированных перенапряжений РДИП1-10-IV-УХЛ1	11
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ от прямых ударов молнии и подходов к подстанциям РДИМ-10-1.5-IV-УХЛ1	13
Молниезащита компактных ВЛ 6-10 кВ от индуцированных перенапряжений РДИМ-10-К-II-УХЛ1	17
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ с двойным креплением проводом РДИШ-10-IV-УХЛ1	19
Молниезащита ВЛ 6-220 кВ. Мультикамерная система	21
Молниезащита ВЛ 6-20 кВ от индуцированных перенапряжений РМК-20-IV-УХЛ1	25
Молниезащита ВЛ 35, 110, 220 кВ при помощи гирлянд изоляторов разрядников мультикамерных (ГИРМК)	27
Принципы молниезащиты электрических сетей 6-10 кВ с помощью длинно-искровых разрядников	31
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ на железобетонных и металлических опорах от индуцированных перенапряжений	31
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ на железобетонных и металлических опорах от прямых ударов молнии.	32
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ на деревянных опорах от индуцированных перенапряжений	32
Молниезащита ВЛ 6-10 кВ на деревянных опорах от прямых ударов молнии	33
Защита подходов ВЛ 6-10 кВ к подстанциям и кабельным вставкам	33
Сравнительная таблица молниезащитных аппаратов.	34
Сравнительные характеристики длинно-искровых разрядников	35

6-10 кВ
индуцированные
перенапряжения

РДИП-10-IV-УХЛ1

6-10 кВ
индуцированные
перенапряжения

РДИП1-10-IV-УХЛ1

6-10 кВ
индуцированные
перенапряжения
+
прямые удары
молнии

РДИМ-10-1.5-IV-УХЛ1

6-10 кВ
индуцированные
перенапряжения

РДИМ-10-К-II-УХЛ1

6-10 кВ
индуцированные
перенапряжения

РДИШ-10-IV-УХЛ1

20 кВ
индуцированные
перенапряжения

РМК-20-IV-УХЛ1

35 кВ
110 кВ
220 кВ
обратные
перекрытия
+
прямые удары
молнии

ГИРМК-35-3хИРМК-У120AD-II-ХЛ1
ГИРМК-110-7хИРМК-У120AD-II-ХЛ1
ГИРМК-220-14хИРМК-У120AD-II-ХЛ1

Молниезащита ВЛ 6-10 кВ

Анализ опыта эксплуатации распределительных электрических сетей показывает, что их надежность ниже, чем у сетей более высоких классов напряжения. Повреждения в распределительных сетях обуславливают большую часть ущерба, связанного с перерывами в электроснабжении потребителей.

Одной из основных причин аварий и нарушений являются грозовые перенапряжения на воздушных линиях (ВЛ), вызывающие импульсные перекрытия и разрушения изоляторов и приводящие к дуговым замыканиям, сопутствующим повреждениям оборудования, отключениям линий.

Аварийные отключения ВЛ 6, 10 кВ по причине грозовых перенапряжений составляют до 40% от общего числа их отключений.

Из-за низкой импульсной прочности изоляция распределительных сетей подвержена перекрытиям как от перенапряжений при прямых ударах молнии, так и от индуцированных перенапряжений при разряде молнии вблизи линии. Последние являются основной причиной грозовых отключений и повреждений оборудования сетей 6, 10 кВ, составляя в некоторых случаях до 90%, а при прохождении трассы ВЛ по лесному массиву и до 100% от их общего количества.

Таким образом, надежность электроснабжения потребителей во многом зависит от эффективности грозозащитных мероприятий.

Законодательно технические требования к грозозащите распределительных сетей закреплены в “Положении о технической политике в распределительном электросетевом комплексе”, утвержденном 25.10.2007 ОАО «ФСК ЕЭС», и сформулированы в следующем виде:

На ВЛ необходимо устанавливать разрядники длинно-искровые (РДИ):

- для защиты от перенапряжений и пережога защищенных проводов на ВЛ с защищенными проводами;
- на подходах к распределительным устройствам подстанций;
- для защиты ослабленных мест на ВЛ;
- в районах с аномально высоким числом грозовых отключений.

Особенности длинно-искровых разрядников

РДИ являются российской разработкой и по своим конструктивным параметрам, техническим характеристиками функциональным возможностям представляют особый класс устройств молниезащиты, не имеющий мировых аналогов.

Принцип действия всех видов РДИ заключается в ограничении грозовых перенапряжений на ВЛ за счет искрового перекрытия по поверхности изоляционного тела разрядника с длиной канала разряда, в несколько раз превосходящей строительную высоту защищаемой изоляции, и гашении сопровождающих токов промышленной частоты за счет обеспеченного таким образом снижения величины среднего градиента рабочего напряжения вдоль канала грозового перекрытия.

Главным отличительным достоинством класса длинно-искровых разрядников является их неподверженность разрушениям и повреждениям грозовыми и дугowymi токами, поскольку они протекают вне аппаратов, по воздуху вдоль их поверхности.

Это уникальное для грозозащитных аппаратов качество наряду с конструктивной простотой предопределило возможность их успешного применения в качестве эффективного и надежного средства защиты воздушных линий и электрических сетей от грозовых перенапряжений и их последствий.

Опытно-промышленная эксплуатация РДИ началась в 2000 году с момента принятия соответствующего Постановления НТС РАО «ЕЭС России» о перспективности применения длинно-искровых разрядников разработки «НПО Стример» для молниезащиты ВЛ 6, 10 кВ, рекомендовавшего установку на ВЛ как с защищенными, так и с голыми проводами, одного из видов РДИ - петлевого разрядника РДИП-10.

В ноябре 2006 года состоялась межведомственная комиссия ОАО «ФСК ЕЭС» по приёмке трёх новых типов РДИ 10 кВ:

РДИ шлейфового типа (РДИШ-10-IV-УХЛ1);

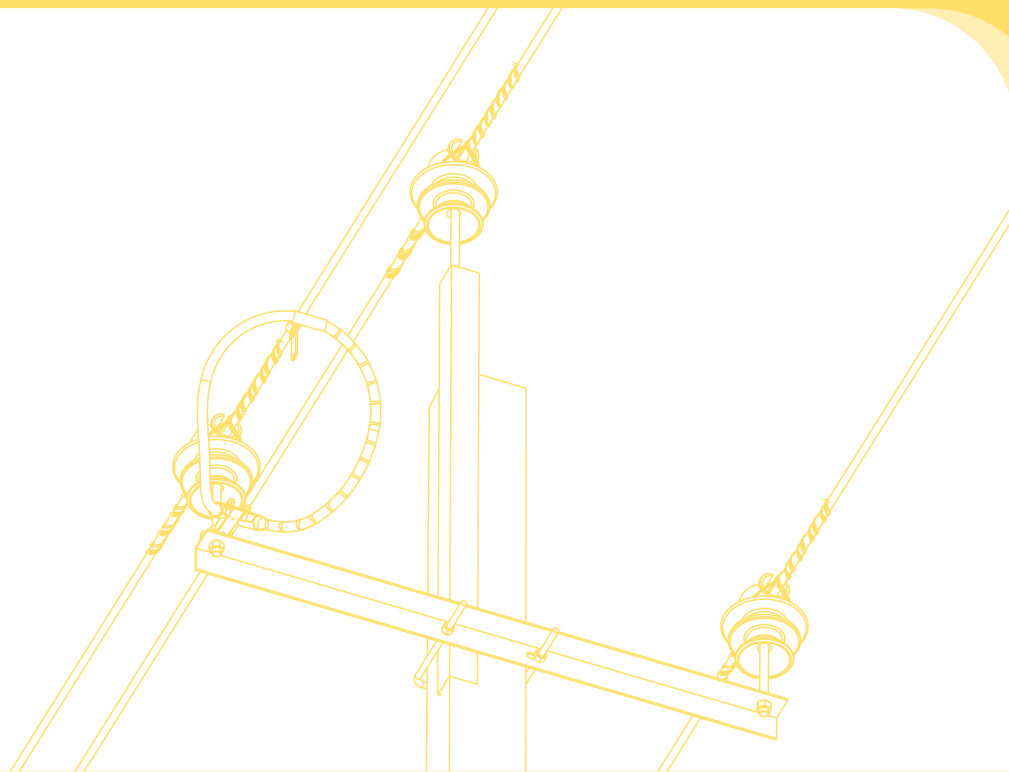
РДИ модульного типа с длиной перекрытия по поверхности 1,5 м (РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1);

РДИ модульного типа для компактных ВЛ (РДИМ-10-К-II-УХЛ1).

Все разрядники, прошедшие аттестацию, поставлены на серийное производство и включены в перечень оборудования, допущенного к эксплуатации в электрических сетях ОАО «ФСК ЕЭС».



РДИП-10-IV-УХЛ1



Данные разрядники, имеющие в соответствии с утвержденными в 2002 году ТУ 3414-023-45533350-2002 условиями официальное сокращенное название РДИП-10-IV-УХЛ1, прошли все необходимые испытания и сертификацию, приняты МВК к серийному производству и массовой эксплуатации в энергосистемах.

В настоящее время РДИП-10-IV-УХЛ1 находят все более широкое применение в различных регионах страны при строительстве новых, реконструкции и техническом перевооружении существующих ВЛ 6-10 кВ, в соответствии с проектными решениями, базирующимися на необходимой нормативно-технической документации, разработанной институтом «ОАО РОСЭП». Число разрядников, успешно эксплуатируемых во многих регионах России, превышает 600 000.

РДИП-10 предназначен для защиты воздушных линий электропередачи напряжением 6-10 кВ трехфазного переменного тока с защищенными и неизолированными проводами от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий и рассчитан для работы на открытом воздухе при температуре окружающего воздуха от минус 60°С до плюс 50°С в течение 30-и лет.

Конструктивный эскиз, показывающий общий вид и основные составные части разрядника приведен на рис.1а. Разрядник состоит из согнутого в виде петли металлического стержня, покрытого слоем изоляции из полиэтилена высокого давления. Концы изолированной петли закреплены в зажиме крепления, с помощью которого разрядник присоединяется к штырю изолятора на опоре ВЛ. В средней части петли поверх изоляции расположена металлическая трубка. На проводе ВЛ, напротив металлической трубки разрядника, закрепляется универсальный зажим для создания необходимого воздушного искрового промежутка.

Рис. 1. Общий вид петлевого разрядника на опоре ВЛ.



а) конструктивный эскиз

б) фотография испытаний на макете.

Закрепление изолированной петли разрядника на ВЛ производится с помощью зажима крепления. Зажим крепления изготовлен из стали, покрытой защитным слоем цинка, и имеет конструкцию, обеспечивающую надежное крепление разрядника к элементам арматуры ВЛ. Конструкция зажима крепления разрядника может быть изменена и иметь форму, адаптированную под конкретные условия крепления разрядника на опоре ВЛ.

Универсальный зажим для провода изготовлен из стали, покрытой защитным слоем цинка. Конструкция зажима позволяет устанавливать его как на неизолированные, так и на защищенные провода, зажим для которых имеет прокусывающие шипы.

Принцип работы разрядника основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника, и предотвращении за счет этого перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты.

При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса искровой воздушный промежуток, который должен составлять 2-4 см между универсальным зажимом на проводе ВЛ и металлической трубкой разрядника пробивается, и напряжение прикладывается к изоляции между металлической трубкой и металлическим стержнем петли, имеющим потенциал опоры.

Под воздействием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от металлической трубки к зажиму крепления разрядника (по плечу с промежуточными электродами) развивается скользящий разряд. Вследствие эффекта скользящего разряда вольт-секундная характеристика разрядника расположена ниже, чем вольт-секундная характеристика изолятора, т.е. при воздействии грозового перенапряжения разрядник перекрывается, а изолятор нет.

Импульсный ток молнии, пройдя по поверхности разрядника, отводится через опору в землю. Вслед за ним, под действием рабочего напряжения линии начинает протекать сопровождающий ток. При переходе сопровождающего тока через ноль дуга гаснет. Что предотвращает повреждение провода и отключения линии.

На рис.16 представлен момент срабатывания разрядника при воздействии грозового импульса перенапряжения во время лабораторных испытаний на полномасштабной модели траверсы ВЛ 10 кВ.

Таблица 1. Технические характеристики РДИП-10-IV-УХЛ1

Класс напряжения	10 кВ
Длина перекрытия по поверхности	780 мм
Внешний искровой промежуток	20 - 40 мм
Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, не более - на положительной полярности - на отрицательной полярности	110 кВ 90 кВ
Многokrатно выдерживаемое внутренней изоляцией импульсное напряжение, не менее	300 кВ
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее - в сухом состоянии - под дождем	38 кВ 28 кВ
Многokrатно выдерживаемый импульсный ток 8/20 мкс, не менее	40 кА
Масса	2,4 кг
Срок службы, не менее	30 лет

* Наибольшее напряжение при стандартной форме импульса 1,2/50 мкс, при котором обеспечивается защита разрядником изолятора, называется «напряжением координации».

Разрядник РДИП-10 предназначен для защиты ВЛ 6, 10 кВ от индуцированных грозовых перенапряжений, которые для большинства ВЛ составляют подавляющую долю от общего числа грозовых перенапряжений, способных приводить к перекрытиям изоляции.

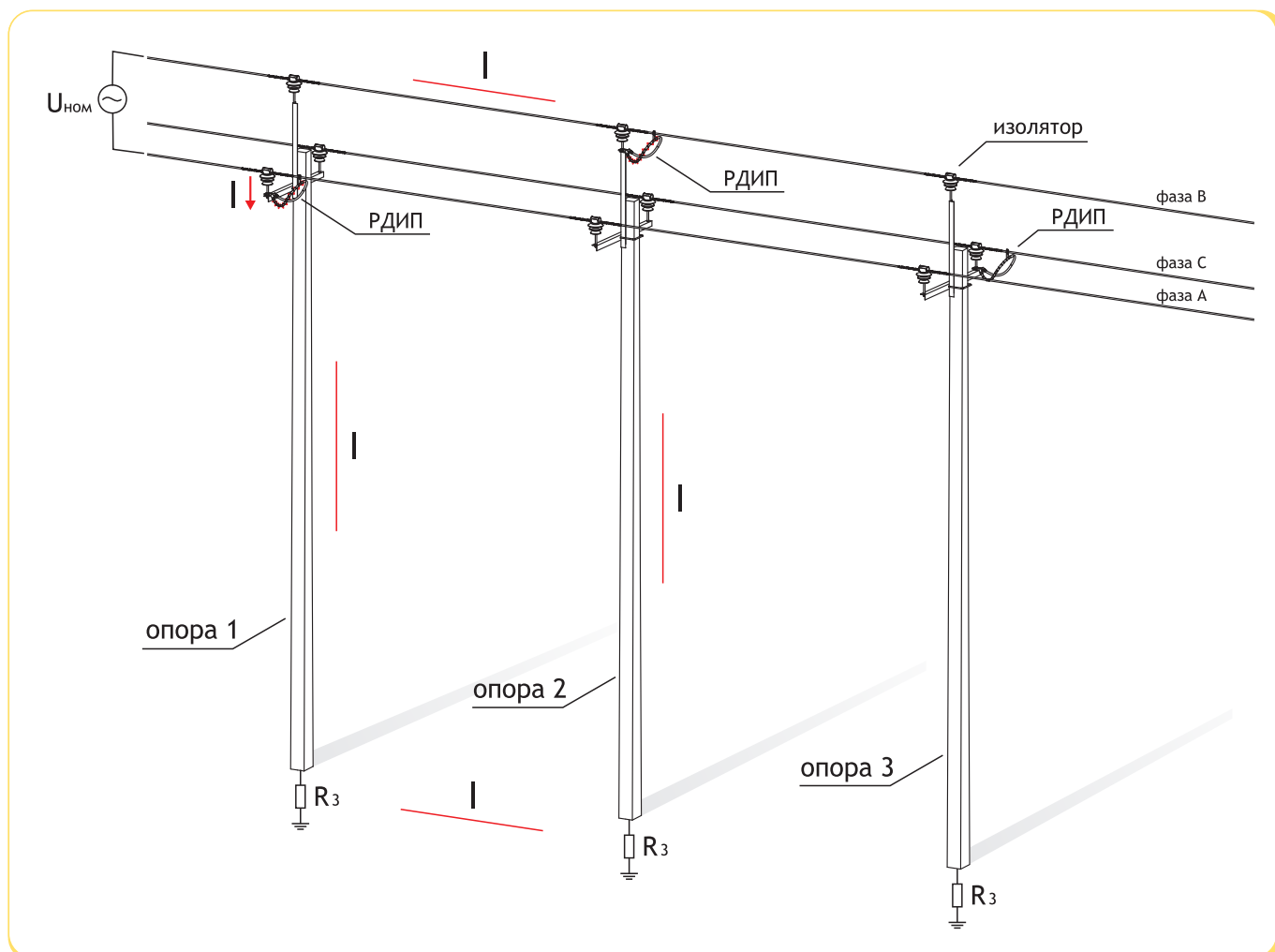
Известно, что величина индуцированных перенапряжений практически не превосходит значения 300 кВ, и это позволяет при правильной организации молниезащиты исключить возможность одновременного перекрытия двух или трех фаз на одной опоре и, соответственно, междуфазных коротких замыканий. Для этого необходимо устанавливать по одному разряднику на опору с чередованием фаз, например, на первой опоре разрядник устанавливается на фазу А, на второй - на фазу В, на третьей - на фазу С и т. д. (см. рис.2).

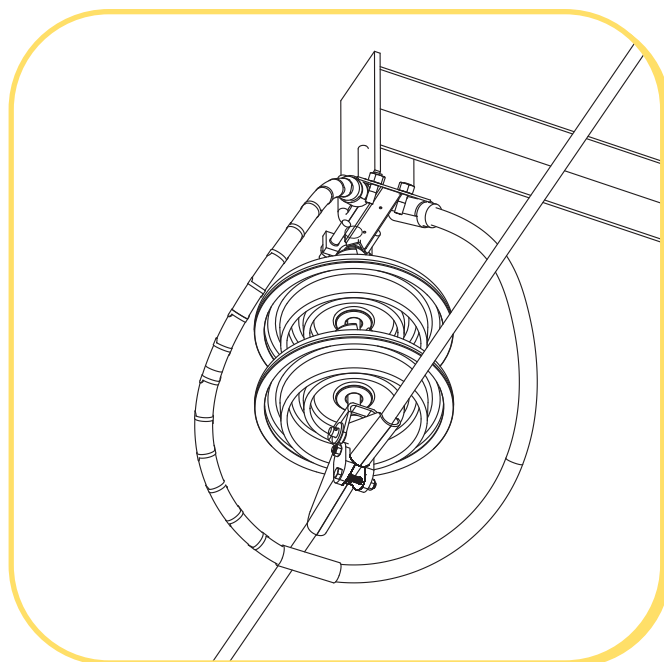
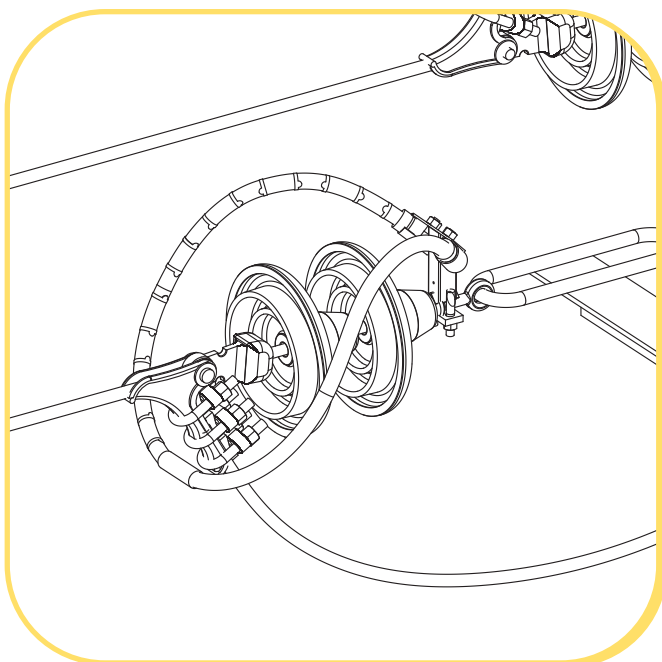
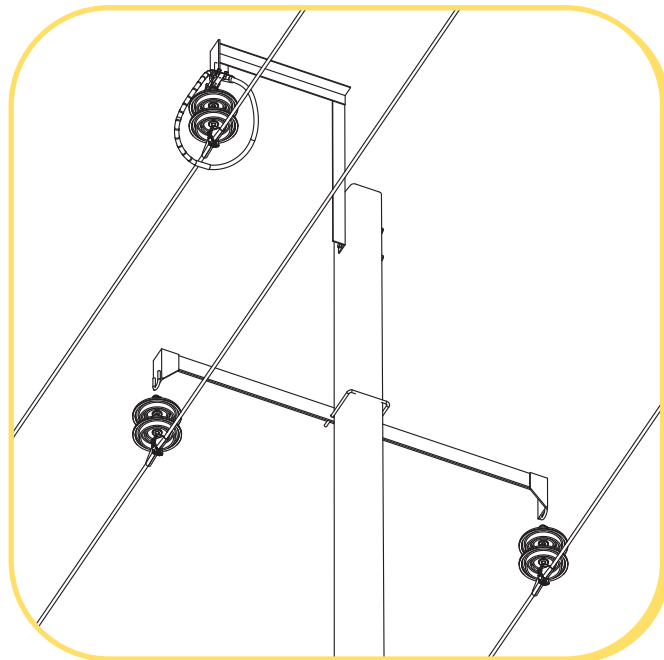
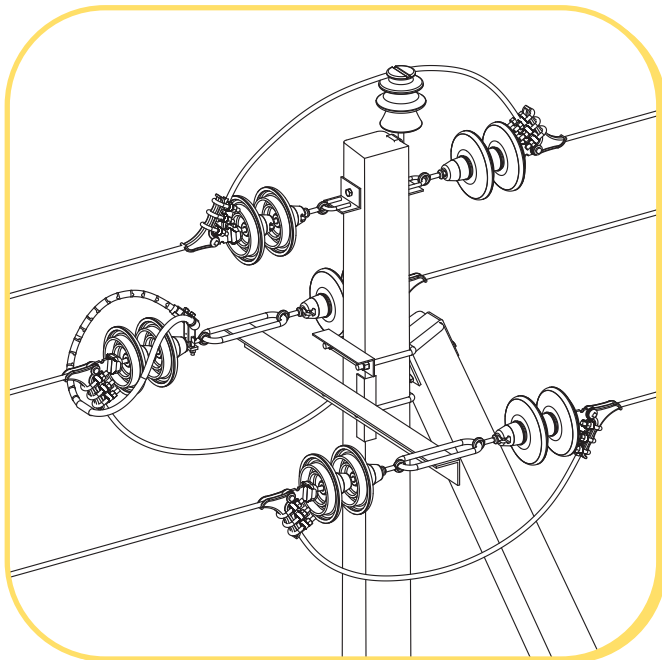
При такой системе установки индуцированное на линии грозовое перенапряжение приводит к перекрытию разрядников на разных фазах соседних опор и образованию контура междуфазного замыкания сопровождающего тока сети, в который включены сработавшие разрядники и сопротивления заземления опор R_3 (см. рис.2), ограничивающие этот ток на уровне нескольких сотен ампер, способствуя его гашению и предотвращению отключения ВЛ.

Разрядные характеристики РДИП-10 обеспечивают защиту изоляторов всех трех фаз в данной схеме от импульсного перекрытия, поскольку каждый из них защищен разрядником, установленным электрически параллельно ему и расположенным либо непосредственно рядом с изолятором, либо на соседней опоре.

При уровнях индуцированных перенапряжений, близких к импульсному напряжению срабатывания разрядника, возможно перекрытие разрядника лишь на одной опоре, приводящее к однофазному замыканию на землю. Ток замыкания при этом не превышает 10-20 А, и петлевой разрядник с общей длиной перекрытия 80 см гарантированно исключает возникновение силовой дуги.

Рис. 2 Схема установки разрядников и иллюстрация 2-х фазного КЗ через сопротивления заземления опор.



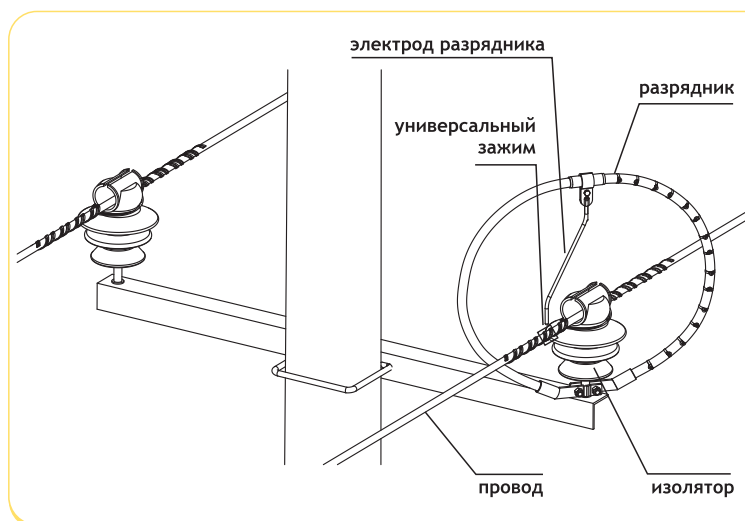


РДИП1-10-IV-УХЛ1

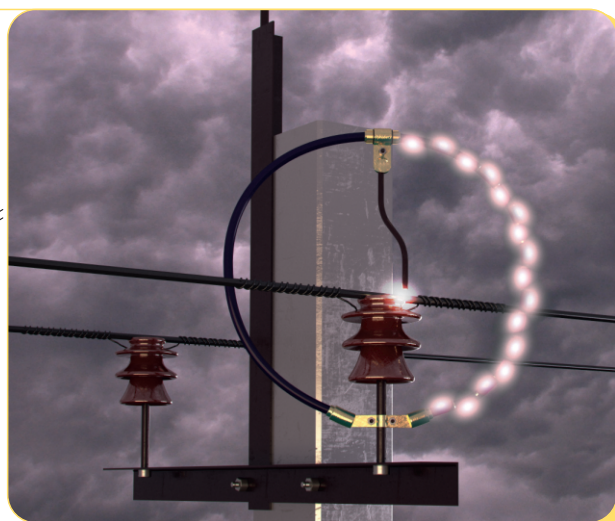
РДИП1-10 по характеристикам, принципу действия и назначению не отличается от разрядника РДИП-10-IV-УХЛ1, являясь лишь его конструктивной модификацией.

Конструктивное отличие РДИП1 от РДИП сводится к измененным форме изгиба петли, деталям узла крепления и способу обеспечения воздушного зазора между разрядником и универсальным зажимом на проводе. Конструктивный эскиз, показывающий общий вид и основные составные части разрядника, приведен на рис. 3а.

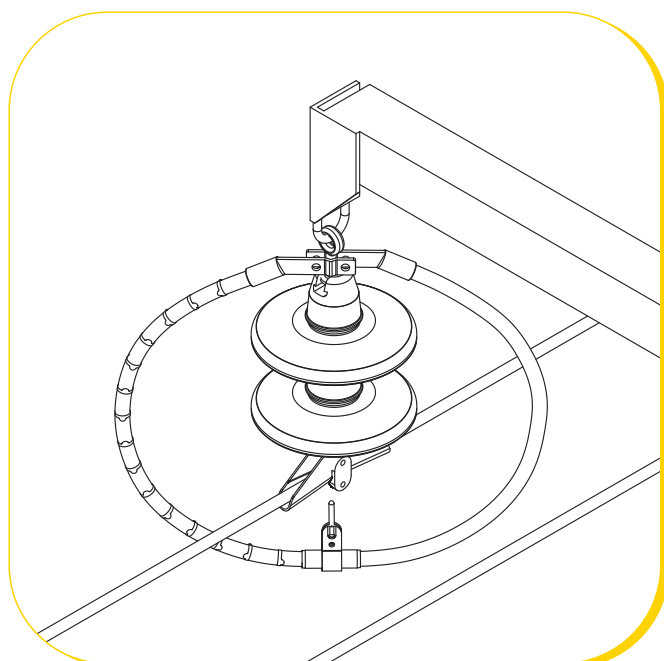
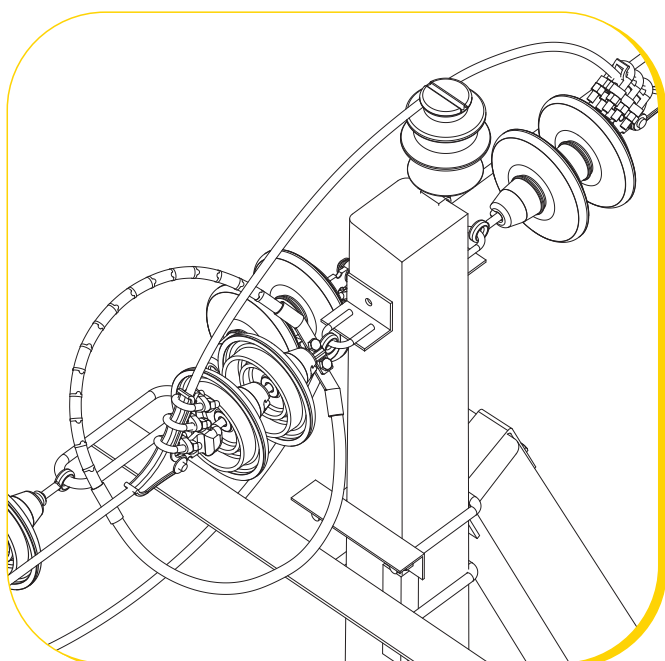
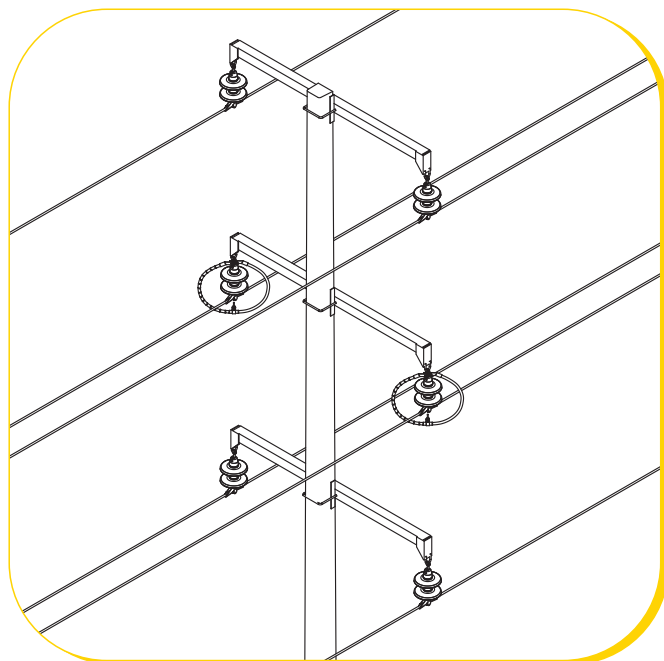
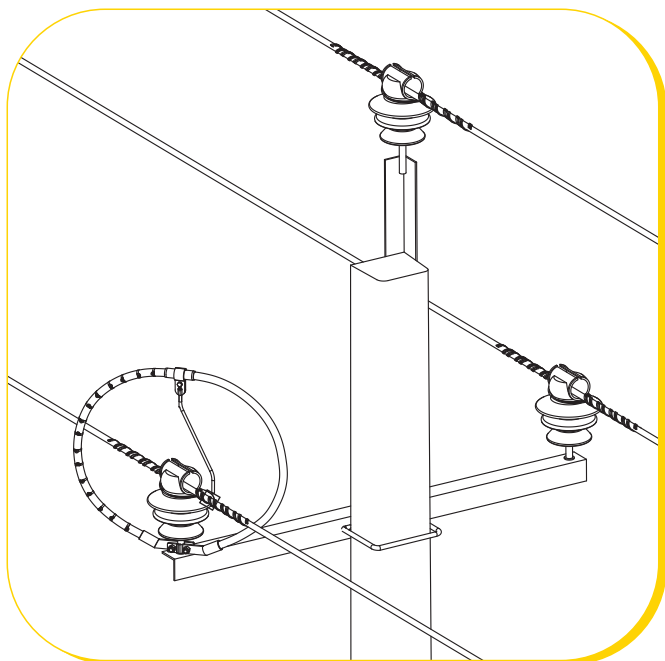
Рис. 3. Общий вид петлевого разрядника РДИП1-10-IV-УХЛ1



а) конструктивный эскиз



б) фотография испытаний на макете



РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1

РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 предназначен для защиты от прямых ударов молнии и индуктированных грозовых перенапряжений воздушных линий электропередачи (ВЛ) и подходов к подстанциям напряжением 6, 10 кВ трехфазного переменного тока с неизолированными и защищенными проводами.

РДИМ обладает наилучшими вольт-секундными характеристиками (см. Таблицу 2), именно поэтому его целесообразно применять для защиты участков линии:

1. Защита подходов воздушных линий (ВЛ) напряжением 6-10 кВ к подстанциям
2. Места пересечения ВЛ 6-10 кВ с линиями 35 кВ и выше.
3. Места пересечения ВЛ 6-10 кВ с автомагистралями, железнодорожными путями и водными преградами.
4. Места перехода ВЛ 6-10 кВ через открытые возвышенности и скалистую местность.
5. Места прохода ВЛ 6-10 кВ вблизи высотных сооружений.
6. Места прохода ВЛ 6-10 кВ в местности с аномальной грозовой активностью.

РДИМ состоит из двух отрезков кабеля из полиэтилена высокого давления с резистивным корделем, соединённых между собой хомутами (Рис. 4). Разрядник снабжён оконцевателями, с помощью которых он присоединяется при помощи универсального зажима к проводу и при помощи кронштейна крепления к опоре ВЛ. Элементы крепления дополнительно соединены с траверсой посредством шины для осуществления заземления. Конструкция зажима для провода имеет две модификации, позволяющие устанавливать разрядник как на неизолированные провода, так и на защищённые провода, для которых зажим имеет прокусывающие шипы.

Рис. 4. Общий вид модульного разрядника РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1



а) конструктивный эскиз

б) фотография испытаний на макете.

Таблица 2. Технические характеристики РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1

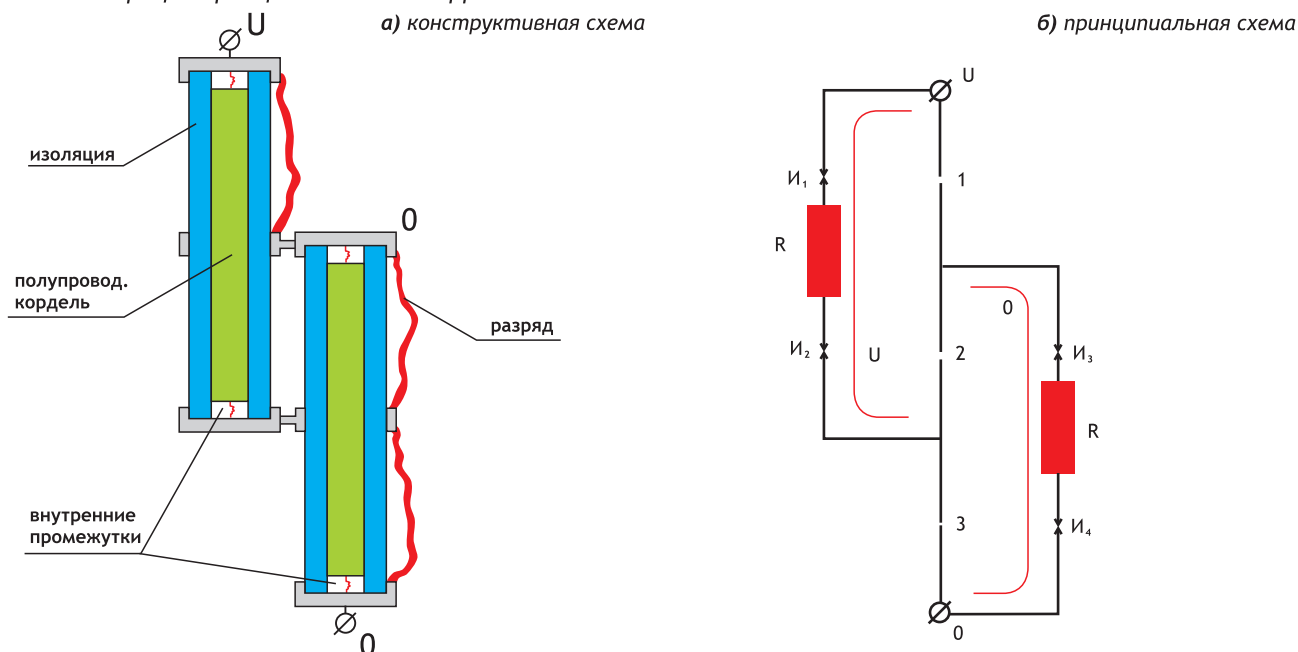
Класс напряжения	10 кВ
Длина перекрытия по поверхности	1500 мм
Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, не более - на положительной полярности - на отрицательной полярности	100 кВ 90 кВ
Многokrратно выдерживаемое внутренней изоляцией импульсное напряжение, не менее	300 кВ
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее - в сухом состоянии - под дождем	28 кВ 28 кВ
Многokrратно выдерживаемый импульсный ток 8/20 мкс, не менее	40 кА
Ток короткого замыкания в месте установки, не более или Максимально допустимая суммарная мощность трансформаторов на подстанции, питающей оснащаемую ВЛ	5 кА или 20 МВА
Масса	1,6 кг
Срок службы, не менее	30 лет

Принцип действия РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1.

РДИМ состоит из двух отрезков кабеля с корделем, выполненным из резистивного материала. Отрезки кабеля скреплены между собой так, что при этом формируются три разрядных модуля - 1, 2, 3 (см. рис.5 а, б).

Отрезки резистивного корделя подсоединяются к металлическим оконцевателям через внутренние искровые промежутки И1, И2, И3, И4. При воздействии импульса грозового перенапряжения они перекрываются, и резистивный кордель верхнего отрезка кабеля, имеющий сопротивление R , выносит высокий потенциал U на поверхность нижнего отрезка кабеля в его средней части. Аналогично, резистивный кордель нижнего отрезка кабеля, имеющий также сопротивление R , выносит низкий потенциал 0 на поверхность верхнего отрезка кабеля в его средней части. Таким образом, к каждому разрядному модулю одновременно приложено полное напряжение U и для всех трёх разрядных модулей 1, 2, 3 созданы условия для одновременного начала развития скользящих разрядов, которые, при перекрытии соответствующих модулей, создают единый, длинный канал перекрытия.

Рис.5. Иллюстрация принципа действия РДИМ:



Установка РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1.

Основные составные части и вариант установки разрядника на опору ВЛ приведены на Рис.6.

Для обеспечения гарантированной защиты ВЛ (участка ВЛ) от любых грозовых воздействий, в том числе, от прямого удара молнии в ВЛ, необходимо устанавливать разрядник модульного типа РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 на каждую фазу каждой опоры защищаемого участка ВЛ (для стандартной одноцепной конфигурации - по три разрядника на одну опору). При этом необходимо обеспечить низкое (желательно не более 10 Ом) сопротивление заземления лишь на ближайших нескольких опорах подхода ВЛ к подстанции (подробная иллюстрация представлена на Рис.7). Остальные опоры по условиям грозозащиты специально заземлять не требуется. В случае если технико-экономический анализ показывает целесообразность защиты от прямых ударов молнии не всей линии, а лишь отдельных участков, их целесообразно защищать следующим образом: на всех опорах защищаемого участка следует установить по три разрядника модульного типа РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1, на все фазы. Две опоры, являющимися крайними с двух сторон защищаемого от прямых ударов молнии участка ВЛ, необходимо заземлять, обеспечивая, по возможности, величину их сопротивления заземления не более 10 Ом. Если это требование по объективным причинам невыполнимо, следует компенсировать это дополнительным заземлением еще одной, или нескольких соседних опор на каждой из сторон участка. Для остальных опор данного участка ВЛ специального заземления не требуется

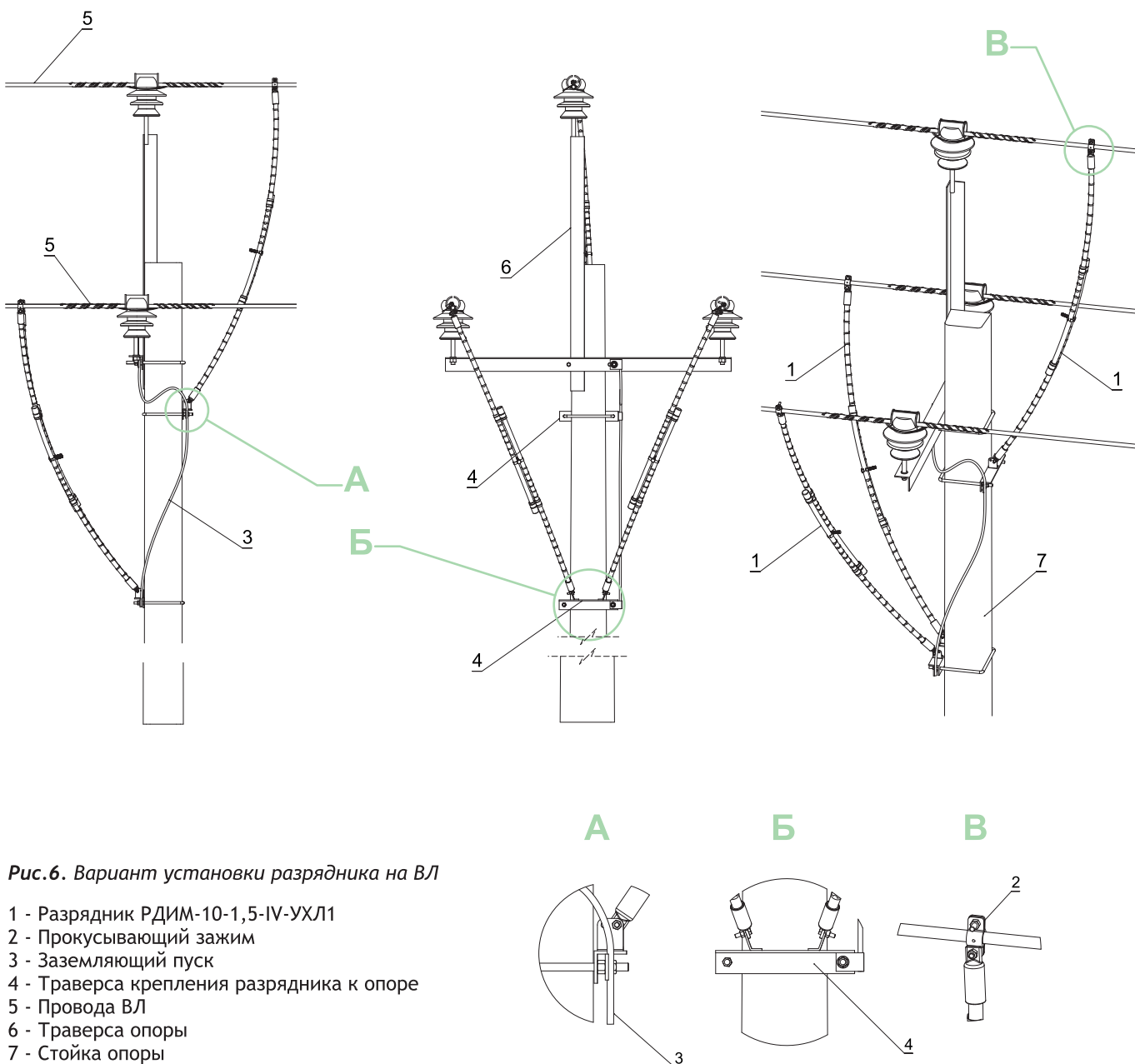


Рис.6. Вариант установки разрядника на ВЛ

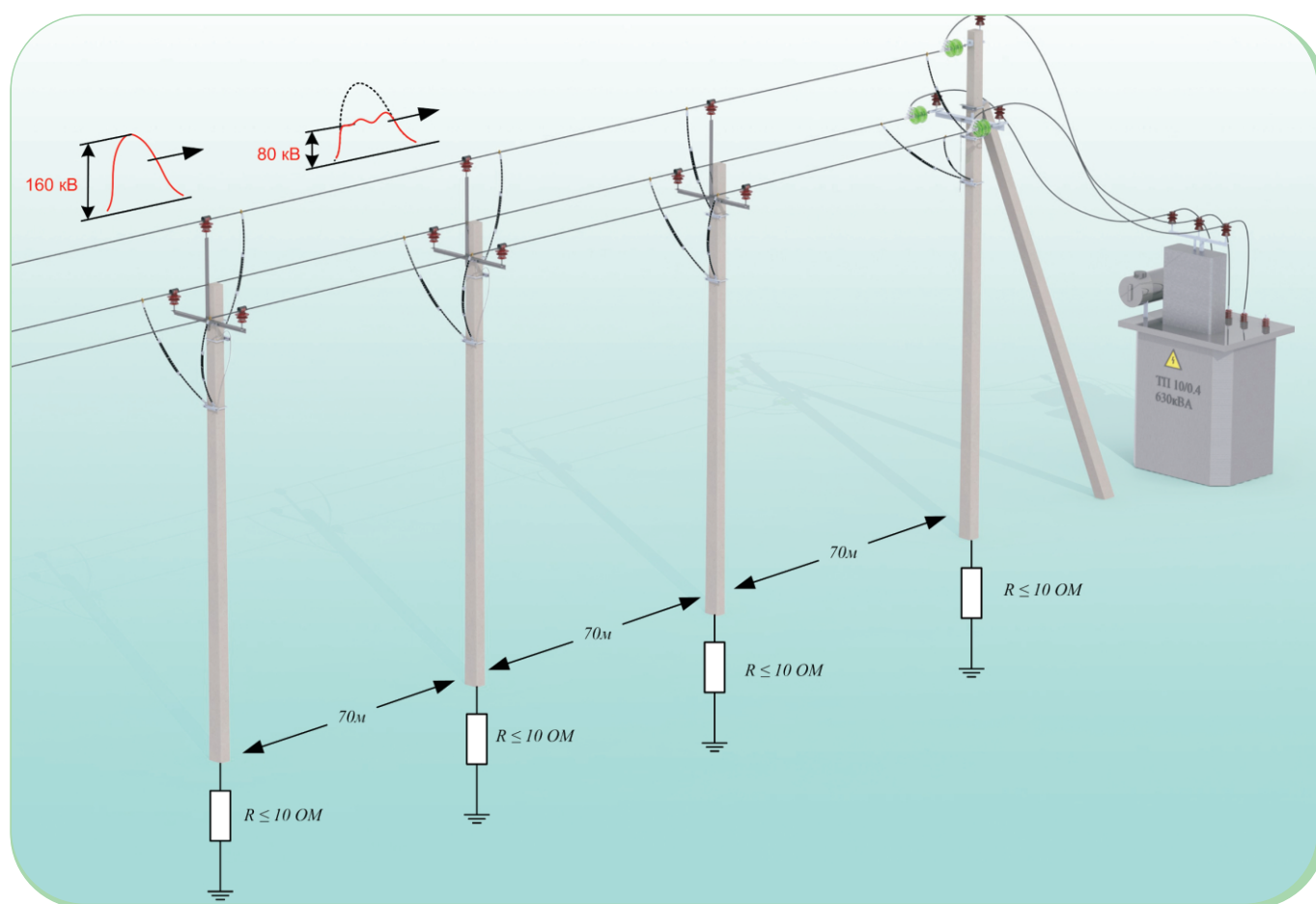
- 1 - Разрядник РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1
- 2 - Прокусывающий зажим
- 3 - Заземляющий пуск
- 4 - Траверса крепления разрядника к опоре
- 5 - Провода ВЛ
- 6 - Траверса опоры
- 7 - Стойка опоры

Максимально эффективный способ защиты дорогостоящего оборудования подстанции:

Для защиты подходов к подстанции от набегающих волн грозовых перенапряжений необходимо устанавливать комплект из трех разрядников РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 на каждую из 4-х ближайших опор к подстанции (как представлено на Рис.7). Данные опоры необходимо заземлять в соответствии с установленными нормативными требованиями.

Установка комплектов РДИМ на ближайших к подстанции опорах позволяет предотвратить близкие к подстанции короткие замыкания из-за грозовых последствий, приводящих к пагубному электродинамическому удару по обмоткам трансформаторов, что значительно увеличивает надежность их работы и срок службы.

Рис. 7. Установка РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 для наиболее эффективной защиты подходов ВЛ к подстанции.

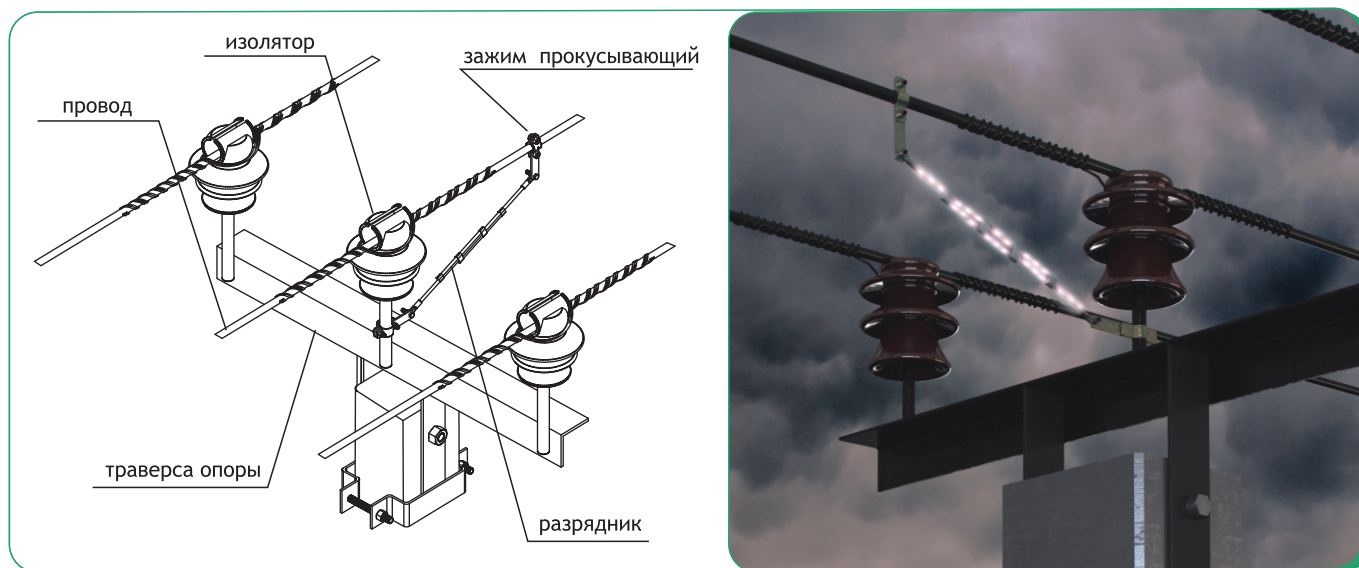


РДИМ-10-К-II-УХЛ1

РДИМ-10-К предназначен для защиты от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 6, 10 кВ трехфазного переменного тока с неизолированными и защищенными проводами **компактного исполнения** с расстоянием между соседними проводами не более 0,5 м и с изоляторами класса 20 кВ в районах со степенью загрязнения не выше II.

Разрядник состоит из двух отрезков кабеля с резистивным корделем и стержневого изолятора в виде тонкого жгута из силиконовой резины (см. рис. 9). Стержневой изолятор снабжен оконцевателями, с помощью которых разрядник крепится одним концом к проводу, а другим - к опоре, и служит для обеспечения необходимой механической прочности разрядника, а также для создания внешних искровых разрядных промежутков. Отрезки кабеля крепятся к стержневому изолятору при помощи металлических втулок, образуя три разрядных модуля. Закрепление разрядника на ВЛ производится с помощью крепежного зажима. Конструкция крепежного зажима разрядника может быть изменена и иметь форму, адаптированную под конкретные условия крепления разрядника на опоре ВЛ.

Рис. 8. РДИМ-10-К на промежуточной опоре ВЛ.



а) схема установки

б) фото испытаний

При воздействии импульса грозового перенапряжения сначала перекрываются искровые промежутки по поверхности стержневого изолятора с обоих его концов между металлическими оконцевателями и крайними втулками крепления к нему отрезков кабеля. Импульсное напряжение благодаря проводящим свойствам внутренних корделей двух отрезков кабеля прикладывается одновременно к трем разрядным модулям, при искровом замыкании которых формируется общий длинный канал перекрытия разрядника.

После прохождения импульсного грозового тока разряд гаснет, поскольку при заданной длине канала перекрытия силовая дуга не устанавливается, что предотвращает возникновение короткого замыкания и отключение ВЛ.

На одноцепных ВЛ разрядники устанавливаются по одному на каждую опору параллельно изолятору только средней фазы (см. рис. 8).

На двухцепных ВЛ разрядники устанавливаются по 2 штуки на каждую опору, по одному разряднику так же только на среднюю фазу каждой из цепей. Благодаря такому способу установки разрядников на компактных ВЛ при воздействии индуктированных перенапряжений возможно только однофазное замыкание на землю. При этом сопровождающий ток является емкостным и в подавляющем большинстве случаев не превышает 10 А. Поэтому относительно небольшой длины пути перекрытия по разряднику достаточно для гашения сопровождающего тока.

При воздействии индуктированного перенапряжения на ВЛ срабатывают разрядники, установленные на средней фазе, и она приобретает нулевой потенциал. Благодаря большому коэффициенту связи между средней и крайней фазами компактной ВЛ, а также вследствие падения напряжения на сопротивлении заземления опор от тока, протекающего через сработавший разрядник, напряжение на изоляторах крайних фаз не превышает их разрядное напряжение. Таким образом все три фазы ВЛ оказываются защищенными от индуктированных перенапряжений.

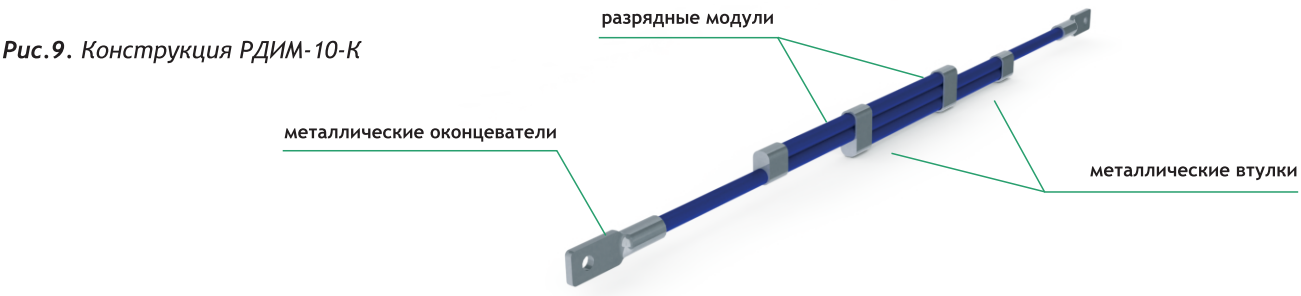


Рис.9. Конструкция РДИМ-10-К

Таблица 3. Технические характеристики РДИМ-10-К-II-УХЛ1

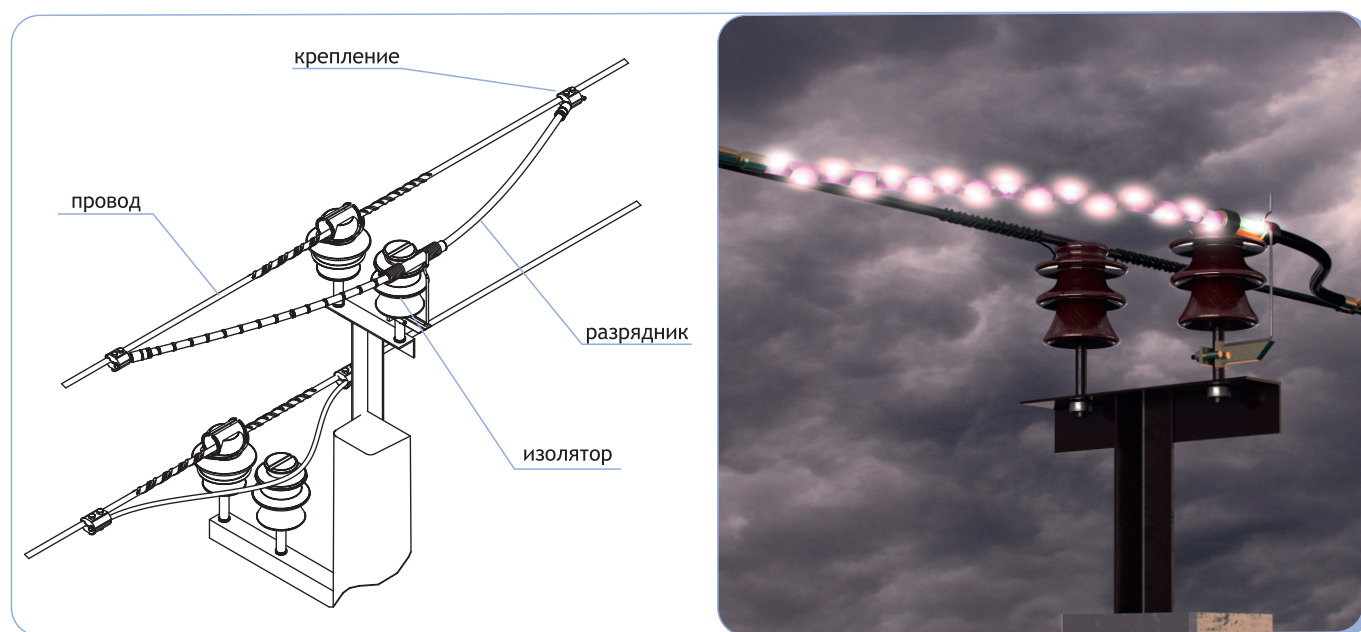
Класс напряжения	10 кВ
Длина перекрытия по поверхности	270 мм
Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, не более	140 кВ
Многokrратно выдерживаемое внутренней изоляцией импульсное напряжение, не менее	300 кВ
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее - в сухом состоянии - под дождем	42 кВ 28 кВ
Многokrратно выдерживаемый импульсный ток 8/20 мкс, не менее	40 кА
Масса	0,2 кг
Срок службы, не менее	30 лет

РДИШ-10-IV-УХЛ1

Разрядник предназначен для защиты ВЛ напряжением 6, 10 кВ трехфазного переменного тока с защищёнными и неизолированными проводами от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий в тех случаях, когда необходимо применять **двойное крепление проводов**.

Конструкция РДИШ-10 показана на рис. 10а. Основным элементом разрядника является отрезок специального кабеля с алюминиевой монолитной жилой диаметром 9 мм и трёхслойной изоляцией из сшитого полиэтилена (ПЭ) общей толщиной около 4 мм. Прилегающий к жиле слой выполнен из проводящего ПЭ, средний слой - из чисто изоляционного ПЭ, а наружный слой - из светостабилизированного трекингостойкого ПЭ. На одном из плечей отрезка кабеля установлены промежуточные кольцевые электроды, обеспечивающие разбиение канала перекрытия на отдельные отрезки. Кабель снабжён алюминиевыми оконцевателями, через которые жила кабеля выступает за пределы изоляции. Разрядник крепится к проводу за эти выпуски с использованием зажимов. В средней части кабеля установлена металлическая трубка, за которую, посредством скобы и обвязки вязальной проволокой, осуществляется крепеж разрядника к изолятору. К штырю этого же изолятора, напротив металлической трубки, устанавливается стержневой электрод для обеспечения необходимого искрового промежутка.

Рис. 10. РДИШ-10-IV-УХЛ1 на промежуточной опоре ВЛ



а) схема установки

б) фото испытаний

Соединительные зажимы изготовлены из стали, покрытой защитным слоем цинка, и имеют конструкцию, обеспечивающую надежное крепление разрядника к проводу ВЛ. Конструкция зажима имеет две модификации, позволяющие устанавливать разрядник как на неизолированные провода, так и на защищенные провода, для которых зажим имеет прокусывающие шипы.

Для достижения необходимого искрового промежутка 20-40 мм возможно изгибание стержневого электрода, путем приложения усилия после его установки.

При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса перенапряжения металлическая трубка на кабеле разрядника приобретает тот же высокий потенциал, что и провод (вследствие большой емкостной связи между трубкой и жилой кабеля). Поэтому первоначально практически всё грозовое перенапряжение оказывается приложенным к искровому воздушному промежутку между трубкой и заземленным стержневым электродом. При напряжении порядка 50-70 кВ промежуток пробивается, и металлическая трубка на поверхности кабеля приобретает нулевой потенциал земли. Таким образом, перенапряжение оказывается приложенным между жилой кабеля и металлической трубкой на его поверхности. Под воздействием этого перенапряжения вдоль поверхности изоляции разрядника развивается скользящий разряд, который проходит от металлической трубки через промежуточные кольцевые электроды к соответствующему оконцевателю. Провод ВЛ оказывается связанным с заземленной опорой через длинный канал разряда, который разбит на отдельные отрезки кольцевыми электродами. После прохождения импульсного тока грозового перенапряжения по каналу разряда протекает сопровождающий ток промышленной частоты. Однако при первом переходе тока через ноль разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания и отключение ВЛ.

Таблица 4. Технические характеристики РДИШ-10- IV-УХЛ1

Класс напряжения	10 кВ
Длина перекрытия по поверхности	800 мм
Внешний искровой промежуток	20 - 40 мм
Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, не более - на положительной полярности - на отрицательной полярности	110 кВ 90 кВ
Многokrатно выдерживаемое внутренней изоляцией импульсное напряжение, не менее	300 кВ
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее - в сухом состоянии - под дождем	38 кВ 28 кВ
Многokrатно выдерживаемый импульсный ток 8/20 мкс, не менее	40 кА
Масса	2,3 кг
Срок службы, не менее	30 лет

Конструкция разрядника, кроме того, обеспечивает усиление крепления провода на опоре, то есть разрядник заменяет обычный шлейф двойного крепления.

Разрядники РДИШ-10 целесообразно применять для защиты ВЛ 6, 10 кВ от индуктированных грозовых перенапряжений в тех случаях, когда необходимо применять двойное крепление проводов. Их надо устанавливать по одному на опору с чередованием фаз, так же как РДИП-10.



Молниезащита ВЛ 6-220 кВ

Разработка молниезащитных устройств для ВЛ классов напряжения свыше 10 кВ на основе применения конструктивных решений, использованных для реализации технологии длинно-искрового разряда, технически крайне затруднительна по ряду объективных причин. Для обеспечения необходимой дугогасящей способности РДИ требуется слишком большая их длина, что становится нерациональным.

В основу разработок молниезащитных разрядников на более высокие классы напряжений в НПО «Стример» был заложен принцип разбиения канала разряда на множество частей. При этом дугогасительные возможности разрядника должны определяться, главным образом, конструктивно-геометрическими параметрами его, так называемой, мультиэлектродной системы (МЭС), состоящей из большого числа электродов с малыми искровыми промежутками.

Проведенные многочисленные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили возможность создания разрядников на базе данного принципа на более высокие классы напряжения с приемлемыми габаритами.

В результате интенсивных работ по усовершенствованию разрядников на основе МЭС была изобретена и освоена технология применения мультикамерных систем (МКС) для создания устройств молниезащиты на все классы напряжения от 6 до 220 кВ. Разработанные по этой технологии в НПО «Стример» молниезащитные устройства образуют два принципиально новых вида:

- разрядники мультикамерные (РМК);
- изоляторы-разрядники мультикамерные (ИРМК).

Мультикамерная система

На базе технологии МКС в ОАО «НПО «Стример» разработаны разрядники на классы напряжения 6, 10, 20, 35, 110, 220 кВ. Предложен также принципиально новый аппарат: изолятор-разрядник с мультикамерной системой (ИРМК), который сочетает в себе свойства изолятора и разрядника одновременно. При использовании ИРМК существует теоретическая возможность обеспечить грозозащиту ВЛ любого класса напряжения, так как с увеличением класса напряжения увеличивается число изоляторов в гирлянде и соответственно увеличивается номинальное напряжение и дугогасящая способность гирлянды из ИР.

Возможны различные конструкции изоляторов со свойствами разрядников. Основу ИРМК составляют обычные массово выпускаемые изоляторы (стеклянные, фарфоровые или полимерные), на которых специальным образом установлена МКС. Причём установка МКС не приводит к ухудшению изоляционных свойств изолятора, но благодаря ей он приобретает свойства разрядника. Вследствие этого в ряде случаев на ВЛ существует возможность отказаться от применения грозозащитного троса. При этом снижается высота, масса и стоимость опор, а также стоимость всей ВЛ в целом и обеспечивается надёжная грозозащита линий, т.е. резко сокращается число отключений линий и уменьшаются ущербы от недоотпуска электроэнергии и эксплуатационные издержки.

Основным элементом мультикамерных разрядников (РМК) и изоляторов-разрядников (ИРМК) является мультикамерная система (МКС) (рис. 11). Она состоит из большого числа электродов, вмонтированных в профиль из силиконовой резины. Между электродами выполнены отверстия, выходящие наружу профиля. Эти отверстия образуют миниатюрные газоразрядные камеры. При воздействии на разрядник импульса грозового перенапряжения пробиваются промежутки между электродами. Благодаря тому, что разряды между промежуточными электродами происходят внутри камер, объёмы которых весьма малы, при расширении канала создаётся высокое давление, под действием которого каналы искровых разрядов между электродами перемещается к поверхности изоляционного тела и далее - выдуваются наружу в окружающий разрядник воздух. Вследствие возникающего дутья и удлинения каналов между электродами каналы разрядов охлаждаются, суммарное сопротивление всех каналов увеличивается, т.е. общее сопротивление разрядника возрастает, и происходит ограничение импульсного тока грозового перенапряжения.

По окончании импульса грозового перенапряжения к разряднику остаётся приложенное напряжение промышленной частоты. Как показали проведённые исследования, в разрядниках с МКС возможны два типа гашения искрового разряда:

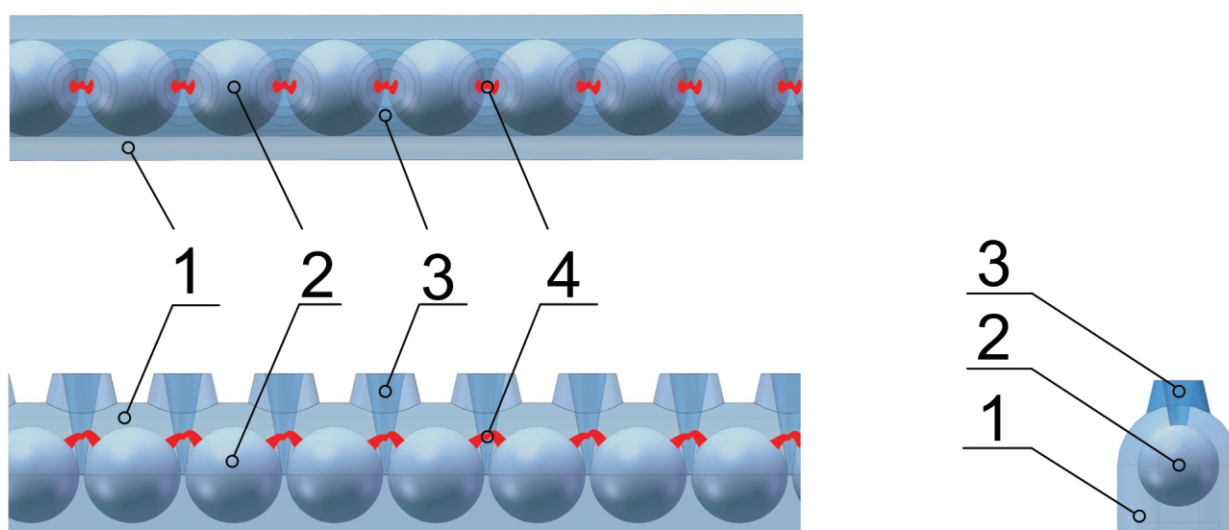
- 1) при переходе сопровождающего тока 50 Гц через ноль (в дальнейшем такой тип гашения называется «гашением в ноль»);
- 2) при снижении мгновенного значения импульса тока грозового перенапряжения до определённого уровня без сопровождающего тока сети (в дальнейшем такой тип гашения называется «гашением в импульсе»).

Механизм гашения искрового разряда в МКС напоминает механизм гашения дугового разряда в трубчатом разряднике. Существенное отличие состоит в том, что внутри трубчатого разрядника достаточно долго (до 10 мс) горит дуга. Она выжигает стенки газогенерирующей трубки, и образовавшиеся от теплового разрушения газы выдувают канал разряда наружу. В случае «гашения в ноль» МКС дуга начинается в дугогасящих камерах, а затем большая её часть выдувается наружу в открытое пространство. Материал камер не газогенерирующий, дутьё образуется просто за счёт расширения канала разряда, поэтому эрозия стенок камер незначительная.

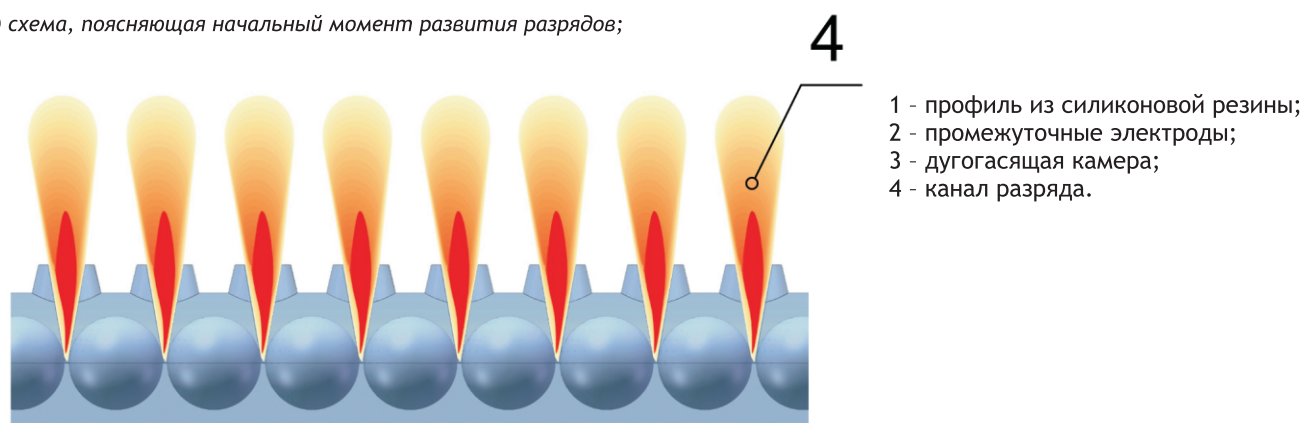
В случае «гашения в импульсе», длительность которого составляет микросекунды или десятки микросекунд, эрозии практически нет даже после многократных срабатываний МКС.

МКС испытаны на электродинамическую устойчивость импульсами тока с максимальным значением порядка 100 кА.

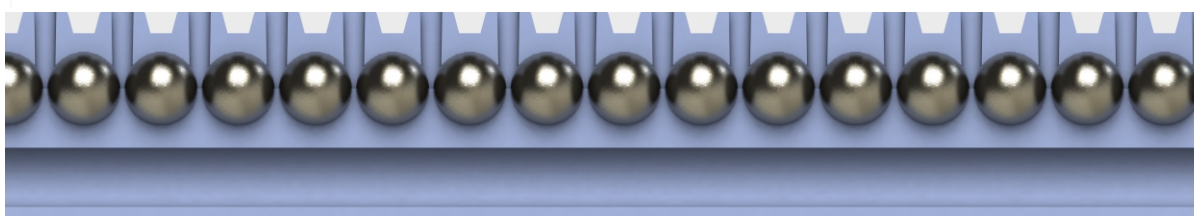
Рис. 11. Мультикамерная система (МКС):



а) схема, поясняющая начальный момент развития разрядов;



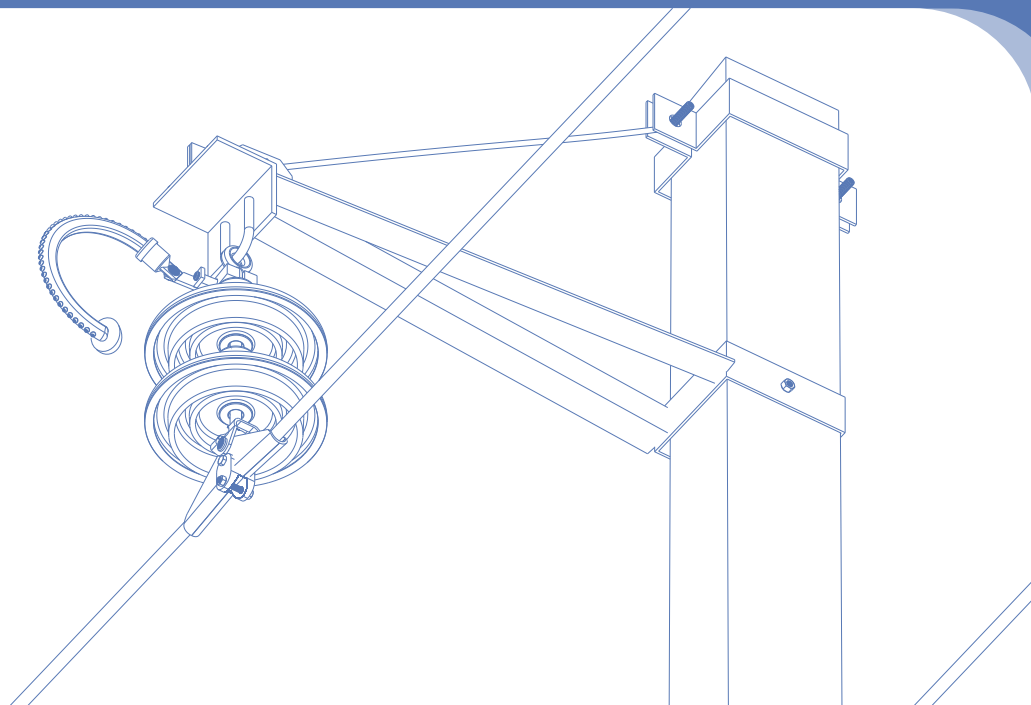
б) схема, поясняющая завершающий момент развития разрядов;



в) общий вид



РМК-20-IV-УХЛ1



Разрядник предназначен для защиты воздушных линий электропередачи напряжением 6-20 кВ трехфазного переменного тока с защищёнными и неизолированными проводами от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий и рассчитан для работы на открытом воздухе при температуре от минус 60°С до плюс 50°С в течение 30-и лет.

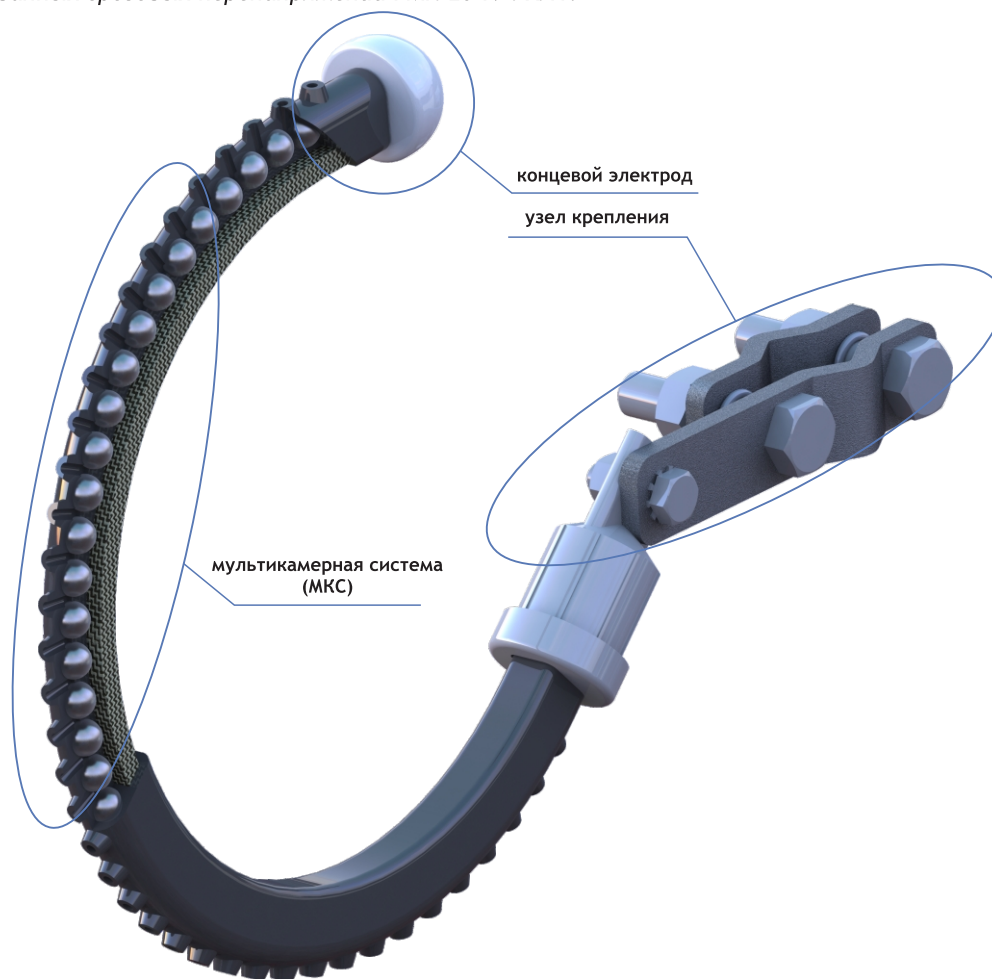
Основными элементами РМК-20 (см. рис. 13а) являются: мультикамерная система (МКС), несущий стержень из композитных материалов и узел крепления разрядника к арматуре изолятора. Для защиты ВЛ со штыревой изоляцией (см. рис. 13б) разрядник устанавливается на металлический стержень изолятора с искровым воздушным промежутком между верхним концом разрядника и универсальным зажимом на проводе ВЛ. При воздействии грозового перенапряжения сначала пробивается искровой воздушный промежуток, затем, по описанному выше алгоритму срабатывает МКС отводя импульсный ток молнии через опору в землю. Вслед за ним, под действием рабочего напряжения линии по МКС начинает протекать сопровождающий ток. В результате интенсивного дутья, при переходе сопровождающего тока через ноль дуга гаснет (см. рис. 13б). Что предотвращает повреждение провода и отключения линии.

Для защиты от индуктированных перенапряжений разрядники устанавливаются по одному на опору с чередованием фаз. При этом токи промышленной частоты, сопровождающие многофазные замыкания, вызванные грозовыми перенапряжениями, протекают по контурам, включающим в себя сопротивления заземления опор. Эффективность гашения сопровождающих токов тем выше, чем меньше они по величине, а наличие сопротивлений заземления опор в контуре замыкания благоприятным образом влияет на снижение величины сопровождающих токов.

Таблица 5. Технические характеристики разрядника.

Класс напряжения	6 - 10 кВ	15 - 20 кВ
Число дугогасящих камер МКС	40	40
Внешний искровой промежуток	40 - 60 мм	50- 70 мм
Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, не более	85 кВ	85 кВ
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее - в сухом состоянии - под дождем	30 кВ 20 кВ	40 кВ 30 кВ
Многokrатно выдерживаемый импульсный ток 8/50 мкс, не менее	20 кА	20 кА
Масса	1,0 кг	1,0 кг
Срок службы, не менее	30 лет	30 лет

Рис. 13. Разрядник мультикамерный для защиты ВЛ 20 кВ от индуцированных грозовых перенапряжений РМК-20-IV-УХЛ1.



а) общий вид



б) установка на линии



в) фотография испытаний

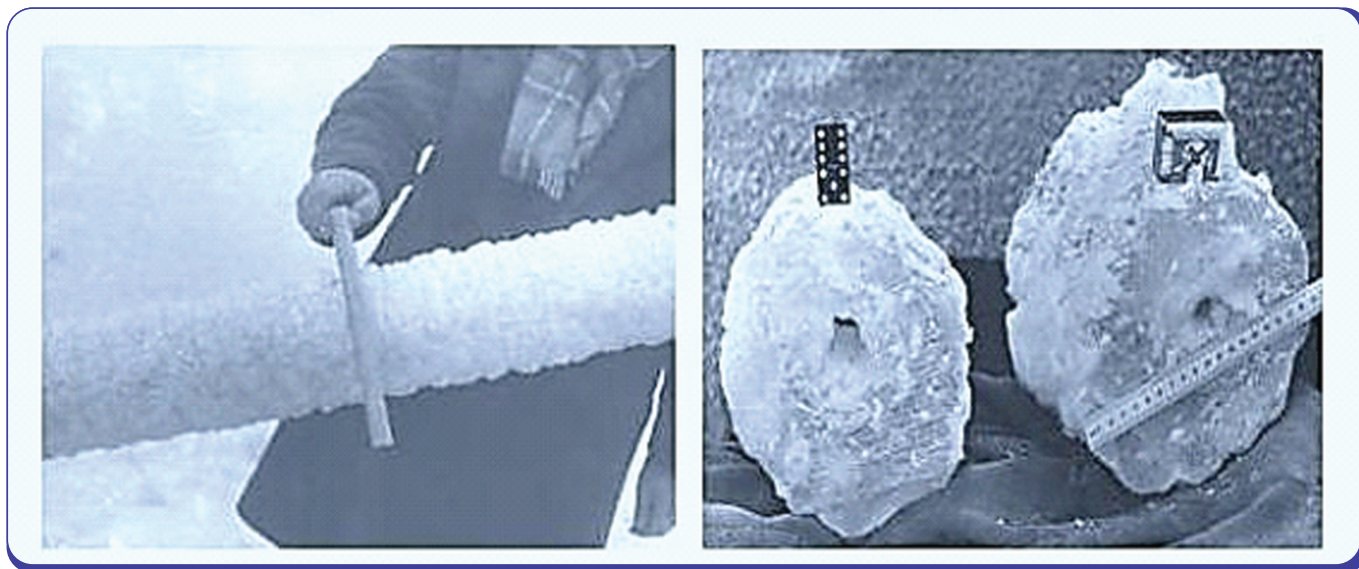
Молниезащита ВЛ 35, 110, 220 кВ при помощи мультикамерных изоляторов-разрядников

В сетях напряжением 110 кВ и выше основным средством, обеспечивающим защиту воздушных линии (ВЛ) от атмосферных перенапряжений, является использование молниезащитных тросов. Защитное действие тросов основано на отводе тока молнии от защищаемого оборудования. Обеспечение надёжной молниезащиты ВЛ, проходящих по трассам с высоким удельным сопротивлением грунта (в районах вечной мерзлоты или при скалистых грунтах), является весьма сложной задачей, поскольку не удаётся обеспечить необходимое низкое сопротивление заземления опор.

При высоких значениях сопротивления заземления, в случае удара молнии в молниезащитный трос или опору, вследствие падения напряжения от тока молнии на сопротивлении заземления резко возрастает потенциал опоры, и происходит, так называемое «обратное перекрытие» с опоры на провод линии, которое затем переходит в силовую дугу. При этом линия должна быть незамедлительно отключена выключателями. Поэтому тросовая грозозащита в таких случаях оказывается неэффективной. Тросовая молниезащита неэффективна также в гололёдных районах, поскольку сильный гололёд (Рис.14), образующийся на тросах, зачастую приводит к их обрыву и, как следствие, - к короткому замыканию на линии.

Плавка гололеда весьма трудоёмка и во многих случаях создаёт аварийные ситуации, т. к. при сбросе гололёда происходит сильное колебание тросов, которое часто вызывает замыкание троса на провод.

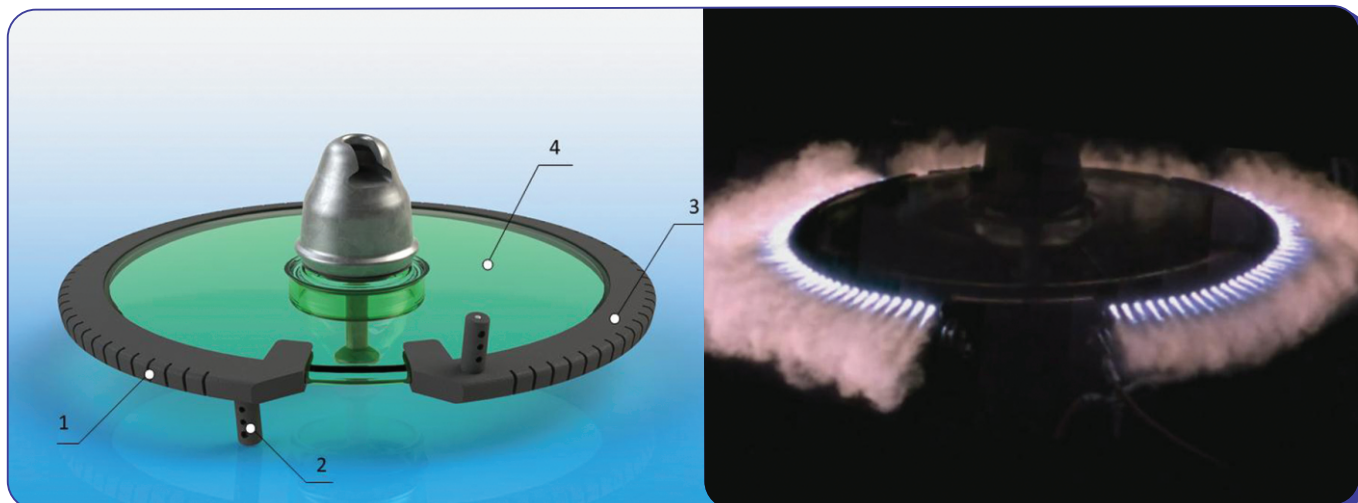
Рис. 14. Гололёдные образования на тросах ВЛ



Для обеспечения надёжной молниезащиты воздушных линий электропередачи 35, 110, 220 кВ от прямых ударов молнии, обратных перекрытий, индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий применяются гирлянды изоляторов-разрядников мультикамерных (ГИРМК), которые одновременно используются как в качестве линейной изоляции, так и в качестве разрядников. ГИРМК устанавливаются на все виды типовых опор с голыми или защищенными проводами и стыкуются со стандартной арматурой.

Основным элементом ГИРМК является изолятор-разрядник мультикамерный (ИРМК) (рис.15), главным рабочим элементом которого является мультикамерная система (МКС) (1). МКС установлена по периметру изолятора (4) и занимает примерно 5/6 окружности ребра. На концах МКС имеются верхний (3) и нижний (2) отводы.

Рис. 15. Изолятор-разрядник мультикамерный



а) общий вид

б) фото испытаний

ГИРМК 35 кВ в сборе показана на рис. 16. На верхнем изоляторе установлен электрод (7) (может оснащаться однократным индикатором срабатывания), конец которого подходит к верхнему отводу (3) верхнего ИРМК, между ними образуется воздушный разрядный промежуток. На пестике нижнего изолятора-разрядника закреплен нижний электрод (6) (в случае с ГИРМК 110, 220 кВ нижний электрод закрепляется на поддерживающей арматуре). Между нижним электродом (6) и нижним отводом (2) нижнего ИРМК также образован воздушный разрядный промежуток. ГИРМК 110, 220 кВ имеют аналогичное расположение элементов (Рис. 17, 18).

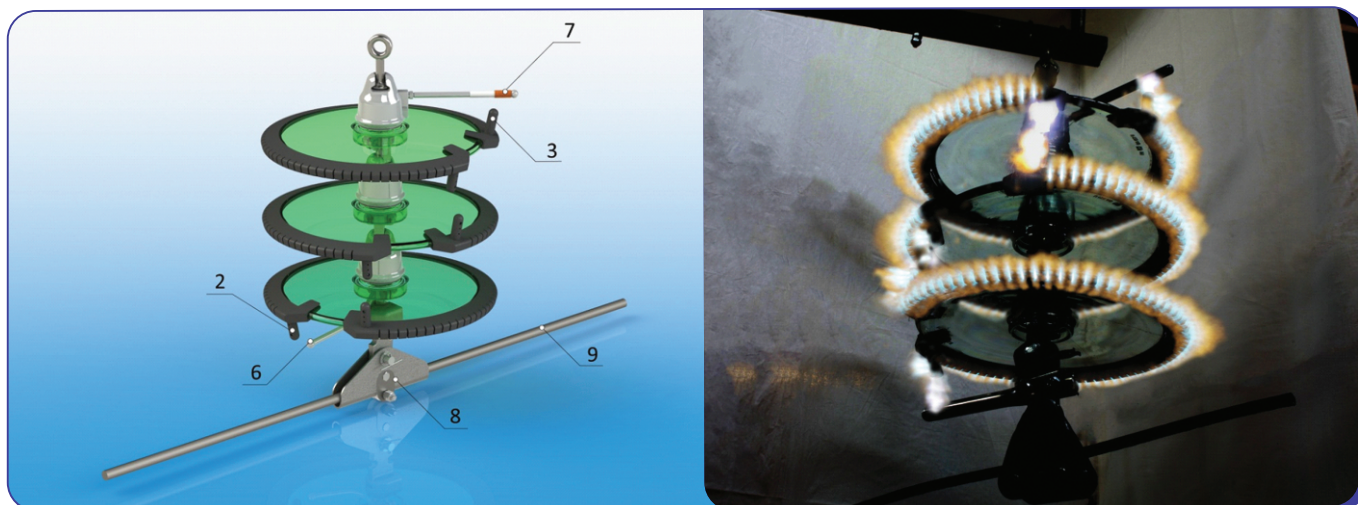
При возникновении на проводах ВЛ перенапряжения опасного уровня, связанного с воздействием импульса молнии, на ГИРМК перекрывается воздушный промежуток первого от провода (9) изолятора-разрядника, между нижним электродом (6) и нижним отводом (2). Далее, по ранее описанному алгоритму, срабатывает МКС, которая переводит разряд через воздушный промежуток на нижний отвод следующего в гирлянде изолятора разрядника. После срабатывания всех ИРМК в гирлянде ток грозового перенапряжения отводится через опору в землю. После затухания импульса грозового перенапряжения к разряднику остаётся приложенным рабочее напряжение линии, под действием которого по нему стремится протечь сопровождающий ток. Как уже было описано ранее, возможно два вида гашения искрового разряда:

1) **гашение в нуле** - гашение сопровождающего тока 50 Гц осуществляется при его первом переходе через ноль;

2) **гашение в импульсе** - гашение осуществляется сразу после затухания грозового импульса без развития сопровождающего тока сети.

В обоих случаях линия продолжает свою бесперебойную работу без отключения и АПВ.

Рис. 16. Гирлянда из трёх изоляторов-разрядников на 35 кВ

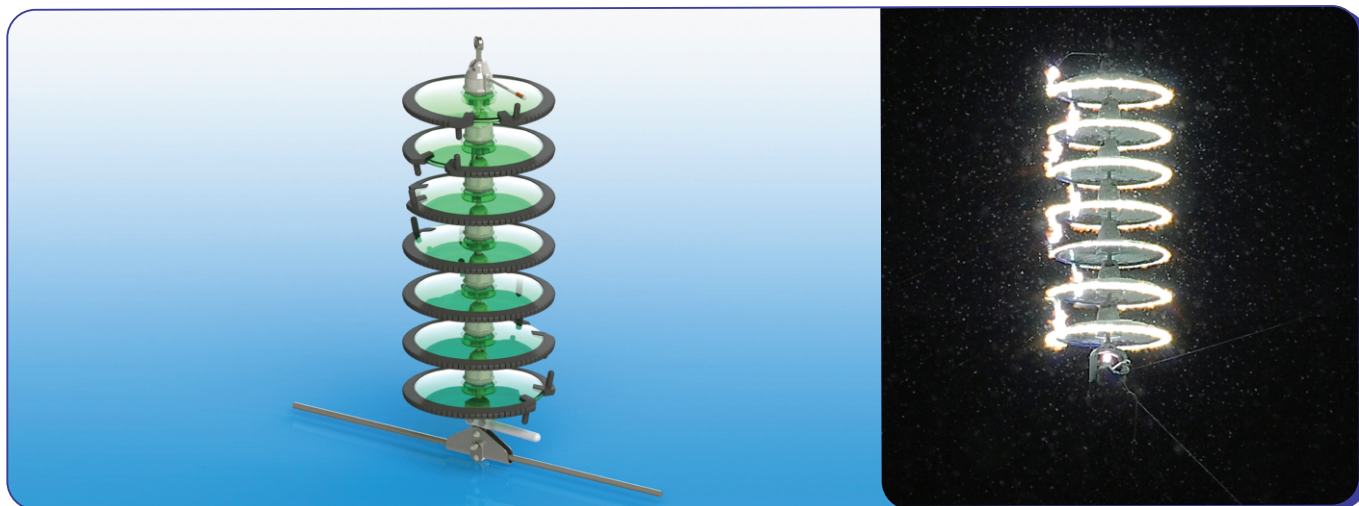


а) общий вид

б) фото испытаний

Число изоляторов-разрядников в гирлянде зависит от номинального напряжения ВЛ, где они установлены. Для ВЛ 35 кВ - это гирлянда из 3-х, для ВЛ 110 кВ - из 7-ми, а для ВЛ 220 кВ - из 14-ти ИРМК.

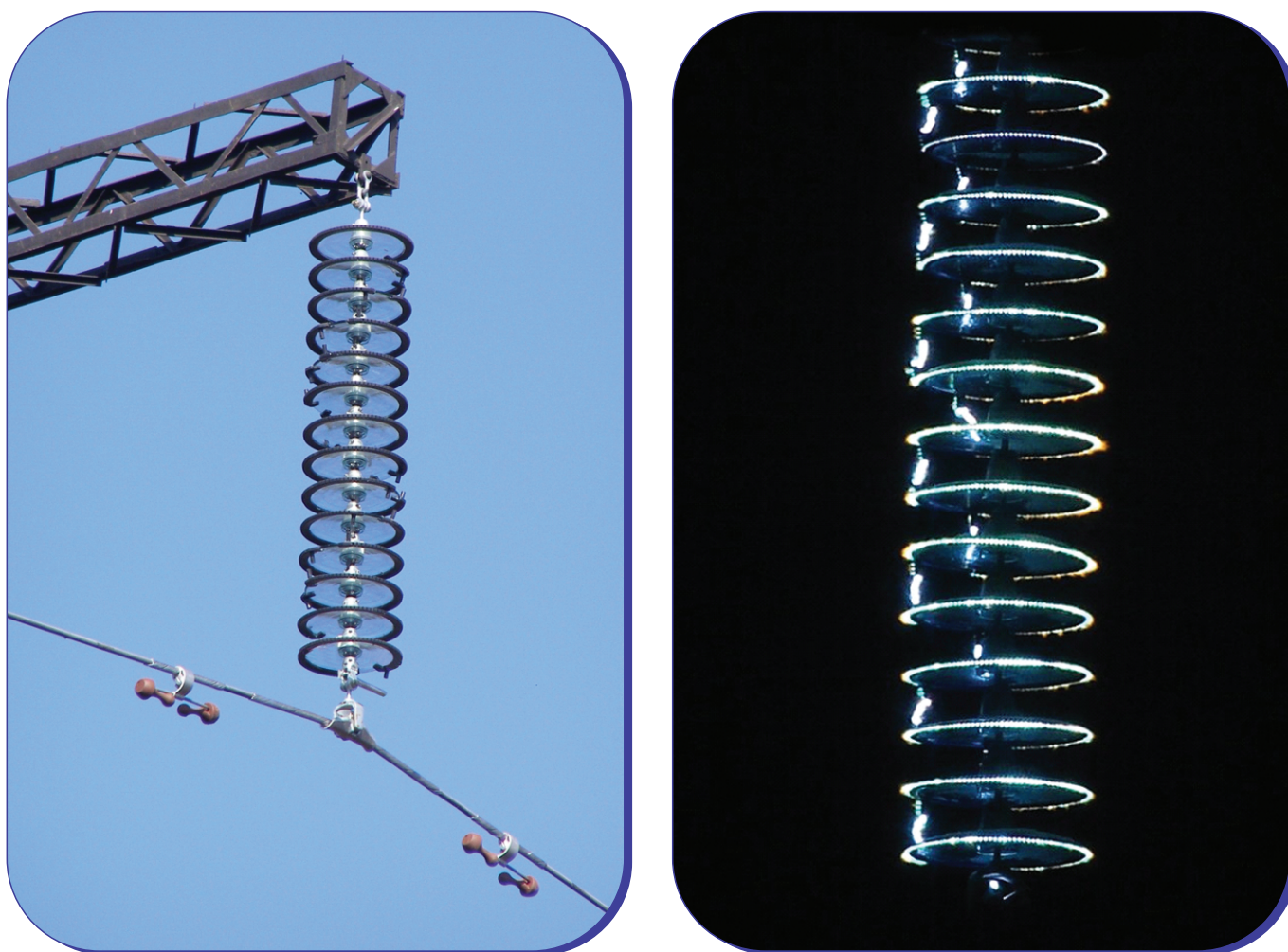
Рис. 17. Гирлянда из семи изоляторов-разрядников на 110 кВ



а) общий вид

б) фото испытаний

Рис. 18. Гирлянда из 14 изоляторов-разрядников на 220 кВ



а) общий вид

б) фото испытаний

Основные технические характеристики ГИРМК 35, 100, 220 кВ приведены в таблице 5.

Таблица 5. Основные технические характеристики ГИРМК 35, 100, 220 кВ

Класс напряжения, кВ	35	110	220
Наибольшее длительно допустимое напряжение промышленной частоты, кВ	40,5	73	146
Число изоляторов-разрядников в гирлянде, шт.	от 3	от 7	от 14
Минимальная механическая разрушающая нагрузка, кН	120	120	120
Уровень радиопомех при 1,1 наиб, рабочего фазного напряжения, не более, Дб	55	55	55
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее, кВ:	80	126	220
Длина пути утечки, мм	360х3	360х7	360х14
Внешние искровые промежутки, мм	30х4	30х8	30х15
Кол-во срабатываний при токе к.з. сети 10 кА, не менее	10	10	10
Время гашения сопровождающего тока промышленной частоты, не более, мс	10	10	10
Величина заряда, пропускаемого через МКС без потери способности к гашению сопровождающего тока, не менее, Кл	30	30	30
Масса, кг	6,7х3	6,7х7	6,7х14

Принимая во внимание ряд характеристик оснащаемой ВЛ, можно дать рекомендацию по количеству устанавливаемых гирлянд изоляторов-разрядников в зависимости от сопротивления заземления и конфигурации тех опор, на которые они устанавливаются. Ниже представлена таблица 6, в которой перечислены возможные варианты оснащения ВЛ изоляторами-разрядниками.

Таблица 6. Варианты оснащения ВЛ гирляндами изоляторов-разрядников

Сопротивление заземления опоры, Ом	ВЛ, оборудованная грозотросом	ВЛ, не оборудованная грозотросом
до 5	Изоляторы-разрядники устанавливать нет необходимости	Изоляторы-разрядники необходимо устанавливать на верхнюю фазу
от 5 до 10	Изоляторы-разрядники необходимо устанавливать на нижнюю фазу	Изоляторы-разрядники необходимо устанавливать на верхнюю и нижнюю фазы
от 10 до 100	Изоляторы-разрядники необходимо устанавливать на верхнюю и нижнюю фазы	Изоляторы-разрядники необходимо устанавливать на верхнюю и нижнюю фазы
свыше 100	Необходимо оснащать все фазы	Необходимо оснащать все фазы

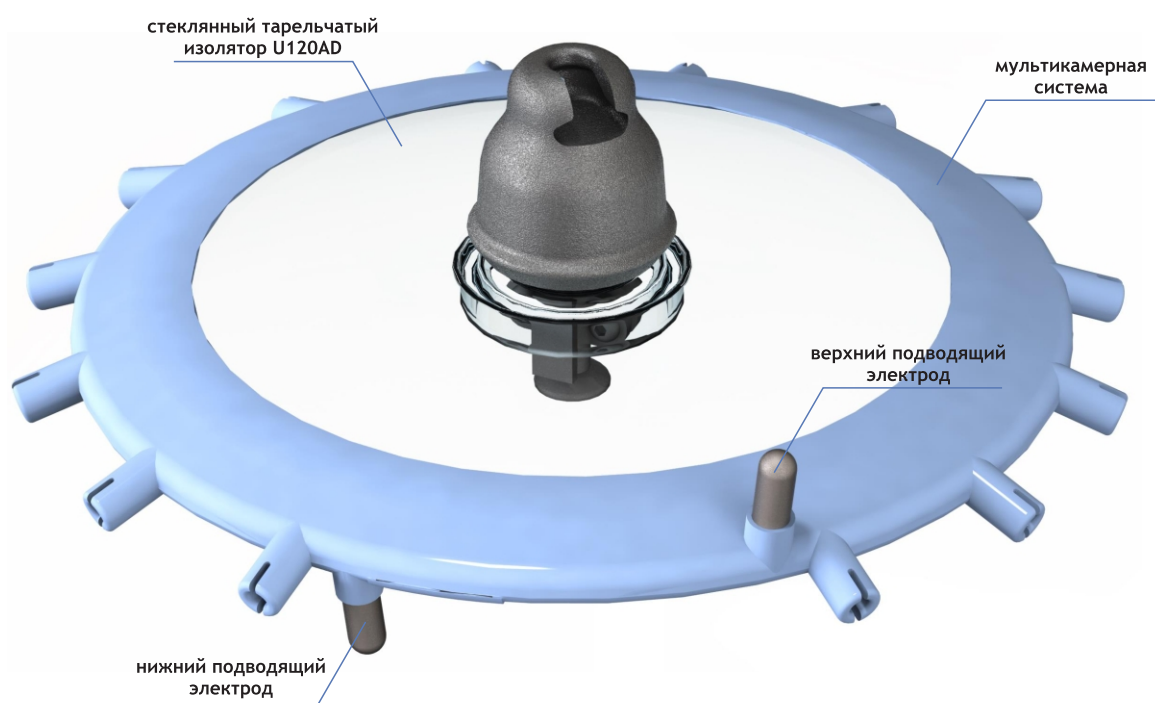
Примечание. Окончательное решение о количестве изоляторов-разрядников и конфигурации оснащения ими ВЛ принимается специалистами технической службы ОАО «НПО «Стример» на основании данных о сопротивлении заземления, типе опор и иной существенной информации.

Усовершенствованный изолятор-разрядник мультикамерный

Фундаментальные теоретические исследования совместно с многочисленными экспериментами, проведенными в уникальной испытательной лаборатории ОАО «НПО «Стример», позволили создать усовершенствованную конструкцию изолятора-разрядника, принцип действия которого основан на чрезвычайно интересном физическом явлении, получившем название «гашение в импульсе». Суть этого явления заключается в том, что, благодаря уникальной конструкции мультикамерной системы, электрическая прочность в элементарной дугогасительной камере восстанавливается настолько быстро, а гашение импульсной дуги происходит настолько эффективно, что сопровождающий ток практически отсутствует. Использование подобного принципа позволяет, во-первых, применять изоляторы-разрядники даже в самых мощных энергосистемах, характеризующихся большими токами короткого замыкания, и, во-вторых, снимает вопрос о выработке ресурса данного типа защитных аппаратов, связанного с эрозией электродов, возникающей при многократном срабатывании.

В основу усовершенствованной конструкции изолятора-разрядника положена иная мультикамерная система, конструктивные особенности которой и позволяют добиться «гашения в импульсе». Изолятор-разрядник нового типа представлен на Рис. 19. Ключевым отличием от обычного изолятора-разрядника является именно мультикамерная система, которая наделяет это изделие уникальными свойствами. Усовершенствованные

Рис. 19. Общий вид усовершенствованного изолятора-разрядника

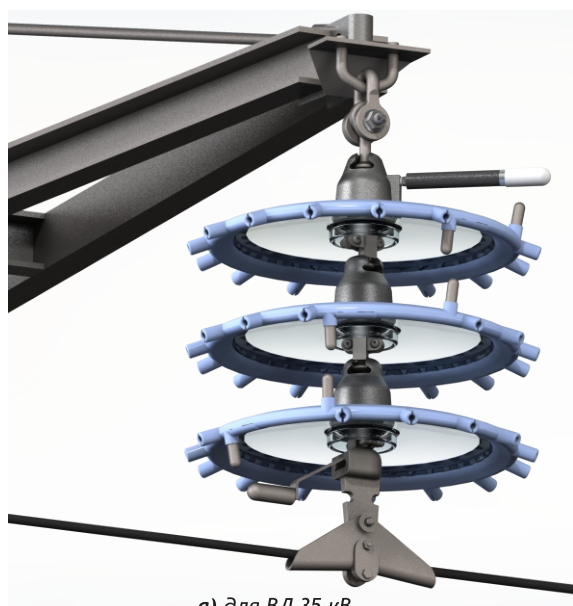


изоляторы-разрядники точно так же могут составлять гирлянды изоляторов-разрядников, причем количество элементов в составе гирлянды зависит от номинального напряжения линии.

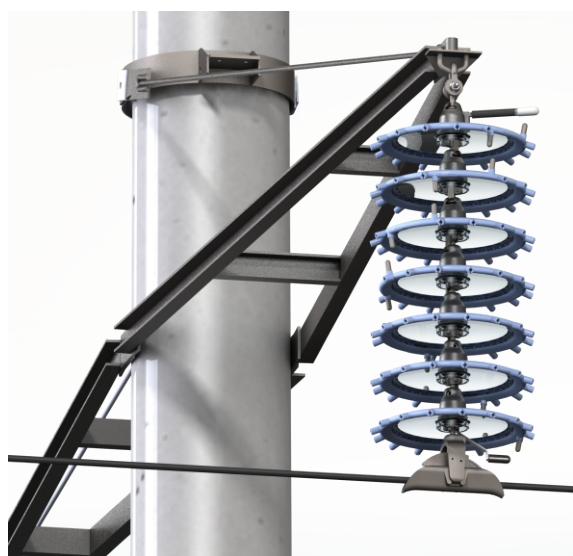
Мультикамерная система нового типа представляет собой небольшое количество металлических электродов, вмонтированных в профиль из кремнийорганической резины, который закрепляется на ребре стеклянного тарельчатого изолятора. Каждый промежуток между электродами представляет собой миниатюрную дугогасящую камеру, выходящую наружу ребра через отверстие и армированную стеклопластиковой трубкой. Это позволяет, с одной стороны, увеличить механическую прочность дугогасящих камер, а, с другой стороны, добиться более направленного выхлопа при срабатывании усовершенствованного изолятора-разрядника, тем самым снижая вероятность т.н. «слива» облаков раскаленного ионизированного газа, вылетающего из сопел соседних изоляторов-разрядников, и, соответственно, повышая работоспособность и надежность данного изделия. При воздействии на гирлянду из изоляторов-разрядников импульса грозового перенапряжения, обусловленного, например, прямым ударом молнии в ВЛ, происходит электрический пробой промежутков

между соседними электродами. Благодаря заложенному в конструкции новой МКС принципу каскадного срабатывания, разрядные напряжения мультикамерных систем значительно ниже разрядного напряжения изолятора, поэтому разряд развивается по МКС, которая занимает примерно 5/6 периметра изолятора, на котором она закреплена. Благодаря тому, что разряды между промежуточными электродами происходят внутри дугогасящих камер, объемы которых весьма малы, при расширении канала создается высокое давление, под действием которого каналы искровых разрядов между электродами перемещаются к поверхности изоляционного тела и далее - выдуваются наружу в окружающий разрядник воздух. Вследствие возникающего дутья и удлинения каналов между электродами каналы разрядов активно охлаждаются, суммарное сопротивление всех каналов увеличивается, т. е. общее сопротивление изолятора-разрядника возрастает, и происходит ограничение импульсного тока грозового перенапряжения. По окончании импульса грозового перенапряжения к изолятору-разряднику остается приложенное напряжение промышленной частоты. Как показали проведенные исследования, конструкция усовершенствованного изолятора-разрядника обеспечивает гарантированное «гашение в импульсе». Другими словами, гирлянда из нескольких изоляторов-разрядников обеспечивает исключение перехода грозового перекрытия в дуговое при наибольшем рабочем напряжении промышленной частоты, свойственном данной ВЛ, и токе молнии 100 кА (при ударе в хорошо заземленный объект), что эквивалентно току через одну гирлянду ИРМК 30 кА.

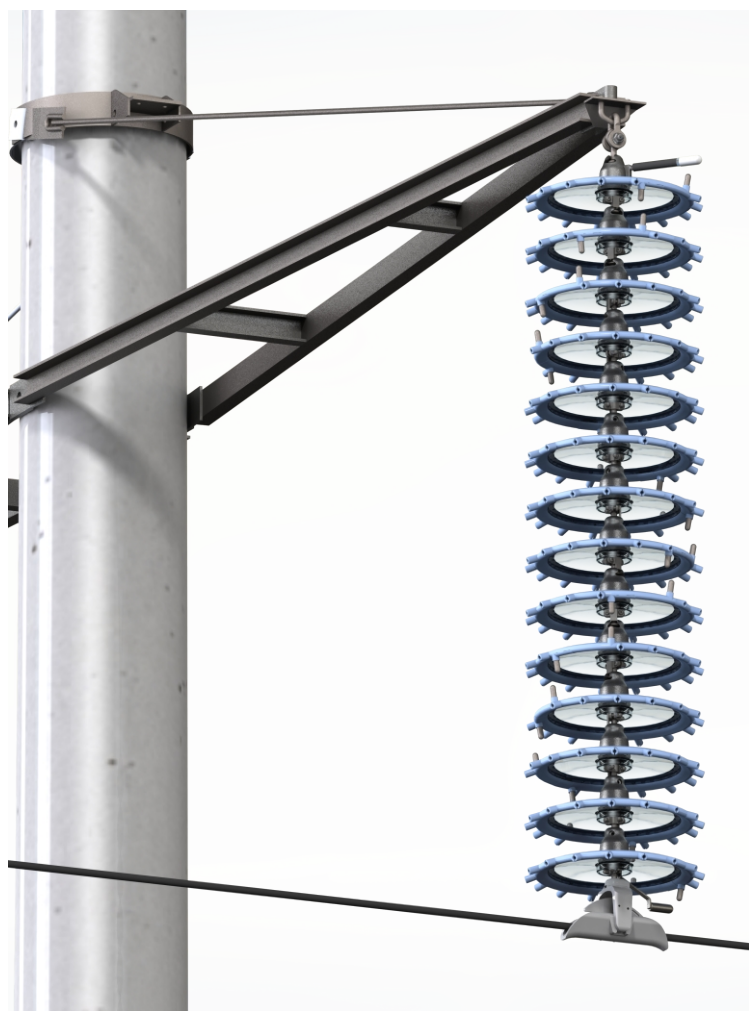
Рис. 20. Общий вид гирлянд из усовершенствованных изоляторов-разрядников



а) для ВЛ 35 кВ



б) для ВЛ 110 кВ



в) для ВЛ 220 кВ

Принципы молниезащиты электрических сетей 6-10 кВ с помощью длинно-искровых разрядников

Применение существующих видов длинно-искровых разрядников позволяет решать задачу комплексной защиты электрических сетей от грозовых перенапряжений и их последствий.

Установка разрядников на всем протяжении воздушных линий (ВЛ) и на подходах к подстанциям и кабельным вставкам позволяет исключить перекрытия изоляции на ВЛ и все негативные сопровождающие последствия как при индуцированных грозовых перенапряжениях, так и при прямом ударе молнии (ПУМ). При этом обеспечивается отсутствие грозовых отключений ВЛ, разрушений изоляторов, пережога проводов, экономия ресурсов и защита подстанционного оборудования.

Технология грозозащиты длинно-искровыми разрядниками применима для ВЛ с любыми видами опор - железобетонными, металлическими, деревянными, **изоляторов** - штыревыми, натяжными, подвесными, фарфоровыми, стеклянными, полимерными, и **проводов**, как защищенными, так и неизолированными.

В зависимости от установленных технических требований по грозозащите участков электрических сетей возможно применение на них различных видов разрядников и их сочетаний.

Защита ВЛ 6-10 кВ на железобетонных и металлических опорах от индуцированных перенапряжений

Для надежной защиты от индуцированных грозовых воздействий необходимо устанавливать на каждую одноцепную опору защищаемого участка ВЛ по одному разряднику. В зависимости от типа опор, траверс, изоляторов ВЛ и других определяющих обстоятельств применяются разрядники трех типов: РДИП-10-IV-УХЛ1, РДИШ-10-IV-УХЛ1, РДИМ-10-К-II-УХЛ1.

Разрядники петлевые РДИП-10-IV-УХЛ1 можно устанавливать на любые виды опор, с чередованием фаз.

Разрядники шлейфовые РДИШ-10-IV-УХЛ1 целесообразно использовать в местах двойного крепления провода, вместо петлевых.

Разрядники модульные РДИМ-10-К-II-УХЛ1 предназначены для защиты ВЛ только с компактным размещением проводов, расстояние между которыми не превышает 50 см, и с изоляторами ШФ-20 в районах с не более, чем второй степенью загрязнённости атмосферы. Эти разрядники устанавливаются только на среднюю фазу.

На двухцепных ВЛ разрядники должны устанавливаться на обе цепи таким образом, чтобы на каждой из опор защищалась только одна пара одноименных фаз, с тем же принципом чередования, что и для одноцепных ВЛ. Нарушение этого требования создает возможность короткого междупазного замыкания и отключения линии при индуцированном грозовом перенапряжении.

При схеме установки разрядников с последовательным чередованием фаз токи промышленной частоты, сопровождающие многофазные замыкания, обусловленные грозовыми перенапряжениями, протекают по контурам, включающим в себя сопротивления заземления опор. Принцип действия РДИ основан на предотвращении перехода искрового перекрытия в силовую дугу промышленной частоты. При этом эффективность гашения сопровождающих токов тем выше, чем меньше они по величине, а наличие сопротивлений заземления опор в контуре замыкания благоприятным образом влияет на снижение величины сопровождающих токов.

Поэтому с точки зрения грозозащиты от индуцированных перенапряжений установка РДИ на опору ВЛ не налагает никаких специальных требований к заземлению опоры, связанных со снижением его величины.

Существующие нормы ПУЭ по заземлению опор на ВЛ, установленные в п. 2.5.129 должны применяться с учетом вышеизложенной специфики работы РДИ, которая не позволяет отнести длинно-искровые разрядники к "другим устройствам молниезащиты" по п. 2.5.129-1), таким, как например, трубчатые разрядники, для которых требование по снижению сопротивления заземления является необходимым исходя из такой их технической характеристики, как нижняя граница тока гашения.

Длинно-искровые разрядники в соответствии со своими конструктивными параметрами, техническими характеристиками и принципу действия не относятся к устройствам, установка которых на ВЛ приводит к дополнительному риску возникновения аварийных режимов, требующему принятия специальных мер технической безопасности. Более того, наличие РДИ на ВЛ должно устранить все случаи однофазных замыканий, вызванных грозовыми перенапряжениями.

Смысл установленных норм ПУЭ по сопротивлениям заземления сводится к ограничению числа грозовых отключений. Поэтому даже нынешняя редакция п.2.5.129 ПУЭ допускает возможность превышения сопротивлений заземления части опор по сравнению с нормируемыми значениями, если удовлетворяется главное требование по ожидаемому числу грозовых отключений. Установка РДИП как раз и обеспечивает снижение числа грозовых отключений, при этом для данной системы грозозащиты увеличение сопротивлений заземления принципиально может лишь повысить ее эффективность.

В связи с этим для опор ВЛ, оснащенных длинно-искровыми разрядниками, следует применять те же нормы по сопротивлению заземления, что и для опор без устройств молниезащиты.

Защита ВЛ 6-10 кВ на железобетонных и металлических опорах от прямых ударов молнии

При необходимости обеспечения гарантированной защиты от любых грозовых воздействий, в том числе, от прямого удара молнии в ВЛ, необходимо устанавливать на каждую опору защищаемого участка ВЛ по три разрядника модульного типа РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1, на все фазы. При этом необходимо обеспечить низкое (желательно не более 10 Ом) сопротивление заземления лишь на ближайших нескольких опорах подхода ВЛ к подстанции. Остальные опоры по условиям грозозащиты специально заземлять не требуется.

В случае, если технико-экономический анализ показывает целесообразность защиты от прямых ударов молнии не всей линии, а лишь отдельных участков, их целесообразно защищать следующим образом. На всех опорах защищаемого участка следует установить по три разрядника модульного типа РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1, на все фазы. Две опоры, являющимися крайними с двух сторон защищаемого от прямых ударов молнии участка ВЛ, необходимо заземлять, обеспечивая, по возможности, величину их сопротивления заземления не более 10 Ом. Если это требование по объективным причинам не выполнимо, следует компенсировать это дополнительным заземлением еще одной, или нескольких соседних опор на каждой из сторон участка. Остальные опоры данного участка ВЛ специально заземлять не надо.

Защита ВЛ 6-10 кВ на деревянных опорах от индуктированных перенапряжений

В сухом и чистом состоянии деревянные опоры являются изоляторами. И если бы они не подвергались воздействию влаги и грязи, защищать линию от индуктированных перенапряжений не требовалось бы, так как при наибольшей практически возможной величине индуктированного перенапряжения 300 кВ перекрытия изолятора и опоры не происходило бы. Однако при загрязнении и увлажнении опор, что обычно происходит на практике, опоры становятся проводящими, хотя и с довольно большим сопротивлением (порядка десятков и сотен кОм). Как показали проведенные в лаборатории испытания, в этом случае при воздействии импульсов грозовых индуктированных перенапряжений на все три фазы возможно одновременное перекрытие на одной опоре двух изоляторов. При этом на линии возникает междуфазное короткое замыкание со всеми неприятными последствиями: отключением потребителей, возможным пережогом проводов, дугой сопровождающего тока, большим электродинамическим ударом по оборудованию подстанции. Поэтому ВЛ на деревянных опорах целесообразно защищать от индуктированных перенапряжений таким же образом, как и ВЛ на проводящих опорах.

Заземлять опоры, по условиям грозозащиты, не требуется. При срабатывании разрядника, установленного на опоре на одной из фаз, исключается перекрытие изоляторов всех трёх фаз, так как разность потенциалов между проводами и траверсой резко уменьшается. Поскольку сопротивление опоры весьма высокое, при срабатывании одного разрядника на опоре происходит лишь незначительное ограничение перенапряжения, т. е. на всех трёх фазах сохраняется перенапряжение. Это перенапряжение распространяется по линии, поэтому, в соответствии с требованием ПУЭ, обязательно необходимо на расстоянии примерно двести метров от подстанции устанавливать комплект разрядников РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 и опору заземлять. При срабатывании этих разрядников волны перенапряжения, приходящие на подстанцию, существенно снижаются. Окончательно перенапряжение, поступающее на оборудование подстанции, ограничивается при помощи ОПН.

Защита ВЛ 6-10 кВ на деревянных опорах от прямых ударов молнии

Возможны два варианта защиты от ПУМ:

- защита опор от расщепления, но не от грозовых отключений ВЛ;
- защита опор от расщепления и ВЛ от отключений вследствие грозовых перенапряжений.

Для исключения расщепления опор грозовыми разрядами целесообразно проложить вдоль стоек опор заземляющие спуски и выполнить простое заземление, например в виде одиночного вертикального заземлителя, не стремясь обеспечить низкое значение сопротивления заземления.

Защита ВЛ от грозовых отключений при прямом ударе молнии осуществляется так же, как для ВЛ с железобетонными и металлическими опорами.

Защита подходов ВЛ 6-10 кВ к подстанциям и кабельным вставкам

Непосредственно защита оборудования подстанций и кабельных вставок осуществляется ОПН или вентильными разрядниками (РВ), установленными вблизи от них. На линиях с деревянными опорами или с проводящими опорами с изоляторами типа ШФ20 (или аналогичными им, имеющими импульсное разрядное напряжение порядка 150-160 кВ) должны быть приняты меры по ограничению приходящих на подстанцию волн перенапряжений. Для защиты подхода к подстанции от набегающих волн грозовых перенапряжений следует устанавливать комплект из трех разрядников РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 на три опоры примерно за 200 м от подстанции или кабельной вставки. Данные опоры необходимо заземлять в соответствии с установленными нормативными требованиями.

На остальных опорах до подстанции или кабельной вставки также следует устанавливать разрядники. Для обеспечения защиты от прямого удара молнии необходимо устанавливать по три разрядника РДИМ-10-1,5-IV-УХЛ1 на каждую опору, для защиты только от индуктированных перенапряжений достаточно установка по одному разряднику РДИП-10-IV-УХЛ1 на опору с чередованием фаз. При этом необходимо обеспечить низкое (желательно не более 10 Ом) сопротивление заземления на всех опорах подхода ВЛ к подстанции. Если кабельная вставка подходит к линии на промежуточной опоре, то указанные выше мероприятия надо выполнить на линии с обеих сторон от этой опоры.

Сравнительная таблица грозозащитного оборудования

IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL.23, NO.2, APRIL 2008
"Discussion on Measures Against Lightning Breakage of Covered Conductor on Distribution Lines"
Jinliang He, Fellow, IEEE, Shanqiang Gu, Shuiming Chen, Senior Member, IEEE, Rong Zeng, Senior Member, IEEE, and Weijiang Chen

СРЕДСТВО	ФУНКЦИЯ	СТОИМОСТЬ	СТАРЫЕ ЛИНИИ	НОВЫЕ ЛИНИИ	ЭФФЕКТ	ОБСЛУЖИВАНИЕ
Грозозащитный трос	Перехват прямого разряда молнии, уменьшение индуктированного перенапряжения	высокая	трудно	легко	средний	нет
ОПН	Поглощение энергии молнии и ограничение грозового перенапряжения	высокая	трудно	легко	высокий	очень частое
ОПН с защитным тросом	Поглощение энергии молнии и ограничение грозового перенапряжения, уменьшение количества повреждений разрядников	очень высокая	трудно	легко	очень высокий	частое
РДИ	Увеличение пути разряда, устранение горения дуги	низкая	легко	легко	высокий	практически нет
Частичное увеличение толщины изоляции	Увеличение пути разряда, устранение горения дуги	высокая	очень тяжело	тяжело	средний	нет
Применение изоляторов с высоким разрядным напряжением перекрытия	Увеличение допустимого импульсного уровня сокращение числа грозовых перекрытий	низкая	невозможно	легко	средний	нет
Изоляционная система с каскадным соединением элементов	Сокращение повреждений главной линии за счет наличия мест со	средняя	невозможно	возможно	высокий	среднее
Изоляторы с искровыми промежутками	Способствование возможности горения дуги и недопущение повреждения провода	высокая	трудно	легко	высокий	нет
Усиленный защищенный провод	Увеличение дугостойкости провода	высокая	невозможно	легко	средний	нечастое
Частичная зачистка изоляции и установка зажима	Способствование возможности горения дуги и недопущение повреждения провода	низкая	трудно	трудно	высокий	практически нет

Сравнительные характеристики длинно-искровых разрядников

Параметры для сравнения	РДИП-10-IV-УХЛ1	РДИП1-10-IV-УХЛ1	РДИШ-10-IV-УХЛ1	РДИМ-10-1.5-IV-УХЛ1	РДИМ-10-К-II-УХЛ1
Применения	Защита ВЛ от грозовых перенапряжений и их последствий. Большой опыт эксплуатации, установлено 350 000 разрядников.	Аналогичен по применению РДИП-10, но не требует установки прокалывающего зажима	Аналогичен по применению РДИП, где требуется двойное крепление провода.	Защита ВЛ и подходов к подстанциям от ПУМ и их последствий. Наилучшие вольт-секундные характеристики	Аналогичен по применению РДИП, учитывая ограничения по габаритам.
Тип РДИ	петлевой	петлевой модифицированный	шлейфовый	модульный	модульный компактный
Защита от индуцированного перенапряжения (ИП)	защищает	защищает	защищает	защищает	защищает
Защита от прямого удара молнии (ПУМ)	не защищает	не защищает	не защищает	защищает	не защищает
Разрушение при воздействии ПУМ	не разрушается	не разрушается	не разрушается	не разрушается	не разрушается
Наличие прокалывающего зажима	есть	есть	есть	есть	есть
Организация искрового воздушного промежутка	С помощью универсального прокалывающего зажима. $D = 2-4$ см.	С помощью универсального прокалывающего зажима. $D = 2-4$ см.	С помощью электрода. $D = 2-4$ см.	Без воздушного промежутка	Без воздушного промежутка
Способ установки	По одному на опору, с чередованием фаз	По одному на опору, с чередованием фаз	По одному на опору, с чередованием фаз	По три на опору для защиты от ПУМ; По одному на опору, с чередованием фаз для защиты от ИП	По одному на опору, на среднюю фазу
Особенности монтажа / эксплуатации	При смещении провода воздушный промежуток может изменяться	При смещении провода воздушный промежуток может изменяться	Комплектация: для неизолированных проводов - плашечный зажим; для защищенных проводов - прокалывающий зажим	Возможно повреждение при значительном смещении провода	Компактная линия, L между фазами не более 0,5м; изоляторы на 20кВ, степень СЗА = 2

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ОАО «НПО «Стример»
Невский пр-т, 147, пом. 17Н, Санкт-Петербург, 191034, Россия

тел.: +7 (812) 327-0808, факс: +7 (812) 327-3444

e-mail: info@streamer.ru

<http://www.streamer.ru>