

Министерство угольной промышленности СССР

Восточный научно-исследовательский институт
по безопасности работ в горной промышленности

ВостНИИ

ВРЕМЕННЫЕ НОРМАТИВЫ
по грозозащите электроустановок угольных разрезов

gost.e-ecolog.ru

ВОСТОЧНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВостНИИ

ИРКУТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИПИ

СОГЛАСОВАНО
с Госгортехнадзором СССР
12 июня 1975 г.

УТВЕРЖДЕНО
Минуглепромом СССР
30 октября 1975г.

ВРЕМЕННЫЕ НОРМАТИВЫ

по грозозащите электроустановок угольных разрезов

Кемерово 1976

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

В В Е Д Е Н И Е 5

I. Область применения 6

2. Характеристики грозовой активности и критерии грозовой поражаемости 6

3. Обеспечение безопасности людей на открытых разработках при грозовых явлениях I0

4. Нормы грозозащиты карьерных электроустановок и распределительных сетей II

5. Нормы на заземление устройств грозозащиты I7

П Р И Л О Ж Е Н И Я:

I. РУКОВОДСТВО ПО ВЫБОРУ, МОНТАЖУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ГРОЗОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

2. ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ПО ГРОЗОЗАЩИТЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

В В Е Д Е Н И Е

Наземные разряды молнии опасны для жизни людей и наносят ущерб народному хозяйству вследствие разрушения линий электропередач, электросетевого оборудования и возникновения пожаров. Особую опасность представляет гроза на открытой местности и, в частности, на горных предприятиях, разрабатывающих месторождения открытым способом.

Основанием для разработки настоящих "Нормативов..." является:

- отсутствие в действующих "Правилах устройства электроустановок" рекомендаций по грозозащите передвижных карьерных электроустановок, которые, по мнению главного управления по эксплуатации энергосистем Минэнерго, являются специальными;

- отсутствие четких однозначных рекомендаций, определяющих действия обслуживающего персонала во время грозовых явлений. Например, § Э1Ш-9-22 ПТЭ и ПТБ электроустановок потребителей предписывает полное прекращение работы передвижных электроустановок во время грозы. Другими же нормативными документами (ЕПБ при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом; ПТЭ при разработке угольных и сланцевых месторождений открытым способом) запрещается при наступлении грозы производить работы лишь по ремонту заземленного оборудования и электрических сетей. Однако в обоих случаях "момент наступления грозы" при отсутствии приборов грозовой опасности является весьма неопределенным, что затрудняет заблаговременно принять эффективные меры по защите людей от поражения.

В связи с изложенным для специфических условий разрезов разработаны нормативы по грозозащите карьерных электроустановок и рекомендации по обеспечению безопасности обслуживающего персонала разрезов во время грозовых явлений.

I. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

I.I. Защита от грозовых перенапряжений на угольных разрезах должна осуществляться в соответствии с настоящими нормативами, а также с действующими правилами (ЕПБ при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом; ПУЭ; ПТЭ и ПТБ электроустановок потребителей) в той части, в которой они не противоречат настоящим нормативам.

I.2. Назначение грозозащиты состоит в снижении вероятности поражения людей при грозах и защите электрооборудования от опасных грозовых воздействий.

I.3. Рекомендации настоящих нормативов распространяются:

а) на карьерные распределительные устройства и подстанции;

б) на карьерные линии электропередач;

в) на электрооборудование передвижных электрифицированных агрегатов (ПЭА) экскаваторов, бурстанков и т.п., работающее на напряжении питающей сети;

г) на электрооборудование стационарных карьерных электроустановок (насосов, землесосов, вентиляторных установок и т.д.).

I.4. Грозозащита сетей и подстанций напряжением 35 кВ и более, не относящихся к внутрикарьерным, а также защита стационарных карьерных распределительных устройств и подстанций с высшим напряжением 35-II0 кВ осуществляется в соответствии с требованиями "Правил устройства электроустановок" и "Руководящих указаний по защите от перенапряжений электроустановок переменного тока 3-500 кВ".

I.5. Настоящие нормативы обязательны при проектировании строящихся и реконструируемых предприятий. Грозозащита на действующих карьерах должна приводиться в соответствие с настоящими нормативами в порядке, определяемом производственными объединениями.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ И КРИТЕРИИ ГРОЗОВОЙ ПОРАЖАЕМОСТИ

2.I. Основными характеристиками грозовой активности являются число поражений молнией I км^2 земной поверхности в год (удельная поражаемость) и число грозовых часов в год. В табл.I приводятся средние значения удельной поражаемости по СССР.

Таблица I

Удельная поражаемость земной поверхности

Число грозовых часов в год	Число ударов молний на I км² в год	Грозовая активность
Менее I0	0,5	Слабая
I0–20	I	-"-
20–40	2	Умеренная
40–60	3	-"-
60–80	4	Сильная
80–I00	5	-"-

Продолжительность гроз для районов основных угольных комбинатов приведена в табл.2.

Таблица 2

Интенсивность грозовой деятельности по производственным объединениям (комбинатам) угольной промышленности

Производственное объединение (комбинат), населенный пункт (город)	Число грозовых часов в год	Число грозовых дней в год	Число ударов молний на I км² в год
I	2	3	4
Башкируголь, Кумертау	38	25	2
Вахрушевуголь, Карпинск	38	25	2
Востсибуголь, Иркутск	20	I5	2
Грузуголь, Кутаиси	80	33	5
Дальвостуголь, Райчихинск	4I	23	3
Карагандауголь, Караганда	42	2I	3
Кизелуголь, Кизел	4I	23	3
Красноярскуголь, Красноярск	34	23	2
Кемеровоуголь, Кемерово	48	29	3
Новомосковскуголь, Новомосковск	74	32	4
Приморскуголь, Владивосток	I2	8	I
Ростовуголь, Шахты	40	24	3
Средазуголь, Ташкент	35	26	2
Тулауголь, Тула	74	32	4
Челябинскуголь, Челябинск	35	23	2

I	2	3	4
Экибастузуголь, Экибастуз	33	I8	2
Южкузбассуголь, Новокузнецк	48	29	3
Северовостокуголь, Магадан	I,5	I,3	0,5
Якутуголь, Якутск	I6	I3	I

2.2. Грозовая активность в горных районах более высокая. При практических расчетах для данной продолжительности гроз в районах с высотою 700 м над уровнем моря величины удельной поражаемости, взятые из табл.2, необходимо удвоить.

2.3. Сформировавшееся грозовое облако состоит из нескольких грозовых ячеек размером I–4 км в горизонтальной плоскости. Нижняя граница грозового облака располагается обычно на высоте 600–800 м над уровнем моря, верхняя – 4–7 км. Общий объем грозового облака составляет несколько кубических километров. Среднее число грозовых разрядов, генерируемое грозовой ячейкой за время ее существования (около 30 мин), равно I00–200. Грозовое облако обычно движется со скоростью 30–40 км/ч.

2.4. Усредненный суточный ход грозовой активности характеризуется послеполуденным максимумом (I5–I7 ч местного времени) и утренним минимумом (около 6–7 ч местного времени).

2.5. Основным критерием грозовой поражаемости объектов является среднее число прямых ударов молний (ПУМ) в рассматриваемый объект. Прямой удар молнии вызывает поражение объекта при непосредственном контакте с каналом грозового разряда. ПУМ является наиболее опасным видом грозового воздействия и вызывает перекрытие и пробой изоляции.

Среднее число ПУМ в год в линии электропередач подсчитывается по формуле

$$N_1 = 4\ell h \cdot T \cdot 10^{-4} \qquad (2.I)$$

где ℓ – длина линии, км;

h – средняя высота подвеса верхнего провода, м;

T – продолжительность гроз, часов в год.

В районах с умеренной грозовой активностью ПУМ в линии одного разреза общей длиной около 50 км достигает 3–5 раз в год.

2.6. Среднее число ПУМ в год в экскаваторы, бурстанки,КТП и т.п. определяется формулой

$$N_2 = (S + 3h_0)(L + 3h_0) \cdot N_{уд} \cdot 10^{-6}, \qquad (2.2)$$

где S, L, h_0 – соответственно длина, ширина и высота объекта;
$N_{уд}$ – среднее число поражений молнией I км^2 земной поверхности в год.

При наличии на разрезе n различных экскаваторов и бурстанков вероятность ПУМ хотя бы в один из них составит

$$P_{\Sigma} = \Sigma P_n . \qquad (2.3)$$

2.7. Атмосферные перенапряжения появляются не только при прямых ударах молнии в объекты. Значительно чаще возникают индуктированные перенапряжения (ИП), обусловленные близкими разрядами молнии (вследствие электростатической и электромагнитной индукции).

Величина индуктированных перенапряжений в воздушных ЛЭП может быть найдена по выражению

$$U_{инд.} = 25 \frac{I_м \cdot h}{b}, \qquad (2.4)$$

где h – высота подвеса проводов, м;
b – расстояние от воздушной ЛЭП до места удара молнии,м;
$I_м$ – амплитуда тока молнии, кА.

2.8. Основным критерием грозоупорности подстанций и передвижных электрифицированных агрегатов является число лет между появлениями двух последовательных перенапряжений, превышающих испытательное напряжение изоляции основного электрооборудования. Это число называется показателем грозоупорности объекта.

Показатель грозоупорности равен

$$M = \frac{1}{m}, \qquad (2.5)$$

где m – число случаев возникновения опасных грозовых перенапряжений на оборудовании объекта в год.

2.9. *Максимальное значение тока молнии, при котором грозовой* разряд еще не вызывает перекрытия изоляции, называется уровнем грозоупорности установки. Уровень грозоупорности электроустановок

не нормируется и служит только для сравнительной оценки.

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ НА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ ПРИ ГРОЗОВЫХ ЯВЛЕНИЯХ

3.I. Источниками повышенной опасности для людей при обслуживании карьерных электроустановок во время грозовых разрядов являются:

- импульсные напряжения прикосновения, возникающие на корпусах передвижного и стационарного оборудования, магистральных заземляющих проводах, местных заземлителях разрядников, приключательных пунктах;

- импульсные шаговые напряжения, возникающие на значительных площадях при ударах молнии в оборудование (экскаваторы, бурстанки и т.д.) или непосредственно в грунт.

3.2. Основным условием безопасности является прекращение работ, связанных с перемещениями людей в зоне ведения горных работ, прикосновениями к заземленному оборудованию, на ВЛ и кабелях и т.д. В связи с этим во время грозы запрещается выполнение работ:

- на воздушных линиях электропередач;

- в открытых распределительных устройствах;

- в закрытых распределительных устройствах на вводах и коммутационной аппаратуре, непосредственно присоединенной к воздушным линиям;

- на контактных сетях электрифицированного карьерного транспорта;

- на линиях связи и телемеханики;

- на заземляющих устройствах и на расстоянии ближе IOOм от них;

- на стрелах экскаваторов, на копрах буровых станков,на смотровых вагонетках и на расстоянии ближе IOO м от них;

- на рельсовых путях железных дорог.

Запрещается также размотка и переноска кабелей, присоединенных к распределительным устройствам; электросварочные работы вне помещения; работы с гидромониторами при ручном (недистанционном) управлении ими и работа передвижных электроустановок (буровых станков, экскаваторов и т.д.).

В порядке отдельных исключений может быть допущена работа

экскаваторов во время грозы при выполнении следующих условий:

- экскаваторы должны быть оборудованы грозозащитой в соответствии с п.4.3;

- экипажи экскаваторов (машинисты, помощники машинистов, мотористы, смазчики и т.д.) должны находиться внутри экскаваторов;

- работы в экскаваторах, связанные с осмотром и ремонтом электрооборудования, не допускаются. Разрешается лишь управление работой экскаваторов;

- вход и выход экипажа из экскаватора ограничен.

Разрешение на работу экскаваторов во время грозы должно письменно оформляться распоряжением главного инженера предприятия с указанием мероприятий по безопасности.

3.3. Выполнение требований по ограничению работ обеспечивает безопасность людей при условии достаточной заблаговременности получения информации о приближении грозы и возможности принятия мер к отводу людей из опасной зоны. Поэтому должны быть приняты меры по оснащению разрезов регистраторами грозовой опасности (РГО).

3.4. Временно, до освоения промышленного выпуска РГО, начало грозы должно определяться по первым отдаленным раскатам грома. Информация о грозовой опасности должна немедленно передаваться диспетчером к местам работы по каналам внутрикарьерной связи. Непосредственно горные участки должны быть оборудованы эффективными средствами оповещения о наступлении грозовой опасности всех работающих.

Окончание грозы определяется по РГО, а при их отсутствии - по прекращению грозовых разрядов либо по удалению грозы на такое расстояние, когда не слышны раскаты грома.

4. НОРМЫ ГРОЗОЗАЩИТЫ КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

4.I. Защита карьерных распределительных сетей напряжением 6-I0 кВ

4.I.I. Требования данного раздела распространяются на воздушные и кабельные линии электропередач карьеров напряжением 6-I0кВ.

4.I.2. Для повышения грозоупорности стационарных (не передвижных) сетей напряжением 6-I0 кВ необходима защита следующих мест с ослабленной изоляцией:

а) в районах со слабой и умеренной грозовой активностью:

- переходов воздушная линия-кабель;

– пересечений с другой электрической линией либо с линией связи;

б) в районах с сильной грозовой активностью, кроме вышеуказанных мест ослабления изоляции, должны защищаться:

– линейные разъединители;

– места перехода с опор одного типа (деревянных) на опоры другого типа (металлические, железобетонные).

4.I.3. Защита воздушных линий электропередач от прямых ударов молнии не требуется.

4.I.4. Места перехода с воздушной ЛЭП на кабель должны защищаться одним комплектом трубчатых разрядников, устанавливаемых на опоре перехода.

При наличии на воздушной линии электропередачи (ЛЭП) кабельной вставки последняя защищается двумя комплектами трубчатых разрядников (по одному с каждой стороны).

4.I.5. На пересечениях воздушных линий (ВЛ) с деревянными опорами должны устанавливаться трубчатые разрядники на обеих пересекающихся ВЛ. При работе линий с АПВ допускается замена разрядников защитными промежутками.

Установка трубчатых разрядников не требуется, если расстояние по вертикали между пересекающимися ВЛ превышает 5 м при пересечении с ВЛ напряжением 35–IIC кВ и 4 м – при пересечении с ВЛ напряжением до 20 кВ.

Если расстояние от места пересечения до ближайших опор пересекающихся ВЛ не более 40 м, разрядники или защитные промежутки устанавливаются только с одной стороны на ближайших опорах.

4.I.6. На деревянных опорах ВЛ, ограничивающих пересечения с линиями связи и сигнализации, если расстояние по вертикали между ними менее 4 м, должны устанавливаться трубчатые разрядники или защитные промежутки.

4.I.7. Разъединители на ВЛ должны защищаться со стороны источника питания комплектом трубчатых разрядников. На линиях с двусторонним питанием защита разъединителя должна выполняться двумя комплектами разрядников (по одному комплекту с каждой стороны).

4.I.8. Места перехода с деревянных опор на железобетонные и металлические должны быть защищены трубчатыми разрядниками на первых железобетонных или металлических опорах.

4.I.9. В процессе эксплуатации ВЛ с деревянными опорами мо-

гут выявиться отдельные участки с повышенной грозопоражаемостью. На этих участках рекомендуется установка трубчатых разрядников через каждые 2-3 опоры.

4.I.I0. Для ВЛ на передвижных опорах защиту от грозовых перенапряжений следует выполнять исходя из срока службы (или срока между передвижками) линии: более двух лет - как для стационарных сетей; менее двух лет - упрощенно (требуется лишь выполнение пп. 4.I.5, 4.I.6). При этом допускается вместо трубчатых использовать вентильные разрядники.

4.2. Защита передвижных карьерных трансформаторных подстанций и распределительных устройств

4.2.I. К передвижным комплектным трансформаторным подстанциям (КТП), распределительным устройствам (РУ) относятся передвижные КТП 35-6 кВ, предназначенные для питания крупных экскаваторов; КТП 6-I0/0,69 кВ, 6-I0/0,4-0,23 кВ, предназначенные для питания буровых станков и других передвижных агрегатов.

4.2.2. Передвижные подстанции с мощностью трансформаторов более I600 кВА и открытие РУ должны оборудоваться защитой от прямых ударов молнии с помощью стержневых молниеотводов.

4.2.3. Передвижные подстанции с мощностью трансформатора I600 кВА и менее, а также закрытые РУ не требуют защиты от прямых ударов молнии.

4.2.4. Защита передвижных подстанций от волн перенапряжений, набегающих с линий, должна осуществляться по схемам, приведенным на рис. I,а,б.

При этом следует учитывать, что основным элементом защиты передвижных подстанций и РУ является вентильный разрядник (РВ). На надежность защиты существенное влияние оказывает расстояние от места установки РВ до оборудования.

Каждому расстоянию между РВ и защищаемым оборудованием в РУ соответствует определенная длина пробега волны по ВЛ (опасная зона), после которой эта волна становится безопасной для изоляции оборудования, а удары молний вне опасной зоны не представляют угрозы для оборудования подстанций.

Защита подходов ВЛ напряжением 6-35 кВ от прямых ударов молнии в карьерных распределительных сетях, питающих передвижные

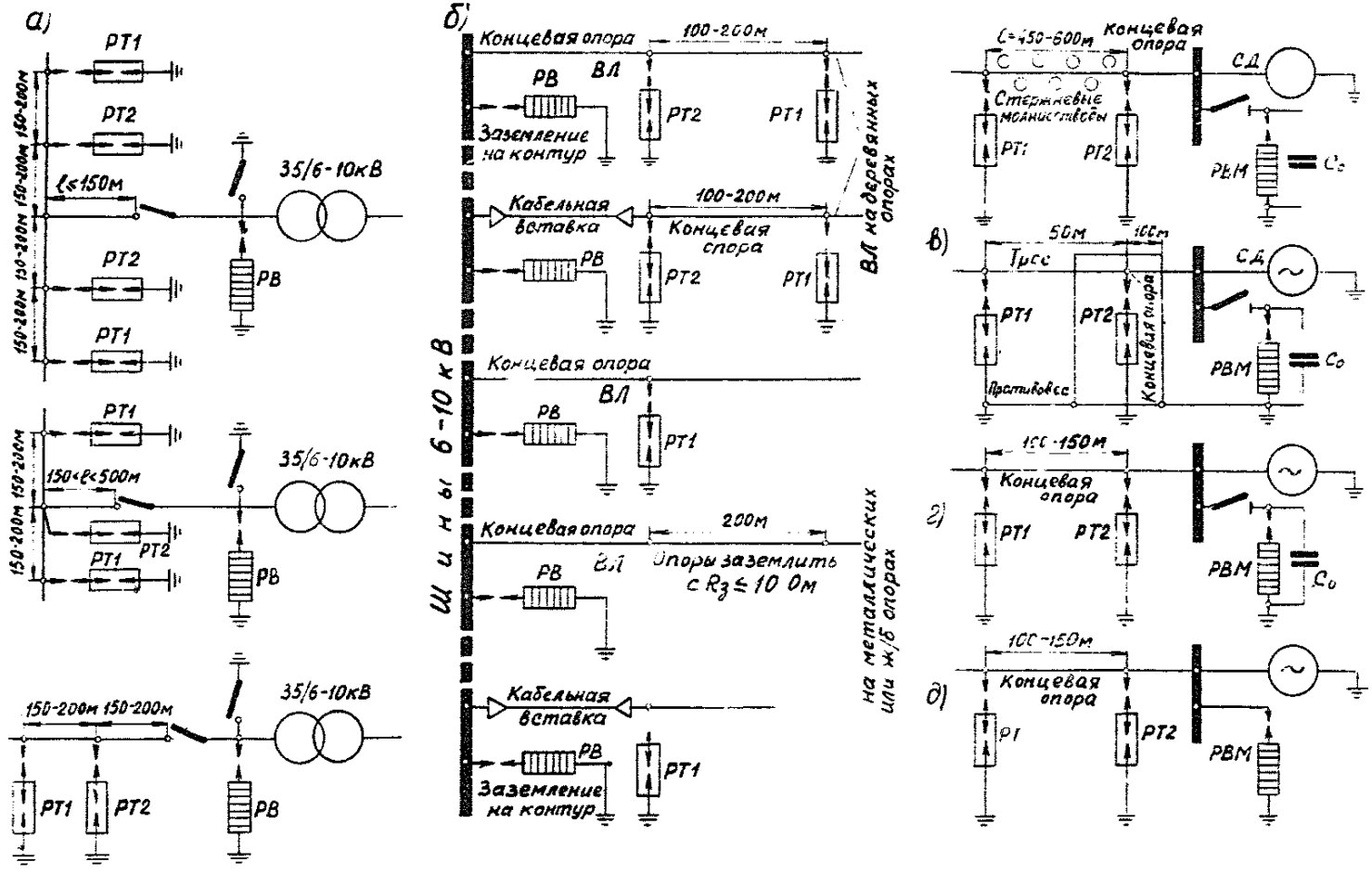


Рис.I. Схемы грозозащиты карьерных электроустановок:
а,б) – подстанций 35/6 кВ со стороны высшего и низшего напряжения;
в,г,д) – двигателей установок гидромеханизации

трансформаторные подстанции и РУ, не предусматривается ввиду того, что расстояние между разрядником и оборудованием мало и напряжение на оборудовании практически не отличается от напряжения на разряднике.

4.2.5. Защита мачтовых подстанций и передвижных КТП с мощностью трансформаторов 630 кВА и менее и вторичным напряжением 220–380 В осуществляется по упрощенной схеме – установкой только комплекта вентильных разрядников на сборке у трансформатора или на вводе. При этом замена вентильных разрядников на трубчатые не допускается.

4.2.6. Трансформаторные подстанции 6–I0/0,22–0,38 кВ, работающие на ВЛ длиной более 500 м, должны защищаться со стороны низшего напряжения установкой низковольтных вентильных разрядников типа РВН–0,5, РВН–0,25, АВН–I, АВН–2, присоединяемых к шинам РУ низшего напряжения.

4.3. Защита вращающихся машин передвижных электрифицированных агрегатов (ПЭА)

4.3.I. Рекомендации данного раздела распространяются на передвижные электроустановки, работающие (не отключаемые) во время грозы. Передвижные электрифицированные агрегаты, отключаемые во время грозы, устройствами грозозащиты не оборудуются.

4.3.2. Надежные схемы грозозащиты ПЭА можно было бы получить при комбинированном использовании трех основных элементов: машинных вентильных разрядников (РВМ) на зажимах машин, трубчатых (РТ) и вентильных (РВ) разрядников на подходе участков воздушных линий и кабельных вставок.

Разрядники РВМ ограничивают напряжение на главной изоляции машин; разрядники РТ и РВ на подходе отводят основную часть тока молнии; кабельные вставки ограничивают долю тока молнии, проходящего через РВМ, и вытесняют его на другие пути (РТ,РВ, оболочки кабелей).

Кроме того, для улучшения условий защиты главной изоляции нейтрали и витковой изоляции начала обмотки применяется еще один элемент схемы грозозащиты – защитная емкость на шинах.

Комплекс перечисленных мер защиты позволяет довести показатель грозоупорности машин до I00 лет.

Для карьерных ПЭА, срок службы которых не превышает I0–I5 лет, проектировать указанную грозоупорность не имеет смысла. Более то-

го, выполнение отдельных вышеперечисленных мер грозозащиты применительно к ПЭА оказывается технически затрудненным.

В связи с изложенным предлагаются упрощенные схемы грозозащиты ПЭА, обеспечивающие показатель грозоупорности в пределах, указанных в табл.3.

Таблица 3

Показатели грозоупорности ПЭА

Наименование П Э А	M, лет
Экскаватор с объемом ковша, $м^3$:	
Более I0	I0
5–I0	5
Менее 5	6
Буровые установки с приводом напряжением выше I000 В	8
Роторные экскаваторы	I0
Транспортно-отвальные мосты	I0

4.3.3. Грозозащиту одноковшовых экскаваторов, питающихся по гибким экскаваторным кабелям, рекомендуется выполнять по следующим схемам:

а) при емкости ковша I5$м^3$ и более – комплектом машинных вентильных разрядников, устанавливаемых непосредственно на шинах экскаваторного распредустройства, и вторым комплектом вентильных разрядников на приключательном пункте;

б) при емкости ковша менее I5 $м^3$ – одним комплектом вентильных разрядников на приключательном пункте.

4.4. Защита вращающихся машин, присоединенных непосредственно к воздушным линиям

4.4.I. Защита вращающихся машин (насосы и землесосы установок гидромеханизации, насосы водоотливных установок и т.п.), присоединенных к воздушным линиям напряжением 6–I0 кВ непосредственно или через короткие (до 50 м) кабельные вставки, должна осуществляться с учетом грозовой активности и мощности двигателей.

4.4.2. В районах с сильной грозовой активностью и при сум-

марной мощности двигателей более 1000 кВт (подключенных в одном месте и одновременно работающих) целесообразно осуществлять защиту согласно рис.1,в. Показатель грозоупорности таких схем равен

$$M = \frac{350}{T},$$

где T – число грозочасов в год.

В зависимости от местных условий схема с воздушным подходом может быть выполнена с защитой подхода отдельно стоящими молниеотводами или тросами. В схеме (рис.1,в) с защитой подхода тросами защитный угол тросов α должен быть не более 30°.

4.4.3. В районах с сильной грозовой активностью, но при суммарной мощности двигателей менее 1000 кВт, а также в районах с умеренной и слабой грозовой активностью и суммарной мощностью двигателей 3000 кВт и более рекомендуется выполнять грозозащиту по упрощенной схеме (рис.1,г) без защиты подхода от ПУМ.

4.4.4. В районах с умеренной и слабой грозовой активностью при суммарной мощности двигателей менее 3000 кВт грозозащита может выполняться без установки защитных емкостей (рис.1,д).

4.4.5. Двигатели напряжением до 1000 В, присоединенные непосредственно к ВЛ, специальной защиты не требуют, если длина ВЛ, питающей двигатели, не превышает 500 м. При длине питающей ВЛ более 500 м на концевой опоре необходима установка искрового разрядника с зазором 7–10 мм.

5. НОРМЫ НА ЗАЗЕМЛЕНИЕ УСТРОЙСТВ ГРОЗОЗАЩИТЫ

5.1. Сопротивление заземляющих устройств трубчатых разрядников, устанавливаемых в карьерных распределительных сетях напряжением 6–10 кВ, не должно превышать значений, приведенных в табл.4.

Таблица 4

Сопротивление заземляющих устройств грозозащиты при токе промышленной частоты (для условий измерения в летнее время)

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Предельно допустимое значение сопротивления заземляющего устройства, Ом
Менее 100	10
100–500	15
500–1000	20
Более 1000	30

5.2. На воздушных линиях подлежат заземлению:

а) железобетонные и металлические опоры;

б) соответствующие части устройств грозозащиты.

Сопротивления заземляющих устройств должны соответствовать данным табл.4.

5.3. Сечение каждого из заземляющих спусков на опоре ВЛ должно быть не менее 25 мм^2, а для однопроволочных - диаметром не менее 6 мм. На ВЛ с деревянными опорами рекомендуется болтовое соединение заземляющих спусков; на металлических и железобетонных опорах соединение заземляющих спусков может быть как сварным, так и болтовым.

5.4. Заземляющие устройства ВЛ, как правило, должны находиться на глубине не менее 0,5 м, а в пахотной земле на глубине I м. В случае установки опор в скальных грунтах с толщиной разборного слоя $\simeq$ 0,I м допускается прокладка лучевых заземлителей непосредственно под разборным слоем над скальными породами. При меньшей толщине этого слоя или при его отсутствии рекомендуется прокладка заземлителей по поверхности с заливкой их цементным раствором.

5.5. Сопротивление заземления в цепи спусков на опорах линий связи и сигнализации, ограничивающих пролет пересечения с воздушной ЛЭП, не должно превышать 30 Ом.

5.6. Для защиты от проникновения грозовых перенапряжений во временные и постоянные здания на разрезах должны быть заземлены штыри и крюки фазных проводов. Расстояния между заземлителями должны быть не более 200 м для районов с числом грозовых часов в году от I0 до 40 и I00 м - с числом грозовых часов в год более 40.

На опоре ответвления к зданию необходима установка искровых промежутков. Сопротивление заземляющих устройств в цепях искровых промежутков должно быть не более 30 Ом.

5.7. Вентильные разрядники, устанавливаемые на приключательных пунктах ПЭА (см.п.4.3.3), а также на вводах КТП и мачтовых киосков (см.п.4.2.5.) должны быть изолированы от корпусов оборудования и заземлены на местный контур с сопротивлением, не превышающим данных табл.4. Соединение этого заземлителя с магистральным проводом общекарьерной сети заземления не допускается.

5.8. В схемах грозозащиты стационарных двигателей, непосредственно подключенных к ВЛ (см.п.4.4), заземление устройств гро-

зозащиты должно выполняться на контуры, металлически не связанные с контуром защитного заземления установки.

5.9. Заземлители устройств грозозащиты, перечисленные в пп. 5.I; 5,2; 5,5; 5.6, не допускается подключать к магистральному проводу общекарьерной сети заземления.

5.IO. В воздушных сетях напряжением ниже IOOO В на железобетонных опорах крючья и штыри фазных проводов и арматура опор должны быть заземлены. Заземляющий спуск на опоре ВЛ должен быть диаметром не менее 6 мм, сопротивление заземляющих устройств не более 50 Ом.

Приложение I

Р У К О В О Д С Т В О

по выбору, монтажу и эксплуатации средств грозозащиты электроустановок угольных разрезов

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. Порядок выбора трубчатых и вентильных разрядников 3

II. Установка разрядников на защищаемых объектах 7

III. Эксплуатация и профилактические испытания разрядников ... II

IУ. Устройство защитных промежутков 20

У. Выбор, установка и эксплуатация защитных емкостей 20

УI. Расчет, устройство и эксплуатация стержневых и тросовых молниеотводов 23

УII. Расчет, устройство и эксплуатация заземлений для устройств грозозащиты 34

УIII. Принцип действия, устройство и эксплуатация регистраторов грозовой опасности 40

I. ПОРЯДОК ВЫБОРА ТРУБЧАТЫХ И ВЕНТИЛЬНЫХ РАЗРЯДНИКОВ

I. Отечественной промышленностью выпускаются три серии трубчатых разрядников:

РТФ – разрядник трубчатый фибробакелитовый;

РТВ – разрядник трубчатый винипластовый;

РТВУ – разрядник трубчатый винипластовый, усиленный.

Рабочие характеристики трубчатых разрядников приведены в табл.I.

В маркировке разрядников в числителе указывается номинальное напряжение (кВ), в знаменателе – нижний и верхний пределы отключаемых токов (кА).

Разрядники серий РТВ и РТВУ как более совершенные по конструкции и надежные в работе рекомендуется применять в схемах защиты станций и подстанций; трубчатые разрядники серии РТФ – для защиты изоляции линий.

2. Выбор трубчатых разрядников заключается в следующем:

а) в зависимости от места установки определяется тип разрядника (РТФ и РТВ для защиты линий, РТВ, РТВУ для защиты оборудования и подстанций);

б) напряжение выбранного разрядника должно соответствовать линейному напряжению защищаемой сети (установки);

в) верхний предел отключаемого (обрываемого) разрядником тока должен быть не менее максимального значения тока короткого замыкания в месте его установки, т.е.

$$I_{к.з.макс} \leq I_{р.т.макс},$$

где $I_{к.з.макс}$ – действующее значение симметричного тока трехфазного к.з. в первый полупериод, умноженное на коэффициент К=I,3, учитывающий апериодическую слагающую тока;

$I_{р.т.макс}$ – верхний предел отключаемого разрядником тока;

г) нижний предел отключаемого разрядником тока должен быть не более минимального значения тока короткого замыкания, т.е.

$$I_{к.з.мин} \geq I_{р.т.мин},$$

где $I_{к.з.мин}$ – действующее значение тока симметричного двухфазного к.з. в первый полупериод без учета апериодической слагающей;

$I_{р.т.мин}$ – нижний предел отключаемого разрядником тока.

Таблица I

Характеристики трубчатых разрядников

Тип разрядника	Номинальное напряжение, кВ	Предельные отключаемые токи, кА		Длина искровых промежутков, мм		Разрядное напряжение при 50 Гц, кВ		Импульсное минимальное разрядное напряжение при волне I,5/40 мкс	
		нижний	верхний	внутреннего	внешнего	сухое	мокрое	полярность +	полярность –
РТВ-3/0,2-I,5	3	0,2	I,5	40	5-I0	I0	7	35	40-45
РТФ-3/I,5-7	3	I,5	7,0	40	5-I0	I0	7	35	40-45
РТФ-6/0,3-7	6	0,3	7,0	I30	8-I5	42	30	60-80	60-80
РТФ-6/I,5-I0	6	I,5	I0,0	80	8-I5	29	24	55-70	55-70
РТФ-I0/0,5-7	I0	0,5	7,0	I30	I5	45	35	80	80
РТФ-35/0,8-5	35	0,8	5,0	I75	I00	I05	75	I95	I95
РТФ-35/0,4-3	35	0,4	3,0	I75	I00	I05	85	I80	I90
РТФ-35/I,8-I0	35	I,8	I0	I40	I00	95	85	I70	I70
РТВ-6-I0/0,5-4	6-I0	0,5	4	62	I0-I5	33-42	32-40	60-65	60-65
РТВ-6-I0/2-I2	6-I0	2	I2	60	I0-I5	33-42	32-40	60-65	60-65
РТВ-I5/2-I2	I5	2	I2	80	25	55	45	90	90
РТВ-20/2-I2	20	2	I2	I00	40	65	55	II5	II5
РТВ-35/2-I0	35	2	I0	I40	I00	I00	85	I65	I65
РТВУ-35/5-20	35	5	20	I40	I00	I00	85	I65	I65
РТВУ-35/7-30	35	7	30	–	I00	I00	85	I65	I65

3. Учитывая, что в процессе эксплуатации внутренний диаметр разрядника увеличивается из-за выгорания трубки и весь диапазон отключаемых токов смещается в сторону больших значений, целесообразно во всех случаях выбирать разрядники таким образом, чтобы величина тока короткого замыкания лежала ближе к верхнему пределу обрываемых разрядником токов.

4. При выборе трубчатых разрядников для сети с изолированной нейтралью следует иметь в виду, что весьма малые токи, соответствующие значениям тока однофазного замыкания на землю, гасятся разрядниками, хотя это и не указано в их паспортных данных. Так, разрядники на 20 и 35 кВ отключают емкостные токи до I5 А, а разрядники на 6 и I0 кВ - до 80-90А.

5. Выбор серии и типа вентильных разрядников производится в соответствии с их назначением по виду защищаемого оборудования и уровнем рабочего напряжения.

Для защиты изоляции вращающихся машин должны применяться разрядники серий РВМ и РВВМ. Причем для вновь оборудуемых или сооружаемых электроустановок необходимо применять разрядники с магнитным гашением дуги серии РВМ.

Для защиты изоляции трансформаторов и электросетевого оборудования с напряжением 3-I0 кВ применяются разрядники серии РВП, а также допускается использовать вентильный разрядник РС-I0 (только при напряжении I0 кВ).

Изоляцию оборудования напряжением I5-35 кВ следует защищать разрядниками серии РВС.

Электрические характеристики и назначение каждой серии вентильных разрядников приведены в табл.2.

6. Характеристики вентильных разрядников перечисленных серий скоординированы с изоляцией отечественных электрических машин и аппаратов.

В случае применения электроустановок с облегченной изоляцией либо импортных необходимо выполнять проверку соответствия характеристик разрядников и защищаемой изоляции.

В основу проверки соответствия характеристик вентильных разрядников и изоляции положена следующая методика:

а) заводские импульсные испытательные напряжения полной волной при испытании без возбуждения внутренней изоляции трансформаторов 3-35 кВ, остающиеся напряжения вентильных разрядников при

Таблица 2

Характеристики вентильных разрядников

Тип	Наименование	Назначение	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее допустимое напряжение, кВ, эфф.	Пробивное напряжение при промышленной частоте, кВ, эфф.		Импульсное пробивное напряжение, кВ (не более)	Остающееся напряжение на разряднике, кВ, при импульсном токе с длиной фронта волны 10 мкс	
					не более	не более		амплитуда 3кА	амплитуда 5кА
РВП-3	Разрядник вентильный подстанционный облегченной конструкции	Для защиты оборудования подстанций и отдельных электроустановок от атмосферных перенапряжений	3	3,8	9	II	2I	I5	I6
РВП-6			6	7,6	I6	I9	35	28	30
РВП-I0			I0	I2,7	26	30,5	50	47	50
РС-I0	Разрядник вентильный	Для защиты изоляции электрооборудования сельских установок напряжением I0 кВ	I0	I2,7	26	30,5	50	-	45
РВС-I5	Разрядник вентильный станционный	Для защиты подстанционного оборудования и электроустановок при рабочем напряжении I5 кВ и более	I5	I9	38	48	70	57	6I
РВС-20			20	25	49	60,5	85	75	80
РВС-35			35	40,5	78	98	I25	I22	I30
РВВМ-3	Разрядник вентильный для вращающихся машин	Для защиты изоляции вращающихся машин напряжением до I0 кВ	3	3,8	7,5	9,5	II	II	I2
РВВМ-6			6	7,6	I5	I8	2I	2I	22,5
РВВМ-I0			I0	I2,7	25	30	35	35	37,5
РВМ-3	Разрядник вентильный с магнитным гашением дуги с улучшенными (по сравнению с разрядниками серии РВВМ) защитными характеристиками	Для защиты вращающихся машин напряжением 3-35 кВ	3	3,8	7,5	9,5	8	9	9,5
РВМ-6			6	7,6	I5	I8	I5,5	I7	I8
РВМ-I0			I0	I2,7	25	30	25,5	28	30
РВМ-I5			I5	I9	35	43	57	47	5I
РВМ-20			20	25	47	56	74	62	67
РВМ-35			35	40,5	75	90	II6	97	I05

импульсном токе 5 кА и номинальное линейное напряжение сети должны удовлетворять соотношению

$$U_{пв} = (1{,}1\,U_{5кА} + 15)\cdot 1{,}1 + \frac{U_н}{2},$$

где $U_{пв}$ – в киловольтах максимальных;

$U_{5кА}$ – при длине фронта волны 10 мкс, в киловольтах максимальных; $U_н$ – в киловольтах действующих;

б) испытательное напряжение промышленной частоты внутренней изоляции силовых трансформаторов (одноминутное, при испытании на заводе) и пробивное напряжение промышленной частоты вентильного разрядника (верхний предел) должны удовлетворять соотношению

$$U_{исп(1мин)} \geq \frac{U_{р50}}{1{,}21},$$

где $U_{исп(1мин)}$ и $U_{р50}$ – в киловольтах действующих.

П. УСТАНОВКА РАЗРЯДНИКОВ НА ЗАЩИЩАЕМЫХ ОБЪЕКТАХ

7. Все трубчатые разрядники подключаются к сети через внешний (отделительный) искровой промежуток, величина которого для сетей с изолированной нейтралью должна быть в следующих пределах: для сетей с $U_н$ =3; 6; 10; 15; 20; 35 кВ соответственно 8; 10; 15; 25; 40; 100 мм.

8. Как правило, трубчатые разрядники должны устанавливаться с общим для всех фаз заземлением. При установке разрядников на опоре с тросом их заземление объединяется с заземлением троса на данной опоре. При установке на вводах подстанций разрядники присоединяются к заземлению подстанции. Если величина тока короткого замыкания превосходит верхний предел отключаемых разрядником токов, допускается применение схемы включения с раздельным заземлением фаз (т.е. каждый разрядник заземляется на отдельный контур).

9. Закрепление трубчатых разрядников серии РТФ на опорах линий электропередач с номинальным напряжением 15 кВ и выше допускается только за закрытый конец. При необходимости закрепления разрядника за открытый конец следует учитывать, что верхний предел отключаемых токов при этом снижается в 1,5 раза.

Разрядники серии РТФ на 3;6 и 10 кВ допускается закреплять как за закрытый, так и за открытый концы.

10. При срабатывании трубчатого разрядника у открытого конца образуется зона выхлопа ионизированных газов и пламени (рис.1). Поэтому разрядники должны устанавливаться таким образом, чтобы зоны выхлопа не пересекались, а границы зон выхлопа находились на высоте не менее 3 м от земли или от опорной конструкции.

11. Для предотвращения возможности скопления влаги во внутренней полости разрядника его следует устанавливать открытым концом вниз вертикально или наклонно под углом не менее 15-20° к горизонту. В местах, где разрядники подвержены интенсивному загрязнению, для уменьшения осадков и улучшения условий самоочистки рекомендуется принимать угол наклона не менее 45°.

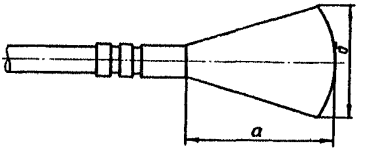


Рис.1. Расчетная зона выхлопа трубчатого разрядника:
а=1,5 м; б=1м при Ин=3-10 кВ
а=2 м; б=1,5м при Ин=20 кВ
а=2,5 м; б=1,5м при Ин=35 кВ

12. Конструкция установки разрядника должна обеспечивать стабильность его внешнего искрового промежутка.

13. Крепление разрядника к опоре должно быть прочным, исключающим возможность вибрации, и простым, позволяющим легко производить его установку и замену.

Расположение разрядника на опоре должно позволять производить его осмотр снизу. Крепление разрядников на деревянных опорах должно производиться полухомутами, охватывающими траверсы и стойки опоры полностью.

Крепление разрядника к консоли или полухомуту, охватывающему траверсу или стойку опоры, должно производиться двумя скобками, укладываемыми в канавки наконечника разрядника. После закрепления

разрядника резьбу скоб и гайки, крепящих разрядник, надлежит смазать атмосферной противокоррозийной смазкой.

14. Спуски к заземлителям от разрядников, установленных на деревянных опорах, должны иметь сечение не менее 25 мм^2, а однопроволочные - диаметр не менее 6 мм. Заземляющие спуски от трубчатых разрядников, установленных на деревянных опорах с тросами, должны иметь болтовые зажимы для отсоединения заземления при измерениях сопротивления заземляющего контура.

15. Внешний искровой промежуток разрядников устанавливается при помощи шаблона. Регулировка промежутка производится перемещением разрядника в месте его закрепления на опоре или изменением длины и положения электродов. После установки требуемой величины искрового промежутка производится окончательное закрепление разрядника на опоре. При этом нужно следить за тем, чтобы искровой промежуток не изменялся.

Правильность установки всех разрядников проверяет ответственное лицо (с подъемом на опору).

Примеры установки трубчатых разрядников на опорах различных типов приведены на рис.2.

16. При установке вентильных разрядников необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

а) разрядники должны устанавливаться возможно ближе к защищаемой изоляции;

б) при всех возможных схемах коммутации вся изоляция защищаемой электроустановки должна входить в зону защиты разрядников;

в) разрядники облегченной конструкции серий РВП и РС-10 на напряжение 3; 6 и 10 кВ должны монтироваться при помощи хомута, охватывающего нижнюю часть разрядника;

г) разрядники серий РВС, РВВМ и РВМ могут устанавливаться как на специальных фундаментах, так и на конструкциях защищаемых электроустановок;

д) для удобства присоединения к разрядникам регистраторов срабатывания и измерения токов проводимости при профилактических испытаниях их в процессе эксплуатации основания разрядников изолируются от фундамента или конструкции электроустановки (рис.3);

е) разрядники присоединяются к контуру заземления непосредственно или через регистратор срабатывания. Рекомендуется избегать больших расстояний от разрядника до заземляющего контура.

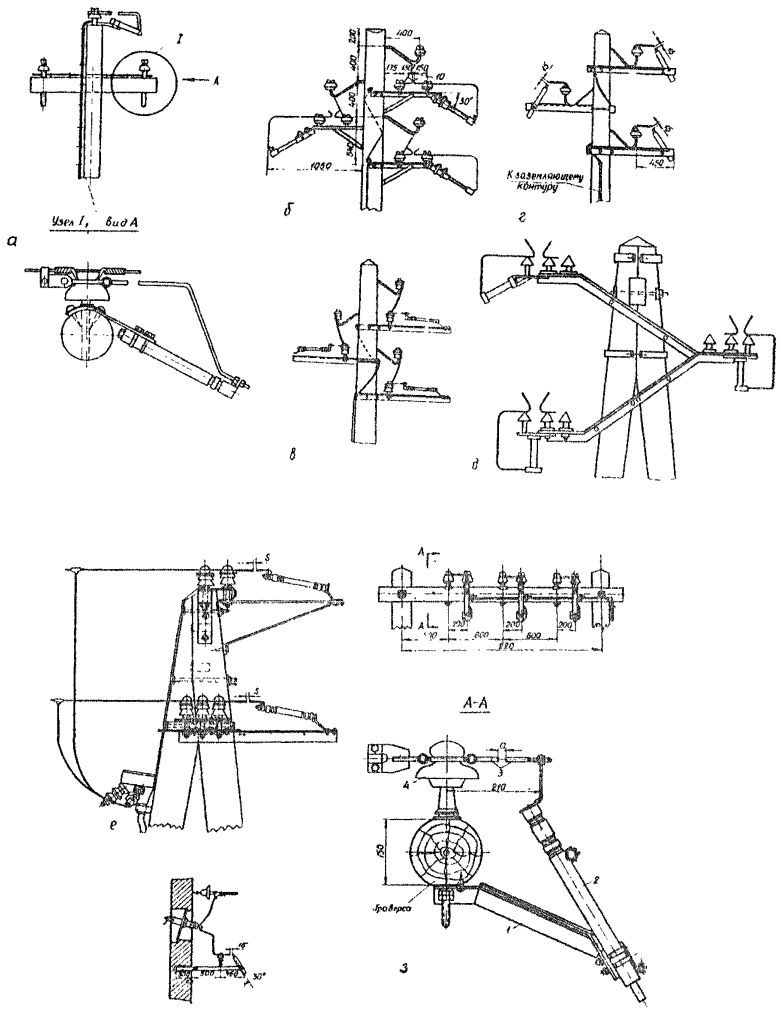


Рис. 2. Примеры установки трубчатых разрядников в сетях напряжением 3-10 кВ:

а - на промежуточной опоре с траверсой; б,в,г - на промежуточной опоре с установкой дополнительных изоляторов; д,е - на А-образных опорах; ж - на вводе в подстанцию, РУ и т.п.; з - на П-образной опоре

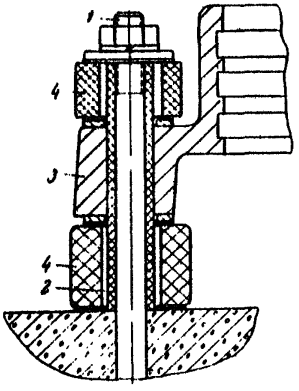


Рис.3. Установка вентильного разрядника типа РВМ с изоляцией от фундамента:
I - болт фундаментный (М10); 2 - трубка изоляционная;
3 - фланец разрядника; 4 - кольцо изолирующее

Сечение заземляющего провода разрядника выбирается по соображениям механической прочности в пределах 16-25 мм^2. Присоединение разрядников к сети осуществляется гибким проводом с небольшим провесом, а в случае применения жестких шин - с использованием специальных термокомпенсирующих устройств, чтобы исключить возможность возникновения опасного для механической прочности разрядников тяжения при низких температурах окружающего воздуха;

ж) расстояние между разрядниками, а также между разрядниками и другими заземленными или находящимися под напряжением деталями подстанций (с учетом экранирующей арматуры) выбираются в соответствии с "Правилами устройства электроустановок";

з) по окончании монтажа разрядников все наружные механические детали для защиты от коррозии, а также цементные швы для защиты от проникновения внутрь цемента влаги окрашиваются влагостойкой краской или эмалью.

Ш. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗРЯДНИКОВ

17. При эксплуатации трубчатых и вентильных разрядников должен

обеспечиваться соответствующий надзор за их состоянием (осмотры, регистрация срабатываний, ведение техдокументации) и проводиться профилактические испытания.

I8. Основным документом, определяющим места установки разрядников на территории разреза, является план размещения средств грозозащиты, составляемый ежегодно перед грозовым сезоном. Приложениями к "Плану" должны быть ведомость установленных трубчатых разрядников, паспорта вентильных разрядников и других средств грозозащиты, а также устройств их заземления.

I9. В ведомости (форма I) установки трубчатых разрядников указываются:

а) тип разрядника;

б) наименование линии, на которой устанавливается разрядник;

в) номер опоры, где устанавливается разрядник;

г) величина максимального и минимального тока короткого замыкания в месте установки разрядника;

д) величина внешнего искрового промежутка;

е) величина сопротивления заземляющего контура опоры;

ж) наименование объекта, изоляцию которого защищает разрядник;

з) сведения о результатах послегрозовых осмотров разрядников.

20. В паспортах вентильных разрядников (на трехфазный комплект) должны содержаться следующие данные:

а) место и дата установки разрядника;

б) тип и год выпуска разрядника;

в)заводские номера разрядников фаз А,В,С;

г) основные технические данные разрядника: номинальное и наибольшее допустимое напряжение на разряднике, пробивное напряжение при промышленной частоте и импульсное, остающееся напряжение при импульсном токе 5000 А;

д) результаты профилактических испытаний разрядников;

е) сведения о дефектах разрядников, выявленных при внешнем осмотре, даты чистки фарфоровых покрышек и покраска цементных швов и металлических наружных деталей.

2I. План размещения средств грозозащиты может совмещаться с принципиальной схемой электроснабжения разреза либо выполняться отдельно.

Форма I

В Е Д О М О С Т Ь

установки трубчатых разрядников на грозовой сезон 1975 г. (образец)

Наименование линии, на которой установлены разрядники и номер опоры	Наименование защищаемого объекта	Тип разрядников	Величина тока к.з. в месте установки разрядников, кА		Величина внешнего искрового промежутка, мм	Величина сопротивления заземления, Ом	Дата и причина	
			максимальная	минимальная			установки разрядников	демонтаж (замена) разрядников
Фидер №3, питающий 2-й горный участок, опора № 28	Пролет пересечения ВЛ-6 кВ с линией связи	РТФ-6/0,3-7	6,5	4,8	I0	8	04.05.75г. начало грозового сезона	
Фидер №6, питающий участок гидромеханизации, опора № 9	Подход к насосной станции	РТВ-6-I0/2-I2	8,6	6,I	I0	5	04.05.75г. начало грозового сезона	I8.07.75г. заменен разрядник на фазе "В" (прогорела трубка при срабатывании разрядника)

Обратная сторона формы I

Результаты послегрозовых осмотров трубчатых разрядников

Дата осмотра	Должность и фамилия лица, производившего осмотр	Замечания по осмотру	Принятые меры
I6.06.75г.	Главный энергетик разреза Петров И.И.	Замечаний нет	
I7.07.75г.	-"- -"-	Прогорела трубка разрядника, установленного на фазе "В" фидера № 6, опора № 9	Неисправный разрядник заменен на новый I8.07.75г.

Форма 2

П А С П О Р Т

на комплект вентильных разрядников, установленных на фидере № 3 для защиты передвижной трансформаторной подстанции № 86 с трансформатором ТМ-320/6 (образец)

Дата установки разрядников	Защищаемая фаза	Тип, год выпуска и заводские номера разрядников по фазам	Основные технические данные						Сопротивление заземления, Ом	Результаты профилактических испытаний		
			номинальное напряжение, кВ	наибольшее допустимое напряжение, кВ	пробивное напряжение при 50 Гц, кВ	импульсное пробивное напряжение, кВ	остающееся напряжение на разряднике, кВ		сопротивление, МОм	ток проводимости (утечки) мкА	пробивное напряжение, кВ
	А	РВП-6, 1973 г., № 14372								800	6	18
28.04.75г.	В	РВП-6, 1973 г., № 14718	6	7,6	16-19	35	30	5,2		900	5	17,5
	С	РВП-6, 1973г., № 14382								900	5	18,2

Обратная сторона формы 2

Результаты послегрозовых осмотров вентильных разрядников

Дата осмотра	Должность и фамилия лица, проводившего осмотр	Замечания по осмотру	Принятые меры
I8.06.75 г.	Механик участка № 2 Сидоров Ю.И.	Трещина на корпусе разрядника фазы "В"	Поврежденный разрядник заменен на новый I9.06.75 г.
25.08.75 г.	-"- -"-	Замечаний нет	

22. При осмотре трубчатых разрядников с земли следует обращать внимание:

а) на положение разрядника на опоре и величину внешнего искрового промежутка;

б) на положение указателя срабатывания трубчатого разрядника на каждой фазе;

в) на состояние поверхности изолирующей части разрядника (загрязнение ее, порча вследствие атмосферных воздействий и т.д.);

г)на состояние электродов и арматуры (целостность краски на электродах, наличие оплавлений);

д)на состояние заземляющей проводки и надежность присоединения заземляющих спусков к заземляющему контуру опоры.

При обнаружении поврежденных разрядников (отслоившаяся фибра, нарушенный лаковый покров, разрушенная трубка, разрегулированный внешний промежуток, оплавленные электроды и т.д.) их демонтируют с линии и подвергают ревизии.

23. Персонал, производящий осмотр разрядников, должен учитывать возможность срабатывания разрядников в момент осмотра.

24. При осмотрах вентильных разрядников необходимо обращать внимание на чистоту и целостность фарфоровых покрышек, главным образом в местах крепления на них металлических фланцев; состояние заземляющих спусков; состояние цементных швов.

25. С целью выявления возможных дефектов у разрядников, находящихся в эксплуатации, а также перед их установкой необходимо производить профилактические испытания:

для вентильных разрядников (перед их монтажом)

а) измерение сопротивления элемента разрядника. Производится мегомметром на напряжение 2500 В. Величина сопротивления не нормируется, но сопоставляется с результатами измерений при заводских испытаниях. Если окажется, что измеренное значение сопротивления отличается от заводских данных более чем в I,5–2 раза, данный разрядник бракуется;

б) измерение тока проводимости (тока утечки). Производится кенотронной установкой (например, АКИ–50) со сглаживанием пульсации выпрямленного напряжения. Величина емкости сглаживающего конденсатора в схемах однополупериодного выпрямления принимается равной 0,I–0,2 мкФ. Нормы на испытания приведены в табл.3.;

в) измерение разрядных напряжений при промышленной частоте,

В условиях разрезов рекомендуется проводить только для разрядников, не имеющих шунтирующих сопротивлений (в серии РВП). В качестве испытательной установки может использоваться аппарат КИИ-70.

Таблица 3

Объем и нормы профилактических испытаний вентильных разрядников

Тип разрядника	Величина выпрямленного напряжения, приложенного к элементу разрядника, кВ	Ток проводимости одного элемента разрядника, мкА		Верхний предел тока утечки, мкА	Разрядное напряжение при промышленной частоте, кВ	
		нижний предел	верхний предел		нижний предел	верхний предел
РВП-3	4	-	-	I0	9	II
РВП-6	6	-	-		I6	I9
РВП-I0	I0	-	-		26	30,5
РВВМ-3	4	400	620	-	-	-
РВВМ-6	6					
РВВМ-I0	I0					
РВМ-3	4,5	900	I300			
РВМ-6	9					
РВМ-I0	I3,5					
РВС-I5	I6	400	620			
РВС-20	20					
РВС-35	32					

<u>для вентильных разрядников, находящихся в эксплуатации</u>, вышеперечисленные испытания должны проводиться в следующие сроки: по пп. "а" и "б" - I раз в 3 года, по п."в" - I раз в 6 лет.

<u>для трубчатых разрядников (перед их монтажом)</u>

г) проверка состояния поверхности разрядников. Наружная и внутренняя поверхности разрядника должны быть ровными, без трещин и расслоений;

д) измерение величины внутреннего искрового промежутка. Значение должно соответствовать номинальному с допусками $\pm$ 3 мм для разрядников на напряжение 3-I0 кВ и $\pm$5 мм для разрядников I5-35 кВ;

для трубчатых разрядников, находящихся в эксплуатации, измерения, перечисленные в пп. "г", "д", должны проводиться I раз в год перед началом грозового сезона. Кроме этого, должно выполняться:

е) измерение внутреннего диаметра разрядника (допустимые пределы увеличения диаметра приведены в табл.4);

ж) измерение величины внешнего искрового промежутка (измеренная величина не должна отличаться от проектной);

з) проверка расположения зон выхлопа.

Таблица 4

Предельные величины внутреннего диаметра дугогасящей трубки разрядников

Тип разрядника	Начальный внутренний диаметр, мм	Наибольший допустимый внутренний диаметр, мм	Внутренний диаметр при толщине стенки фибры 2 мм
РТФ-3/I,5-7	8	II	I4
РТФ-6/0,3-7 РТФ-I0/I,5-I0 РТФ-20/0,8-6 РТФ-35/0,8-5	I0	I4	I8
РТВ-3/0,2-I,5	3	4,5	-
РТВ-6-I0/0,5-4	6	8,5	-
РТВ-6-I0/2-I2 РТВ-I5/2-I2 РТВ-20/2-I2 РТВ-35/2-I0	II	I5,5	-
РТВУ-35/5-20 РТВУ-35/7-30	I4	20	-

26. Разрядники (вентильные), отбракованные по результатам профилактических испытаний, могут ремонтироваться только без вскрытия их элементов. Ремонты разрядников, при которых требуется вскрытие (при отклонении от нормы токов утечки или пробивного напряжения; трещины на швах, покрышках и трубках и т.п.), в условиях разрезов производить не рекомендуется.

IУ. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

27. В случаях, оговоренных в пп.4.I5, 4.I.6 и 4.4.5 Временных нормативов по грозозащите электроустановок угольных разрезов", возможно применение вместо трубчатых разрядников защитных промежутков (ПЗ). При этом следует учитывать особенности работы ПЗ, заключающиеся в значительном разбросе (30-40%) разрядных напряжений и невозможности гашения ими электрической дуги, возникшей, при срабатывании ПЗ на двух или трех фазах. Последнее приводит к отключению линии с питающей стороны и обусловливает необходимость оборудования линии устройствами АПВ.

28. Для уменьшения числа срабатываний ПЗ и предотвращения коротких замыканий при случайном закорачивании их необходимо выполнять ПЗ (на линиях с деревянными опорами) в виде двух последовательных разрывов-основного и дополнительного (в заземляющих спусках). Размеры ПЗ должны соответствовать данным, приведенным в табл.5.

Таблица 5

Рекомендуемые размеры основных и дополнительных защитных промежутков

Номинальное напряжение сети, кВ	Размеры основных защитных промежутков, мм	Размеры дополнительных защитных промежутков, мм	Разрядное напряжение при 50 Гц, кВ, эфф.	Импульсное разрядное напряжение, кВ макс.	
3	20	5	20	+33,	-34
6	40	I0	34	+5I,	-53
I0	60	I5	45	+66,	-68
20	I40	20	70	+I2I,	-I34
35	250	30	I05	+I95,	-220

29. Концы электродов ПЗ целесообразно красить белой масляной краской, что позволяет контролировать их работу (при срабатывании краска на электродах сгорает).

Устройство ПЗ показано на рис.4.

У. ВЫБОР, УСТАНОВКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ

30. Для защиты двигателей, непосредственно подключенных к ВЛ, в случаях оговоренных в п.4.4. "Временных нормативов по гро-

зозащите электроустановок угольных разрезов", необходимо кроме разрядников устанавливать защитные емкости, уменьшающие амплитуду и крутизну электромагнитных волн, набегающих с линий в обмотку машин.

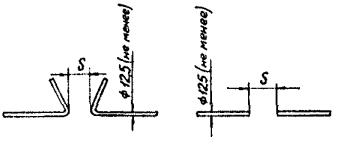


Рис.4. Пример выполнения основных защитных промежутков

3I. В качестве защитных емкостей могут применяться косинусные конденсаторы серии КМ (табл.6).

Таблица 6

Основные технические характеристики конденсаторов серии КМ

Тип конденсатора	Номинальное напряжение, кВ	Номинальная емкость, мкФ	Испытательное напряжение промышленной частоты, кВ x)	
			между обкладками	на корпусе
КМI-3,I5	3,I5	4,2I6	5,9/5,I5	I5,8/I3,5
КМ2-3,I5	-"-	8,84	-"-	-"-
КМI-6,3	6,3	I,0I	II,8/I0,2	22,3/I9,0
КМ2-6,3	6,3	2,25	II,8/I0,2	22,3/I9,0
КМI-I0,5	I0,5	0,436	20/I7,2	30/26
КМ2-I0,5	I0,5	0,76	20/I7,2	30/26

x) В числителе указано напряжение при испытаниях после монтажа, в знаменателе - при эксплуатации.

32. Конденсаторы соединяются в звезду, нейтраль которой присоединяется к контуру заземления.

Каждый конденсатор должен быть защищен плавким предохранителем, рассчитанным на номинальный ток данного конденсатора.

Схемы включения конденсаторов должны обеспечивать получение номинальной емкости на одну фазу примерно 0,4–0,6 мкФ.

Конструктивное исполнение конденсаторной установки должно обеспечивать постоянное соединение с землей выводов конденсаторов после их отключения. С этой целью могут быть использованы высоковольтная обмотка трансформатора напряжения, присоединяемая к конденсаторам после предохранителей, или разъединитель с заземляющими ножами (рис.5).

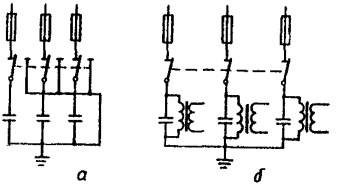


Рис.5. Схемы соединения защитных емкостей:
а– с заземляющими ножами; б – с трансформаторами напряжения

33. Монтаж схемы целесообразно осуществлять в специальных передвижных пунктах защиты.

Перед монтажом конденсаторов необходимо провести их тщательный внешний осмотр и испытать в следующем объеме:

а) измерить сопротивление изоляции между выводами и относительно корпуса мегомметром на напряжение 2500 В (величина сопротивления и отношение R_{60}/R_{15} не нормируются);

б) измерить емкость конденсаторов, которая не должна отличаться от паспортных данных более чем на +33;16 и 9% для конденсаторов на напряжение 3,15; 6,3 и 10,5 кВ соответственно. Определение фактической емкости производится универсальным измерительным мостом либо, при его отсутствии, аналитическим способом по формуле:

$$C \simeq \frac{I}{U} \cdot 3180 \quad \text{мкФ},$$

где I – ток, протекающий через измерительную емкость при приложении напряжения промышленной частоты, А;

U – напряжение, принимаемое равным 380–660 В.

Измерение тока при этом должно осуществляться астатическим амперметром;

в) испытать повышенным напряжением промышленной частоты согласно данным табл.6 (продолжительность приложения испытательного напряжения – I мин). При отсутствии источника тока достаточной мощности испытания переменным током могут быть заменены испытанием выпрямленным напряжением удвоенной величины.

После испытания повышенным напряжением производится повторное контрольное измерение емкости конденсатора, чтобы убедиться в отсутствии пробоя отдельных секций.

34. Эксплуатационный надзор за конденсаторами заключается в периодических осмотрах, испытаниях, ремонтах и переключениях. Осмотр конденсаторов производится после гроз. При этом проверяется целостность плавких предохранителей и изоляторов, отсутствие на изоляторах какого-либо налета, оплавлений; отсутствие следов вытекания масла из корпуса и вспучивания его стенок.

На зимний период конденсаторы отключаются от линии. Перед грозовым сезоном конденсаторы осматриваются и подвергаются электрическим испытаниям в объеме, указанном выше.

35. На каждую конденсаторную установку составляется технический паспорт по форме № 3.

УI. РАСЧЕТ, УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТЕРЖНЕВЫХ И ТРОСОВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ

36. Стержневые и тросовые молниеотводы предназначены для защиты объектов от прямых ударов молнии и должны применяться на разрезах в случаях, оговоренных в пп.4.2.2. "Временных нормативов по грозозащите электроустановок угольных разрезов".

37. Стержневой молниеотвод состоит из металлического молниеприемника, который возвышается над защищаемым объектом и воспринимает удар молнии, и тоководящего заземленного спуска.

Пространство вблизи молниеотвода, в пределах которого поражение защищаемого объекта мало вероятно, называется зоной защиты молниеотвода. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода представляет собой конус с сечением в горизонтальной плоскости в ви-

Форма 3

П А С П О Р Т

на комплект защитных емкостей, установленных на фидере №8 для защиты приводного двигателя земледоса № 4 мощностью 860 кВт (образец)

Дата подключения емкостей к сети	Тип конденсаторов	Номинальные данные конденсаторов		Схема соединения конденсаторов	Результаты испытаний конденсаторов перед включением			Сопротивление заземления, Ом	Дата отключения емкостей от сети
		напряжение, кВ	емкость, мкФ		емкость, мкФ	Испытательное напряжение постоянного тока, кВ			
						между обкладками	на корпусе		
26.04.75 г. (перед наступлением грозового сезона)	КМ1-6,3	6,3	I,0I	Звезда с заземленным нулем. В каждом луче по 2 последовательно включенных конденсатора	Фаза "А" 0,49 Фаза "В" 0,495 Фаза "С" 0,5I	23,6 на каждый конденсатор	44,6 на каждый конденсатор	3,8	I6.I0.75 г. (после завершения грозового сезона)

Обратная сторона формы 3

Результаты послегрозовых осмотров защитных емкостей

Дата осмотра	Должность и фамилия лица, производившего осмотр	Замечания по осмотру	Принятые меры
25.05.75г.	Механик участка гидромеханизации Иванов А.И.	Замечаний нет	
16.07.75г.	-"- -"-	Один из конденсаторов на фазе "А" раздуло	Неисправный конденсатор заменен 17.07.75г.

де круга с радиусом r_x на высоте h_x (рис.6,а). Значение r_x определяется по выражению

$$r_x = h_a \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}\rho}, \qquad (I)$$

где $h_a = h - h_x$ – превышение молниеотвода над защищаемым объектом (активная высота), м;

ρ – коэффициент, принимаемый равным I при высоте молниеотвода $\leq$ 30 м, и $5,5/\sqrt{h}$ для молниеотводов с $h >$ 30 м.

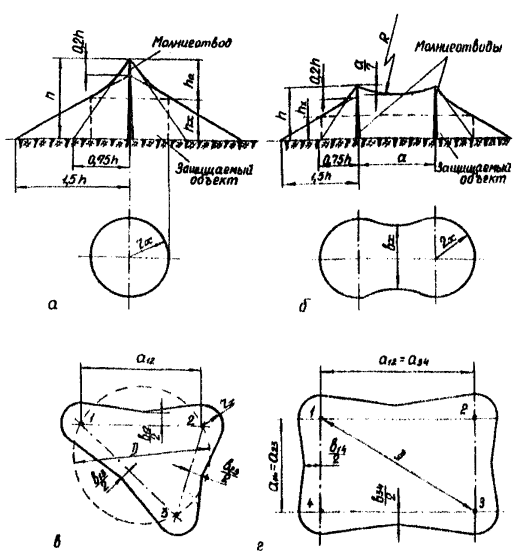


Рис.6.Построение зон защиты одиночного (а) и групповых (б,в,г) молниеотводов:

Условия защиты 2 молниеотводов: а $\leq 7h_a$

–"– –"– 3,4 и т.д. –"– $D \leq 8h_a$ при $h \leq$ 30м и $D \leq 8 \cdot \frac{5,5}{\sqrt{h}} \cdot h_a$ при $h >$ 30 м

38. Для защиты объектов протяженных и занимающих большую площадь целесообразно применять несколько молниеотводов.

Зона защиты двух стержневых молниеотводов показана на рис.6,б, где r_x определяется по вышеприведенному выражению, а b_x – по приближенной формуле

$$b_x = 4r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a} . \qquad (2)$$

При числе молниеотводов больше двух (три,четыре) внешние части зоны защиты определяют, руководствуясь формулами (I) и (2),как это показано на рис.6в,г.

39. Поперечное сечение зоны защиты одиночного тросового молниеотвода (рис.7) аналогично сечению, изображенному на рис.6,а , для одиночного стержневого молниеотвода, однако r_x подсчитывается по выражению

$$r_x = h_a \frac{0,8}{1 + \frac{h_x}{h}} . \qquad (3)$$

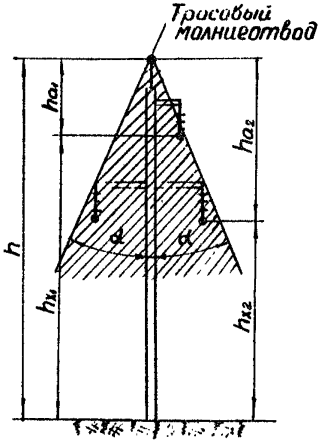


Рис.7. Защитный угол α и защитная зона тросового молниеотвода

Тросы на опорах ЛЭП должны подвешиваться таким образом, чтобы провода всех фаз попадали в угол защиты,который составляет 20–30°.

40. Чтобы исключить возможность перекрытий воздушных промежутков между токоотводящими спусками молниеотводов и защищаемым объ-

ектом, а также между заземлителями и подземными металлическими коммуникациями, необходимо провести проверочный расчет выбранных молниеотводов на допустимое сближение их с объектом.

Ток молнии, проходя по молниеотводу, создает падение напряжения на сопротивлении заземления и индуктивности токоотвода U_L

$$U_R = I_m \cdot R_u ; \qquad (4)$$

$$U_L = aL , \qquad (5)$$

где I_m – ток молнии, принимаемый в расчетах равным 150 кА;

a – средняя скорость нарастания тока молнии, равная 30 кА/мкс.

Максимальный потенциал в точке токоотвода, расположенной на расстоянии l от заземлителя (рис.8), при ударе молнии в молниеотвод составляет:

$$U_l = I_m \cdot R_u + aL . \qquad (6)$$

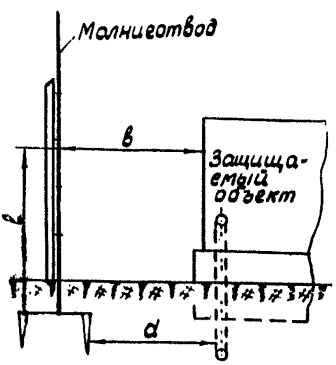


Рис.8. К расчету допустимого сближения молниеотвода с защищаемым объектом

Индуктивность токоотвода можно выразить как

$$L = L_o \cdot l , \qquad (7)$$

где L_o – удельная индуктивность, принимаемая $\simeq$ 1,7 мкГ/м.

Следовательно, выражение (6) с учетом (7) будет иметь вид

$$U_l = I_m \cdot R_u + a L_o \cdot l . \qquad (8)$$

Чтобы не было перекрытия с молниеотвода на защищаемый объект, электрическая прочность изоляции между ними должна быть больше величины напряжения U_l, т.е. должно соблюдаться неравенство

$$B \geq \frac{U_l}{E} , \qquad (9)$$

где B – воздушный промежуток между молниеотводом и объектом,м;

E – допустимая средняя напряженность электрического поля в воздухе, при которой невозможен его пробой, принимаемая равной 500 кВ/м.

Для исключения возможности перекрытия в земле заземлителя на входящие в здание металлические подземные коммуникации (трубы, кабели), необходимо выдержать между ними расстояние

$$d \geq \frac{I_m \cdot R_u}{E_1} , \qquad (10)$$

где E_1 – допустимая средняя напряженность электрического поля в земле, равная 300 кВ/м.

Аналогичное положение возникает в случае удара молнии в молниеотвод, расположенный непосредственно на защищаемом объекте. При этом между токоотводом и заземленными конструкциями внутри здания (трубопроводами, электропроводкой, металлическими каркасами и т.д.) также должно быть обеспечено необходимое расстояние. Расчет допустимого сближения в этом случае может производиться по формуле (9), однако если часть промежутка B занимает кирпичная, деревянная либо из другого непроводящего материала стена,то ее следует учитывать утроенной толщиной.

Если по объекту проходит n токоотводов, то допустимое расстояние B в точке сближения с одним из токоотводов определяется по формуле

$$B \geq 0{,}3 R_u + \frac{a_1 l}{n} . \qquad (11)$$

При использовании в качестве токоотводов стального каркаса объекта или разветвленной водопроводной сети, второй член выражения (11) оказывается незначительным и не влияет на величину B.

Следует иметь в виду,что если токоотвод имеет петлю длиной l_1 (рис.9), то падение напряжения на этой петле будет

$$U_{l_1} = a \cdot L_o \cdot l_1 , \qquad (12)$$

и,чтобы не было пробоя между точками 1 и 2, необходимо выполнить

условие

$$b_1 \geqslant \frac{a L_0 t_1}{E}. \qquad (13)$$

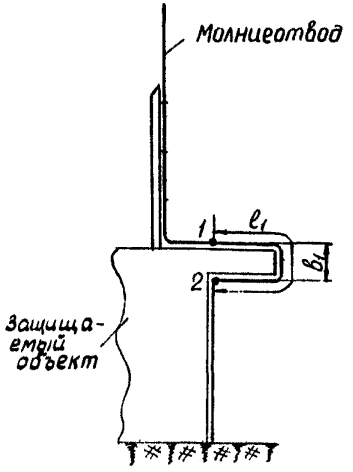


Рис.9. К расчету падения напряжения на петле токоотвода

Если ни конструктивно, ни снижением R_u не удается обеспечить требуемую электрическую прочность между токоотводом и заземленными частями внутри объекта, необходимо их присоединить вблизи мест сближения к токоотводу, а в нижней части – к заземлителю. Электропроводка при этом должна быть проложена в металлических трубах, которые также внизу присоединяются к заземлителю, а в точках сближения – к токоотводу.

41. При конструктивном оформлении (устройстве) молниеотводов необходимо учитывать следующее:

а) активную высоту стержневого молниеотвода (превышение над защищаемым объектом) принимать в пределах 35–40% от его полной высоты;

б) молниеотводы следует выполнять из стальных труб, если их высота не превышает 20м, или в виде решетчатых металлических конструкций при высоте более 20 м. Однако более дешевыми являются молниеотводы, выполненные на железобетонных или деревянных опорах (при высоте менее 20 м).

в) верхняя часть молниеотвода должна заканчиваться молниеприемником – стальным стержнем диаметром не менее 10 мм. Если молниеприемник устанавливается на металлических опорах, он должен быть приварен непосредственно к опоре, которая является и токоотводом. При установке молниеприемника на железобетонной опоре его необходимо приварить к металлической арматуре опоры, а при установке на деревянной опоре к дополнительно проложенному по опоре токоотводу (стальному проводу сечением не менее 50 мм^2);

г) стержневые молниеотводы рекомендуется выполнять в виде свободно стоящих конструкций без растяжек;

д) основания металлических опор стержневых молниеотводов, арматура железобетонных и токоотводы на деревянных опорах должны быть снизу приварены к заземляющему устройству;

е) тросовые молниеотводы должны выполняться из стального троса (провода) сечением 35–70 мм^2. Превышение защитного троса над верхним проводом ЛЭП в середине пролета при длине пролета 50; 100; 150; 200 м должно быть соответственно не менее 1–1,2; 2;3,2; 4 м;

ж) крепление тросового молниеотвода к опорам ЛЭП должно осуществляться без изоляторов. В верхней части опор трос должен быть электрически соединен надежным болтовым соединением с корпусом металлической опоры, арматурой (или заземляющим спуском, если таковой имеется) железобетонной опоры либо с токоотводом на деревянной опоре;

з) на линиях, оборудованных грозозащитным тросом, металлические опоры, арматура железобетонных опор и токоотводы на деревянных опорах в нижней части должны присоединяться к заземляющему устройству с помощью болтового соединения;

и) металлические конструкции опор стержневых молниеотводов должны окрашиваться стойкой к атмосферным воздействиям краской. Молниеприемники должны окрашиваться белой эмалью.

42. Эксплуатационный надзор за молниезащитными устройствами заключается в следующем:

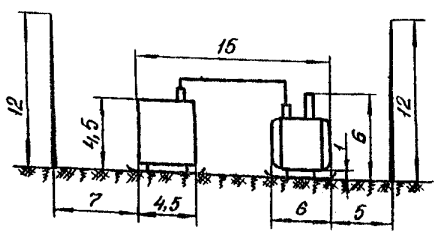
а) на каждый комплект молниезащиты (под комплектом понимается совокупность средств, используемых для защиты объекта от прямых ударов молнии) должен быть заведен технический паспорт, в который вносятся расчеты молниезащиты (в соответствии с пп.36–39), эскизы конструктивного исполнения молниеотводов, сведения о покраске. Технический паспорт (форма 4) является приложением к Плану

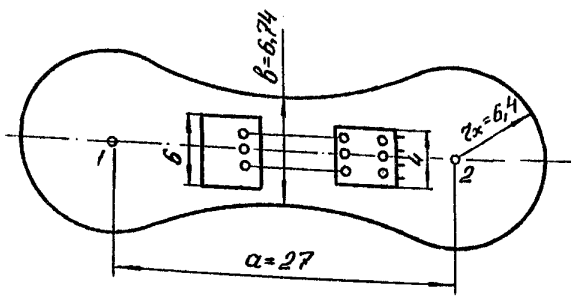
Форма 4

П А С П О Р Т

на комплект стержневых молниеотводов, установленных для защиты ПКТП-3200-35/6 кВ, питающей I-3 горные участки (образец)

Эскиз молниезащитного устройства и зоны защиты	Расчеты зоны защиты молниеотводов и проверка допустимости их сближения с оборудованием	Исполнение молниеотводов





Исходные данные

Высота защитной зоны h_x =6 м

Высота молниеотводов h =I2 м

Расстояние между молниеотводами a =27 м

Минимальное сближение молниеотводов с объектом B =5 м

Импульсное сопротивление заземлителя $\rho_{зи}$ =I0 Ом

Допустимая электрическая прочность воздуха $E_э$ =500 кВ/м

Расчетные данные

Радиус защитной зоны $r_x = h_a \frac{1,6}{1+h_x/h} = 6,4$ м

Наименьшая ширина защитной зоны $B_x = 4r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a} = 6,74$ м

Наибольшая напряженность электрического поля воздуха при токе молнии I50 кА и крутизне фронта 30 кА/мкс

$$E = \frac{I_m \cdot \rho_{зи} + a L_o I}{B} = 365 \text{ кВ/м}$$

Выводы

Все оборудование ПКТП входит в зону защиты молниеотводов.

Сближения молниеотводов с объектом являются допустимыми.

Молниеотводы выполнены на передвижных деревянных опорах с железобетонными основаниями

Молниеприемники и токоотводы-стальные стержни Ф I2 мм, покрашены белой эмалью

Превышение молниеприемника над опорой - I м

Соединение токоотвода с заземлителем выполнено сваркой

Обратная сторона формы 4

Результаты послегрозовых осмотров
молниеотводов

Дата осмотра	Должность и фамилия лица, производившего осмотр	Замечания по осмотру	Принятые меры
I8.07.75г.	Мастер подстанции Сорокин В.П.	Замечаний нет	
I2.08.75г.	-"-	У молниеотвода №I обгорела краска на конце молниеприемника. Предполагается, что в молниеотвод №I произошел разряд молнии	Произведен внеочередной замер сопротивления заземлителя (сопротивление в норме); окраска молниеприемника восстановлена белой эмалью I3 08 75

размещения средств грозозащиты (см.п.I8);

б) после гроз необходимо осматривать молниеотводы. При обнаружении обгорания краски на молниеприемнике (что свидетельствует о поражении молниеотвода разрядом молнии), следов оплавления молниеприемника или токоотвода необходимо устранить эти нарушения, произвести внеочередной замер сопротивления заземляющего устройства и отразить указанные работы в техническом паспорте;

в) периодически, в сроки,оговоренные в п. 48, необходимо производить контрольные замеры сопротивления заземляющих устройств молниеотводов.

УП. РАСЧЕТ, УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ГРОЗОЗАЩИТЫ

43. Все устройства грозозащиты должны оборудоваться заземляющими устройствами с величинами переходных сопротивлений заземлителей, оговоренных в табл.4 "Временных нормативов по грозозащите электроустановок угольных разрезов".

Сопротивления будут иметь приведенные значения при стекании с электродов заземлителя токов промышленной частоты. При импульсных токах (токах молнии) плотность стекающего с электродов заземлителя тока очень велика поэтому в земле вблизи поверхности электрода создаются весьма высокие напряженности электрического поля, превосходящие по величине пробивные напряженности для земли. Последнее вызывает пробой почвы и вблизи электрода образуется зона искрения, как бы увеличивающая поперечные размеры электрода. Этот эффект учитывается так называемым импульсным коэффициентом α_u , величина которого зависит от формы и размеров электродов, удельного сопротивления и типа грунта, от амплитуды и крутизны фронта тока молнии и колеблется в широких пределах (0,25-I,2).

Следовательно, сопротивление электрода ρ_u при стекании с него тока молнии (импульсное сопротивление) связано с сопротивлением при токе промышленной частоты соотношением

$$\rho_u = \alpha_u \cdot \rho_{50}. \qquad (I4)$$

Значения коэффициента α_u для наиболее распространенных типов электродов приведены в табл.7.

Таблица 7

Значения импульсных коэффициентов в зависимости от типа и размеров электродов заземлителя

Формы и размеры электрода		Удельное сопротивление грунта, Ом·м	При амплитуде тока молнии, кА		
			10	20	40
	4 м	100	0,50	0,45	0,35
Кольцевой заземлитель из полосы шириной 2–4 см или круга диаметром 1–2 см	Диаметр кольца 8 м	100	0,80	0,75	0,65
		500	0,60	0,55	0,45
		1000	0,45	0,40	0,30
	12 м	100	0,85	0,80	0,70
		500	0,65	0,60	0,50
		1000	0,50	0,45	0,40
Единичный вертикальный заземлитель длиной 2–3 м и диаметром до 6 см		100	0,80	0,68	0,50
		500	0,55	0,40	0,25
		1000	0,38	0,27	0,20
Единичный горизонтальный заземлитель из полосы шириной 2–4 см или круга диаметром 1–2 см	Длина заземлителя 5 м	100	0,75	0,65	0,50
		500	0,55	0,45	0,30
	10 м	100	1,00	0,90	0,80
		500	0,75	0,60	0,45
		1000	0,55	0,45	0,35
	20 м	100	1,15	1,05	0,95
		500	0,90	0,75	0,60
		1000	0,75	0,60	0,50
	30 м	500	1,00	0,90	0,80
		1000	0,85	0,75	0,65

Сопротивление электродов R_{50} в зависимости от их формы и расположения определяются по выражениям, приведенным в табл.8.

44. Заземлители выполняются обычно из нескольких электродов (до 50 и более). При этом импульсное сопротивление заземлителя будет иметь величину

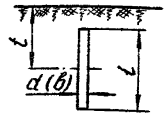
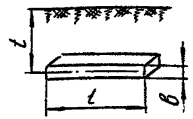
$$R_{зи} = \frac{\alpha_и \cdot R_{50}}{\eta_и \cdot n}, \qquad (15)$$

где n – число электродов в заземлителе ;

$\eta_и$ – коэффициент использования импульсный.

Таблица 8

Формулы для определения сопротивлений R_{50} электродов заземлителей

Форма электрода и его размеры, см	Расположение электрода в земле	Расчетная формула сопротивления электрода, Ом
Труба длиной l и диаметром d		$R_{тр} = \frac{0,366\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$
Уголок длиной l с полкой шириной b		$R_{уг} = \frac{0,366\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{0,95b} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$
Полоса длиной l и шириной b		$R_{пол} = \frac{0,366\rho}{l}\lg\frac{2l^2}{bt}$
Круглый проводник длиной l и диаметром d		$R_{кр} = \frac{0,366\rho}{l}\lg\frac{2l^2}{2dt}$
Горизонтальное кольцо диаметром D из проволоки диаметром d (или полосы шириной $2d$)		$R_к = 0,12\frac{\rho}{D}\lg\frac{4\pi D^2}{td}$

Примечание: ρ – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·см

Коэффициент $\eta_и$ учитывает ухудшение условий растекания тока с заземлителя, состоящего из нескольких близкорасположенных электродов, вследствие их взаимного экранирования. Растекание тока с каждого из электродов в сторону соседних затруднено, так как все электроды имеют одинаковый потенциал и напряженности поля в этом направлении оказываются существенно сниженными. В результате как бы уменьшается поверхность электродов, участвующих в отводе тока в землю, ухудшается их использование и, следовательно, увеличивается сопротивление заземления.

Коэффициент $\eta_и$ зависит от длины электродов, расстояния между ними и их формы расположения. Численная величина $\eta_и$ может быть определена из рис.10.

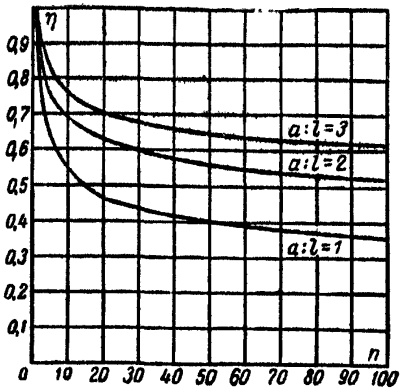


Рис.10. Кривые для определения коэффициентов использования $\eta_и$ заземлителей из труб или уголков, размещенных по контуру:

l - длина трубы или уголка; a - расстояние между ними

45. Порядок расчета заземляющего устройства:

а) в зависимости от удельного сопротивления грунта в месте устройства заземления устанавливают допустимое по нормам сопротивление заземлителя $R_{з.доп}$ на переменном токе промышленной частоты (см.табл.4 "Временных нормативов по грозозащите электроустановок угольных разрезов");

б) исходя из конкретных условий (наличие определенного про-

филя металла, характер грунта, возможность применения механизации при закладке электродов и т.п.), выбирается тип и размеры электродов и глубина их заложения;

в) по формулам табл.8 определяется сопротивление R_{50} одного электрода;

г) принимая ориентировочно коэффициент использования η'_u =0,5, определяется предварительное число электродов n в заземлителе

$$n = \frac{R_{50}}{R_{3.50} \cdot 0{,}5} \quad ; \qquad (16)$$

д) по полученному значению n намечаются места заложения электродов (расстояние между электродами должно быть не менее их длины), и по рис.10 уточняется коэффициент их использования η_u. Если окажется, что $\eta_u < \eta'_u$, то необходимо увеличить расстояние между электродами и вновь найти значение η_u. При η_u значительно превышающем принятое значение η'_u число электродов следует уменьшить до значения n', пользуясь выражением (16)

$$n' = \frac{R_{50}}{R_{3.50} \cdot \eta_u} .$$

При $\eta_u \simeq \eta'_u$ перерасчеты числа электродов можно не выполнять;

е) по табл.7 в соответствии с выбранными электродами и характеристиками грунта находится импульсный коэффициент α_u;

ж) по выражению (15) определяется импульсное сопротивление заземлителя R_{3u};

Следует иметь в виду, что рассчитанное значение R_{3u} может отличаться от фактического, так как коэффициент α_u, определяемый экспериментально, зависит от большого числа факторов.

46. При конструктивном оформлении заземляющих устройств необходимо учитывать следующее:

а) во всех случаях, когда это возможно по условиям выполнения, проектировать заземлители из вертикально расположенных нескольких (не менее трех) электродов, из труб диаметром не менее $1\frac{1}{4}''$ (с толщиной стенки 4 мм и более) или уголков размером 50х 50х5 и более;

б) длина электродов при забивании их вручную должна приниматься не более 2-2,5 м. При размещении электродов в предварительно подготовленных скважинах длина их (электродов) может приниматься произвольной;

в) для повышения стабильности переходного сопротивления за-

землителей в местах, сильно высыхающих в летний период, а также в скальных грунтах целесообразно применять заглубленные (на глубину до 20 м) заземлители, помещая их в предварительно пробуренные скважины. Электрод после опускания в скважину целесообразно залить раствором поваренной или каменной соли, после чего засыпать грунтом, а устье зацементировать;

г) расстояние между соседними электродами заземлителя необходимо принимать не менее длины электрода;

д) для электрического соединения электродов между собой в верхней части они должны быть соединены полосой размером не менее 20х5 мм или двойной проволокой диаметром 6–10 мм посредством сварки либо болтового соединения. При болтовом соединении необходимо принять меры, чтобы сопротивление в месте контакта было стабильным во времени с величиной 0,03 Ом (не более);

е) в скальных грунтах при наличии разборного слоя толщиной 10–15 см и при отсутствии возможности пробурить под электроды скважины допускается применять горизонтальные электроды, уложенные на неразборный слой. Сверху они должны засыпаться грунтом (с утрамбовкой) либо заливаться цементным раствором;

ж) для измерения величины сопротивления заземляющего устройства в процессе его эксплуатации необходимо предусматривать при его строительстве два дополнительных электрода, расположенных друг от друга и от основных электродов на расстоянии $\simeq$ 10 м.

47. Каждое вновь выполненное заземляющее устройство должно быть испытано (проверено) на фактическую величину переходного сопротивления. Так как импульсное сопротивление заземления не может быть измерено (промышленностью не выпускаются приборы для импульсных обмеров заземлителей), производится замер сопротивления только на переменном токе. Для этой цели служат измерители заземления типа МС–07 и МС–08 завода "Энергоприбор" и типа МП03 завода "Точэлектроприбор".

48. На заземляющие устройства должны быть заведены технические паспорта, в которые заносятся следующие сведения:

а) место заложения заземляющего устройства и его назначение (заземление разрядников, молниеотвода и т.д.);

б) эскиз фактического исполнения заземляющего устройства;

в) результаты первичного и контрольных замеров сопротивлений с указанием типа измерительного прибора.

49. При эксплуатации заземляющих устройств грозозащиты необходимо в грозовой сезон не реже одного раза в месяц производить кон-

трольные замеры переходного сопротивления и отражать их результаты в технических паспортах. Внеочередные замеры сопротивлений заземлителей производятся после срабатывания средств грозозащиты (разрядников, молниеотводов).

Технические паспорта на заземляющие устройства являются приложениями к Плану размещения средств грозозащиты разреза.

УШ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЕГИСТРАТОРОВ ГРОЗОВОЙ ОПАСНОСТИ

50. Для своевременного предупреждения эксплуатационного персонала разрезов о приближении грозовых облаков должны использоваться регистраторы грозовой опасности.

Наиболее подходящим параметром, который может быть использован для обнаружения заряженных (грозовых) облаков, является электростатическая составляющая электромагнитного излучения молний. Приборы, измеряющие этот параметр, могут обнаружить грозовые облака по единичному разряду в зависимости от расстояния между прибором и облаком с вероятностями, приведенными на рис.II.

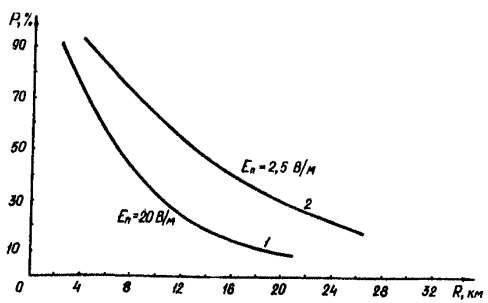


Рис.II. Вероятность обнаружения одиночного разряда в зависимости от расстояния до канала молнии

Так как в средних грозах за минуту происходит в среднем 3–7 разрядов, то вероятность обнаружения хотя бы одного разряда в минуту составит

$$P_n = 1-(1-P)^n, \qquad (17)$$

где ρ - вероятность обнаружения одиночного разряда молнии на данном расстоянии;

n - число разрядов молнии в мин.

Из этого следует, что вероятность (а следовательно, и надежность) обнаружения приближающихся грозовых облаков по электростатической составляющей излучения довольно высока.

51. Для условий эксплуатации на угольных разрезах разработан регистратор грозовой опасности (РГО), состоящий из двух частей: электронного блока и дисковой антенны, соединенных между собой экранированным высокочастотным кабелем (рис.12).

Техническая характеристика РГО

Чувствительность по напряженности поля на частоте 500 Гц:

I-й порог ..... 2,5 В/м

II-й порог ..... 20 В/м

Полоса частот срабатывания ..... 100-2500 Гц

Чувствительность по напряжению на входе эквивалента антенны:

I-й порог ..... 25 В

II-й порог ..... 200 В

Время удержания предупреждающих сигналов ..... 5 с

Питание прибора - от сети переменного тока напряжением 127-220В

Габаритные размеры:

электронного блока ..... 120x155x290 мм

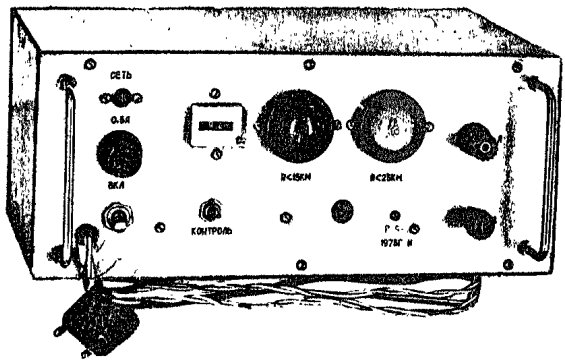
антенны ..... Ø 620 мм

высота параболоида ..... 200 мм

Масса электронного блока - 3,1 кг, антенны-2,8 кг.

Прибор построен по принципу двухпороговой регистрации электростатической составляющей. Блок-схема прибора показана на рис.13. Работает прибор следующим образом. Сигнал с антенны через коаксиальный кабель поступает на фильтр, выделяющий низкочастотную часть спектра сигнала, которая соответствует электростатической составляющей. Через эмиттерный повторитель, отделяющий фильтр от исполнительной части схемы, сигнал поступает на два идентичных ждущих мультивибратора с различными порогами срабатывания. Амплитуда запускающего сигнала мультивибратора на первом пороге чувствительности в 8 раз меньше, чем на втором. Срабатывание первого порога (сигнализатор срабатывания-желтая лампа) соответствует сигналу

а



б

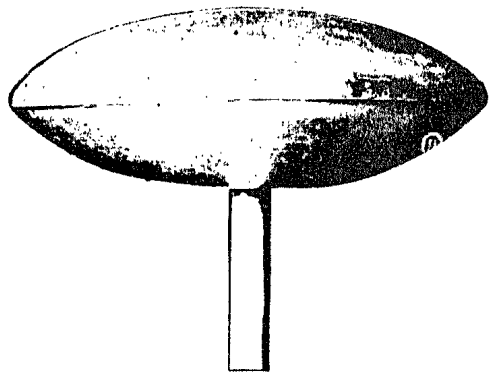


Рис.I2. Общий вид регистратора грозовой опасности:
а – электронный блок; б – антенна

"внимание" и показывает, что до грозового облака расстояние 15-25 км, а время до его подхода на разрез 40-50 мин. Срабатывание второго порога "опасность" происходит при подходе облака к разрезу (месту установки РГО) на расстояние 8-10 км и сопровождается миганием красной сигнальной лампы и звуковым сигналом. Продолжительность от момента срабатывания второго порога РГО до подхода облака на разрез составляет 20-25 мин.

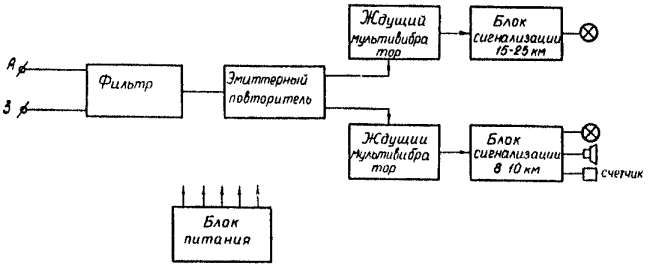


Рис.13. Блок-схема регистратора грозовой опасности

52. При выборе места установки РГО на разрезе необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

а) если конфигурация разреза (план) приближается к окружности или квадрату с диаметром (стороной) до 4-6 км, грозорегистратор (один на весь разрез) целесообразно устанавливать в помещении горного диспетчера (сменного механика, дежурного подстанции и т. п.);

б) на разрезах с протяженными горными выработками (длиной более 6 км) или с участками, удаленными друг от друга на значительное расстояние, целесообразно устанавливать грозорегистраторы через каждые 6-8 км;

в) на обособленных участках, удаленных друг от друга на 6-8 км, РГО должны устанавливаться на каждом из них;

г) в общем случае РГО следует располагать таким образом, чтобы при подходе с любой стороны грозового облака к границе раз-

реза (или отдельного удаленного участка) обеспечивалась надежная информация с заблаговременностью 45-60 мин.

53. Электронный блок РГО должен устанавливаться в помещении. Дисковая антенна прибора располагается на высоте примерно 10м от поверхности земли на металлической трубе или деревянной опоре. Коаксиальный кабель снижения соединяется с выводами электронного блока: центральная жила (светлый провод) - с выводом "антенна"; экран (темный провод) с выводом "земля". Вывод "земля", кроме того, присоединяется на отдельный заземлитель, располагаемый на расстоянии не менее 10 м от других заземляющих систем и имеющий сопротивление растеканию не более 60 Ом.

Прибор включается после соединения питающего шнура с сетью 127-220 В тумблером "сеть". При этом должна загореться индикаторная лампочка питания. Для проверки работоспособности прибора нужно нажать кнопку "контроль", это вызовет срабатывание обоих порогов, зажигание сигнальных ламп и включение звукового сигнала примерно на 5 с.

Прибор должен быть включенным в течение всего грозового сезона (май-сентябрь). Рекомендуется делать небольшие перерывы в работе РГО (около одного раза в неделю в течение суток выключать прибор), если позволяют производственные условия, т.е. когда не ведутся работы на электрооборудовании и взрывные работы.

При грозе нельзя касаться корпуса прибора из-за возможности появления высокого потенциала (индуктированного или прямого удара молнии). Выключать прибор в грозу не рекомендуется ввиду потери возможности объективного критерия ее окончания.

54. Порядок обслуживания прибора должен быть следующим:

а) смена сигнальных ламп и предохранителя производится без вскрытия прибора с передней панели. Ремонт прибора в условиях эксплуатации не предусматривается;

б) в случае выхода прибора из строя, когда замена предохранителей не вызывает восстановления работоспособности, следует отключать регистратор от сети, сделать отметку об этом в журнале и уведомить об отказе главного энергетика предприятия.

Для учета работы РГО должен быть заведен специальный журнал (форма 5).

В колонку "дата" вносится текущее число месяца, смена, год. В колонке "Отметка о проверке работоспособности" отмечается ("да" или "нет") результат контроля после нажатия кнопки "контроль". Не

Форма 5

Ж У Р Н А Л

работы регистратора грозовой опасности (образец)

Дата	Отметка о проверке работоспособности	Показание счетчика		Примерное время сигнализации		Примерное время грозы		Примечание	Подпись
		начало смены	окончание смены	начало	конец	начало	конец		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0

рекомендуется нажимать кнопку более одного раза подряд, так как при нажатии кнопки срабатывает электромеханический счетчик.

Колонка "показания счетчика" заполняется в начале и конце смены, в ней записываются цифры на электромеханическом счетчике. В колонках "примерное время сигнализации РГО" и "примерное время грозы" проставляются соответствующие времена начала и окончания сигнализации прибора и грозы. В последней колонке ставится подпись лица, заполняющего журнал.

55. При срабатывании I-го порога РГО горный диспетчер (если регистратор установлен в его помещении) должен известить об этом дежурный персонал подстанции, находящийся на смене, участковый надзор и энергетика разреза (в рабочее время). Причем информация должна носить предупредительный характер.

При срабатывании второго порога РГО диспетчер должен дать сигнал "Грозовая опасность", по которому:

а) прекращаются все работы, перечисленные в п.3.2. "Временных нормативов по грозозащите электроустановок угольных разрезов";

б) отключаются на подстанции фидеры, питающие передвижные карьерные электроустановки;

в) персонал, работающий на открытом воздухе, должен быть размещен в экскаваторы, бурстанки или в помещения раскомандировок.

Для оперативного извещения участков о возникновении грозовой опасности необходимо организовать эффективную передачу информации с учетом конкретных условий и возможностей.

В случаях, когда РГО установлены не в помещении горного диспетчера, дежурный персонал обязан известить диспетчера о срабатывании регистратора. Дальнейшие действия диспетчера должны соответствовать вышеизложенному.

Команду "Окончание грозовой опасности" диспетчер подает после удаления облака с территории разреза и прекращения срабатывания второго порога РГО.

Приложение 2

О Б О С Н О В А Н И Е

основных положений нормативов по грозозащите электроустановок угольных разрезов

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. О надежности схем грозозащиты передвижных подстанций и электрифицированных агрегатов 3

II. Обоснование отказа от установки емкостей в схемах защиты карьерных машин 8

III. Влияние многократного заземления магистрального заземляющего провода на грозоупорность карьерного электрооборудования и электробезопасность II

IУ. О выборе величины сопротивления заземления в схемах грозозащиты карьерных электроустановок I4

I. О НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ГРОЗОЗАЩИТЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ АГРЕГАТОВ

Надежность схем грозозащиты характеризуют показателем грозоупорности, т.е. средним ожидаемым числом лет без возникновения хотя бы одного опасного грозового перенапряжения, превышающего электрическую прочность изоляции. Специфика работы передвижных карьерных подстанций и механизмов обусловливает особенности схем грозозащиты, отличающихся от рекомендуемых "Правилами устройства электроустановок" и " Руководящими указаниями по защите от перенапряжений", что затрудняет оценку надежности схем.

Расчет надежности схем грозозащиты производится по формуле

$$M = \frac{1}{N_0 + N_л}, \qquad (I)$$

где $N_л$ – среднее число появления в год опасных перенапряжений на изоляции за счет волн, набегающих с линии;

N_0 – среднее число появления в год опасных перенапряжений на изоляции за счет обратных перекрытий при прямых ударах молнии в подстанцию или в агрегат.

Определение величины N_0 не вызывает особых затруднений и может быть произведено по следующим формулам:

$$N_0 = N_1 \cdot P_{Im}; \qquad (2)$$

$$N_1 = (S + 3h)(L + 3h) \cdot N \cdot 10^{-6}; \qquad (3)$$

$$P_{Im} = e^{-0,04 I_m}; \qquad (4)$$

$$I_m = \frac{U_{из}}{R_{сз}}, \qquad (5)$$

где N_1 – количество прямых ударов молнии за год в подстанцию или в агрегат;

P_{Im} – вероятность появления молнии с амплитудой тока, вызывающей обратное перекрытие изоляции;

L, S, h – соответственно длина, ширина и высота подстанции (агрегата), м;

I_m – амплитуда тока молнии, вызывающего обратное перекрытие, кА;

$U_{из}$ – импульсная прочность изоляции, кВ;

$R_{сз}$ – сопротивление заземления подстанции или самозаземления агрегата, Ом.

Основную трудность при оценке надежности представляет расчет

величины $N_л$, которая может быть принципиально рассчитана по методике, изложенной в работе [1].

Для определения величины $N_л$ необходимо построить зависимость уровня грозоупорности I_x исследуемой схемы грозозащиты от удаления x точки прямого удара молнии относительно начала воздушной линии

$$I_x = \varphi(x). \qquad (6)$$

Вероятное число случаев возникновения перенапряжений на изоляции машины определяется из выражения

$$n = N_{ол} = \int_0^{\ell} \rho_{I_x} \cdot dx \ , \qquad (7)$$

где. $N_{ол}$ – число ударов молнии на единицу длины линии в год;

ρ_{I_x} – вероятность ударов молнии с токами, большими величины I_x;

ℓ – учитываемая в расчете длина линии.

Зависимость $I_x = \varphi(x)$ определяется анализом переходного процесса в схеме грозозащиты при ударе молнии в точку, удаленную на расстояние x от защищаемого оборудования. Молния рассматривается либо как источник тока заданной формы, либо как источник напряжения заданной формы, включаемый через сопротивление, равное волновому сопротивлению канала молнии. При расчете необходимо учесть следующее:

– многократные отражения и преломления в узлах схемы, т.е. волновой характер процесса;

– нелинейность сопротивлений вентильных разрядников;

– соотношение вольт-секундных характеристик разрядников и изоляции;

– нестабильность срабатывания разрядников.

По некоторому взятому значению амплитуды тока молнии рассчитывается напряжение в функции от времени на изоляции защищаемого оборудования.

Рассчитанное напряжение сравнивается с допустимым, и если амплитуда перенапряжения оказывается меньше допустимого, то задаются новым, несколько большим значением амплитуды тока молнии. Расчет повторяется до тех пор, пока перенапряжение на изоляции не достигнет допустимой величины. Амплитуда тока молнии, при котором перенапряжение на изоляции достигает допустимого значения,

будет расчетным уровнем грозоупорности I_x в данной точке x. Задаваясь различными значениями x, построим зависимость уровня грозоупорности от расстояния до точки удара молнии и по приведенным соотношениям вычислим показатель грозоупорности.

Разработка программы расчета надежности схем грозозащиты с учетом всех указанных выше требований является весьма сложной и трудоемкой работой, требующей значительного времени.

Гораздо проще рассчитать надежность схем на грозоанализаторе - специальной аналоговой вычислительной машине. Расчет при этом производится согласно методике, изложенной в работе [I].

Расчеты на ЭЦВМ и грозоанализаторе обладают, однако, одним недостатком - для карьерного электрооборудования практически нет справочных данных по волновым характеристикам, необходимым для расчета как на ЭЦВМ, так и на грозоанализаторе.

В связи с этим наиболее достоверные результаты могут быть получены при исследовании реальных схем с помощью специального прибора - синхронографа на сравнительно низком напряжении. При этом трубчатые и вентильные разрядники заменяются моделями; перекрытие изоляции моделируется устройством среза. Генератор импульсов напряжения синхронографа подключается к воздушной линии через сопротивление, равное волновому сопротивлению канала молнии, на различном расстоянии от начала линии. Напряжение на изоляции измеряется с помощью осциллографа. Амплитуда импульса напряжения постепенно повышается до тех пор, пока напряжение на изоляции не достигнет допустимого (в масштабе). По амплитуде импульса напряжения определяется уровень грозоупорности в данной точке. Таким образом, строится зависимость уровня грозоупорности от расстояния, и далее, как это было написано выше, определяется надежность схем грозозащиты.

Измерения на разрезах комбината Востсибуголь показали, что с помощью синхронографа можно определить волновые характеристики карьерного электрооборудования и получить экспериментальные уровни грозоупорности I_x.

Однако принципиально возможно уже сейчас сформировать во "Временных нормативах ...." оценки показателя грозоупорности, следуя методике, предложенной Ленинградским политехническим институтом [I].

В работе [I] произведен расчет для 3I схемы грозозащиты. Ряд схем по своим параметрам очень сходен с некоторыми схемами гро-

зозащиты карьерных вращающихся машин. Существенным отличием является наличие защищенного подхода.

Если принять допущение авторов работы [2] о том, что все прямые удары молнии в пределах длины опасной зоны представляют опасность для изоляции оборудования, то по результатам работы [I] можно сделать ориентировочные оценки надежности аналогичных схем грозозащиты карьерного электрооборудования. Показатель грозоупорности можно оценить по соотношению

$$M = \frac{35}{T} \cdot \frac{1}{N_n + \frac{1}{m}}, \qquad (8)$$

где T – количество грозочасов в год;

m – показатель грозоупорности согласно работе [3];

N_n – среднее число прямых ударов молнии в незащищенный подход при 35 грозочасах в год, вычисляется по формуле

$$N_n = 0{,}1\,l,$$

где l – длина подхода.

В табл. I приведены данные по показателям грозоупорности схем (рис. I). Приняты следующие обозначения:

$U_д$ – величина допустимого напряжения на изоляции электрооборудования;

$U_н$ – номинальное рабочее напряжение оборудования (действующее значение);

m – показатель грозоупорности схемы согласно [I] при надежной работе разрядников в защищенном подходе;

m' – то же, с учетом нестабильности срабатывания разрядников;

M – показатель грозоупорности схемы при незащищенном подходе и надежной работе разрядников;

M' – то же, с учетом нестабильности работы разрядников.

Таблица I

Показатели грозоупорности схем грозозащиты при T=35 часов в год

Схема	При $U_д = 1{,}5\sqrt{2}\,U_н$				При $U_д = 1{,}7\sqrt{2}\,U_н$			
	M	M'	m	m'	M	M'	m	m'
Рис. I,а	3,9	3,9	5,5	5,5	5,7	5,7	I0	I0
Рис. I,б	3,5	3,4	5,8	3,5	9,3	8,I	I0,5	9
Рис. I,в	8,8	4,2	22	5,8	II,6	8,2	55	I9
Рис. I,г	6,3	3,7	II	5,0	I2,7	8,2	88	I9

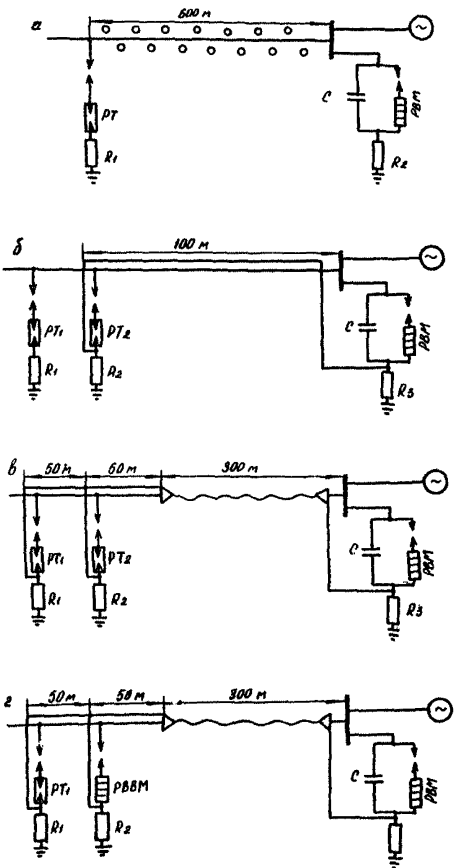


Рис.I. Расчетные схемы грозозащиты:

а – с защитой подхода отдельно стоящими молниеотводами;
б – с защитой подхода тросами; в,г – с кабельной вставкой

II. ОБОСНОВАНИЕ ОТКАЗА ОТ УСТАНОВКИ ЕМКОСТЕЙ В СХЕМАХ ЗАЩИТЫ КАРЬЕРНЫХ МАШИН

Для уменьшения крутизны волн перенапряжений, возникающих при прямых ударах молнии в подстанции, а также для снижения амплитуды индуктированных перенапряжений на зажимах машин рекомендуется устанавливать емкости [3,4]. Емкость, выбранная из расчета снижения индуктированных перенапряжений, обычно обеспечивает и требование снижения крутизны набегающих волн, обусловленных прямыми ударами молний [2].

Гибкие высоковольтные кабели передвижных электрифицированных агрегатов карьеров обладают значительной емкостью, величина которой может быть в ряде случаев достаточной для уменьшения крутизны и снижения амплитуды индуктированных напряжений до безопасных значений.

Индуктированное перенапряжение, возникающее на изоляции электроустановок, оценивается по формуле [2]

$$U_{инд} = E_m \cdot h \sum_{i=1}^{n} f(l_i) \cdot \frac{C_л}{C + C_л}, \qquad (10)$$

где E_m – максимальное значение вертикальной составляющей напряженности поля под грозовым облаком у поверхности земли;

h – высота подвеса провода;

$f(l_i)$ – функция, учитывающая растекание заряда по линии длиной l_i вследствие неоднородности электрического поля облака вдоль линии;

$C_л$ – емкость линии;

C – емкость на зажимах машины, включающая в себя емкость кабеля $C_к$ и защитную емкость на шинах $C_э$;

m – количество линий.

Приняв допустимую величину индуктированного перенапряжения равной испытательному напряжению, из формулы (10) вычислим необходимую величину емкости C, а из нее по соотношению

$$C_э = \frac{C - n \cdot C_к}{n} \qquad (11)$$

найдем необходимую величину емкости, устанавливаемой на каждой вращающейся машине; n – количество машин (и соответственно гибких кабелей) на данном фидере.

По формулам (10) и (11) сделаны расчеты для схем рис.2. При расчетах принято: удельная емкость линии $C_{л0}$ =0,0045 $\frac{мкФ}{км}$ [2];

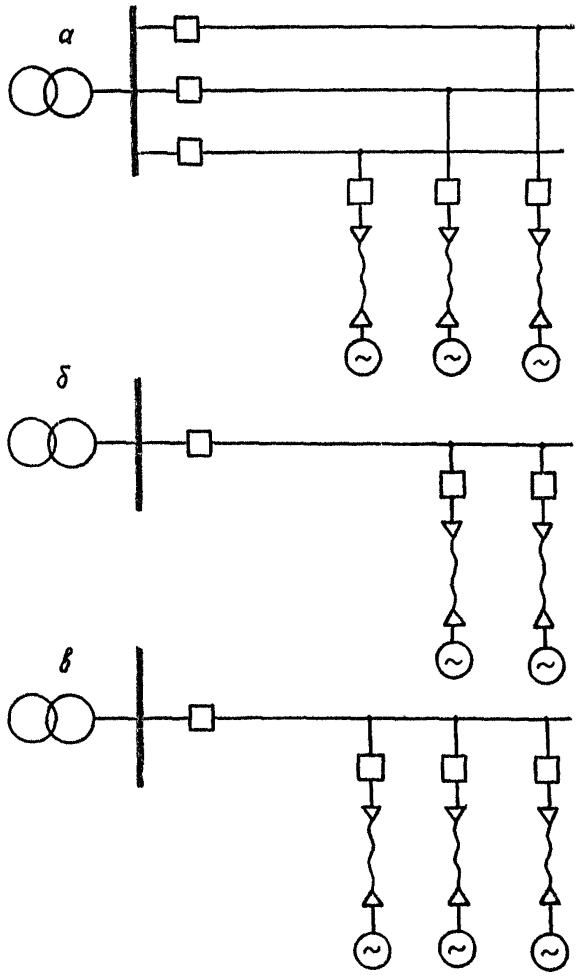


Рис.2. Схемы электроснабжения к расчету величины защитной емкости:
а– радиальная; б– магистральная с двумя близкорасположенными кабельными ответвлениями; в – магистральная с тремя близкорасположенными кабельными ответвлениями

удельная емкость кабеля C_{ko} =I,5 $\frac{мкФ}{км}$ [5](измерения по карьерам Минуглепрома дают близкие результаты); высота подвеса провода h =6 м.

Значения функции $f(l)$ определялись из графика, приведенного в работе [2]. Результаты сведены в табл.2.

Таблица 2

Расчетные величины защитных емкостей, устанавливаемых на шинах передвижных электрифицированных агрегатов

Длина, км		Необходимая величина защитной емкости $C_д$, мкФ при схеме					
		рис.2,а		рис.2,б		рис.2,в	
линии	кабеля	величина E_m, кВ/м					
		300	I50	300	I50	-300	I50
I	0,2	0,25	0,25	–	–	–	–
I	0,3	0,I	–	–	–	–	–
I	0,4	–	–	–	–	–	–
2	0,2	0,57	0,I4	0,09	–	–	–
2	0,3	0,42	–	–	–	–	–
2	0,4	0,I7	–	–	–	–	–
3	0,2	0,82	0,26	0,26	–	–	–
3	0,3	0,67	0,II	0,II	–	–	–
3	0,4	0,52	–	–	–	–	–

Из таблицы видно, что только при наличии одного кабеля на фидере (рис.2,а) необходима установка дополнительной емкости на зажимах вращающихся машин для расчетных значений поля E_m=300кВ/м. Но согласно [2] такие величины полей являются максимально измеренными в опытах и чрезвычайно редки. По данным Норинцера [6] величины поля более 300 кв/м встречаются довольно часто – в 5% всех случаев. Однако более поздние измерения Левиса и Фауста [7] показали, что величины 300 кВ/м встречаются значительно реже: из 280 измерений только одно составило 280 кВ/м и 30 достигло I50 кв/м. Исследования в Восточной Сибири [8] также показали, что указанные величины поля являются маловероятными.

Кроме того, обычно на фидере бывает присоединено несколько кабелей на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга.

Сказанное выше позволяет сделать вывод о возможности надежной грозозащиты электрооборудования без применения защитных емкостей. Только в случае отсутствия кабельных вставок необходима установка емкостей.

Ш. ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО ПРОВОДА НА ГРОЗОУПОРНОСТЬ КАРЬЕРНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Прямые удары молнии в передвижные электрифицированные агрегаты карьеров, срабатывании разрядников, пробой изоляции вызывают импульсное повышение потенциала на корпусах и заземляющих устройствах. Поскольку все заземлители карьера объединены магистральным заземляющим проводом, возникает вопрос о степени влияния присоединения этого провода. Вопрос этот интересен еще и потому, что в некоторых комбинатах Дальвостокуголь осуществляется повторное заземление магистрального заземляющего провода через каждые 500 м заземлитель с сопротивлением растеканию не более 10 Ом (при токе промышленной частоты). Необходимо выяснить, насколько это мероприятие отвечает поставленной цели – обеспечению безопасности обслуживающего персонала. Рассмотрим процесс протекания тока молнии через заземлитель магистрали сопротивлением R . Для оценки протекающего через второй заземлитель тока I_r магистральный провод можно рассматривать как сосредоточенную индуктивность. Такое приближение вполне оправдано, так как время прохождения волны до соседнего заземлителя около 2 мкс , т.е. намного меньше длины волны тока молнии. Расчетная схема замещения показана на рис.3,а.

На фронте волны тока, когда необходимо рассматривать провод как длинную линию, схема замещения до возврата отраженной волны будет иметь вид, изображенный на рис.3,б, где Z_B – волновое сопротивление линии. Так как обычно Z_B близко к 300 Ом, то через него будет проходить не более 3% общего тока, т.е. влияние повторного заземлителя очень незначительно.

Вернемся к схеме рис. 3,а.

Рассмотрим канал молнии как источник тока, меняющегося во времени по закону

$$I(t) = I_m \left(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t} \right). \qquad (12)$$

Отсос тока через повторное заземление будет невелик, если падение напряжения на нем будет много меньше падения напряжения на индуктивности, что эквивалентно условию

$$t \ll \tau, \qquad (I3)$$

где t – текущее время (от начала процесса);

$\tau = \frac{L}{r}$ – постоянная времени цепочки.

Для провода длиной l =500 м, радиусом a =5 мм, подвешенного на высоте h =6 м, индуктивность равна

$$L = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot l}{2\pi} \cdot \ln \frac{2h}{a} = 0{,}8 \text{ мГн},$$

откуда τ =80 мкс.

Следовательно, повторное заземление будет оказывать влияние лишь при длинах волн, достигающих сотен микросекунд, и сказываться, в основном, в уменьшении напряжения на спаде волны.

Рассмотрим процесс прохождения тока вида (I2) при малых временах, когда выполняется условие (I3). Протекание тока по цепи (рис.3,а) подчиняется уравнению

$$L = \frac{dI_r}{dt} + rI_r = R(I - I_r), \qquad (I4)$$

где I_r – ток через сопротивление r.

Условие (I3) аналогично следующим условиям:

$$I \gg I_r, \quad L\frac{dI_r}{dt} \gg r \cdot I_r. \qquad (I5)$$

Из уравнения (I4) с учетом выражений (I5) интегрированием получим

$$I_r = \frac{I_m \cdot R}{\alpha \cdot L}\left(\frac{\alpha}{\beta} \cdot e^{-\beta t} - e^{-\alpha t} + 1 - \frac{\alpha}{\beta}\right). \qquad (I6)$$

Приняв во внимание, что $\beta \gg \alpha$, найдем долю тока, протекающего через сопротивление r

$$\frac{I_r}{I} = \frac{R}{\alpha L} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha t}}{e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}} \qquad (I7)$$

Рассмотрим выражение (I7) для времен, превышающих длительность фронта, т.е. для $t \ll \frac{1}{\beta}$

$$\frac{I_r}{I} = \frac{R}{\alpha L}\left(e^{-\alpha t} - 1\right), \qquad (I8)$$

где $\alpha \simeq 0{,}02 \frac{1}{\text{мкс}}$ (при волне длительностью около 50 мкс).

При этом зависимость (I8) изображается графиком рис.4.

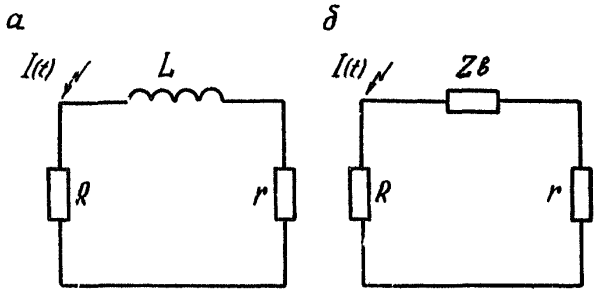


Рис.3. Расчетные схемы замещения цепи протекания тока молнии по заземляющим проводам:
а – без учета волнового сопротивления; б – с учетом волнового сопротивления проводов

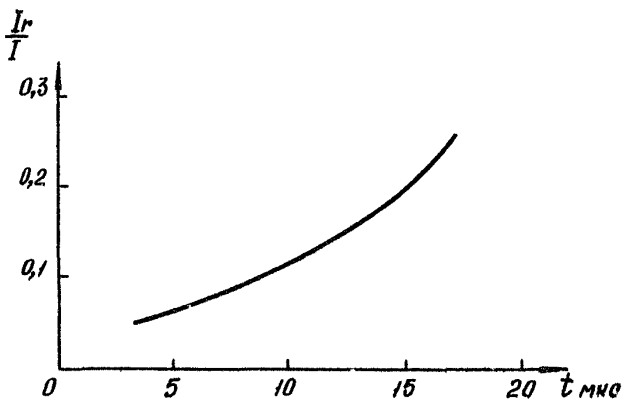


Рис.4. Зависимость доли тока, протекающего через повторный заземлитель, от времени

Поскольку значительное протекание тока через повторный заземлитель начинается на спаде волны, устройство повторного заземления практически не сказывается на амплитуде импульсного потенциала на основном заземлителе и является нецелесообразным.

Более того, при большом количестве заземлителей на магистральном заземляющем проводе вероятность попадания людей под импульсное напряжение будет значительно выше, что обусловливает, с точки зрения электробезопасности, недопустимость многократного заземления.

IУ. О ВЫБОРЕ ВЕЛИЧИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СХЕМАХ ГРОЗОЗАЩИТЫ КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

При срабатывании разрядника величина его сопротивления заземления вместе с падением напряжения на разряднике определяется величиной волны напряжения, распространяющейся дальше по линии и воздействующей на изоляцию оборудования.

Сопротивление заземляющих устройств нормируется в зависимости от удельного сопротивления грунта. Это объясняется тем, что в грунтах с высоким удельным сопротивлением величины токов молнии меньше, а устройство заземлений сложнее и дороже. В грунтах с высокой электропроводностью величина сопротивления определяется необходимостью обеспечения нужного показателя грозоупорности.

Для оценки необходимой величины сопротивления заземления разрядников принята упрощенная методика. Перенапряжения величиной более I00 кВ создаются на линиях 6 кВ в основном из-за прямых ударов молнии и очень редки, а индуктированные перенапряжения порядка I00 кВ возможны в среднем 2-5 раз в год на I00 км линии. Поэтому рассматривается процесс работы схемы грозозащиты при воздействии волны напряжения I,5/40 мкс амплитудой I00 кВ при различных величинах сопротивления заземлителей разрядников [9]. Процесс работы разрядника рассматривается по схеме замещения согласно рис.5. Расчет проведен с учетом вольтсекундной характеристики разрядника. При набегании волны перенапряжения амплитудой I00 кВ величина напряжения на разряднике и заземлителе изменяется во времени согласно рис.6.

По специально составленной программе на ЭЦВМ "Минск-22" сделаны расчеты оптимальных величин сопротивлений заземляющих устройств и мест установки разрядников (для трех вариантов, включаю-

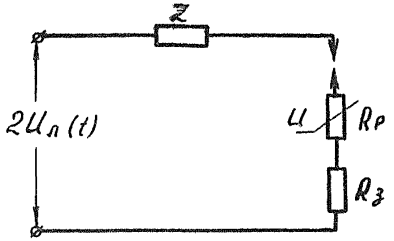


Рис.5. Расчетная схема замещения при срабатывании разрядника

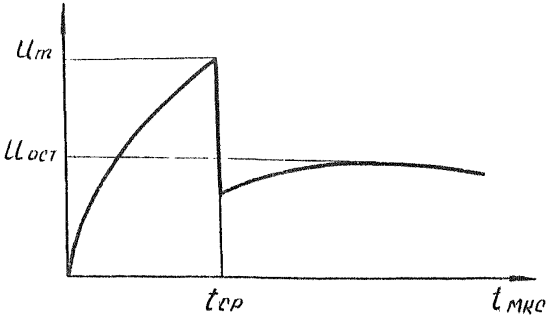


Рис.6. Изменение напряжения на системе разрядник-заземлитель при падении волны перенапряжения

щих в себя I60 наборов параметров схем).

В табл.3 приведены значения потенциалов на трубчатом разряднике при различных величинах сопротивлений заземляющих устройств разрядников. Величина U_m определяется вольтсекундными характеристиками разрядника и от сопротивлений заземлителя практически не зависит.

Таблица 3

Потенциал на разряднике РТВ-6 при волне перенапряжения амплитудой I00 кВ

Сопротивление заземлителя, Ом	Потенциал, кВ
3	4
5	8
I0	I3
20	20

Полагая величину испытательного напряжения для изоляции оборудования равной $I,7\sqrt{2}U_{ном}$, получим из табл.3, необходимые величины сопротивлений заземлителей трубчатых разрядников. Для электрооборудования напряжением 6 кВ $U_{исп}$=I5 кВ и сопротивление должно быть не более I0 Ом, что обеспечивает достаточную надежность защиты от индуктированных перенапряжений в сетях 6 кВ; вентильные разрядники дополнительно защищают изоляцию от перенапряжения U_m, определяемого вольтсекундной характеристикой разрядника. При прямых ударах молнии в линию вблизи защищаемого оборудования, когда величины перенапряжений могут значительно превысить I00 кВ, протекающие процессы значительно сложнее и сделать подобную оценку величины сопротивления заземлителя затруднительно.

Сопротивление заземления вентильного разрядника, устанавливаемого непосредственно на шинах оборудования или у концевой кабельной линии, меньше влияет на величину перенапряжения, определяя в основном опасный для обслуживающего персонала потенциал на корпусе машины или приключательного пункта. Однако отсутствие данных об опасных величинах потенциала микросекундной длительности не позволяет произвести расчет и с точки зрения электробезопасности.

Ввиду больших трудностей контроля импульсных сопротивлений за-

земляющих устройств всюду в тексте "Временных нормативов..." речь идет о сопротивлении заземлителей при токе промышленной частоты.

Уменьшение импульсных коэффициентов в высокоомных грунтах до 0,3-0,4 при $\rho = 1 \cdot 10^3$ Ом позволяет в этих грунтах повысить верхний предел сопротивления заземлителей при токе промышленной частоты до значений 25-30 Ом без значительного ухудшения надежности защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полевой И.Ф., Печенкин И.Д., Пирязева А.И. Оценка надежности схем грозозащиты вращающихся машин. – "Электричество", 1962, № 7.

2. Дульзон А.А., Кляцкий И.И. Грозозащита подстанций. Изд-во Томского государственного университета, 1970.

3. Правила устройства электроустановок. М., "Энергия", 1970.

4. Проект руководящих указаний по защите от перенапряжений электроустановок переменного тока 3-500 кВ. –"Электрические станции", 1964, №4, 6-12; 1965, №1-8.

5. Драгнев Д.М. Исследование состояния изоляции и переходных процессов при однофазных замыканиях на землю в электрических сетях 6 кВ угольных карьеров Болгарии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Московский горный институт, 1972.

6. Норриндер Л. Исследование грозовых разрядов. Госэнергоиздат, 1956.

7. Пятилетние исследования воздействия молнии на линии электропередач. – В кн.: "Энергетика за рубежом". М., изд-во ОРГРЭС, 1967.

8. Филиппов А.Х. Грозы Восточной Сибири. Л., Гидрометиздат, 1974.

9. Отчет по теме №390 "Разработка нормативов по грозозащите электроустановок для открытых горных разработок". Иркутск, фонды НИС Иркутского политехнического института, 1973.

Ответственный за выпуск В.О.Жидков
Редактор Г.А.Олейникова
Корректор Т.И.Агафонова
Технолог А.М.Чигарев

Кемерово. Ротапринт ВостНИИ. Формат 60х84 I/I6
Объем 5,0 печ.л. Тираж 400 экз. Заказ №72 I976г.

gost.e-ecolog.ru