

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>

 **СТРИМЕР**
С О Х Р А Н Я Я С В Е Т



**Грозозащита ВЛ 3-35 кВ и выше
при помощи мульти-камерных разрядников
и изоляторов-разрядников**

Г. В. Подпоркин, Е. Ю. Енькин, Е. С. Калакутский, В. Е. Пильщиков, А. Д. Сиваев

Аннотация

Приведены результаты разработки мульти-камерных разрядников и изоляторов, сочетающих в себе характеристики изоляторов и разрядников, позволяющие защитить воздушные линии электропередачи 3- 35 кВ и выше от индуцированных перенапряжений и прямого удара молнии без использования грозозащитного троса.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в ОАО «НПО Стример» ведутся интенсивные разработки разрядников с, так называемой, мульти-камерной системой (МКС), в результате которых удалось разработать разрядники на классы напряжения 10 - 35 кВ. Предложен также принципиально новый аппарат: изолятор-разрядник (ИР) с мульти-камерной системой (ИРМК), который сочетает в себе свойства изолятора и разрядника одновременно. При использовании ИРМК возможно 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. Поэтому в случае применения ИРМК на ВЛ не требуется 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. Весьма перспективным представляется защита контактной сети железных дорог от прямых ударов молнии при помощи ИРМК.

2. МУЛЬТИ - КАМЕРНАЯ СИСТЕМА (МКС)

Основным элементом мульти-камерных разрядников (РМК) в том числе и ИРМК является МКС (рис. 1). 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 перемещаются 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 нуле») (см. рис. 2, а); 2) без сопровождающего тока сети (в дальнейшем такой тип гашения называется «гашением в импульсе») (см. рис. 2, в)

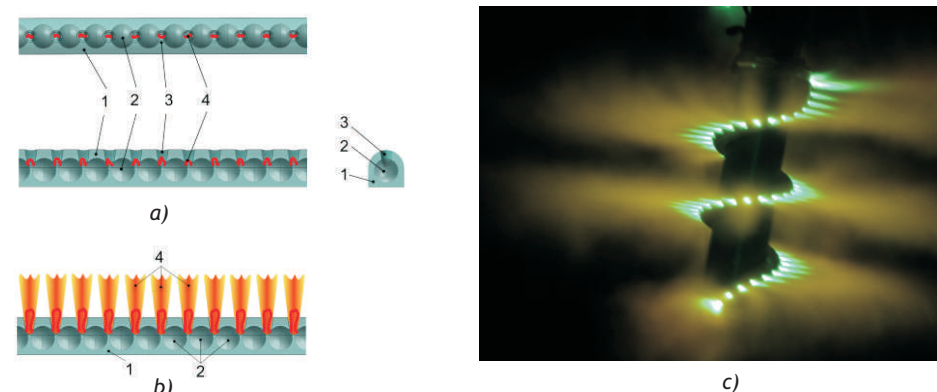


Рис. 1. Мульти-камерная система (МКС):

- а) схема, поясняющая начальный момент развития разрядов;
б) схема, поясняющая завершающий момент развития разрядов;
в) фото МКС (установленной по спирали на кабель Ø50 мм) при испытаниях;
1 - профиль из силиконовой резины; 2 - промежуточные электроды;
3 - дугогасящая камера; 4 - канал разряда.

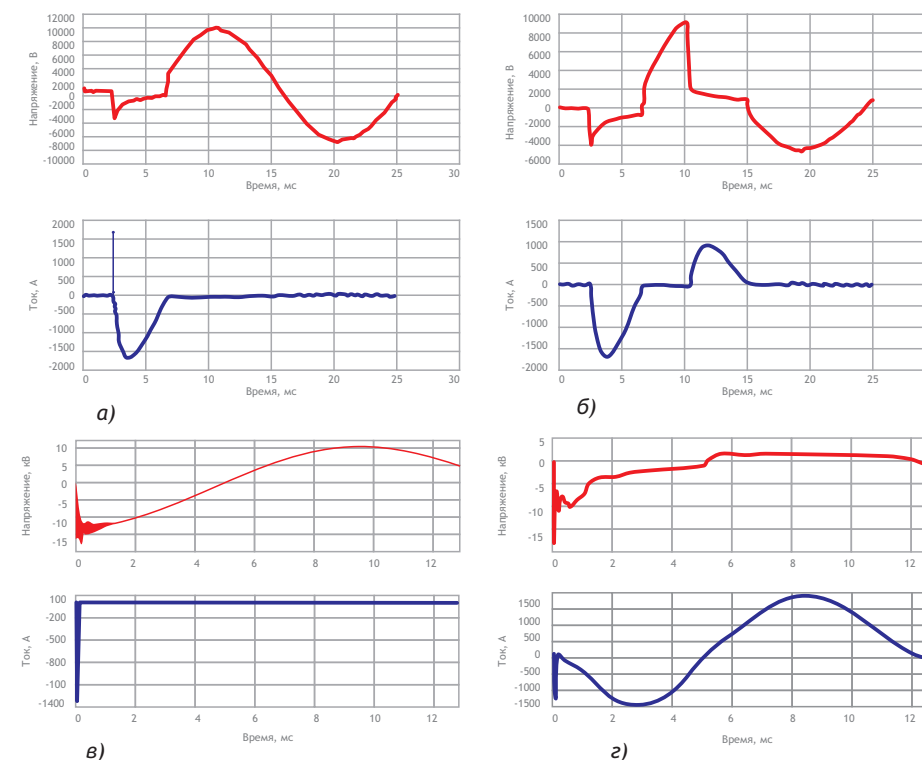


Рис. 2 Осциллограммы напряжения и тока на МКС при испытаниях на гашение сопровождающего тока:

- а) гашение «в нуле»; б) негашение; в) гашение «в импульсе»; г) негашение.

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 нуле» 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 100-110 кА (рис. 3). Образцы МКС выдержали 10 воздействий указанных импульсов без разрушения. Таким образом, МКС можно применять для защиты ВЛ от прямых ударов молнии (ПУМ).

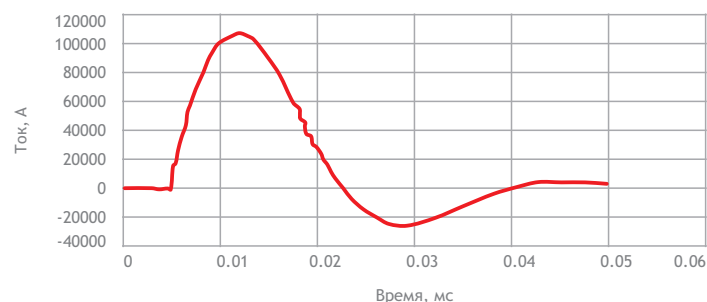


Рис. 3. Типичная осциллограмма тока при испытаниях МКС на электродинамическую устойчивость.

3. МУЛЬТИ-КАМЕРНЫЕ РАЗРЯДНИКИ (РМК)

3.1 РМК 10-20 кВ

Основными элементами РМК 10-20 кВ (см. рис. 4-6) являются: МКС, несущий стеклопластиковый стержень и узел крепления разрядника к стержню изолятора. Разрядники устанавливаются на металлические стержни изоляторов с искровыми воздушными промежутками $S=3-6$ см между верхними концами разрядников и проводом. При воздействии грозового перенапряжения сначала пробивается искровой воздушный промежуток, а затем - МКС разрядника, которая обеспечивает гашения сопровождающего тока, как это описано в разделе 2.

На рис. 4 приведён разрядник, содержащий 20 газоразрядных камер, предназначенный для защиты ВЛ 10 кВ (с наибольшим линейным напряжением 12 кВ) от индуктированных перенапряжений. Разрядники устанавливаются по одному на опору с чередованием фаз (рис. 7). 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. Основные технические характеристики разрядника приведены в табл.1.



Рис. 4. Разрядник мульти-камерный на 10 кВ, для защиты от индуктированных перенапряжений (РМК-10-И);

На рис. 5 приведён разрядник, содержащий 40 газоразрядных камер (см. табл.1). Он может быть использован для защиты ВЛ 10 кВ от прямых ударов молнии (ПУМ), а также - ВЛ 20 кВ (с наибольшим линейным напряжением 24 кВ) от индуктированных перенапряжений. Для защиты ВЛ 20 кВ от индуктированных перенапряжений разрядники целесообразно устанавливать так же, как на ВЛ 10 кВ, т.е. по одному разряднику на опору с чередованием фаз (рис. 7).



Рис. 5. Разрядник мульти-камерный для защиты ВЛ 10 кВ от прямого удара молнии и ВЛ 20 кВ от индуктированных перенапряжений (РМК-10-П, 20-И).



При ПУМ в ВЛ среднего напряжения (СН) 10-20 кВ происходит перекрытие изоляторов всех трёх фаз на одной или нескольких опорах. Поэтому для надёжной защиты от ПУМ разрядники надо устанавливать параллельно каждому изолятору на ВЛ (или на тех участках ВЛ, которые требуется защитить от ПУМ) (см. рис.8).

На рис. 6 приведён разрядник, содержащий 120 разрядных камер, предназначенный для защиты ВЛ 20 кВ от ПУМ (см. табл.1). Принцип работы и схема установки разрядников на ВЛ аналогичны описанным ранее (см. рис.8).

Рис. 6. Разрядник мульти-камерный на 20 кВ, для защиты от прямого удара молнии (РМК-20-П).

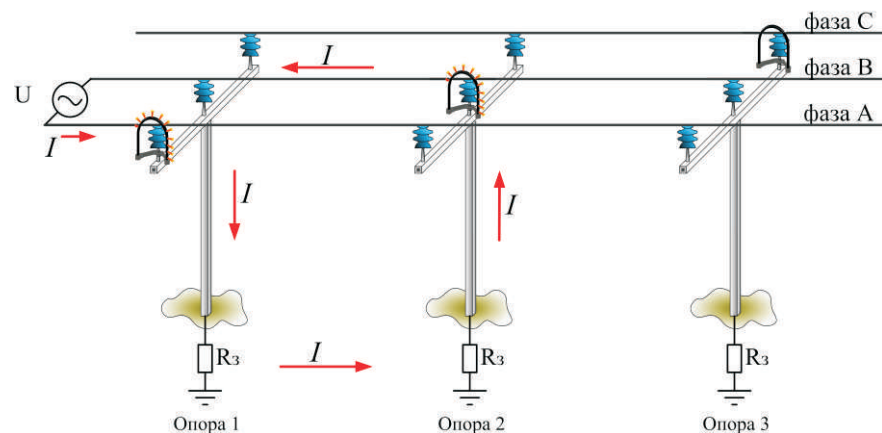


Рис. 7. Схема установки разрядников при защите от индуктированных перенапряжений.

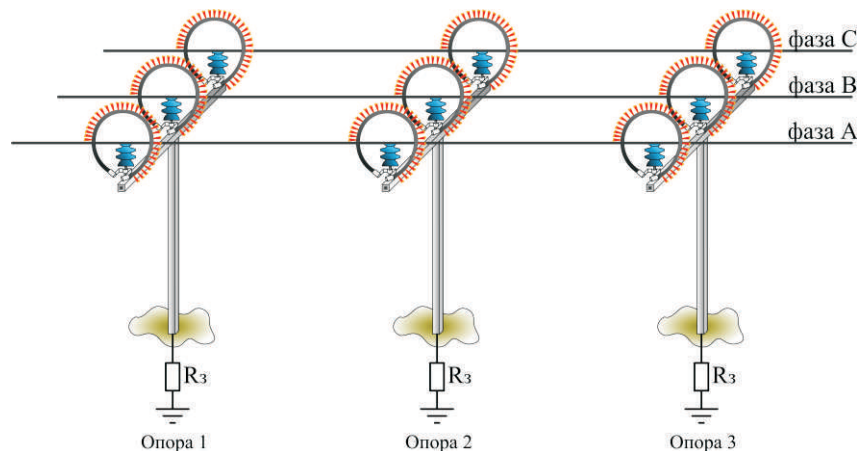


Рис. 8. Схема установки разрядников при защите от прямых ударов молнии.

3.2 РМК-35 кВ

В состав РМК входит МКС, несущий элемент, на котором она закреплена, и полимерный изолятор с разрядными стержнями, обеспечивающие искровой воздушный промежуток (см. рис.9 и 10).

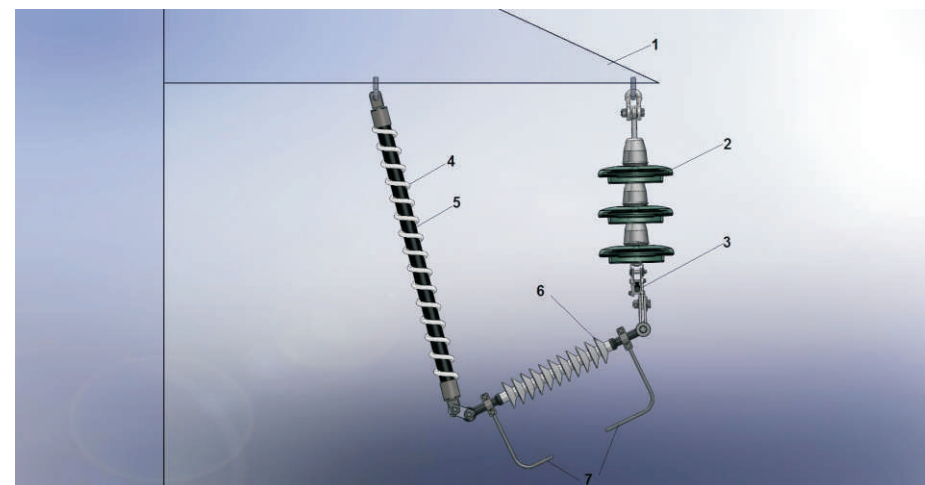


Рис. 9. РМК - 35 кВ на промежуточной опоре

1 - опора; 2 - изолятор; 3 - провод ВЛ; 4 - МКС; 5 - несущий элемент; 6 - полимерный изолятор; 7 - разрядные стержни.

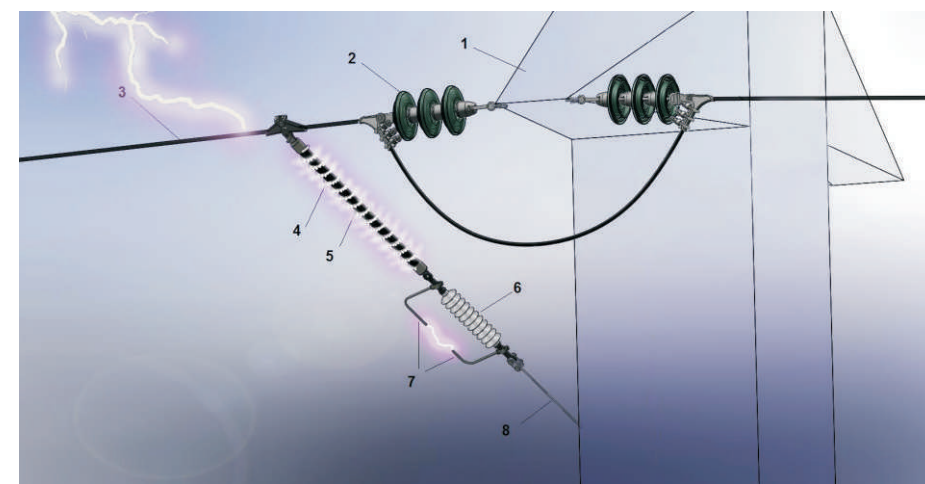


Рис. 10. РМК - 35 кВ на анкерной опоре

1 - опора; 2 - изолятор; 3 - провод ВЛ; 4 - МКС; 5 - несущий элемент; 6 - полимерный изолятор; 7 - разрядные стержни; 8 - проводник заземления разрядника.

Несущий элемент (рис. 11) выполнен в виде отрезка кабеля из полиэтилена со стеклопластиковым сердечником и металлическими оконцевателями. Наружный диаметр кабеля 50 мм. Кабель имеет два слоя: толстый слой из изоляционного полиэтилена и наружный слой, толщиной 2 мм, из светостабилизированного трекингостойкого полиэтилена. Стеклопластиковый стержень диаметром 8 мм запрессован в оконцеватели. Благодаря этому обеспечивается высокая механическая прочность разрядника. МКС устанавливается на несущий элемент по спирали.

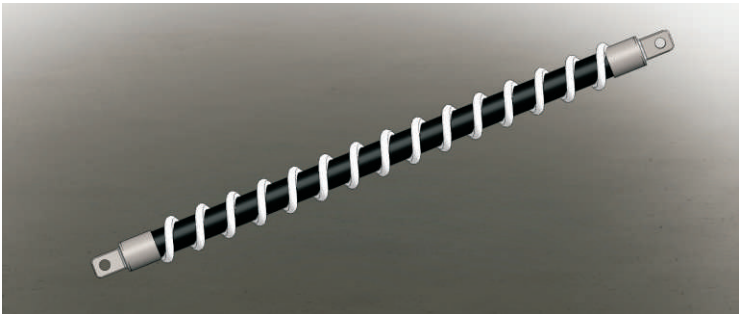


Рис. 11. Несущий элемент с МКС.

При воздействии перенапряжения на провод ВЛ, например при ПУМ (см. рис. 10), сначала срабатывает искровой воздушный промежуток между разрядными стержнями, установленными на полимерном изоляторе, а затем - МКС. Ток грозового перенапряжения отводится по проводнику заземления разрядника на опору, и далее - в землю. Благодаря высоким разрядогасящим характеристикам МКС ток гасится либо «в импульсе», либо «в нуле», и линия электропередачи продолжает работу без отключения. Основные технические характеристики РМК на 35 кВ приведены в табл. 1. На рис. 17 приведена фотография промышленной ВЛ 35 кВ в «Камышинских электрических сетях» ОАО «Волгоградэнерго» с РМК, установленными на крайних фазах.

Таблица 1. Технические характеристики разрядников.

Класс напряжения, кВ	10	10-20	20	35
Тип разрядника РМК-	10-И*	10-П**, 20-И	20-П	35-П
Число дуго - гасящих камер МКС	20	40	120	300
Импульсное 50 %-ное разрядное напряжение, не более, кВ - на положительной полярности - на отрицательной полярности	70 70	85 85	90 85	150 120
Число выдерживаемых импульсных воздействий при приложении импульсного напряжения 500 кВ и срабатывании разрядника, не менее	100	100	100	100
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, не менее, кВ - в сухом состоянии - под дождём	42 28	65 50	65 50	95 70
Многократно (10 воздействий) выдерживаемый импульсный ток 4/10 мкс, не менее , кА	100	100	100	100
Масса, кг	1	1,5	2,0	6
Срок службы, не менее, лет	30	30	30	30

Примечание: И - для защиты от индуктированных перенапряжений; П - для защиты от перенапряжений прямого удара молнии.

4. МУЛЬТИ-КАМЕРНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ-РАЗРЯДНИКИ (ИРМК)

На рис. 12 приведены фотографии ИРМК на основе стержневого фарфорового изолятора типа ПСФ70-3.0/05-05 УХЛ, широко применяемого для подвески контактной сети постоянного тока 3 кВ. МКС установлена по периметру одного из рёбер изолятора. Она занимает примерно три четверти окружности ребра. К левому концу МКС подходит верхний подводящий электрод, установленный на верхнем оконцевателе изолятора, а к правому - нижний электрод, установленный на нижнем оконцевателе. Между подводящими электродами и концами МКС имеются искровые воздушные промежутки.

При воздействии перенапряжения на ИРМК сначала пробиваются искровые воздушные промежутки, а затем - МКС. Ток грозового перенапряжения протекает от нижнего оконцевателя и его подводящего электрода через искровой канал нижнего искрового промежутка, затем - по МКС, и далее - через канал разряда верхнего искрового промежутка по верхнему подводящему электроду к верхнему оконцевателю. На участке кольца из силиконовой резины с МКС между подводящими электродами промежуточных электродов нет, и разряд развивается по МКС, занимающий примерно три четверти периметра ребра, а не между подводящими электродами.

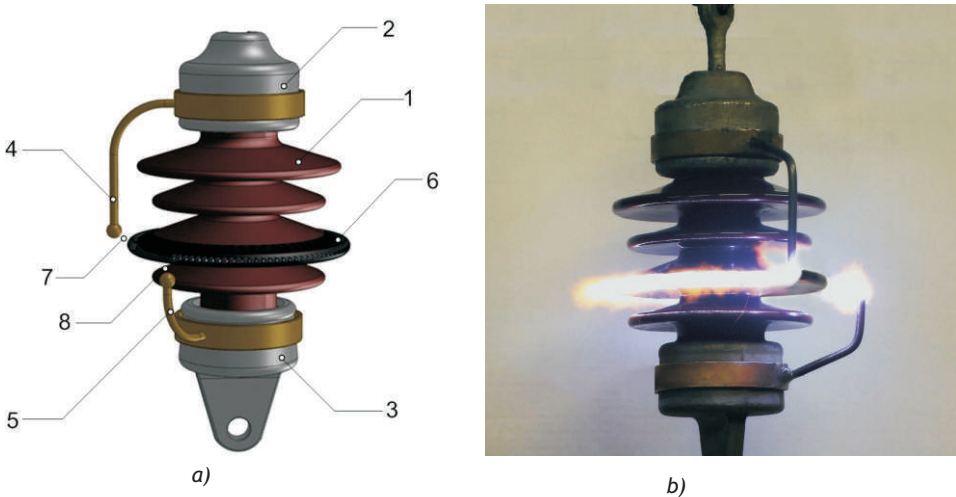


Рис. 12. Изолятор - разрядник мульти-камерный на основе изолятора ПСФ70-3.0/05-05 УХЛ для контактной сети постоянного тока 3 кВ железной дороги :
а) фото ИРМК; б) ИРМК при испытаниях.

1 - изоляционное тело; 2 - верхний оконцеватель; 3 - нижний оконцеватель;
4 - верхний подводящий электрод; 5 - нижний подводящий электрод;
6 - мульти- камерная система; 7 - верхний искровой разрядный промежуток;
8 - нижний искровой разрядный промежуток.

На рис. 13 схематически показан ИРМК, установленный для подвески контактной сети, при грозовом перекрытии.

При ударе молнии непосредственно в контактную сеть или в опору происходит перекрытие ИРМК, как это было описано выше. После окончания грозового перенапряжения и стекании его тока через опору в землю благодаря работе МКС происходит гашение разряда «в импульсе», т. е. без сопровождающего тока, и контактная сеть продолжает работу без отключения.

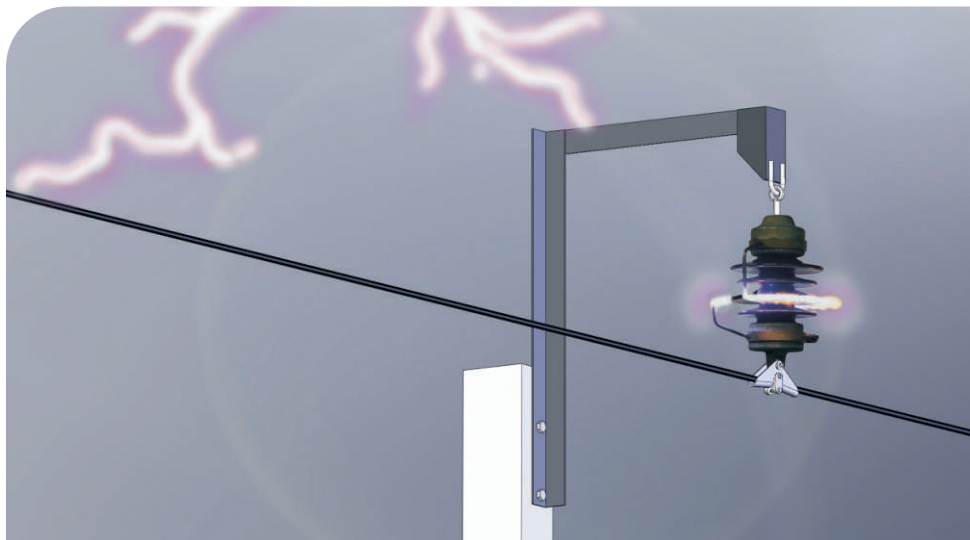


Рис. 13 Иллюстрация защиты контактной сети постоянного тока при помощи ИРМК.

На рис. 14 показан изолятор-разрядник мульти-камерный на основе штыревого изолятора SDI 37. Принцип его работы аналогичен ИРМК, показанному на рис. 12, но он предназначен для защиты ВЛ 6-20 кВ от индуктированных перенапряжений. Аналогично выполняется ИРМК на наиболее распространённом в России изоляторе ШФ20Г.



Рис. 14. Изолятор-разрядник мульти-камерный на основе изолятора SDI 37.

На рис. 15 показан изолятор-разрядник мульти-камерный на основе тарельчатого стеклянного изолятора типа U120AD (ИРМК- U120AD-IV-УХЛ1) при испытаниях на гашение сопровождающего тока, которое происходит в нуле.

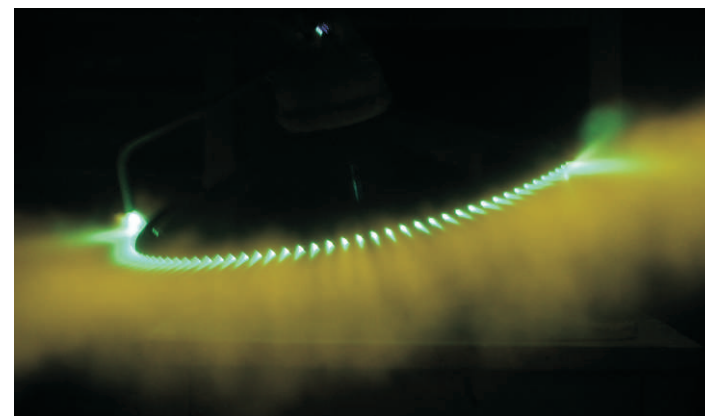


Рис. 15. ИРМК- U120AD-IV-УХЛ1 при испытаниях на гашение сопровождающего тока.

На рис. 16 приведена фотография гирлянды ИРМК для ВЛ 35 кВ при испытаниях грозовым импульсом.

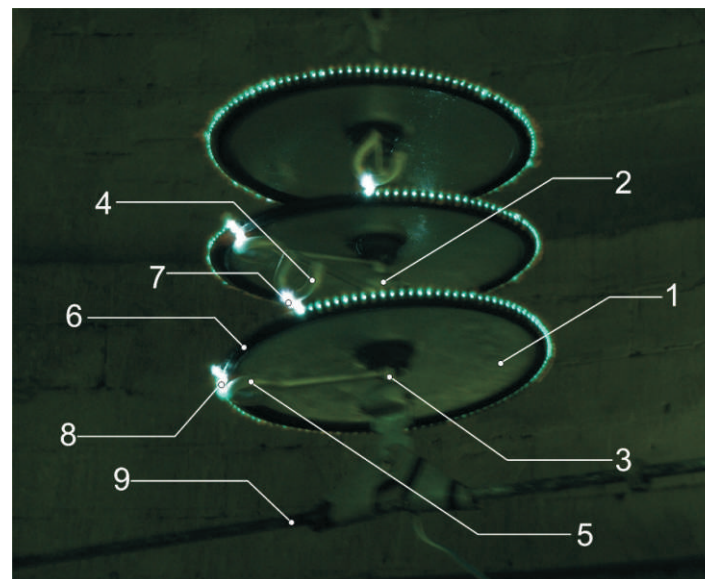


Рис. 16. Фотография гирлянды из трёх изоляторов-разрядников при испытаниях грозовым импульсом:

- 1 - тарельчатое изоляционное тело; 2 - шапка; 3 - пестик;
- 4 - верхний подводящий электрод; 5 - нижний подводящий электрод;
- 6 - мульти-камерная система; 7 - верхний искровой разрядный промежуток;
- 8 - нижний искровой разрядный промежуток; 9 - провод.

При воздействии перенапряжения на провод, а также на нижний подводящий электрод первого (от провода) изолятора, пробивается нижний искровой разрядный промежуток, и напряжение поступает на левый (по фотографии рис.16) край МКС. Она срабатывает, перекрывается верхний искровой воздушный промежуток между правым концом МКС и верхним подводящим электродом, и напряжение поступает на второй изолятор и т. д.

После срабатывания всех ИРМК в гирлянде ток грозового перенапряжения отводится через опору в землю, однако за ним протекает сопровождающий ток промышленной частоты. При переходе тока через ноль дуга гаснет, и линия продолжает бесперебойную работу без отключения и АПВ. В марте 2009 г. в «Камышинских электрических сетях» «Волгоградэнерго» в опытно - промышленную эксплуатацию установлена патия ИРМК-U120AD-IV-УХЛ1 в количестве 300 шт. (рис. 17).



Рис. 17. Промышленная ВЛ 35 кВ в «Камышинских электрических сетях» ОАО «Волгоградэнерго» с РМК, установленными на крайних фазах и ИРМК- на средней фазе.

5. Выводы:

1. Разработаны мульти-камерные системы (МКС), обеспечивающие гашение разряда после прохождения импульса грозового перенапряжения.
2. При малых напряжениях сети, например в контактной сети 3 кВ постоянного тока, МКС обеспечивает гашение разряда непосредственно по окончании импульса грозового перенапряжения, без сопровождающего тока.
3. Разработаны изоляторы-разрядники мульти-камерные (ИРМК), содержащие обычные изоляторы и МКС, установленные по периметру изоляционных тел, причём изоляционные свойства изоляторов при этом не ухудшаются.
4. С использованием ИРМК можно обеспечить надёжную защиту ВЛ 3-35 кВ и выше как от индуктированных перенапряжений, так и от прямых ударов молнии.