

**Библиотека  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

П.А. Юриков

**ЗАЩИТА ИЗОЛЯЦИИ  
ОТ АТМОСФЕРНЫХ  
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

---

*Выпуск 157*

П. А. ЮРИКОВ

ЗАЩИТА ИЗОЛЯЦИИ  
ОТ АТМОСФЕРНЫХ  
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

(Трубчатые разрядники и другие  
средства защиты)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1965

ЛЕНИНГРАД

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. А., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д.,  
Устинов П. И.

УДК 621.316.93  
Ю 70

В брошюре описаны принцип действия, конструкция, монтаж и эксплуатация трубчатых разрядников, защитных промежутков, защитных конденсаторов, молниеотводов и заземлителей, которые применяются в схемах защиты электрооборудования электростанций и подстанций от атмосферных перенапряжений.

Брошюра является продолжением выпуска 118 (Библиотека электромонтера, 1964 г.) «Перенапряжения и электрическая прочность высоковольтной изоляции» и выпуска 147 (Библиотека электромонтера, 1964 г.) «Средства защиты изоляции от атмосферных перенапряжений (вентильные разрядники)».

Брошюра рассчитана на электромонтеров, обслуживающих и монтирующих электрические сети, подстанции и электростанции.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Трубчатые разрядники . . . . .	5
2. Защитные промежутки . . . . .	41
3. Защитные конденсаторы . . . . .	45
4. Молниеотводы . . . . .	47
5. Заземляющие устройства . . . . .	55

Юриков Павел Андреевич

Защита изоляции от атмосферных перенапряжений (Трубчатые разрядники и другие средства защиты)

М.—Л., издательство „Энергия“, 1965 г., 72 с. с черт.

(Б-ка электромонтера. Вып. 157)

Тематический план 1965 г., № 183

Редактор В. П. Ларионов

Техн. редактор Г. С. Юдаева

Сдано в набор 9/I 1965 г.

Подписано к печати 5/III 1965 г.

Т-03523 Бумага 84×108<sup>1/2</sup>

Печ. л. 3,69

Уч.-изд. л. 3,81

Тираж 15 800 экз.

Цена 13 коп.

Зак. 31

Московская типография № 10 Главполиграфпрома  
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.  
Шлюзовая наб., 10.

## ВВЕДЕНИЕ

Для защиты изоляции электрических установок от грозовых перенапряжений, кроме вентильных разрядников, описанных в брошюре «Средства защиты от атмосферных перенапряжений (вентильные разрядники)» (Библиотека электромонтера, вып. 147, 1964 г.), служат также трубчатые разрядники, защитные промежутки, защитные конденсаторы и молниеотводы.

Трубчатые разрядники применяются главным образом для защиты линейной изоляции, а также в комплексе с другими средствами защиты входят в защитные схемы подстанционной и станционной изоляции.

Особенностью трубчатых разрядников является то, что сопровождающий ток короткого замыкания, проходящий через разрядник вслед за импульсным током, обрывается под воздействием газов, выделяющихся из газогенерирующей трубки разрядника.

В настоящее время заводами Советского Союза выпускаются три серии трубчатых разрядников: РТФ (разрядник трубчатый фибробакелитовый), РТВ (разрядник трубчатый винилластовый) и РТВУ (разрядник трубчатый винилластовый усиленный).

Трубчатые разрядники серии РТФ выпускаются на номинальные напряжения от 3 до 110 кв, а серии РТВ— от 6 до 110 кв. Разрядники этих серий обрывают токи короткого замыкания до 10—12 ка. Разрядники серии РТВУ изготавливаются на номинальные напряжения 35, 110 и 220 кв и обрывают токи до 30 ка.

Каждая серия состоит из различных типов трубчатых разрядников, рассчитанных на разные номинальные напряжения, которые указываются цифрой, стоящей в числителе после буквенного обозначения серии, и на различные величины обрываемых токов, указанные

в знаменателе, например трубчатый разрядник типа РТФ  $\frac{6}{0,3-7}$  имеет номинальное напряжение 6 кв и обрывает токи короткого замыкания, величина которых лежит в пределах 0,3—7 ка.

Защитные промежутки не имеют устройства, которое бы обрывало дугу переменного тока, возникающую между их электродами. Поэтому они применяются, как правило, в сочетании с автоматами повторного включения, которые удерживают оборудование в работе после отключения дуги. Защитные промежутки используются для защиты изоляции, которая имеет большие запасы прочности и позволяет при выборе разрядной длины промежутков не опасаться больших разбросов их разрядных напряжений.

Защитные конденсаторы входят в схемы защиты от грозовых перенапряжений изоляции вращающихся электрических машин, с помощью конденсаторов уменьшают крутизну и амплитуду волн, падающих на машины. Специальные защитные конденсаторы не выпускаются. Для целей защиты могут применяться конденсаторы, предназначенные для повышения коэффициента мощности электрических установок.

Принцип действия молниеотводов состоит в том, что они, возвышаясь над защищаемым объектом, воспринимают удары молний на себя. Для эффективной защиты молниеотводы должны иметь хорошее заземление.

---

## 1. ТРУБЧАТЫЕ РАЗРЯДНИКИ

### а) Как работают трубчатые разрядники

Трубчатый разрядник представляет собой искровой промежуток, образованный двумя металлическими электродами, заключенными в изолирующую трубку, изготовленную из газогенерирующего материала. На концы изолирующей трубы надеваются металлические наконечники, один из которых закрывает трубу наглухо, а второй имеет отверстие для выхода из нее газов.

Трубчатые разрядники включаются между токоведущим проводом и землей, параллельно защищаемой ими изоляции. Электрическая схема включения трубчатого разрядника показана на рис. 1. Кроме внутреннего искрового промежутка  $ИП_1$ , схема включения трубчатого разрядника содержит внешний (отделительный) искровой промежуток  $ИП_2$ , который отделяет разрядник от рабочего напряжения.

Если бы отсутствовал внешний искровой промежуток, то под действием рабочего напряжения через разрядник проходили бы токи утечки, которые прожгли бы на поверхности трубы проводящие «дорожки», и разрядник вышел бы из строя.

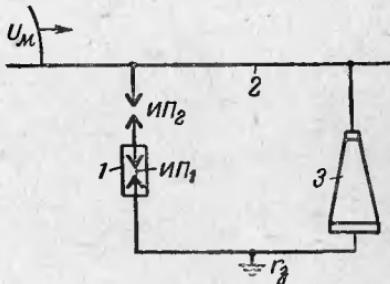


Рис. 1. Электрическая схема включения трубчатых разрядников.

$ИП_1$  — внутренний искровой промежуток;  $ИП_2$  — внешний (отделительный) искровой промежуток;  $r_3$  — сопротивление заземления;  $U_m$  — амплитуда набегающей волны напряжения; 1 — трубчатый разрядник; 2 — провод линии электропередачи; 3 — защищаемая изоляция.

Изменением величины внешнего искрового промежутка можно регулировать вольт-секундную характеристику трубчатого разрядника, его пробивное напряжение. Внутренний искровой промежуток служит для гашения электрической дуги тока промышленной частоты, которая возникает при пробоях разрядника и регулировке не подлежит.

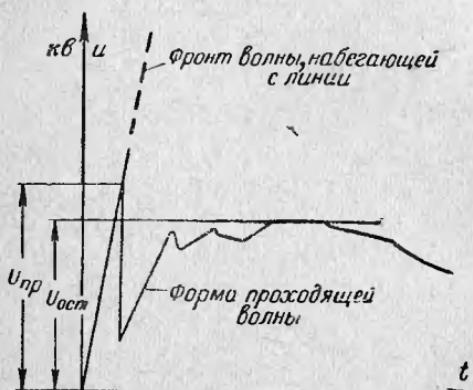


Рис. 2. Форма волны на трубчатом разряднике после его срабатывания.  
 $U_{пр}$  — пробивное напряжение разрядника;  
 $U_{ост}$  — остающееся напряжение на разряднике.

разряднике обусловлено ростом тока молнии, протекающего через разрядник и заземление.

Падение напряжения на сопротивлении заземления и заземляющего спуска называется остающимся напряжением  $U_{ост}$ . Величина остающегося напряжения зависит от амплитуды и скорости возрастания тока молнии, проходящего через разрядник, и сопротивления заземления: чем они больше, тем выше остающееся напряжение. При низких сопротивлениях заземления остающееся напряжение имеет незначительную величину и может иметь колебательный характер.

В тех случаях, когда у трубчатых разрядников и защищаемой ими изоляции заземление общее (рис. 1), остающееся напряжение на заземлителе не представляет опасности для защищаемой изоляции. Если же разрядники и защищаемая ими изоляция имеют раздельное заземление, то остающееся напряжение на зазем-

Третьим элементом схемы включения трубчатого разрядника является заземление. При грозовых перенапряжениях, превышающих пробивное напряжение  $U_{пр}$  трубчатого разрядника, пробиваются его искровые промежутки и ток молнии начинает проходить в землю. Напряжение на трубчатом разряднике в первый момент снижается, а затем снова начинает расти (рис. 2). Увеличение напряжения на трубчатом раз-

лителе разрядника может оказаться выше прочности защищаемой изоляции. В таких случаях величина сопротивления заземления трубчатых разрядников нормируется.

После прохождения тока молнии через разрядник под воздействием рабочего напряжения проходит ток промышленной частоты, который называется сопровождающим током. Поскольку сопротивление заземления разрядника, как правило, имеет небольшую величину, сопровождающий ток является током короткого замыкания в месте установки трубчатого разрядника. Сопровождающий ток поддерживает горение электрической дуги в искровых промежутках.

Дуга, горящая внутри изолирующей трубы, обжигает стенки канала трубы. Материал трубы под воздействием температуры дуги разлагается и выделяет газы, которые создают внутри трубы давление до нескольких десятков атмосфер. Газы, устремляясь к открытому концу трубы, создают продольное дутье, которое охлаждает дугу, и при первом же переходе тока через нулевое значение дуга гасится. На этом работа разрядника заканчивается, и он снова готов к действию.

### б) Электрические характеристики трубчатых разрядников

Каждый тип трубчатых разрядников характеризуется электрическими параметрами, приведенными в табл. 1.

Номинальное напряжение указывает, в какой сети может применяться данный трубчатый разрядник. Если он будет установлен в сеть с меньшим номинальным напряжением, чем указано на его паспорте, защита будет неэффективна, а если с большим напряжением, то разрядник при срабатывании не разорвет дуги и разрушится.

Верхний предел обрываемых токов указывает на максимальную величину сопровождающего тока (тока короткого замыкания), который разрядник может обрывать. Если величина тока короткого замыкания в данной точке сети превышает верхний предел обрываемых

Таблица 1

Тип разрядника	Величина внешнего искрового промежутка, мм	Импульсные разрядные напряжения при волне 1/5/40 мксек, кв макс						Разрядное напряжение при 50 гц, кв действ
		минимальные при полярности		для 2 мксек при поляриности		в сухом состоянии	под дождем	
		+	-	+	-			

*A. Разрядники фиберобакелитовые (РТФ)*

РТФ $\frac{3}{0,2-1,5}$	5—10	35	40 45*	40 42*	45 50*	10	7
РТФ $\frac{3}{1,5-7}$	5—10	35	40 45*	40 42*	45 50*	10	7
РТФ $\frac{6}{0,3-7}$	8 15	61 80	61 80	71 83	71 83	42	39
РТФ $\frac{6}{1,5-10}$	8 15	55 68	55 68	67 83	67 83	—	—
РТФ $\frac{10}{0,5-7}$	— 20	— 80	— 160	— 170	— 200	—	—
РТФ $\frac{35}{0,4-3}$	100 150 200	180 225 270	190 255 320	205 250 300	220 265 310	95 105 130 155	75 83 110 135
РТФ $\frac{35}{0,8-5}$	80 100 150 200	180 195 235 270	180 195 245 285	210 230 275 330	210 230 275 330	110 105 115 125	65 73 90 105
РТФ $\frac{35}{1,8-10}$	80 100 150 200	155 170 210 245	155 170 220 270	180 195 240 290	180 195 240 290	90 96 115 130	80 82 95 105
РТФ $\frac{60}{0,4-2,2}$	175	275	270	—	—	184	110
РТФ $\frac{60}{0,8-5}$	175	275	270	—	—	184	110
РТФ $\frac{60}{1,2-7}$	175	275	270	—	—	184	110
РТФ $\frac{110}{0,4-2,2}$	350 400 450	410 432 455	455 495 530	495 525 550	560 600 640	213 230 240	200 225 250
вар. I, II	500	475	570	580	680	255	270

\* При закреплении за открытый конец.

Продолжение табл. 1

Тип разрядника	Величина внешнего искрового промежутка, мм	Импульсные разрядные напряжения при волне 1/5/40 мксек, кВ макс				Разрядное напряжение при 50 гц, кВ действ	
		минимальные при полярности		для 2 мксек при полярности		в сухом состоянии	под дождем
		+	-	+	-		
РТФ $\frac{110}{1,2-7}$ вар. I, II	350	410	455	495	560	213	200
	400	430	500	525	600	230	225
	450	455	530	550	640	240	250
	500	475	570	580	680	255	270
	350	385	430	500	560	—	—
	400	395	440	540	645	—	—
РТФ $\frac{110}{2-10}$ вар. I, II	450	405	450	580	730	—	—
	500	415	460	620	810	—	—

*Б. Разрядники винилластовые (PTB)*

PTB $\frac{6-10}{0,5-4}$	10	60	60	65	65	33	32
	15	65	65	68	68	42	40
PTB $\frac{6-10}{2-12}$	10	60	60	65	65	33	32
	15	65	65	68	68	42	40
PTB $\frac{15}{2-12}$	25	90	90	98	98	55	45
	40	115	115	125	125	65	55
PTB $\frac{35}{2-10}$	80	135	140	140	145	100	100
	100	165	165	180	180	115	110
	150	210	225	220	225	150	145
	200	260	285	275	288	180	170
PTB $\frac{110}{2-10}$	350	380	400	415	435	310	100
	400	405	440	450	480	217	212
	450	435	460	485	510	165	145
	500	460	490	520	575	395	170

*В. Разрядники винилластовые усиленные (PTBV)*

PTBV $\frac{35}{5-20}$	80	—	—	—	—	—	—
	100	165	165	180	180	100	85
	150	—	225	—	262	147	120
	200	—	265	—	308	195	156
PTBV $\frac{35}{7-30}$	80	—	—	—	—	—	—
	100	165	165	180	180	100	85
	150	—	225	—	262	147	120
	200	—	265	—	308	195	156

Продолжение табл. 1

Тип разрядника	Величина внешнего искрового промежутка, мм	Импульсные разрядные напряжения при воле 1/5/40 мксек, кв макс				Разрядное напряжение при 50 гц, кв действ	
		минимальные при полярности		для 2 мксек при полярности		в сухом состоянии	под дождем
		+	-	+	-		
РТВУ $\frac{110}{5-20}$	350	—	—	—	—	—	—
	400	405	440	450	480	217	212
	450	—	460	—	505	265	234
	500	—	490	—	538	282	255
РТВУ $\frac{110}{7-30}$	350	—	—	—	—	—	—
	400	405	440	450	480	217	212
	450	—	460	—	505	265	234
	500	—	490	—	538	282	255
РТВУ $\frac{220}{2-10}$	500	—	1 050	—	1 100	600	550
	600	—	1 100	—	1 150	700	600
	700	—	1 150	—	1 200	750	700
	800	—	1 200	—	1 250	864	838

токов, указанных на паспорте разрядника, разрядник при срабатывании разрушится. Величина верхнего предела обрываемых токов ограничивается механической прочностью трубчатого разрядника.

Гашение дуги в трубчатом разряднике зависит, кроме конструктивных его параметров, от количества выделенных в дугогасящем канале газов, а интенсивность газообразования в свою очередь обусловлена величиной сопровождающего тока, проходящего через разрядник. Чем больше сопровождающий ток, тем выше давление газов внутри разрядника, тем надежнее гашение дуги. Поэтому существует минимальная величина сопровождающего тока, при которой разрядник обрывает дугу. При дальнейшем уменьшении сопровождающего тока дуга в разряднике продолжает длительно гореть и внутренняя стенка изолирующей трубы выгорает. Минимальное значение сопровождающего тока, при котором разрядник еще гасит дугу, является нижним пределом обрываемых трубчатым разрядником токов.

Основной характеристикой трубчатого разрядника является его импульсное пробивное напряжение. При выборе разрядника его вольт-секундная характеристи-

ка должна лежать ниже вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции не менее чем на 25%. Если вольт-секундная характеристика трубчатого разрядника будет располагаться выше вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции, то разрядник не защитит изоляцию от перенапряжений.

Вольт-секундные характеристики трубчатых разрядников, как уже указано, регулируются величиной внешнего искрового промежутка. Для снижения вольт-секундной характеристики должна уменьшаться величина разрядного расстояния внешнего искрового промежутка. Однако при значительных уменьшениях длины внешнего искрового промежутка трубчатые разрядники будут часто срабатывать без особой необходимости и быстро износятся. Для повышения эксплуатационной надежности и уменьшения числа срабатываний трубчатых разрядников целесообразно во всех случаях внешние искровые промежутки устанавливать наибольшими допустимыми по условиям защиты изоляции.

Трубчатые разрядники рассчитаны для работы при грозовых перенапряжениях. Срабатывание их при внутренних перенапряжениях может повлечь за собой повреждение разрядника. Для того чтобы трубчатые разрядники не срабатывали при внутренних перенапряжениях, их пробивные напряжения при промышленной частоте (50 гц) должны лежать выше уровня возможных внутренних перенапряжений.

Трубчатые разрядники находятся на открытом воздухе. Смачивание дождем поверхности изолирующей трубы трубчатого разрядника ведет к увеличению поверхностной проводимости трубы и к перераспределению приложенного к искровым промежуткам напряжения. На внешний промежуток трубчатого разрядника ложится большая часть напряжения, чем на внутренний, что вызывает каскадный пробой промежутков: сначала пробивается внешний искровой промежуток, а затем внутренний. Так как для каскадного пробоя нужно меньшее напряжение, чем для одновременного пробоя обоих промежутков, то пробивное напряжение трубчатых разрядников под дождем ниже, чем в сухом состоянии. Поэтому величина пробивных напряжений трубчатых разрядников при промышленной частоте определяется под дождем. Пробивные напряжения

трубчатых разрядников под дождем должны лежать выше уровня возможных внутренних перенапряжений в той точке сети, где они устанавливаются.

### в) Конструкция трубчатых разрядников

а) Конструкция фибробакелитовых трубчатых разрядников серии РТФ показана на рис. 3, а габаритные размеры всей серии фибробакелитовых трубчатых разрядников даны в табл. 2.

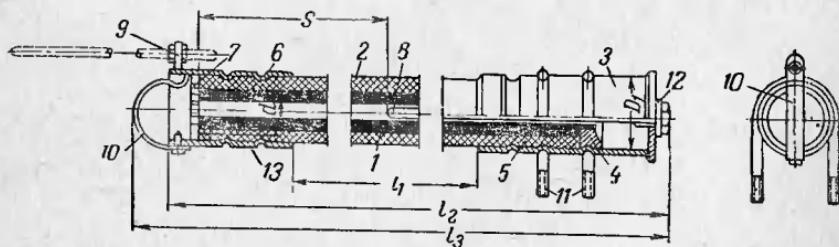


Рис. 3. Конструкция фибробакелитовых трубчатых разрядников серии РТФ.

1 — фибровая трубка; 2 — бакелиловая трубка; 3 — резервуар; 4 — конусная гайка; 5 — втулка; 6 — наконечник (обойма); 7 — пластиначатый электрод «звездочка»; 8 — стержневой электрод; 9 — ушко для крепления электрода внешнего искрового промежутка; 10 — указатель срабатывания; 11 — хомутики для крепления разрядника; 12 — прокладка; 13 — дополнительный электрод;  $S$  — величина внутреннего искрового промежутка.

Основной деталью фибробакелитовых трубчатых разрядников является изолирующая трубка, которая состоит из тонкостенной фибровой трубы, упрочненной бакелизированной бумагой. Упрочнение трубы необходимо для того, чтобы трубка могла выдерживать высокие внутренние давления, возникающие при работе трубчатого разрядника. Длина фибробакелитовой трубы выбирается такой, чтобы разрядное расстояние по ее поверхности было примерно в два-три раза больше разрядного расстояния между электродами внутреннего искрового промежутка разрядника. Фибробакелитовая трубка служит для гашения электрической дуги и является основой всей конструкции разрядника. Оба конца изолирующей трубы армируются (запрессовываются) стальными обоймами (наконечниками). Один из концов наглухо закрыт и имеет газовый резервуар, в котором при горении электрической дуги в трубке запасаются

Таблица 2

Тип разрядника	Размеры, мм					
	<i>s</i>	<i>d</i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>l<sub>1</sub></i>	<i>l<sub>2</sub></i>	<i>l<sub>3</sub></i>
РТФ $\frac{3}{0,2-1,5}$	40	8	35	138	357	400
РТФ $\frac{3}{1,5-7}$	40	8	35	138	357	400
РТФ $\frac{6}{0,3-7}$	130	10	44,5	233	472	520
РТФ $\frac{6}{1,5-10}$	80	10	44,5	233	472	520
РТФ $\frac{10}{0,5-7}$	130	10	44,5	233	472	520
РТФ $\frac{35}{0,4-3}$	175	8	35	425	662	720
РТФ $\frac{35}{0,8-5}$	175	10	44,5	440	786	840
РТФ $\frac{35}{1,8-10}$	140	12	60	410	733	780
РТФ $\frac{60}{0,4-2,2}$	300	8	76	645	1 037	1 100
РТФ $\frac{60}{0,8-6}$	350	16	76	645	1 037	1 100
РТФ $\frac{60}{1,2-7}$	300	16	76	645	1 037	1 100
РТФ $\frac{110}{0,4-2,2}$	300	8	76	645	1 037	1 100
РТФ $\frac{110}{1,2-7}$	300	16	76	645	1 037	1 100
РТФ $\frac{110}{2-10}$	250	20	76	645	1 137	1 200

газы под высоким давлением, способствующие затем гашению электрической дуги. Ко дну резервуара на резьбе крепится стержневой электрод, который проходит внутри фибровой трубы и образует вместе с пластинчатым электродом («звездочкой») внутренний искровой промежуток трубчатого разрядника.

Вторая стальная обойма остается открытой для выброса горячих газов в момент работы трубчатого разрядника. В этой обойме и помещается пластинчатый электрод с зубцами («звездочка»), который прижат к торцу дугогасительной трубы и приварен к обойме. Пластинчатый электрод делается зубчатым для того, чтобы при разработке дугогасящего канала не мешать выходу выхлопных газов.

Все фибробакелитовые трубчатые разрядники снабжаются пластинчатым указателем срабатывания однократного действия. Один конец металлической пластиинки жестко прикрепляется к наконечнику, а второй заводится в выхлопное отверстие разрядника; при срабатывании разрядника этот конец выбрасывается наружу выхлопными газами.

Отдельные типы фибробакелитовых трубчатых разрядников имеют некоторые конструктивные особенности.

Трубчатые разрядники типа РТФ  $\frac{3}{0,2-1,5}$  рассчи-

таны на небольшие токи, поэтому для создания необходимого давления в канале разрядника выхлоп горячих газов тормозится специальной стальной заглушкой с отверстием 3 мм, которая заменяет пластинчатый электрод («звездочку»).

Для снижения пробивных напряжений у трубчатых разрядников типа РТФ-6-10 кв применяются дополнительные электроды, которые в виде тонкой металлической ленты шириной 20 мм и длиной 160 мм закладываются в толщу бакелитовой трубы и одним концом присоединяются к пластинчатому электроду. Наличие дополнительного электрода искажает электрическое поле, создает условия для появления скользящего поверхностного разряда по стенке фибровой трубы и тем самым снижает пробивное напряжение трубчатого разрядника.

Трубчатые разрядники типов РТФ  $\frac{110}{1,2-7}$  и РТФ

$\frac{110}{2-10}$  имеют дополнительное крепление металлического наконечника с резервуаром к бакелитовой трубке с помощью трех металлических штифтов диаметром по 8 мм.

Трубчатые разрядники типа РТФ  $\frac{110}{0,4-2,2}$  для успешного гашения малых токов со стороны открытого конца имеют запрессованную фибровую трубку с меньшим внутренним диаметром.

б) Винилластовые разрядники серии РТВ представлены на рис. 4. На все номинальные напряжения от 6 до 110 кв их конструкция одинакова, но отличаются они между собой габаритными размерами, которые указаны в табл. 3.

Таблица 3

Тип разрядника	Размеры, мм					
	$s$	$d$	$D$	$t_1$	$t_2$	$t_3$
РТВ $\frac{6-10}{0,5-4}$	60	6	45	260	430	672
РТВ $\frac{6-10}{2-12}$	60	11	45	260	430	672
РТВ $\frac{15}{2-12}$	80	11	45	300	470	712
РТВ $\frac{20}{2-12}$	100	11	45	350	520	760
РТВ $\frac{35}{2-10}$	140	11	45	470	640	882
РТВ $\frac{110}{2-10}$	300	14	57	1 000	1 200	1 472

Изолирующая трубка разрядника изготавливается из винипласта, который под действием температуры электрической дуги выделяет значительное количество инертных газов, способных гасить дугу. Механическая прочность винилластовой толстостенной трубы такова, что она выдерживает высокие внутренние давления, возникающие при работе трубчатого разрядника.

Длина винипластовой трубы выбирается из условий предотвращения перекрытия ее по поверхности.

Оба конца винипластовой трубы армируются стальными обоймами, один из которых наглухо закрывает конец винипластовой трубы, а другой конец остается открытым для выхода газов. Внутри винипластовой трубы помещается стержневой электрод, кото-

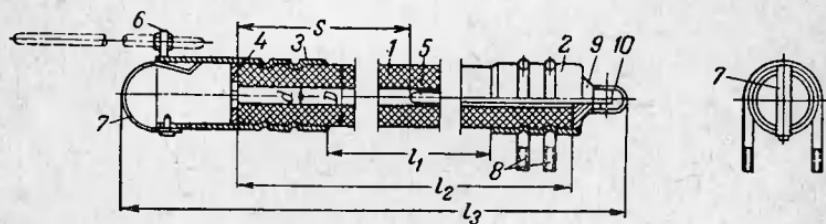


Рис. 4. Конструкция винипластовых трубчатых разрядников серии РТВ.

1 — винипластовая трубка; 2 — обойма закрытого конца; 3 — обойма открытого конца; 4 — пластинчатый электрод — «звездочка»; 5 — стержневой электрод; 6 — ушко для крепления электрода внешнего искрового промежутка; 7 — указатель срабатывания; 8 — хомуты для крепления разрядника; 9 — прокладка; 10 — электрод внешнего искрового промежутка; S — величина внутреннего искрового промежутка.

рый одним концом закрепляется в обойме закрытого конца разрядника. На стержневом электроде имеются усики, которые не позволяют раскаленному стержневому электроду своим концом соприкасаться со стенкой дугогасительной трубы и выжигать ее. Вторым электродом внутреннего искрового промежутка служит пластинчатый электрод «звездочка», помещенный в открытом конце разрядника.

Винипластовые трубчатые разрядники в отличие от фибробакелитовых не имеют большого газового резервуара в закрытом металлическом наконечнике. Исследованиями Всесоюзного электротехнического института установлено, что наличие газового резервуара больших размеров не повышает дугогасящие свойства винипластового разрядника.

Винипластовые трубчатые разрядники серии РТВ имеют указатели срабатывания однократного действия.

Винипласт удовлетворяет почти всем требованиям, которые предъявляются к материалам для трубчатых разрядников. Но он имеет и отрицательные свойства:

при температуре более  $+50^{\circ}\text{C}$  размягчается и изгибается, а при соединении с влагой образует пары хлористоводородной кислоты, которая вызывает усиленную коррозию металлических деталей.

в) Винилластовые трубчатые разрядники усиленные серии РТВУ являются самыми мощными. Они способны

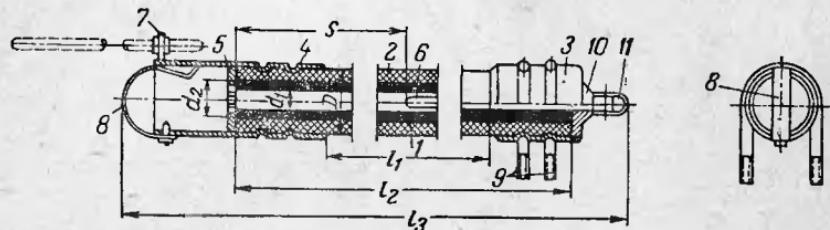


Рис. 5. Конструкция винилластовых усиленных трубчатых разрядников серии РТВУ на 35—110 кв.

1 — винилластовая трубка; 2 — стеклотекстолитовая трубка; 3 — обойма закрытого конца; 4 — обойма открытого конца; 5 — пластинчатый электрод «звездочка»; 6 — стержневой электрод; 7 — ушко для крепления электрода внешнего искрового промежутка; 8 — указатель срабатывания; 9 — хомутики для крепления разрядника; 10 — прокладка; 11 — электрод внешнего искрового промежутка с отверстием для крепления удлинителя;  $S$  — величина внутреннего искрового промежутка.

обрывать токи до 20—30 ка. Конструкция винилластовых усиленных трубчатых разрядников на напряжение 35—110 кв показана на рис. 5, а на номинальное напряжение 220 кв — на рис. 6. Габаритные размеры усиленных винилластовых трубчатых разрядников даны в табл. 4.

Таблица 4

Тип разрядника	Размеры, мм						
	$S$	$d_1$	$d_2$	$D$	$l_1$	$l_2$	$l_3$
РТВУ $\frac{35}{5-20}$	140	14	30	45	650	720	850
РТВУ $\frac{35}{7-30}$	140	16	32	55	650	720	850
РТВУ $\frac{110}{5-20}$	300	16	30	45	900	1 100	1 190
РТВУ $\frac{110}{7-30}$	300	18	32	55	900	1 100	1 190
РТВУ $\frac{220}{2-10}$	$2 \times 300$	11	30	45	$2 \times 835$	$2 \times 1 000$	2 500

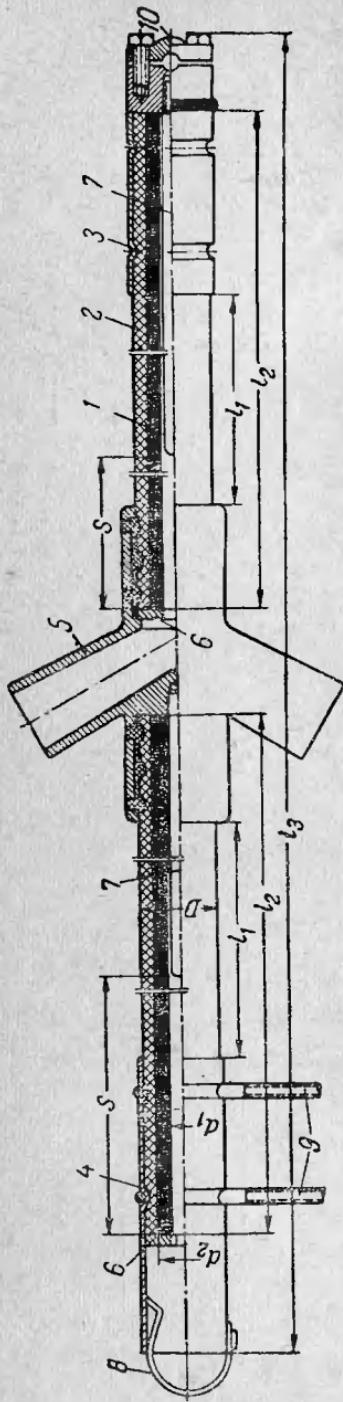


Рис. 6. Конструкция винилластовых усиленных трубчатых разрядников на номинальное напряжение 220 кВ.  
 1 — винилластовая трубка; 2 — стеклотекстолитовая трубка; 3 — обойма открытого конца; 4 — обойма открытого конца; 5 — соединительная обойма с выхолным патрубком; 6 — пластичный электрод «звездочка»; 7 — стержневой электрод; 8 — указатель сработывания; 9 — хомуты для крепления разрядника; 10 — прижимная планка для крепления электрода промежутка.  $s$  — величина промежутка;  $S$  — величина внутреннего промежутка.

В отличие от трубчатых разрядников серии РТВ изолирующая трубка разрядников серии РТВУ состоит из винилластовой тонкостенной трубы с нанесенным на нее слоем стеклотекстолита. Винилластовая тонкостенная трубка предназначена для генерирования газов, а слои стеклотекстолита придают изолирующему трубке высокую механическую прочность. Упрочнение винилластовой тонкостенной трубы производится многослойной обмоткой из стекловолокнистого атмосферостойкого материала с последующей пропиткой его атмосферостойкой эпоксидной смолой. На винилластовую трубку наносится сухая стеклосетка, пропитываемая затем при температуре 120° С расплавленной эпоксидной смолой. В процессе термообработки эпоксидная смола под действием отвердителя переходит из жидкого состояния в твердое и вместе с винилластовой трубкой и стеклосеткой образует монолитный механически прочный материал.

Упрочненная дугогасительная трубка у разрядников серии РТВУ, так же как и у разрядни-

ков серии РТВ, армируется по концам стальными обоймами. У этих разрядников также отсутствует большой газовый резервуар.

В остальном конструкция всех разрядников серии РТВУ аналогична конструкции винилластовых трубчатых разрядников серии РТВ, кроме разрядников типа РТВУ  $\frac{220}{2-10}$ . Усиленные винилластовые трубчатые раз-

рядники типа РТВУ  $\frac{220}{2-10}$  состоят из двух трубчатых разрядников типа РТВУ-110, которые соединяются между собой стальной обоймой 5 с двумя выхлопными патрубками (рис. 6). Каждая половина разрядника имеет свою изолирующую трубку длиной 1000 мм и внутренний искровой промежуток длиной 300 мм. При срабатывании разрядника выхлоп газов из верхней газогенерирующей трубки происходит через патрубки в обе стороны, а из нижней газы выбрасываются через открытый конец разрядника.

### г) Эксплуатация трубчатых разрядников

После того как определено место установки трубчатого разрядника в сети, выбирается тип разрядника. Выбор типа трубчатых разрядников производится по их номинальному напряжению, указанному на паспортной табличке, по величине тока короткого замыкания, который будет обрывать трубчатый разрядник, и по разрядным характеристикам той изоляции, которую будет защищать выбираемый трубчатый разрядник.

Выбранный трубчатый разрядник должен иметь одно и то же номинальное напряжение с той сетью, в которой он устанавливается. Трубчатый разрядник, установленный в сеть с номинальным напряжением, большим его номинального напряжения, при внутренних перенапряжениях будет часто срабатывать и повредится. Из-за длительного горения дуги в канале газогенерирующей трубки разрядника величина канала увеличится, разрядник потеряет дугогасительные свойства и перекроется по поверхности.

Если трубчатые разрядники будут установлены в сеть, имеющую номинальное напряжение ниже номинального напряжения разрядника, то их установка мо-

жет оказаться бесполезной, поскольку разрядники будут иметь пробивные напряжения выше разрядных напряжений изоляции и не будут защищать ее от перенапряжений.

Величина тока короткого замыкания в той точке сети, где предполагается установить трубчатый разрядник, должна лежать внутри диапазона обрываемых токов, указанных на паспортной табличке выбранного трубчатого разрядника. При этом с пределами обрываемых токов разрядника должны сравниваться действующие значения токов короткого замыкания в той точке сети, где устанавливается данный разрядник.

Как правило, трубчатые разрядники обрывают сопровождающий ток (ток короткого замыкания) в момент первого его перехода через нулевое значение. Следовательно, выбор трубчатого разрядника должен производиться по величине действующего значения полного тока короткого замыкания за первый полупериод промышленной частоты. Однако при расчетах тока короткого замыкания обычно учитывается только периодическая составляющая<sup>1</sup> тока короткого замыкания и не учитывается его постоянная составляющая. Для определения действующего значения полного тока короткого замыкания за первый полупериод рекомендуется величину действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания за первый полупериод в отдаленных точках сети умножать на коэффициент 1,3, а в близко расположенных от генераторов точках сети — на 1,5. Полученная таким образом величина полного тока короткого замыкания не должна превышать верхнего предела обрываемых токов, указанных на паспортной табличке выбранного разрядника.

Вместе с тем действующее значение одной периодической составляющей тока короткого замыкания за первый полупериод не должно быть меньше нижнего предела обрываемых токов, указанного на паспортной табличке трубчатого разрядника. Если действующее значение периодической составляющей близко к нижнему пределу отключаемых токов, то следует проверить,

<sup>1</sup> Полная величина тока короткого замыкания состоит из синусоидальной составляющей промышленной частоты и постоянной составляющей, которая затухает через несколько периодов синусоиды.

обеспечивает ли нормальную работу разрядника его заземляющее устройство. Сопротивление заземления трубчатого разрядника в некоторых случаях может ограничивать величину тока однофазного короткого замыкания настолько, что она оказывается меньше тока нижнего предела. В этом случае трубчатый разрядник не обрывается ток и повреждается.

Максимально допустимую величину сопротивления заземления  $r_s$  трубчатых разрядников, устанавливаемых в сети с заземленной нейтралью, можно определить по формуле

$$r_s = \frac{U}{\sqrt{3} I_{n.p.}},$$

где  $U$  — номинальное напряжение сети, кв;

$I_{n.p.}$  — величина тока нижнего предела выбранного трубчатого разрядника, ка.

Для мощных трубчатых разрядников и для разрядников на номинальные напряжения 3—35 кв величина сопротивления заземления колеблется от 1 до 10 ом.

Следует также учесть, что во избежание повышения остающегося напряжения на защищаемой изоляции до опасной величины сопротивление заземления трубчатых разрядников не должно превышать нормированного значения.

Пробивное напряжение трубчатых разрядников определяется величиной внешнего и внутреннего искровых промежутков. Основную роль в определении величины пробивного напряжения трубчатых разрядников играет величина внешнего искрового промежутка.

Для исключения частых срабатываний трубчатых разрядников при внутренних перенапряжениях желательно иметь пробивные напряжения разрядников в сетях с изолированной нейтралью не менее 3,5-кратного фазового напряжения, а в сетях с заземленной нейтралью — трехкратного, т. е. целесообразно выбирать внешние искровые промежутки по возможности большими. Для повышения же надежности защиты изоляции внешние искровые промежутки, наоборот, целесообразно уменьшать. Поэтому в эксплуатации устанавлива-

ются следующие минимальные величины внешних искровых промежутков:

для сети 3 кв с изолированной нейтралью . . . . .	8 мм
для сети 6 кв с изолированной нейтралью . . . . .	10 мм
для сети 10 кв с изолированной нейтралью . . . . .	15 мм
для сети 20 кв с изолированной нейтралью . . . . .	60 мм
для сети 35 кв с изолированной нейтралью . . . . .	100 мм
для сети 110 кв с заземленной нейтралью . . . . .	400 мм
для сети 220 кв с заземленной нейтралью . . . . .	500 мм

Для повышения эксплуатационной надежности трубчатых разрядников и упрощения их эксплуатации во всех случаях целесообразно выбирать наибольшую допустимую величину внешних искровых промежутков по условиям защиты изоляции.

При выборе трубчатых разрядников в каждом конкретном случае должна проверяться надежность защиты путем сопоставления вольт-секундных характеристик изоляции и трубчатых разрядников. Вольт-секундная характеристика трубчатого разрядника должна лежать ниже вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции не менее чем на 25% (от пробивных напряжений разрядника). Согласование характеристик производится с помощью изменения длины внешнего искрового промежутка разрядника.

На выбранные трубчатые разрядники составляется ведомость, где указывается: наименование линии электропередачи, на которой устанавливаются трубчатые разрядники; номер опоры; величина тока короткого замыкания в месте установки каждого комплекта трубчатых разрядников; тип выбранного трубчатого разрядника; величина внешних искровых промежутков; величина сопротивления заземления опоры и наименование изоляции, которую защищают трубчатые разрядники. На основании этой ведомости трубчатые разрядники развозятся по линиям электропередачи и по опорам. Транспортировка трубчатых разрядников может производиться вместе с бригадами, которые выезжают их монтировать.

Трубчатые разрядники устанавливаются на опорах линий электропередачи, а также на порталных конструкциях открытых подстанций или на стенах закрытых распределительных устройств.

Трубчатые разрядники серий РТВ и РТВУ, кроме разрядников типа РТВУ  $\frac{220}{2-10}$ , можно прикреплять к опорам и конструкциям за любой конец, как за закрытый, так и за открытый. Трубчатые разрядники типа РТВУ  $\frac{220}{2-10}$  устанавливаются в вертикальном положении и закрепляются, как правило, за нижний открытый конец. Трубчатые разрядники серии РТФ, кроме разрядников типа РТФ-3, рекомендуется закреплять только за закрытый конец. Трубчатые разрядники типа РТФ-3 допускается закреплять за любой конец, как за закрытый, так и за открытый. Однако опыт эксплуатации показывает, что трубчатые разрядники типа РТФ-6 и РТФ-10 также можно закреплять и за закрытый и за открытый конец. Так как разрядник, закрепленный за открытый конец, подвержен более сильной вибрации при срабатывании, чем при закреплении за закрытый конец, то целесообразно у трубчатых разрядников РТФ-6 и РТФ-10 при закреплении за открытый конец верхний предел обрываемых токов снижать в 1,5 раза.

Срабатывание трубчатых разрядников сопровождается выбросом пламени и ионизированных, проводящих газов. Поэтому конструкция установки трубчатых разрядников должна предусматривать такое их расположение на опоре, которое исключало бы возникновение коротких замыканий по зонам ионизированных выхлопных газов.

При закреплении трубчатых разрядников на опоре за закрытый конец потенциал выхлопных газов равен рабочему напряжению фазы.

Поэтому размещение трубчатых разрядников на опорах должно быть таким, чтобы выхлопные газы не вызывали междуфазовых перекрытий или перекрытий на землю, а зоны выхлопа трубчатых разрядников различных фаз не пересекались между собой. В зоне выхлопа не должны находиться элементы конструкции, имеющие другой потенциал, чем открытый конец трубчатого разрядника в момент гашения дуги.

Непосредственно перед выхлопным отверстием трубчатых разрядников не должно быть никаких посторонних предметов — выхлоп должен осуществляться сво-

бодно, в противном случае возможно разрушение трубчатых разрядников при их работе. Для того чтобы обеспечить свободный выхлоп газов при установке трубчатых разрядников на траверсах анкерных однолинейных опор с горизонтальным расположением проводов, следует всегда выхлопное отверстие трубчатого разрядника средней фазы направлять в одну сторону, а трубчатых разрядников крайних фаз — в противоположную сторону.

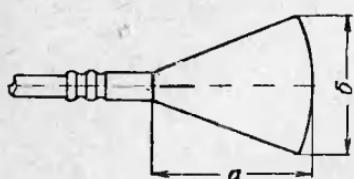


Рис. 7. Расчетная зона выхлопа.

этому в таких случаях можно допустить пересечение отдельных зон выхлопа между собой и с заземленными элементами конструкций. Однако следует учесть, что если в зону выхлопа попадает провод, находящийся под напряжением, то это вызывает однофазное короткое замыкание.

Ранее максимальные расчетные зоны выхлопных газов нормировались по сериям трубчатых разрядников, что приводило к различным величинам зон для разрядников одного и того же класса напряжения. В настоящее время признано целесообразным определять максимальные расчетные зоны выхлопных газов по классам напряжений. Нормирование зон по nominalным напряжениям упростит монтаж и эксплуатацию трубчатых разрядников.

Очертания и размеры расчетных максимальных зон выхлопа горящих ионизированных газов и пламени, выбрасываемых трубчатыми разрядниками при обрыве ими токов верхнего предела, приведены на рис. 7 и в табл. 5. Эти размеры допускают соприкосновение отдельных зон выхлопа между собой, а также касания зоной выхлопа фарфоровых, металлических деталей и земли.

В целях обеспечения безопасности людей и животных, которые могут случайно оказаться вблизи трубчатого разрядника в момент его срабатывания, трубчатые разрядники нужно устанавливать таким образом,

Таблица 5

Номинальное напряжение, кв	Размеры зоны, м		Примечание
	<i>a</i> не более	<i>b</i> не более	
3, 6, 10	1,5	1,0	
20	2,0	1,5	
35	2,5	1,5	
110	3,0	2,0	
150, 220	3,5	2,5	см. рис. 7

чтобы все его части, за исключением заземляющего спуска, а также границы зон выхлопа ионизированных газов, находились на высоте не менее 3 м над землей.

Для предотвращения возможности скопления влаги во внутренней полости трубчатых разрядников их следует устанавливать открытым концом вниз под углом не менее 15—20° к горизонту.

При установке трубчатых разрядников в местах, где они подвержены интенсивным загрязнениям уносами промышленных предприятий, их следует устанавливать открытым концом вниз под углом не менее 45° к горизонту, что уменьшает количество загрязняющих осадков на их поверхности и улучшает условия их самоочистки.

Разрегулировка внешних искровых промежутков — их закорачивание — приводит к повреждению трубчатых разрядников. Поэтому конструкция их установки должна обеспечить стабильность внешнего искрового промежутка трубчатого разрядника. Электроды внешнего искрового промежутка следует изготавливать из стального прутка диаметром не менее 12,5 мм, а для разрядников на номинальное напряжение 110—220 кв — из уголка с размерами 50×50×5 мм. Электроды желательно окрашивать белой атмосфераустойчивой краской, что позволит обнаружить оплавления при затяжной работе трубчатых разрядников.

Для предупреждения возможности уменьшения или закорачивания внешнего искрового промежутка под действием ветра или собственной тяжести, при самоотвинчивании гайки, крепящей электрод, конструкция установки трубчатого разрядника должна быть такой, чтобы разрегулировка внешнего искрового промежутка

приводила к увеличению искрового промежутка, но ни в коем случае не должна допускаться возможность уменьшения искрового промежутка.

Электроды внешних искровых промежутков трубчатых разрядников 3—6—10 кв в связи с их малой величиной не следует располагать по вертикали один под другим во избежание закорачивания разрядного расстояния каплями воды.

Электроды внешнего искрового промежутка надежно крепятся к ушку трубчатого разрядника и закрепляются контргайкой. При плохом закреплении электрода в ушке трубчатого разрядника образуется плохой контакт, который при протекании токов короткого замыкания (при работе трубчатого разрядника) выгорает и искровой промежуток разрегулируется. Не рекомендуется приваривать электрод к обойме трубчатого разрядника, так как это создает неудобство при транспортировке и ремонте трубчатых разрядников.

Во избежание переноса электрической дуги, горящей на электродах внешнего искрового промежутка, на поверхность изолирующей трубы трубчатого разрядника вследствие эжекторного действия выхлопных газов электрод внешнего искрового промежутка, прикрепленный к трубчатому разряднику, должен иметь длину не менее 250 мм.

Второй электрод внешнего искрового промежутка прикрепляется к проводу болтовыми зажимами. В некоторых случаях в качестве второго электрода внешнего искрового промежутка может быть использован провод линии, который следует защищать от оплавлений при работе разрядника бандажом, намотанным на длине не менее 0,5 м против электрода, закрепленного на разряднике.

При срабатывании трубчатых разрядников в их дугогасительных каналах развиваются большие импульсные давления, доходящие до 350 ат. Трубчатые разрядники вследствие этого испытывают большие реактивные усилия, стремящиеся сорвать их с опоры.

В связи с этим крепление трубчатых разрядников к опорам должно быть прочным, исключающим возможность их вибрации, и вместе с тем простым, позволяющим легко производить установку и смену их. Следует отказаться от крепления трубчатых разрядников на де-

ревянных опорах при помощи костылей, что ведет к загниванию древесины в местах, поврежденных костылями. Крепление трубчатых разрядников к металлическим опорам осуществляется при помощи консолей, закрепленных на опоре, а к деревянным опорам — при помощи полухомутов, охватывающих стойки и траверсы целиком. На консолях и полухомутах закрепляется разрядник на планках (рис. 8).

После закрепления разрядника на опоре резьба болтов с гайками густо смазывается атмосферостойкой противокоррозийной смазкой. Полухомуты, консоли, планки и скобы должны быть покрашены.

Расположение трубчатых разрядников на опорах производится с учетом легкого осмотра с земли их крепления. Указатель срабатывания и сам трубчатый разрядник с электродами внешнего искрового промежутка должны быть отчетливо видны снизу.

Исключительно важное значение имеет заземление трубчатых разрядников. Без заземления трубчатый разрядник не может работать. Заземление трубчатых разрядников, устанавливаемых на металлических опорах, осуществляется через тело самой опоры. Заземление трубчатых разрядников, устанавливаемых на деревянных опорах, осуществляется специальными спусками, которые прокладываются по стойкам опоры и идут от разрядника до заземлителя. Спуски делаются из круглой стали сечением не менее  $35 \text{ mm}^2$ . Трубчатые разрядники, установленные на деревянных опорах с тросами, подсоединяются к спускам, идущим от тросов к заземлителю. Эти спуски на высоте 1—1,5 м от земли должны иметь болтовые соединители, которые позволяют отсоединять трос при измерениях сопротивления заземляющего контура.

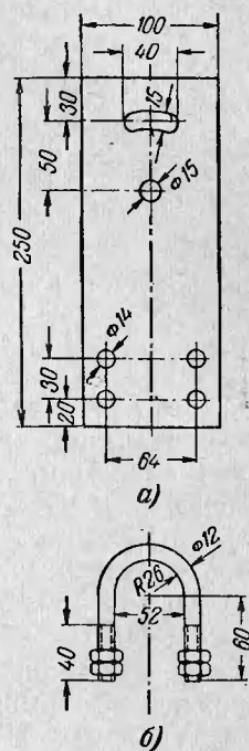


Рис. 8. Планка, на которой крепится трубчатый разрядник на номинальное напряжение 35—110 кв.

*a* — планка; *b* — хомутики для крепления разрядника.

В некоторых случаях трубчатые разрядники могут быть установлены в точках сети, где величина расчетного тока короткого замыкания превосходит верхний предел обрываемых токов. С целью уменьшения тока короткого замыкания заземление таких разрядников производится раздельно по фазам.

При таком заземлении в цепь тока короткого замыкания, протекающего через трубчатый разрядник, вводится дополнительное сопротивление, равное для однофазного короткого замыкания сопротивлению заземлителя одного разрядника, а для двухфазного короткого замыкания — сумме сопротивлений заземлителей трубчатых разрядников, установленных на этих фазах.

Следует иметь в виду, что раздельное заземление трубчатых разрядников можно выполнить только на деревянных четырехстоечных (угловых и анкерных) опорах, прокладывая заземляющие спуски от каждого трубчатого разрядника по разным стойкам и подсоединяя их к раздельным заземлителям. Расстояние между отдельными заземлителями в земле при этом должно быть не менее 3 м. В некоторых случаях пофазное заземление может быть осуществлено путем установки комплекта трубчатых разрядников на трех опорах — на каждой опоре по одному трубчатому разряднику, но на различных фазах.

Конструкции установки трубчатых разрядников на различные номинальные напряжения описаны в «Инструкции по монтажу и эксплуатации устройств защиты от перенапряжений». Для примера на рис. 9 показана конструкция установки трубчатых разрядников на анкерной металлической опоре линии электропередачи 110 кв.

Согласно действующим Правилам по технике безопасности установку трубчатых разрядников на отключенных и заземленных линиях электропередачи может производить бригада, состоящая не менее чем из 2 чел. Производителем работ может быть монтер, имеющий квалификацию по технике безопасности не ниже IV группы.

Монтаж трубчатых разрядников на опорах линий электропередачи ведется обычно в такой последовательности. К месту установки доставляются трубчатые разрядники, детали их крепления и инструмент. Прове-

ряется отсутствие напряжения на линии, на которой предполагается установка трубчатых разрядников. После того как бригада убедится в отсутствии напряжения на линии, последняя заземляется на месте работ.

При помощи веревки трубчатые разрядники и детали их крепления поднимаются на опору. На зажиме провода

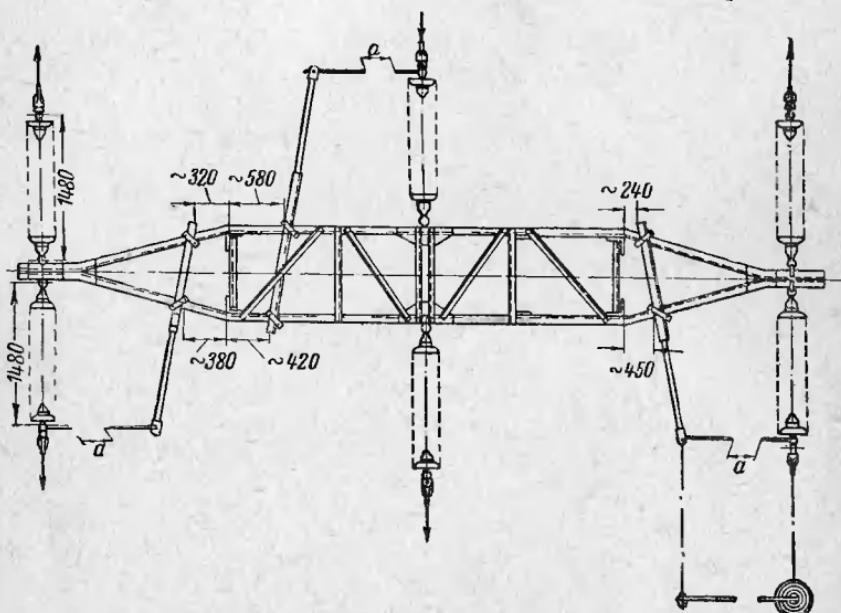


Рис. 9. Расположение трубчатых разрядников на анкерной одноцепной опоре с горизонтальным расположением проводов.

*a* — внешний искровой промежуток.

укрепляется электрод внешнего искрового промежутка. При помощи хомутов или болтов укрепляется консоль или хомут на траверсе или стойке опоры, при этом гайки не завертываются на две-три нитки до отказа. Шаблоном устанавливается необходимая величина внешнего искрового промежутка. Регулировка промежутка производится путем перемещения его в месте крепления на опоре. После установки требуемой величины внешнего искрового промежутка производится окончательное закрепление трубчатого разрядника на опоре. Трубчатый разрядник должен быть закреплен настолькоочно, чтобы монтер не мог сдвинуть его с места при значительном усилии.

Если установка трубчатых разрядников производится на деревянной опоре, нужно соединить трубчатый разрядник с заземлением опоры посредством заземляющих спусков. Концы заземляющих спусков зажимаются под болты, которыми крепится трубчатый разрядник к траверсе или стойке опоры. При установке трубчатых разрядников на стене или порталной конструкции подстанции заземление трубчатого разрядника присоединяется к общему заземляющему контуру. Заземление трубчатых разрядников, устанавливаемых на опорах с кабельными муфтами, присоединяется к корпусу муфты и броне кабеля на вершине опоры.

На линиях электропередачи напряжением 35—110 кв, отключение которых вызывает перерыв в электроснабжении потребителей, установка и снятие трубчатых разрядников должно производиться без вывода линии из работы, под рабочим напряжением. Работы по установке трубчатых разрядников под напряжением должны производиться в строгом соответствии с действующими «Инструкциями по работам на линиях электропередачи 35—220 кв и 6—10 кв, находящихся под напряжением» (см. [Л. 4]).

Работы по установке трубчатых разрядников под напряжением производятся со строгим соблюдением правил по технике безопасности бригадой, состоящей не менее чем из 2 чел. Если бригада состоит из 2 чел., то оба они должны иметь квалификацию по технике безопасности не ниже IV группы. Установка и снятие трубчатых разрядников под напряжением производятся только на стойках опор, с жестко закрепленным электродом на разряднике.

Для того чтобы электрод, закрепленный на разряднике, не мог приблизиться к проводу, находящемуся под напряжением, применяются подвесные изолировочные габаритники. Габаритник изготавливается из изоляционного материала и помещается между проводом и электродом, закрепленным на разряднике. Навеска габаритника на провод и подъем разрядника в рабочее положение осуществляется изолирующими штангами. На рис. 10 приведена схема установки трубчатого разрядника под рабочим напряжением на деревянной опоре промежуточного типа с использованием подвесного габаритника.

Работа по установке трубчатых разрядников под рабочим напряжением производится в следующей последовательности. На место работы доставляются трубчатые разрядники, установочные детали, приспособления и инструмент. Около опоры подготавливается к установ-

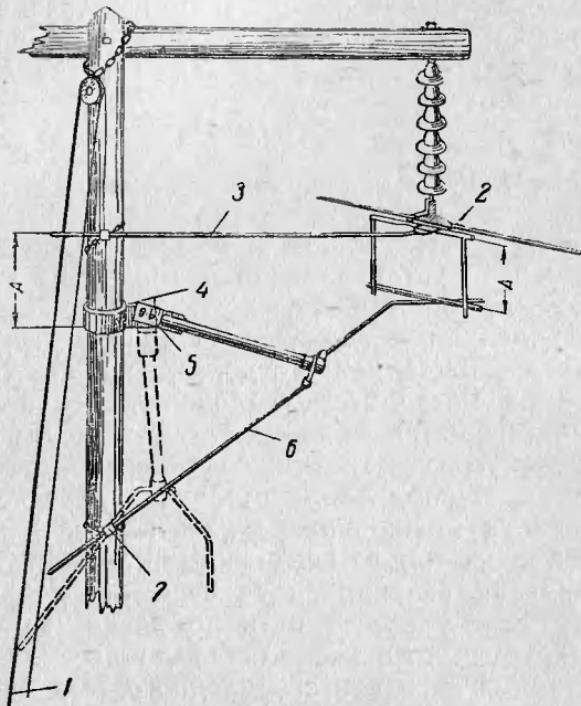


Рис. 10. Схема установки трубчатого разрядника под напряжением на деревянной опоре промежуточного типа.

1 — бесконечный канат; 2 — подвесной габаритник; 3 — штанга габаритника; 4 — полухомут; 5 — планка разрядника; 6 — штанга с поворотной головкой; 7 — держатель штанги; А — величина внешнего искро-вого промежутка.

ке разрядник. Затем на опоре со стороны установки разрядника укрепляется бесконечный канат, по которому подаются на опору все приспособления и разрядник. Монтер IV группы, находящийся на опоре, при помощи штанги навешивает подвесной габаритник; закрепляет конец штанги держателем на опоре; находит на стойке опоры место крепления разрядника и на этом месте закрепляет полухомут с косынкой; присоединив к полу-

хомуту заземляющий спуск, принимает по бесконечному канату трубчатый разрядник, навешивает его на болт косынки и снимает с него оберточную бумагу. Затем при помощи штанги с поворотной головкой поднимает трубчатый разрядник до упора электрода, закрепленного на разряднике, в габаритник. В таком положении трубчатый разрядник на опоре закрепляется, а все приспособления (штанги, габаритник, бесконечный канат и др.) с опоры снимаются.

В настоящее время поступают в опытную эксплуатацию партии трубчатых разрядников типа РТВУ  $\frac{220}{2-10}$ ,

которые могут быть установлены только в вертикальном положении. Они устанавливаются только на отключенных и заземленных линиях.

Установка их производится на дополнительной траверсе под проводом, как это показано на рис. 11. При установке на металлической дополнительной траверсе разрядники крепятся нижним заземленным патрубком к траверсе посредством стальных хомутов. При установке на деревянной дополнительной траверсе трубчатый разрядник можно прикреплять или за нижний заземленный конец или за среднюю металлическую муфту. При креплении разрядника за середину к деревянной дополнительной траверсе путь по древесине от точки крепления трубчатого разрядника до заземленных металлических спусков или заземленного тела опоры должен иметь длину не менее 5—6 м.

Трубчатые разрядники, установленные в электрических сетях всех напряжений, остаются на опорах круглый год, без изменения величины внешних искровых промежутков. За состоянием трубчатых разрядников и их работой ведется систематический надзор. За трубчатыми разрядниками, установленными на вводах линий электропередачи в подстанции, надзор осуществляется дежурный персонал подстанций или персонал, заменяющий дежурных, — выездные оперативные бригады, а на линиях электропередачи и подходах к подстанциям — обходчики, прикрепленные к данному участку линии электропередачи.

Периодические осмотры трубчатых разрядников, установленных на подстанциях, производятся дежурным персоналом одновременно с осмотром электрооборудования

ния, а на линиях электропередачи — обходчиками при очередных обходах линий электропередачи не менее 1 раза в 3 мес. и инженерно-техническим персоналом не реже 1 раза в год. Кроме того, производятся внеочередные осмотры трубчатых разрядников после сильных гроз в районе расположения подстанций или линий электропередачи, а также в случаях автоматического отключения линий как с успешным, так и неуспешным повторным включением.

Осмотры трубчатых разрядников, как правило, производятся с земли, но при необходимости допускаются верховые осмотры с подъемом на опоры. Верховые осмотры трубчатых разрядников, а также дополнительные осмотры и проверка трубчатых разрядников, установленных в зонах интенсивных загрязнений, производятся в соответствии с местными инструкциями. В местах с интенсивным загрязнением одновременно с очисткой изоляции оборудования подстанций и линий электропередачи по утвержденному графику необходимо производить обтирку поверхности трубчатых разрядников.

Персонал, производящий осмотр трубчатых разрядников, должен учитывать возможность их срабатывания в момент осмотра и соблюдать предосторожность — не приближаться к внешним искровым промежуткам и к зонам выхлопных газов на расстояние менее 3 м.

При осмотре трубчатых разрядников с земли следует обратить внимание в первую очередь на положение указателя срабатывания разрядников на всех трех фазах,

Продов

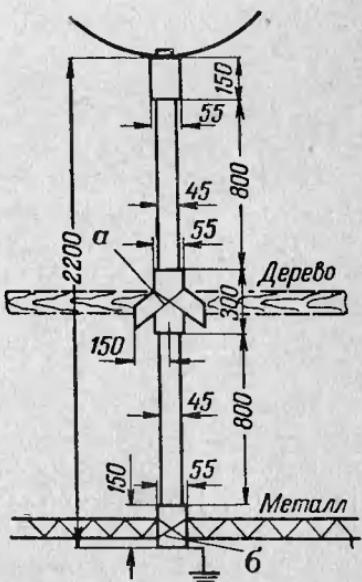


Рис. 11. Установка трубчатых разрядников типа РТВУ 220-10.

*a* — крепление трубчатого разрядника на деревянной дополнительной траверсе; *б* — крепление трубчатого разрядника на дополнительной металлической траверсе.

установить, работали или нет разрядники. На срабатывание разрядника указывают также ожоги белой краски на электродах внешнего искрового промежутка трубчатого разрядника. Затем необходимо посмотреть, правильно ли расположены трубчатые разрядники на опоре и не разрегулировались ли внешние искровые промежутки. Особенно тщательно осматривается поверхность трубчатого разрядника, отмечается загрязнение поверхности, порча ее под воздействием атмосферных влияний, наличие ожогов и оплавлений от электрической дуги как на металлических частях разрядника, так и на арматуре гирлянды изоляторов. Кроме того, всякий раз проверяется состояние заземляющих спусков (на деревянных опорах) и надежность их присоединения к заземляющему контуру опоры.

В тех случаях, когда замечены дефекты в установке трубчатых разрядников или их повреждение, следует осмотр произвести с подъемом на опору. Верховой осмотр трубчатых разрядников может производиться как при отключенной и заземленной линии электропередачи, так и под напряжением, с соблюдением правил техники безопасности.

При верховом осмотре трубчатых разрядников на отключенных и заземленных линиях электропередачи производится проверка величины внешних искровых промежутков. Наличие оплавлений на металлических обоймах трубок или электродах промежутков свидетельствует о ненормальной работе разрядников. В таких случаях необходимо проверять величину внутреннего диаметра дугогасительной трубки. Проверка внутреннего диаметра трубки может производиться на опоре без снятия разрядника или у опоры на земле со снятием разрядника. Проверяется надежность крепления разрядника к опоре и прочность заделки дугогасительной трубы в обоймах.

Если при осмотре обнаружится загрязнение поверхности трубы, она должна протираться сухой мягкой тряпкой. Гаечным ключом проверяется прочность подсоединения заземляющего спуска к разряднику. Указатель срабатывания устанавливается в исходное положение.

При верховом осмотре трубчатых разрядников под напряжением к ним прикасаться запрещается, они

осматриваются на расстоянии, определенном правилами безопасности. При отсутствии повреждений разрядники остаются в нормальной эксплуатации. Если же обнаруживаются дефекты, то линия отключается и заземляется, а обнаруженные дефекты устраняются или поврежденные разрядники заменяются исправными.

Все трубчатые разрядники, которые сработали в текущем грозовом сезоне, осматриваются после окончания грозового сезона. Те разрядники, которые имеют видимые повреждения, снимаются с опор и осматриваются немедленно. Результаты осмотров трубчатых разрядников, все обнаруженные ненормальности и факт их срабатывания записываются в путевые листы обходов, а затем заносятся в журнал осмотров и сообщаются лицам, ответственным за состояние трубчатых разрядников.

При расследовании грозовых повреждений на линиях электропередачи и на подстанциях (например, при перекрытии гирлянд изоляторов, расщеплениях древесины опор, оплавлении проводов, тросов и металлических опор) следует тщательно осматривать трубчатые разрядники, установленные на ближайших от места грозового повреждения опорах. Все обнаруженные повреждения записываются в актах по расследованию аварий и браков.

При капитальном ремонте линии электропередачи или через три года эксплуатации все трубчатые разрядники с данной линии снимаются и отправляются в районные мастерские энергосистем для их ревизии и устранения обнаруженных повреждений. Ревизия (проверка) трубчатых разрядников проводится с целью определения их состояния, пригодности к дальнейшей эксплуатации и объема необходимого ремонта. При ревизии также должно быть определено и зафиксировано, работал разрядник или нет. Признаками срабатывания трубчатого разрядника является оплавление стержневого или пластинчатого электродов внутреннего искрового промежутка, разработка фибры или винипласта, наличие копоти на внутренней поверхности дугогасительного канала или на внутренней части открытой обоймы.

Опыт эксплуатации фибробакелитовых трубчатых разрядников показал, что они на опорах увлажняются и сильно меняют свои характеристики — при увлажнении

нии снижаются их пробивные напряжения. Для оценки степени увлажнения трубчатых разрядников было предложено измерять их сопротивление и нормировать величину этого сопротивления. При сопротивлениях ниже нормированной величины разрядники должны были подвергаться сушке до тех пор, пока их сопротивление не войдет в норму.

Однако опыт показывает, что высушенные и установленные в сеть трубчатые разрядники при плохой погоде быстро увлажняются, а при хорошей снова приходят в норму, т. е. сушка трубчатых разрядников, а значит и измерения величины их сопротивления, оказываются бесполезными.

В настоящее время признано целесообразным при ревизиях трубчатых разрядников не подвергать их электрическим испытаниям, а тщательно осматривать их общее состояние и производить измерение величины внутреннего диаметра канала дугогасительной трубы, величины внутреннего искрового промежутка и проверять у фибробакелитовых разрядников механическую прочность запрессовки изоляционной трубы в металлических обоймах.

Осмотр трубчатых разрядников следует начинать с изолирующей трубы. Если изолирующая трубка фибробакелитового трубчатого разрядника имеет трещины или расслоения в боковых или торцовых поверхностях бакелитовых трубок, то такой разрядник бракуется.

Необходимо проверить величину наружного диаметра изолирующей трубы. При перекраске фибробакелитовой трубы старые слои краски удаляются и частично снимается бакелит. Если при этом внешний диаметр изолирующей трубы уменьшится более чем на 10% от начальной своей величины, то такой трубчатый разрядник также бракуется.

В эксплуатацию не допускаются винилластовые трубчатые разрядники, имеющие на наружной поверхности продольные царапины глубиной более 0,3—0,5 мм на длине более трети расстояния между обоймами.

После наружного осмотра проверяется внутренняя полость газогенерирующей трубы разрядника, для чего вывинчивается стержневой электрод внутреннего искрового промежутка и канал газогенерирующей трубы просматривается на свет. Если канал не просматривается

на свет или внутренние стенки трубы имеют коробления и трещины, трубчатый разрядник бракуется.

Пределы обрываемых токов, указанные на паспорте трубчатого разрядника, обеспечиваются разрядником только в тех случаях, когда увеличение диаметра дугогасящего канала изолирующей трубы не превышает 40% его первоначальной величины. Трубчатые разрядники, у которых диаметр канала дугогасящей трубы разработан более чем на 40% от первоначальной величины, бракуются.

Так как стенки канала дугогасительной трубы при работе разрядника выгорают неравномерно и больше вблизи пластинчатого электрода, то проверку величины внутреннего диаметра канала нужно производить на следующих расстояниях от открытого конца разрядника:

для РТ-3—6—10	30 мм
для РТ-15—20—35	70 мм
для РТ-110—220	150 мм

Проверку величины внутреннего диаметра канала дугогасящей трубы можно производить круглыми металлическими щупами, диаметр одного конца которого должен быть на 1 мм меньше допустимой величины диаметра дугогасящего канала, а другой — на 1 мм больше. Поочередно оба конца щупа опускаются в дугогасящий канал. Если оба конца щупа не входят в дугогасящий канал или входит только конец с меньшим диаметром, а конец с большим диаметром не входит, разрядник признается годным к эксплуатации. В том случае, когда оба конца входят в дугогасящий канал, разрядник бракуется и к дальнейшей эксплуатации не допускается.

Для проверки таким методом всех типов трубчатых разрядников, выпускаемых промышленностью, нужно иметь 7 щупов со следующими размерами: 7—9, 10—12, 13—15, 16—18, 19—21, 21—23 и 27—29 мм.

При необходимости более точного измерения внутреннего диаметра канала дугогасительной трубы трубчатого разрядника следует пользоваться специальным измерителем, показанным на рис. 12.

С изменением величины внутреннего искрового промежутка изменяются пределы обрываемых токов труб-

чатым разрядником: при увеличении внутреннего искрового промежутка пределы обрываемых токов (как верхнего, так и нижнего) снижаются, а при уменьшении — повышаются. Изменение величины внутренних искровых промежутков приводит также к изменению вольт-секундных характеристик трубчатых разрядников. Для того

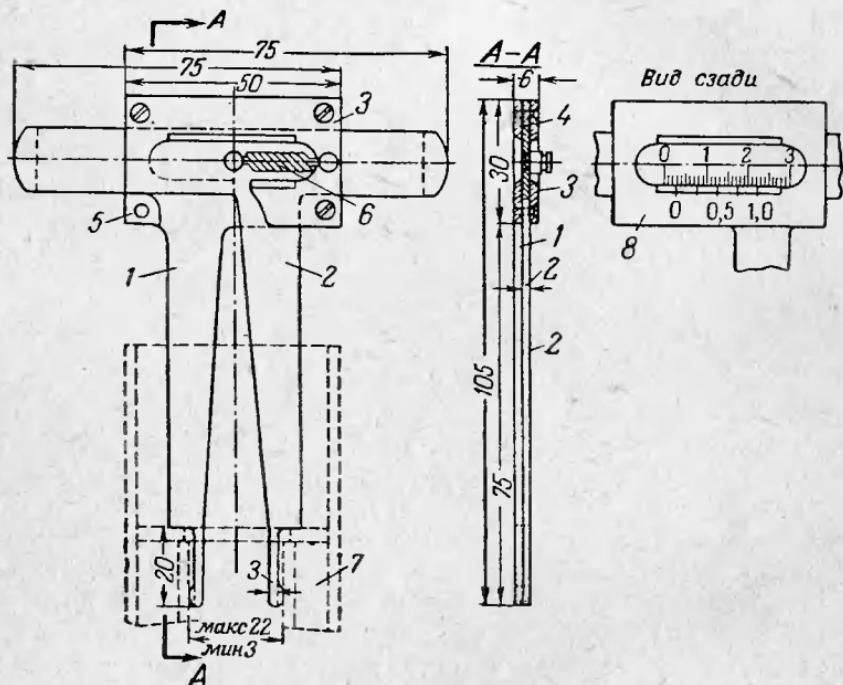


Рис. 12. Измеритель внутреннего диаметра канала трубчатых разрядников.

1 — неподвижная ножка; 2 — подвижная ножка; 3 — съемная рамка; 4, 5 — направляющие; 6 — спиральная пружина; 7 — разрядник; 8 — шкала измерителя.

чтобы обеспечить нормальные пределы обрываемых токов и стабильные вольт-секундные характеристики трубчатых разрядников, величина внутреннего искрового промежутка у трубчатых разрядников 220, 110, 60 и 35 кв не должна отклоняться более чем на  $\pm 5$  мм от первоначального значения, а у разрядников 20—3 кв — более чем на  $\pm 3$  мм. Величина внутренних искровых промежутков у трубчатых разрядников регулируется посредством резьбы стержневого электрода, а при зна-

чительных обгарах стержневой электрод должен заменяться новым.

Опыт эксплуатации показал, что у фибробакелитовых трубчатых разрядников при срабатывании часто вырывается бакелитовую трубку из металлических обойм. Поэтому прочность заделки трубок в металлических обоях должна проверяться посредством приложения вдоль оси разрядника статической нагрузки, равной:

для разрядников РТ-3 и РТ  $\frac{35}{0,4-3}$  . . . . . — 450 кГ;

для разрядников РТ-6, РТ-10 и РТ  $\frac{35}{0,8-5}$  . . . . . — 675 кГ;

для разрядников РТ  $\frac{35}{1,8-10}$  . . . . . — 900 кГ;

для разрядников РТ-60 и РТ-110 . . . . . — 1 875 кГ.

Нагрузка поднимается постепенно со скоростью 300—600 кГ в минуту; время приложения максимальной нагрузки не должно превышать 1 мин.

Если при этом будет замечено смещение обойм, трубчатый разрядник бракуется. Испытание запрессовки крученiem обойм на изолирующей трубке категорически запрещается.

При осмотре трубчатых разрядников могут быть обнаружены повреждения, которые можно устранить, а разрядник оставить в эксплуатации.

Примером таких повреждений могут служить сильное обгорание стержневого электрода внутреннего искрового промежутка, коррозия металлических обойм, повреждения указателя срабатывания трубчатого разрядника и разрушение покровной пленки у фибробакелитовых трубчатых разрядников.

Фибробакелитовые трубчатые разрядники типа РТФ должны покрываться атмосфераустойчивой перхлорвиниловой эмалью марки ПХВ-26 (красной). Покраска трубчатых разрядников является ответственной операцией, так как от качества покровной пленки в значительной степени зависит эксплуатационная надежность разрядника.

Производить ее следует в строгом соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации фибробакелито-

вых трубчатых разрядников завода «Уралэлектроаппарат» 1961 г.

При проведении ревизии трубчатых разрядников составляется ведомость, в которой указываются: наименование линии электропередачи и номер опоры, на которой был установлен ревизуемый трубчатый разрядник; тип трубчатого разрядника и его эксплуатационный номер; состояние поверхности дугогасительной трубы трубчатого разрядника с указанием марки покровного лака; состояние запрессовки трубы в обоймах; величина внутреннего диаметра дугогасительной трубы; величина внутреннего искрового промежутка; время, прошедшее со дня последней ревизии; число срабатываний со дня последней ревизии, обнаруженные повреждения и заключение о пригодности трубчатого разрядника к дальнейшей эксплуатации.

Трубчатые разрядники, прошедшие ревизию и ремонт и признанные годными к дальнейшей эксплуатации, обвертываются по всей длине плотной водонепроницаемой бумагой типа пергамина и перевязываются на металлических обоймах шпагатом. Перевязывать шпагатом поверхность дугогасительной трубы запрещается. В таком виде они сдаются на склад на хранение, откуда транспортируются на место установки.

Трубчатые разрядники, как новые, так и прошедшие ревизию и отремонтированные, хранятся в сухих помещениях на деревянных стеллажах, рядами, в горизонтальном положении так, чтобы каждый ряд отделялся от другого ряда обитыми войлоком деревянными прокладками, опирающимися только на металлические обоймы трубчатых разрядников.

Трубчатые разрядники, поступающие с заводов-изготовителей в деревянных ящиках, должны быть осмотрены. При этом следует убедиться в сохранности упаковки и в их исправном состоянии. Для осмотра трубчатые разрядники должны развертываться, а после осмотра их следует снова завернуть в бумагу и перевязать на металлических обоймах шпагатом. Обертки, защищающие дугогасительные трубы трубчатых разрядников от загрязнений и механических повреждений, должны оставаться на разрядниках в течение всего времени их хранения и транспортировки к месту установки.

Развозить трубчатые разрядники по линии целесооб-

разно в специальных для каждого типоразмера ящиках с прокладками, исключающими возможность соприкосновения их друг с другом. После выемки из такого ящика нужного количества трубчатых разрядников прокладки снова вкладываются в ящик, и расположение остальных трубчатых разрядников в ящике остается не нарушенным.

## 2. ЗАЩИТНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ

Одним из первых устройств для защиты электроустановок от грозовых перенапряжений был защитный искровой промежуток. Простота его конструкции обеспечила ему широкое распространение и применение до самых последних дней. В настоящее время защитные промежутки применяются в тех случаях, когда можно допустить большие интервалы между его вольт-секундной характеристикой и вольт-секундной характеристикой защищаемой изоляции.

Электрическая схема включения защитного искрового промежутка показана на рис. 13.

Отсутствие дугогасящего устройства у защитных промежутков ограничивает область их применения теми участками электрических установок, где имеются выключатели, на которые возлагается задача отключения коротких замыканий, вызванных работой защитных промежутков. Так как отключения создают перерыв в электроснабжении потребителей, защитные промежутки рекомендуется устанавливать в комплексе с автоматами повторного включения (АПВ), которые после погасания дуги на защитных промежутках вновь включают установку в работу.

Разброс пробивных напряжений защитного промежутка может достигать 30—40%. Это делает защиту ненадежной и для ответственных случаев непригодной.

Крутой ход вольт-секундной характеристики защитных промежутков в области малых предразрядных вре-

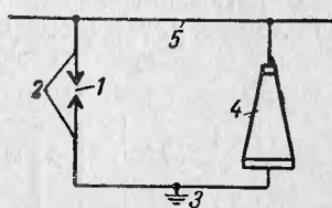


Рис. 13. Электрическая схема включения защитного искрового промежутка.

1 — защитный искровой промежуток; 2 — металлические электроды защитного промежутка; 3 — заземление искрового промежутка; 4 — изоляция, защищаемая защитным промежутком; 5 — провод.

мен может привести к пересечению ее с более пологой вольт-секундной характеристикой защищаемой изоляции. В результате при малых предразрядных временах изоляция оказывается незащищенной.

Ввиду указанных недостатков защитные промежутки применяются в менее ответственных случаях или там, где нельзя применить вентильные и трубчатые разрядники, например, на линиях электропередачи для защиты мест их пересечения друг с другом или в точках сети, где величина тока короткого замыкания менее нижнего предела отключаемого трубчатыми разрядниками тока.

Так как в большинстве случаев защитные промежутки не гасят электрическую дугу, то для уменьшения числа их срабатываний и, значит, числа отключений установки целесообразно выбирать разрядное расстояние промежутков по возможности наибольшим допустимым по условиям надежной защиты изоляции.

Нижний предел разрядных расстояний для промежутков, предназначенных для работы в установках с номинальным напряжением от 3 до 500 кв, дан в табл. 6. Там же приведены пробивные напряжения промежутков как при напряжении промышленной частоты, так и при импульсных напряжениях.

В установках до 35 кв защитные промежутки имеют небольшие разрядные расстояния и могут закорачивать-

Таблица 6

Номинальное напряжение сети, кв	3	6	10	20	35	110	150	220	330	500
Величина защитного промежутка, мм	20	40	60	140	250	650	930	1 350	1 500	1 800
Величина дополнительного искрового промежутка, мм	5	10	15	20	30	—	—	—	—	—
Разрядное напряжение при 50 гц, кв, действ	20	34	45	70	105	252	348	495	560	750
Импульсное разрядное напряжение, кв <sub>макс</sub> :										
(+)	33	51	66	121	195	466	618	915	945	1 065
(-)	34	53	68	134	220	510	698	817	1 070	1 190

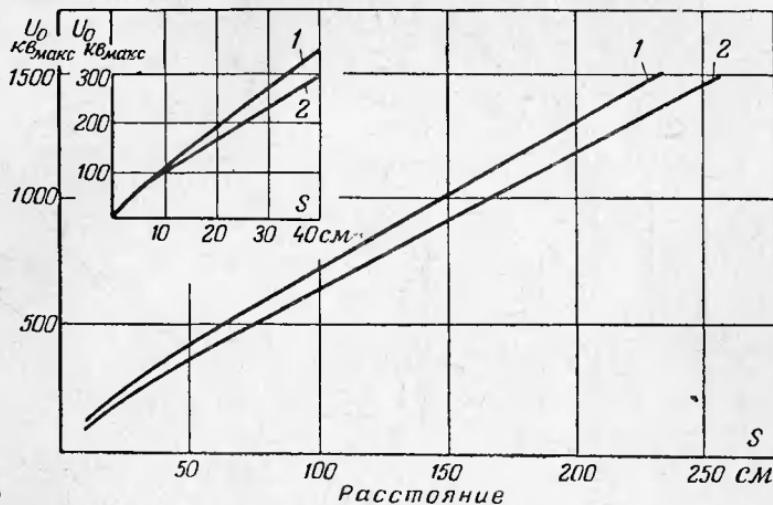


Рис. 14. Зависимость импульсного разрядного напряжения от расстояния между стержневыми электродами (по ВЭИ).

1 — разрядные напряжения при отрицательной полярности волны; 2 — разрядное напряжение при положительной полярности волны.

ся птицами, садящимися на электроды. С целью предотвращения подобных коротких замыканий в заземляющих спусках защитных промежутков делают дополнительные искровые промежутки, величина которых указана в табл. 6. Дополнительные промежутки практически не оказывают влияния на вольт-секундную характеристику защитного промежутка в целом. Располагают их на расстоянии не менее 1,5—3 м от основных защитных промежутков.

Импульсные пробивные напряжения защитных промежутков с разрядными расстояниями до 2,5 м определяются по кривым рис. 14. Пробивные напряжения при промышленной частоте для стержневых защитных промежутков, расположенных не ниже 12 м над землей, могут быть определены по кривой рис. 15.

Защитные промежутки просты по конструкции и представляют собой два металлических электрода с разрядным расстоянием между ними. Электроды могут выполняться из круглой стали диаметром 1,25 см и более или из углового железа с плоскими торцами. Обработка торцов не требуется, так как при разрядных расстояниях выше 10—15 см различие в пробивных напряже-

4\*

ниях между стержнями и остриями становится ничтожно малым.

Конструкция защитных промежутков должна быть жесткой, для того чтобы величина разрядного расстояния сохранялась постоянной. Защитные промежутки должны выполняться так, чтобы исключалась возмож-

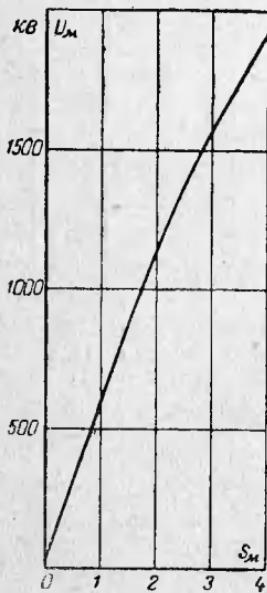


Рис. 15. Зависимость разрядных напряжений воздушных промежутков между стержнями от их длины при плавном подъеме напряжения промышленной частоты (по ЛПИ и НИИЛТ).

придавать форму рогов, которая способствует самопогашанию дуги.

Проведенными опытами установлено, что защитные промежутки, выполненные из стального прутка диаметром 1,25 см с разрядным расстоянием 30 и 60 мм и дополнительным защитным промежутком 15 мм, имеющие форму, представленную на рис. 16, в большинстве случаев успешно гасят дугу в сетях с номинальным напря-

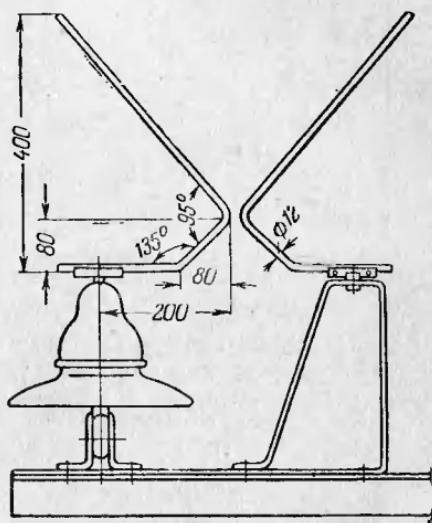


Рис. 16. Защитный промежуток для сетей с номинальным напряжением до 10 кв.

ность перебрасывания горящей на них дуги на другие элементы установки, а также возможность термического повреждения изоляторов, параллельно которым они установлены.

Защитным промежутком для сетей 3—35 кв целесообразно

жением 6—10 кв в точках, где величина тока короткого замыкания не превышает 300 а. Такие защитные промежутки могут применяться при отсутствии вентильных и трубчатых разрядников.

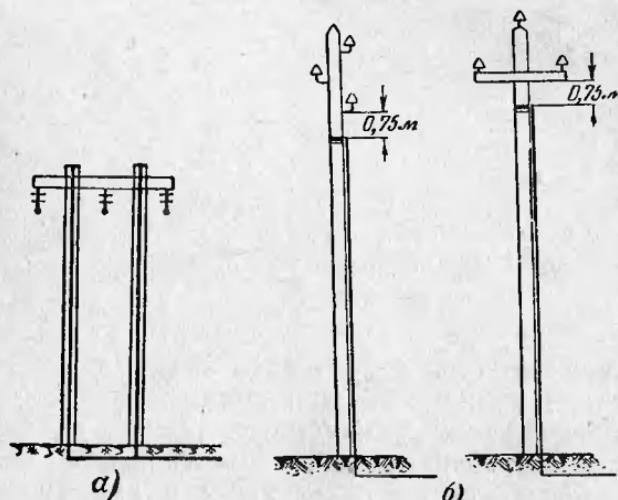


Рис. 17. Защитные промежутки на опорах, ограничивающие пролет пересечения линий.

*а* — защитный промежуток на П-образной опоре; *б* — защитный промежуток на одностоечной опоре.

В тех случаях, когда разрядное расстояние выбирается значительным, например, в случае защиты пересечений линий электропередачи с напряжением до 35 кв, рекомендуется применять конструкцию искровых промежутков согласно рис. 17,*а*, *б*. Одним электродом такого искрового промежутка служит крюк поддерживающего изолятора, вторым — заземленный бандаж, охватывающий стойку опоры на расстоянии 0,75 м от крюка. Бандаж и заземляющий спуск, идущий от него к заземлителю, выполняются из стальной проволоки диаметром 7—8 мм.

### 3. ЗАЩИТНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

При включении конденсатора напряжение на нем не может измениться мгновенно, скачком, а растет постепенно, по мере зарядки, и достигает амплитудного зна-

чения поданного напряжения. Скорость роста напряжения на конденсаторе зависит от величины его емкости и от формы приложенного напряжения. Чем больше ем-

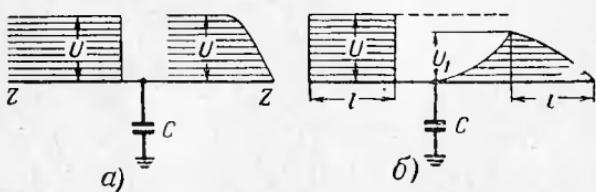


Рис. 18. Форма волн, проходящих мимо емкости.  
а — форма бесконечно длинной волны; б — форма волны длиной  $l$ .

кость конденсатора, тем медленней поднимается на нем напряжение. При прохождении волны напряжения мимо конденсатора она изменяет свою форму и амплитуду. На рис. 18,а показано изменение формы бесконечно длинной волны с отвесным фронтом и амплитудой  $U$ , прошедшей мимо конденсатора емкостью  $C$ . Если волна напряжения имеет ограниченную длину  $l$  (рис. 18,б), то, пройдя мимо емкости, она изменяет не только свою форму, но и амплитуду. Уменьшение амплитуды волны происходит в этом случае из-за того, что короткая волна не в состоянии зарядить конденсатор большой емкости до своего амплитудного напряжения.

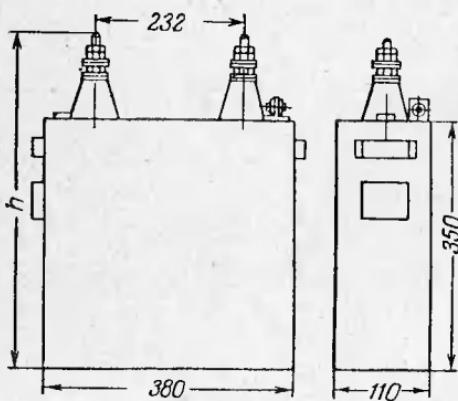


Рис. 19. Общий вид конденсаторов серии КМ.  
 $h$  — общая высота конденсатора.

Свойство конденсаторов уменьшать крутизну и снижать амплитуду падающих волн используют для защиты главной и витковой изоляции вращающихся электрических машин от грозовых перенапряжений. Для этой цели применяют конденсаторы серии КМ, электрические

характеристики которых даны в табл. 7. Общий вид конденсаторов серии КМ показан на рис. 19.

Таблица 7

Тип конденсатора	Номинальное напряжение, кВ действ	Емкость, мкФ	Испытательное напряжение, кВ действ	
			между обкладками	на корпус
КМ-3, 15-10-1	3,15	3,22	6,93	18,0
КМ-6, 3-10-1	6,3	0,803	13,86	25,0
КМ-10, 5-10-1	10,5	0,291	23,1	35,0
КМ-3, 15-12, 5-1	3,15	4,0	6,93	18,0
КМ-6, 3-12, 5-1	6,3	1,0	13,86	25,0
КМ-10, 5-1	10,5	0,362	23,1	35,0
КМ-3, 15-25-1	3,15	8,0	6,93	18,0
КМ-6, 3-25-1	6,3	2,0	13,86	25,0
КМ-10, 5-25-1	10,5	0,724	23,1	35,0

## 4. МОЛНИЕОТВОДЫ

### а) Стержневые молниеотводы

Стержневые молниеотводы, представляющие собой металлические вертикально расположенные заземленные стержни, являются самым старым средством противогрозовой защиты. Они начали широко применяться для защиты наземных сооружений от поражения молнией с середины XVIII в.

Стержневые молниеотводы возвышаются над защищаемыми объектами и принимают на себя удары молний, тем самым защищая от поражения все сооружения, которые находятся в определенном пространстве вблизи молниеотвода. Это пространство вокруг молниеотвода, которое не поражается грозовыми разрядами, называется защитной зоной молниеотвода.

Зашитные зоны стержневых молниеотводов были определены опытным путем в лаборатории. На основании опытов сечение зоны защиты одиночного молниеотвода плоскостью, проходящей через ось молниеотвода (рис. 20), может быть рассчитано по формуле

$$r_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} (h - h_x),$$

где  $h$  — высота молниеотвода;  
 $h_x$  — высота защищаемого объекта;  
 $r_x$  — радиус зоны защиты на высоте  $h_x$ ;  
 $h - h_x = h_a$  — превышение высоты молниеотвода над высотой защищаемого объекта, называемое активной высотой молниеотвода.

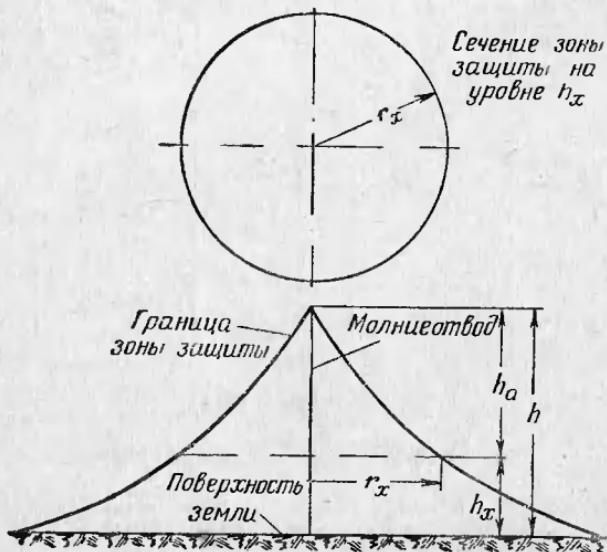


Рис. 20. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода.

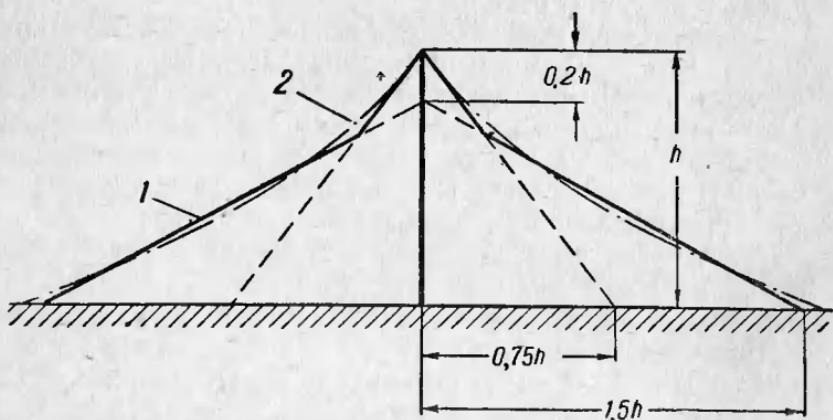


Рис. 21. Построение зоны защиты одиночного стержневого молниепровода.

1 — упрощенное построение; 2 — зона защиты, построенная по формуле.

Для построения сечения зоны защиты задаемся различными значениями  $h_x$  и находим радиус защиты  $r_x$  на этих высотах.

Для стержневых молниеотводов высотой не более 30 м сечение защитной зоны может быть построено упрощенным методом, как это показано на рис. 21. Точка на поверхности земли, расположенная на расстоянии  $0,75h$  от молниеотвода, прямой линией соединяется с вершиной молниеотвода. Другая точка, находящаяся на поверхности земли на расстоянии  $1,5h$  от молниеотвода, соединяется прямой линией с точкой, расположенной на молниеотводе на высоте  $0,8h$ . Сплошной ломаной линией на рис. 21 показано сечение защитной зоны молниеотвода, построенное упрощенным методом.

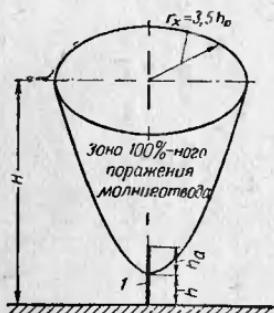


Рис. 22. Зона 100%-ного поражения стержневого молниеотвода.

*I* — стержневой молниеотвод; *H* — высота ориентировки молнии.

Лабораторными экспериментами установлено, что зона защиты двух стержневых молниеотводов имеет большие размеры, чем удвоенная зона одного молниеотвода. Расширение защитных зон двух молниеотводов объясняется наличием у каждого молниеотвода «зоны 100% поражения молниеотвода», показанной на рис. 22, наибольший радиус которой равен  $3,5h_a$ . Все разряды, развивающиеся в границах этой зоны, поражают молниеотвод.

Если два стержневых молниеотвода расположить так, чтобы границы их «зон 100% поражения молниеотводов» соприкасались (рис. 23), то на уровне  $h_X$  будет защищена точка, расположенная посередине

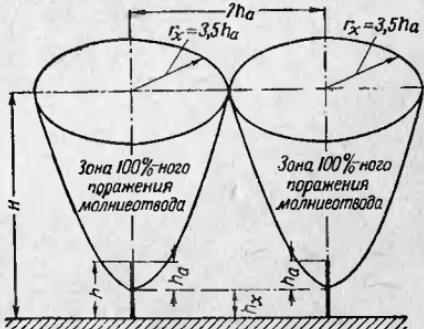


Рис. 23. Зоны 100%-ного поражения двух стержневых молниеотводов.

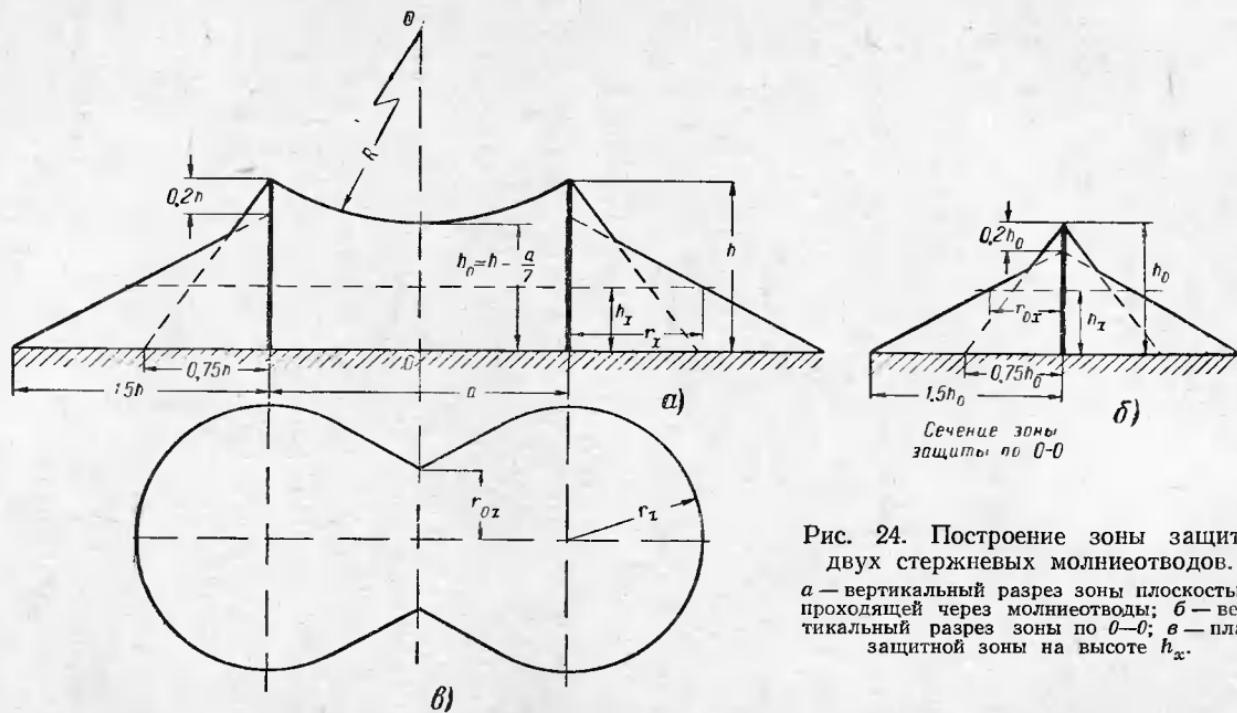


Рис. 24. Построение зоны защиты двух стержневых молниеводов.

*a* — вертикальный разрез зоны плоскостью, проходящей через молниеводы; *б* — вертикальный разрез зоны по 0—0; *в* — план защитной зоны на высоте  $h_x$ .

между молниеотводами на расстоянии  $3,5h_a$  от каждого из них.

Зашитная зона двух молниеотводов показана на рис. 24,*a,b,v*. Внешняя часть зоны защиты двух молниеотводов определяется так же, как и для одиночных молниеотводов. Сечение зоны защиты между молниеотводами ограничивается дугой окружности, проведенной через три точки: две из них — вершины молниеотводов, а третья точка расположена посередине между молниеотводами на высоте  $h_0 = h - \frac{a}{7}$  (где  $a$  — расстояние между молниеотводами).

Для построения защитной зоны двух молниеотводов в плане на какой-либо высоте  $h_x$  проводим на этой высоте горизонтальную линию (пунктир на рис. 24,*a*) и находим  $r_x$ . Строим, уже известным методом, зону защиты в сечении по  $O-O$  (рис. 24,*b*). Проведя на высоте  $h_x$  горизонталь, определим величину  $r_{0x}$ . По полученным величинам  $r_x$  и  $r_{0x}$  строим защитную зону двух стержневых молниеотводов в плане (рис. 24,*v*).

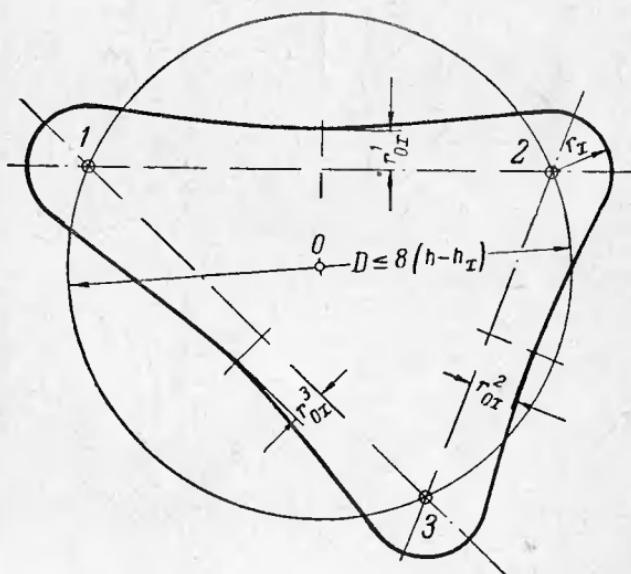


Рис. 25. Зашитная зона (план) трех стержневых молниеотводов (1, 2 и 3) высотой  $h$ .

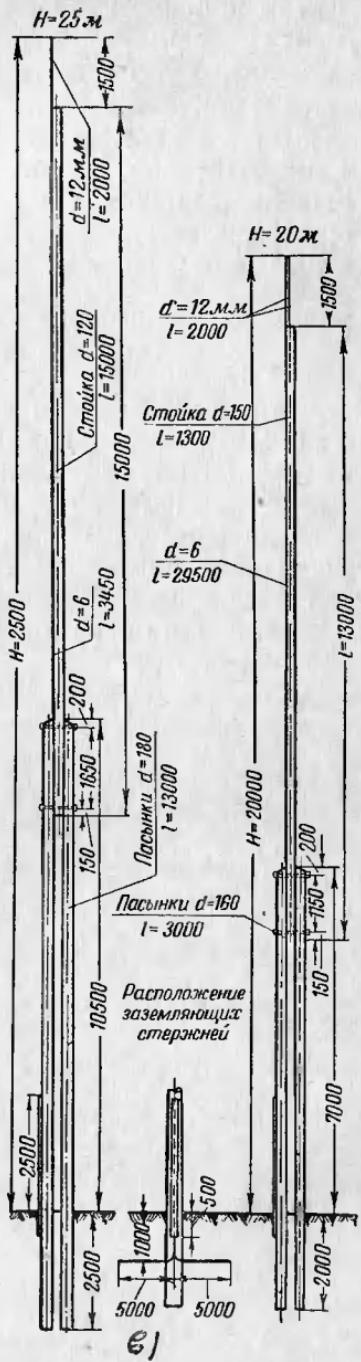
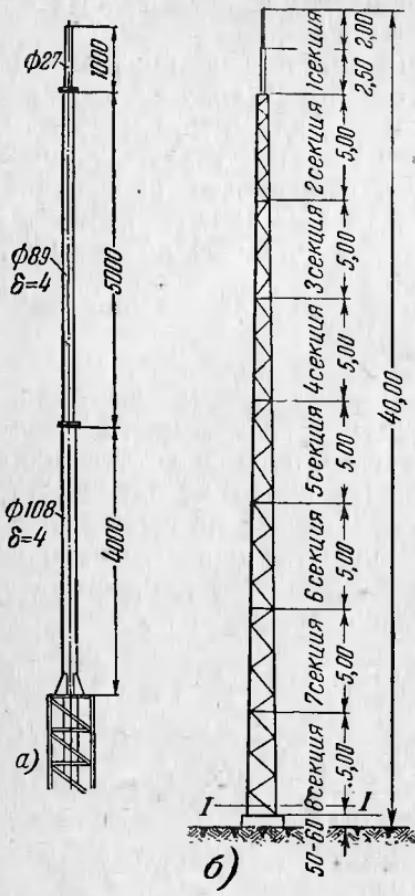


Рис. 26. Конструкция стержневых молниевводов.

*a* — молниеотвод из стальных труб; *b* — молниеотвод из стальных уголков; *c* — молниеотвод из дерева.

В том случае, когда защита объекта осуществляется тремя молниеотводами и более, построение внешних защитных зон производится, как для одного и двух молниеотводов.

Условием надежной защищенности объектов высотой  $h_x$ , находящихся внутри треугольника или прямоугольника (рис. 25), является соотношение

$$D \leq 8(h - h_x),$$

где  $D$  — диаметр окружности, проведенной через вершины трех или четырех молниеотводов.

Стержневые молниеотводы выполняются из стали или из дерева. Стальные молниеотводы из труб могут быть высотой до 20 м (рис. 26, а), решетчатые — высотой более 20 м (рис. 26, б). Ввиду дешевизны часто стержневые молниеотводы высотой до 20 м делают из дерева (рис. 26, в).

У стальных молниеотводов ток молнии протекает в землю через тело самих молниеотводов, у деревянных — через стальные спуски сечением не менее 50  $\text{мм}^2$ , шунтирующие стойку молниеотвода.

Стержневые молниеотводы должны иметь надежное заземление с низкой величиной сопротивления.

### б) Тросовые молниеотводы

Молниеотводы для защиты линий электропередачи от прямых ударов молнии представляют собой горизонтально подвешенный над проводами линий электропередачи трос, который заземлен на каждой опоре.

Зоны защиты тросовых молниеотводов строятся аналогично зонам стержневых молниеотводов, но ширина зоны на уровне земли для тросового мол-

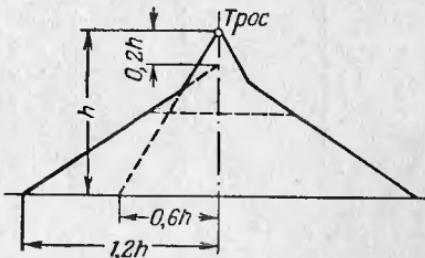


Рис. 27. Защитная зона одного троса.  
 $h$  — высота подвески троса.

ниеотвода  $1,2h$ . Зона защиты одного троса показана на рис. 27.

Защитная зона двух тросов представлена на рис. 28. Построение ее аналогично построению зоны двух стержневых молниеотводов только с той разницей, что сред-

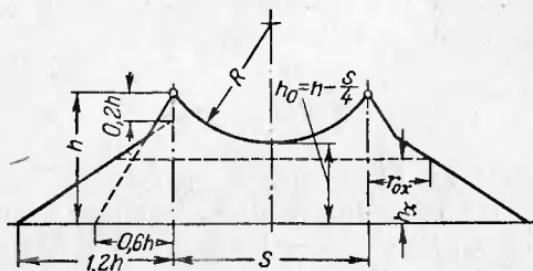


Рис. 28. Защитная зона двух тросов.

няя точка между тросами, через которую проходит граница зоны, лежит ниже, чем у зоны стержневых молниеотводов.

Ввиду того, что провода линий электропередачи, как правило, располагаются в области верхнего участка защитной зоны тросов, на практике для тросовых молние-

отводов не строят зоны защиты, а пользуются так называемыми углами защиты  $\alpha$ , которые образуются между вертикальной линией, проведенной от троса на землю, и линией, соединяющей трос и провод, как показано на рис. 29.

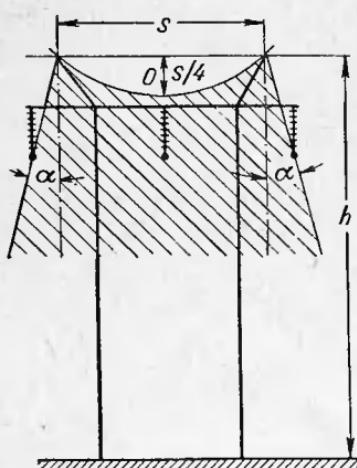


Рис. 29. Определение защитного угла  $\alpha$ .

Опыт эксплуатации показывает, что наилучшим защитным углом следует считать угол порядка  $20-25^\circ$ . При больших защитных углах наблюдаются прорывы трозовых разрядов через трос на провода, число которых особенно сильно воз-

растает при увеличении угла более  $30^\circ$ . При углах менее  $20^\circ$  возрастает опасность схлестывания проводов и тро-

сов при пляске проводов во время гололеда и при обрыве тросов.

Промышленность выпускает грозозащитный трос марок СТ-35, СТ-50 и СТ-70.

## 5. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Заземляющие устройства являются важнейшим элементом схем включения всех средств защиты изоляции от грозовых перенапряжений. Они предназначаются для отвода токов молнии в землю с сохранением безопасных для защищаемой изоляции потенциалов установки.

При прохождении тока через заземляющее устройство на нем создается падение напряжения, величина которого зависит от величины тока молнии и величины сопротивления заземления: чем больше ток и сопротивление, тем больше падение напряжения.

Для надежной защиты изоляции электроустановок от грозовых перенапряжений применяемые средства защиты с отдельными заземлителями должны иметь возможно более низкое сопротивление заземления. Чем меньше величина сопротивления заземления, тем эффективнее работают защитные аппараты и молниеотводы. Однако уменьшение сопротивления заземления ведет к большему расходу металла и повышению стоимости заземляющего устройства. В некоторых случаях стоимость затрат на выполнение заземляющего устройства достигает 10% стоимости самой установки.

В связи с этим величина сопротивлений заземляющих устройств в электроустановках нормируется в разумных пределах, обеспечивающих надежную защиту изоляции. Допустимые величины сопротивлений заземлителей грозозащиты обычно лежат в пределах 3—30 ом.

Кроме заземления средств противогрозовой защиты, в электроустановках заземляются ее некоторые токоведущие элементы (нейтрали силовых и измерительных трансформаторов и др.), что обеспечивает нормальную работу установки в заданном режиме. Такие заземления называются рабочими заземлениями.

Для безопасного обслуживания электрических установок все металлические части их, которые при повреж-

дениях изоляции и при авариях могут оказаться под напряжением (корпуса машин, баки трансформаторов и т. д.), также заземляются. Такие заземления называются защитными заземлениями.

В электроустановках обычно устраивается один заземлитель, величина сопротивления которого определяется наиболее тяжелыми требованиями.

В установках с заземленной нейтралью согласно «Правилам устройства электроустановок» величина сопротивления защитного заземления не должна превышать 0,5 ом, а в установках с изолированной нейтралью величина сопротивления заземления выбирается в зависимости от величины тока однофазного замыкания на землю, но не должна превышать 10 ом. Эти величины сопротивлений заземлителей определяются требованиями безопасного обслуживания электроустановок, но они одновременно в большинстве случаев удовлетворяют требованиям грозозащиты.

Работа грозозащитных заземлителей имеет особенности, связанные с протеканием через них токов молний.

Заземлитель большой протяженности при прохождении через него тока молний можно себе представить в виде проводника, разделенного на две части индуктивным сопротивлением  $X_L$ , как это показано на рис. 30. Из-за быстрого нарастания тока молний индуктивность будет препятствовать прохождению тока по заземлителю. Удаленные части заземлителя (на рис. 30 участок  $B-B$ ) не успевают включиться в процесс отвода тока молний в землю и снижают эффективность действия заземлителя.

Вот почему непригодны для отвода токов молнии «выносные заземления», которые устраиваются в реках и болотах, имеют низкие сопротивления, но далеко отстоят от площадки подстанции и представляют собой протяженные заземлители.

В отличие от протяженных заземлители небольшой длины так называемые сосредоточенные заземлители оказываются более эффективными при отводе токов молний в землю. Вокруг электродов таких заземлителей при большой плотности стекающих токов возникают искровые разряды, которые как бы увеличивают диаметр

электродов и, следовательно, уменьшают сопротивление заземлителя. Для отвода токов молнии целесообразно применять сосредоточенные заземлители, протяженность которых не превышает 20 м.

Величина сопротивления заземлителя определяется как отношение падения напряжения на заземлителе к проходящему через него току. Сопротивление заземлителя зависит главным образом от его геометрических размеров и от характера грунта, в который он погружен. При отводе токов молнии большое влияние на величину сопротивления заземлителя оказывает также величина стекающего с него тока и скорость его изменения во времени, т. е. скорость нарастания тока, крутизна фронта волны.

Величина сопротивления  $R$  одного электрода трубы, погруженной вертикально в грунт, при токе промышленной частоты подсчитывается по формуле

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}.$$

Сопротивление стальной полосы, уложенной горизонтально в грунт, подсчитывается по формуле

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{hb}.$$

В этих формулах

$\rho$  — удельное сопротивление грунта;

$l$  — длина электрода;

$d$  — диаметр трубы;

$b$  — ширина стальной полосы;

$h$  — глубина укладки полосы;

$\pi = 3,14$ .

Удельное сопротивление грунта определяется его составом, структурой и содержанием влаги. Грунты, имею-

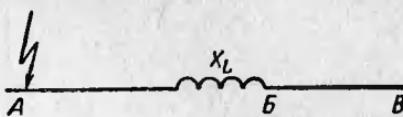


Рис. 30. Схема работы протяженного заземлителя при отводе импульсных токов молний в землю.

$X_L$  — индуктивное сопротивление заземлителя;  $B-B'$  — участок заземлителя, удаленный от места ввода тока молнии;  $A$  — место входа тока молнии.

Таблица 8

Грунт	Удельное сопротивление	
	ом·см	ом·м
Песок . . . . .	$4 \cdot 10^4$ и более	400 и более
Супесок . . . . .	$3 \cdot 10^4$	300
Суглинок . . . . .	$10^4$	100
Глина . . . . .	$0,6 \cdot 10^4$	60
Чернозем . . . . .	$0,5 \cdot 10^4$	50
Торф . . . . .	$0,2 \cdot 10^4$	20
Речная вода . . . . .	$0,1 \cdot 10^4—0,5 \cdot 10^4$	10—50

щие в своем составе много солей, кислот и обладающие более мелкой структурой, в которой хорошо удерживаетя влага, более электропроводны. Удельное сопротивление таких грунтов низкое. Величина удельного сопротивления некоторых грунтов приведена в табл. 8.

Вторым основным фактором, влияющим на величину сопротивления, является длина электрода. На рис. 31 показано, как резко снижается величина сопротивления одной трубы диаметром 5 см с увеличением ее длины в грунте:  $\rho = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$ .

На рис. 32 представлена зависимость величины сопротивления полосы шириной 2–3 см, погруженной в грунт с удельным сопротивлением  $\rho = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$  на глубину 0,5 м, в зависимости от ее длины. Из рис. 32 видно, что даже при токах промышленной частоты с увеличением длины полосы снижение величины сопротивления замедляется.

Диаметр трубы и ширина полосы мало влияют на величину сопротивления,

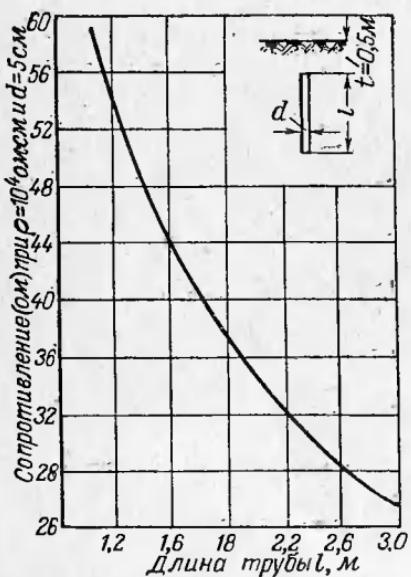


Рис. 31. Зависимость изменения величины сопротивления вертикального заземлителя из одной трубы диаметром 5 см от ее длины, в грунте с удельным сопротивлением  $\rho = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$ .

а толщина полосы почти не влияет, поэтому она и не учитывается в приведенных выше расчетных формулах.

При отводе токов молний величина сопротивления заземлителя отличается от значения, полученного при токе промышленной частоты: у сосредоточенных заземлителей

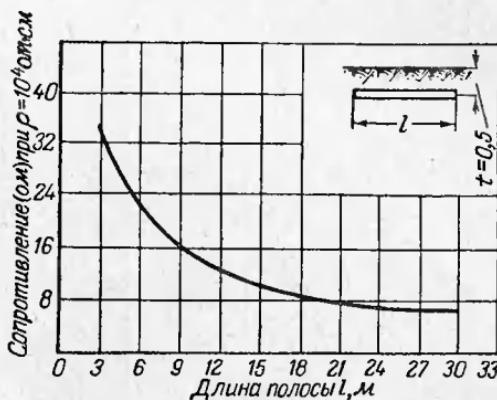


Рис. 32. Зависимость изменения величины сопротивления горизонтальной стальной полосы шириной 2–3 см от ее длины, в грунте с удельным сопротивлением  $\rho = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$ .

из-за искрообразования она меньше, а у протяженных заземлителей из-за влияния индуктивности она больше, чем при отводе токов промышленной частоты. Отношение импульсного сопротивления заземлителя (при отводе токов молний) к сопротивлению при токах промышленной частоты называется импульсным коэффициентом. Величины импульсных коэффициентов для некоторых типов заземляющих электродов, в зависимости от их геометрических размеров, величины импульсных токов и величины удельного сопротивления грунта  $\rho$ , приведены в табл. 9. Как видно из таблицы, величина импульсного коэффициента может быть меньше и больше единицы. Для определения величины импульсного сопротивления  $R_{ii}$  заземлителя следует умножить величину его сопротивления  $R$  при токе промышленной частоты на импульсный коэффициент  $a_{ii}$ :

$$R_{ii} = a_{ii} R.$$

Таблица 9

Приближенное значение импульсного коэффициента  $\alpha_{ii}$   
для некоторых единичных заземлителей

Наименование заземлителя и условия	Размеры заземлителя	При импульсном токе, кА	Величина $\alpha_{ii}$ при $p$ , ом·см				
			$1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^4$	$20 \cdot 10^4$	
Вертикальный заземлитель при длительные фронта импульсного тока 3–6 мксек	Диаметр заземлителя 6 см, длина 2–3 м	5 10 20 40	0,85–0,90 0,75–0,85 0,6–0,75 0,5–0,6	0,6–0,7 0,5–0,6 0,35–0,45 0,25–0,3	0,45–0,55 0,35–0,45 0,25–0,35 —	—	
Горизонтальный заземлитель из стальной полосы шириной 2–4 см или стали круглого сечения диаметром 1–2 см при длительные фронта импульсного тока 3–6 мксек	Длина заземлителя, м	5 10 20 100 5 10 20 100 5 10 20 100	10 10 10 10 20 20 20 20 40 40 40 40	0,75 1,00 1,15 — 0,65 0,90 1,05 — 0,50 0,80 0,95 —	0,55 0,75 0,90 — 0,45 0,60 0,75 — 0,30 0,45 0,60 —	0,55 0,75 0,75 — — 0,45 0,60 — — 0,35 0,50 0,50 —	0,60 1,20 — — — 0,50 1,10 — — 0,40 1,05
Горизонтальный кольцевой заземлитель из стальной полосы шириной 2–4 см или круглой стали диаметром 1–2 см. Ввод тока в центре кольца	Диаметр кольца, м	8 40 80 12	20 40 80 20 40 80	0,75 0,65 0,50 0,80 0,70 0,60	0,55 0,45 0,30 0,60 0,50 0,35	0,40 0,30 0,25 0,45 0,40 0,30	— — — — — —

Величина сопротивления единичного заземляющего электрода обычно составляет несколько десятков ом. Например, сопротивление трубы диаметром 60 мм, длиной 2,5 м, погруженной в грунт со средним удельным сопротивлением  $p = 1 \cdot 10^4$  ом·см, составляет 30 ом. Поэтому, чтобы получить заземлитель с сопротивлением величиной в несколько ом и менее, приходится использовать несколько электродов, соединенных параллельно. Однако у такого сложного заземлителя величина сопротивления снижается обратно пропорционально числу параллельных электродов только в том случае, если эти электроды расположены далеко друг от друга. При ма-

лых расстояниях электроды взаимно экранируют друг друга, затрудняя стекание тока (рис. 33). В результате сопротивление каждого электрода возрастает с уменьшением расстояния между электродами.

Коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления электрода в сложном заземлителе вследствие их взаимного экранирования электродов, называется коэффициентом использования заземлителя.

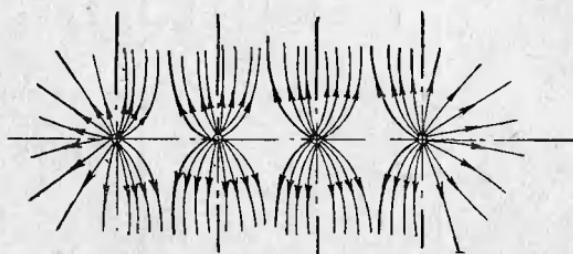


Рис. 33. Линии тока в сложном заземлителе при малом расстоянии между электродами.

Явление взаимного экранирования наблюдается в сложных заземлителях как при токах промышленной частоты, так и при импульсных токах молний. Однако коэффициент использования сложных заземлителей при импульсных токах ниже, чем при токах промышленной частоты.

Таким образом, величина импульсного сопротивления сложного заземлителя, состоящего из вертикально забитых в землю труб, соединенных стальными полосами, зависит не только от амплитуды тока молнии и длины его фронта, но и от расположения заземляющих электродов.

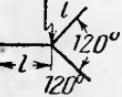
Приближенное значение импульсных коэффициентов использования  $\eta_{ii}$  для некоторых наиболее часто применяемых сложных заземлителей даны в табл. 10.

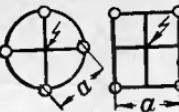
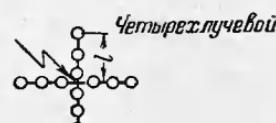
Величина импульсных сопротивлений  $R_{ii,c}$  сложных заземлителей подсчитывается по следующей формуле:

$$R_{ii,c} = \frac{\alpha_{ii,v} R_v \alpha_{ii,r} R_r}{(\alpha_{ii,v} R_v + n \alpha_{ii,r} R_r) \eta_{ii}},$$

Таблица 10

Приближенные значения импульсных коэффициентов использования для некоторых сложных типовых заземлителей

Наименование сложного заземления	Эскиз заземлителя (план)	Число оголенных или изолированных трубы	Длина луча $l$ , м	Отношение расстояния между трубами $a$ к длине трубы $l_1$	Число вертикальных электродов влуче	Импульсный коэффициент использования $\gamma_{ii}$
Горизонтальный заземлитель		2	Любая	—	—	1
		3	10 20 30 40	— — — —	— — — —	0,75 0,80 0,85 0,90
		4	10 20 30 40	— — — —	— — — —	0,65 0,70 0,75 0,80
Заземлитель из вертикальных электродов, объединенных горизонтальным электродом		3	—	3,5 5,0	—	0,70 0,75

		4		3,0 4,5	—	0,70 0,75
Заземлитель из горизонтальных лучей с вертикальными электродами длиной по 2 м		2	10 20 30 40	— — — —	3 5 7 10	0,90 0,90 0,85 0,85
		3	10 20 30 40	— — — —	3 5 7 10	0,65 0,75 0,80 0,80
		4	10 20 30 40	— — — —	3 5 7 10	0,55 0,65 0,70 0,70

где  $a_{и.в}$ ,  $a_{и.г}$

— импульсный коэффициент единичного, соответственно вертикального и горизонтального, заземлителя;

$R_v$ ,  $R_g$  — сопротивление единичного, соответственно вертикального и горизонтального, заземлителя при токе промышленной частоты;

$n$  — число вертикальных электродов;

$\eta_i$  — импульсный коэффициент использования, учитывающий взаимное влияние всех электродов.

Входящие в формулу величины  $R_g$  и  $R_v$  умножаются соответственно на коэффициенты 1,4—1,8 и 1,2—1,4, учитывающие возможность сезонного изменения удельного сопротивления грунта. Для горизонтальных заземляющих электродов коэффициент выше, поскольку они укладываются обычно на глубине порядка 0,5 м и поэтому более подвержены влиянию погодных условий.

Для выполнения заземляющих устройств применяются железные электроды. Будучи помещенными в грунт,

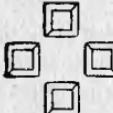
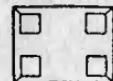
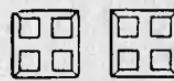
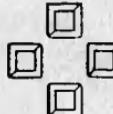
Таблица 11

Наименьшие размеры стальных заземлителей  
и заземляющих проводников

Наименование	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые, диаметр, мм . . . . .	5	6	6
Прямоугольные: сечение, $мм^2$ . . . . .	24	48	48
толщина, $мм$ . . . . .	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, $мм$ . . . . .	2	2,5	4
Стальные газопроводные трубы, толщина стенок, $мм$ . . . . .	1,5	2,5	3,5
Стальные тонкостенные трубы, толщина стенок, $мм$ . . . . .	1,5	Не допускаются	

Таблица 12

## Углубленные заземлители для промежуточных опор линий электропередачи 110—500 кв

Типы промежуточных опор	Эскиз заземлителя	Величина сопротивления при $\rho = 3 \cdot 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$	
		при токе промышленной частоты, $\text{ом}$	при импульсном токе, $\text{ом}$
Одностоечные одноцепные и двухцепные 110—150 кв		15,5	11,4
Портального типа на оттяжках 220—330 кв		12,6	9,07
Одностоечные одноцепные и двухцепные 220—330 кв		14,4	10,4
Свободно стоящие портального типа 500 кв		8,7	7,8
Портального типа на оттяжках 500 кв		12,6	9,1

они подвергаются значительной коррозии и разрушаются. Для увеличения срока службы заземляющего устройства и обеспечения надежности его действия наименьшие размеры применяемых проводников нормированы (табл. 11). Проводники с меньшими размерами в заземляющих устройствах применять запрещается.

Для заземления средств грозозащиты в большинстве случаев оказывается недостаточным заземлитель, состоящий из одного электрода или из одной полосы, а приходится его выполнять из нескольких труб, соединенных

полосовым железом. Конструкции сложных заземлителей, наиболее экономичных по затратам металла и обеспечивающих требуемые нормами импульсные сопротивления, приведены в табл. 10.

Для заземления опор линий электропередачи с nominalным напряжением 110 кВ и более в грунтах с удельным сопротивлением  $\rho = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$  и выше рекомендуется применять углубленные заземлители, конструкции которых приведены в табл. 12. Углубленные заземлители представляют собой замкнутые контуры, укладываемые на дно котлована, подготовленного для подножника опоры. Контур укладывается по краям котлована и подсоединяется отдельными выводами к стойкам опор. Для снижения величины сопротивления такого заземлителя в дно котлована забиваются трубы и присоединяются к контуру.

В самое последнее время для отвода токов молнии начали применяться глубинные вертикальные заземлители длиной 20 м и более. Глубинные заземлители являются сосредоточенными заземлителями и обладают всеми хорошими качествами для отвода импульсных токов молнии (низкий импульсный коэффициент, снижение величины сопротивления за счет искрообразования в грунте, высокий импульсный коэффициент использования). Особенно эффективны глубинные заземлители в неоднородных грунтах со сниженным удельным сопротивлением по глубине залегания.

Рис. 34.  
Форма наконечника  
электрода  
для ввертывания.

Для выполнения глубинных заземлителей требуется малая площадь земельного участка и расходуется меньше металла. Конструктивно глубинные заземлители представляют собой вертикальные стержни из труб, уголка или круглого железа. Электроды из круглой стали диаметром 10 мм, длиной до 5 м погружаются в грунт посредством ввертывания обычной дрелью, для чего конец электрода снабжается наконечником, форма которого показана на рис. 34. Процесс ввертывания электрода с таким наконечником показан на рис. 35.

Глубинные заземлители длиной до 20 м из круглого

железа диаметром 21 мм или из уголков размерами 50×50×5 мм могут погружаться в песчаные грунты посредством вибромолота типа ВМ-2, изготовленного комбинатом производственных предприятий треста Межгор-

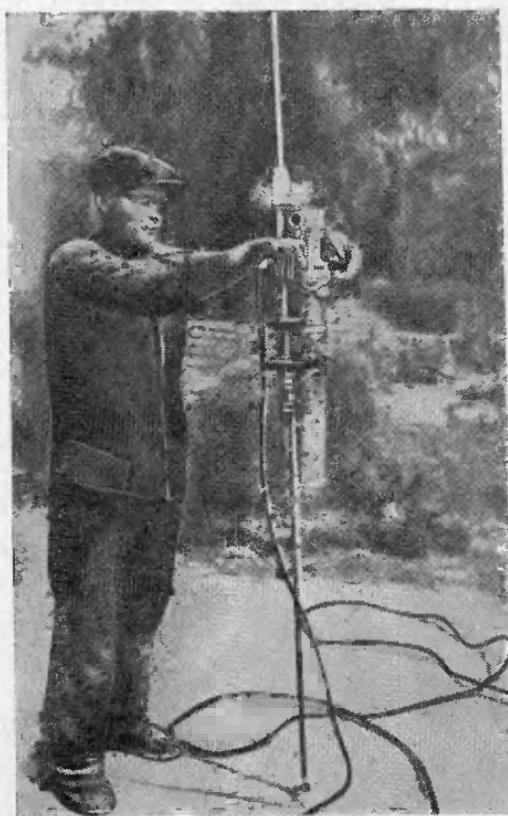


Рис. 35. Ввертывание электрода из круглого железа диаметром 10 мм посредством электро-дрели марки И-280-І.

связьстрой. Конструкция вибромолота показана на рис. 36.

Забивка глубинного заземлителя вибромолотом ВМ-2 производится ступенями. Сначала забивается электрод длиной 2,5—3 м, затем вибромолот с него снимается. К концу электрода, выступающему над землей, приваривается другой электрод длиной 2,5—3 м. На верхний конец этого электрода устанавливается вибромолот и за-

бивка продолжается. Как только второй электрод будет забит, к нему приваривается третий электрод и т. д. Забивка глубинного заземлителя вибромолотом типа ВМ-2 показана на рис. 37.

Кроме искусственных заземлителей, для заземления оборудования электроустановок, в том числе и средств

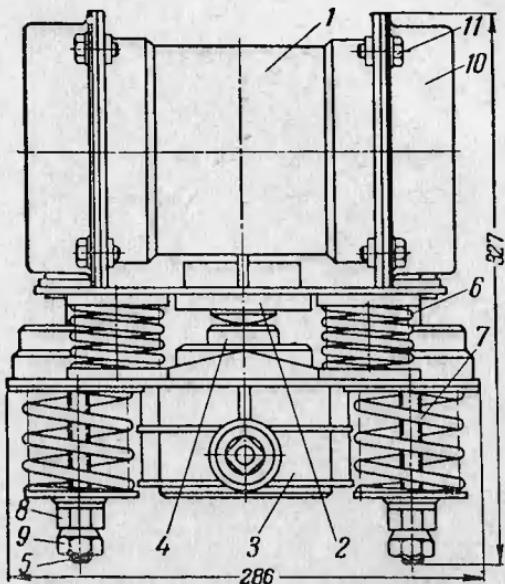


Рис. 36. Вибромолот типа ВМ-2.

1 — ударная часть; 2 — ударник; 3 — наголовник для зажима электрода; 4 — наковальня; 5 — стяжные болты; 6, 7 — верхняя и нижняя пружины сжатия; 8, 9 — гайка и контргайка стяжных болтов; 10 — крышка электродвигателя; 11 — болты крышки.

противогрозовой защиты, действующими правилами допускается использовать естественные заземлители, к которым относятся водопроводные и другие металлические трубы, проложенные под землей, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывчатых газов, а также трубопроводов, покрытых изоляцией для защиты от коррозии. В качестве естественных заземлителей могут быть использованы также обсадные трубы, металлические конструкции и арматура железобетонных зданий и других сооружений, соединенных с землей, и свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Однако при использовании естественных заземлите-

лей в установках с номинальным напряжением выше 1 000 в и с большими токами замыкания на землю (более 500 а) дополнительно должно быть выполнено искусственное заземление с величиной сопротивления не более 1 ом.

Вентильные разрядники и конденсаторы, как правило, имеют общее заземление с защищаемым оборудованием.



Рис. 37. Забивка глубинного заземлителя вибромолотом типа ВМ-2.

Величина сопротивления защитного заземления обычно удовлетворяет требованиям заземления вентильных разрядников. Если вентильные разрядники имеют отдельное заземление (например, в схемах защиты врачающихся машин, при установке вентильных разрядников на подходах линий электропередачи), то величина его сопротивления не должна превосходить 3 ом.

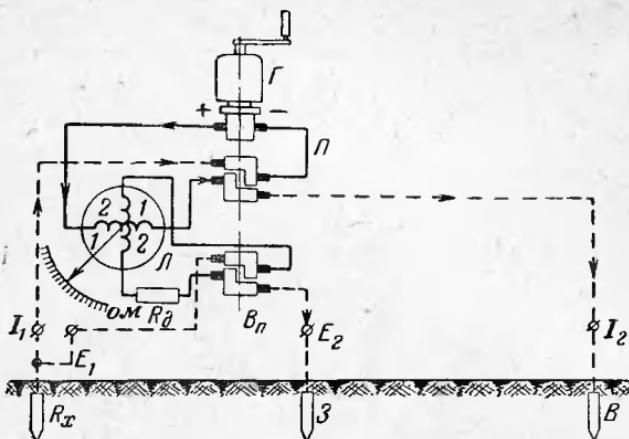


Рис. 38. Принципиальная схема измерения сопротивления заземления прибором типа МС-07 или МС-08 завода «Энергоприбор» МСНХ.

Трубчатые разрядники, установленные на порталных конструкциях или стенах закрытых распределительных устройств, присоединяются к заземляющим контурам подстанций.

Величина сопротивления заземления трубчатых разрядников и защитных промежутков, устанавливаемых на

Таблица 13

Удельное сопротивление грунта, $\text{ом}\cdot\text{см}$	Сопротивление заземляющего устройства, $\text{ом}$
До $10^4$	До 10
Более $10^4$ до $5 \cdot 10^4$	До 15
Более $5 \cdot 10^4$ до $10 \cdot 10^4$	До 20
Более $10 \cdot 10^4$	До 30

опорах для защиты габаритов пересечения линий электропередачи, устанавливается в соответствии с табл. 13.

Заданные промежутки, установленные на опорах, ограничивающих пролеты пересечения линий связи и сигнализации, должны иметь величину сопротивления заземления не более 25 ом.

Величина сопротивления заземления трубчатых разрядников, устанавливаемых на первой опоре подхода ли-

нии электропередачи с тросовыми молниеотводами, считая со стороны линии, должны иметь сопротивление заземления не более  $10\text{ ом}$ , а при удельном сопротивлении грунта более  $10^5\text{ ом}\cdot\text{см}$  — не более  $15\text{ ом}$ .

Трубчатые разрядники, установленные на подходах линий электропередачи к подстанциям  $35$ — $110\text{ кв}$  мощностью до  $40\,000\text{ ква}$ , присоединенных без выключателей к ответвлениям от действующих линий электропередачи, должны иметь сопротивление заземления не более  $10\text{ ом}$ , а в грунтах с удельным сопротивлением более  $10^5\text{ ом}\cdot\text{см}$  — не более  $30\text{ ом}$ .

У трубчатых разрядников и защитных промежутков, применяемых в схемах защиты вращающихся машин, сопротивление заземления каждого комплекта не должно превышать  $3\text{ ом}$ .

Величина сопротивления заземления тросовых молниеотводов, подвешенных на линиях электропередачи, принимается в соответствии с табл. 13, а на подходах к подстанциям независимо от величины удельного сопротивления грунта она должна быть не более  $20\text{ ом}$ .

Для опор высотой более  $40\text{ м}$  сопротивление заземления должно быть в два раза меньше величин, указанных в табл. 13.

Заземлением для стержневых молниеотводов, устанавливаемых на конструкциях подстанций  $110\text{ кв}$  и выше, служит заземляющий контур подстанции. Стержневые молниеотводы, установленные на конструкциях подстанций  $35\text{ кв}$ , должны иметь сопротивление заземления не более  $4\text{ ом}$  в зоне не далее  $20\text{ м}$  от молниеотвода при удельном сопротивлении грунта не более  $5 \cdot 10^4\text{ ом}\cdot\text{см}$ . В грунтах с большими удельными сопротивлениями указанная зона расширяется до  $30\text{ м}$  от молниеотвода. Заземлители отдельно стоящих стержневых молниеотводов подстанций  $35\text{ кв}$  и выше рекомендуется подсоединять к заземляющим контурам подстанций.

Величина сопротивления заземления отдельно стоящих молниеотводов, защищающих открытые шинопроводы мостов генератор—трансформатор, должна быть не более  $10\text{ ом}$ .

Заземляющие устройства, находящиеся в эксплуатации, требуют систематического надзора за ними. Для определения их состояния периодически должны производиться измерения сопротивления заземлителя и удель-

ного сопротивления грунта, выборочное вскрытие грунта для осмотра элементов заземлителя, проверка наличия цепи между заземлителями и заземляемыми элементами (разрядниками, молниеотводами и др.).

Измерения сопротивления заземлений на электростанциях и подстанциях с выборочным вскрытием грунта производятся после монтажа в первый год эксплуатации.

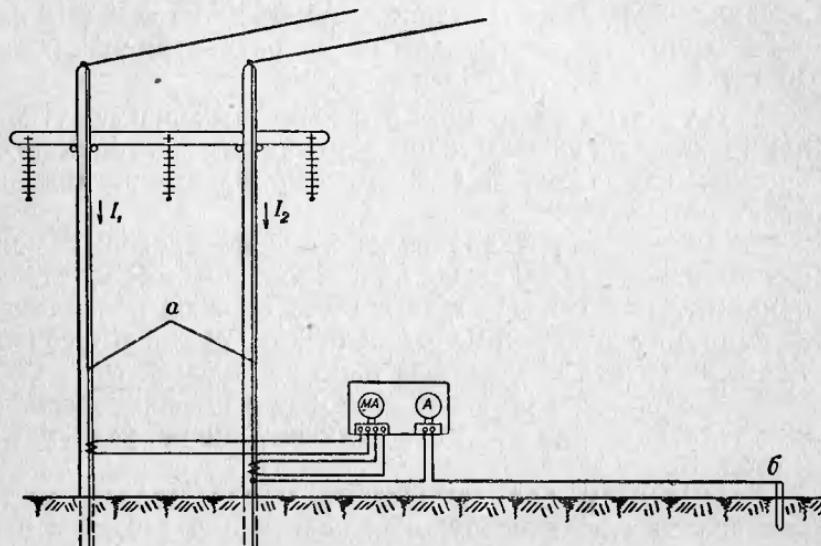


Рис. 39. Схема измерения сопротивления заземления опор действующих линий электропередачи без отсоединения троса.

*a* — заземляющие спуски; *b* — зонд; *I<sub>1</sub>*, *I<sub>2</sub>* — токи тросов.

ции и далее не реже одного раза в 6 лет, а заземлений опор линий электропередачи с напряжением выше 1 000 в — после первых 9 лет эксплуатации и в дальнейшем один раз в 6 лет.

После капитального ремонта или переустройства заземлители подвергаются внеплановой проверке их сопротивления.

Измерения сопротивления заземлителей производятся приборами типа МС-07 или МС-08 производства завода «Энергоприбор». Схема этих приборов приведена на рис. 38. Приборы имеют четыре основные элемента: генератор постоянного тока  $\Gamma$ ; магнитоэлектрический логометр с двумя рамками  $L$ ; коммутаторный прерыватель  $P$  и выпрямитель  $Vn$ , врачающиеся на одной оси с генера-

тором. Для достижения высокой точности измерения производят на постоянном токе. В целях исключения электролиза через измеряемое сопротивление ( $R_x$ ) и вспомогательное заземление и зонд ( $B$ ,  $Z$ ) пропускается переменный ток (путь которого на схеме показан пунктиром) с частотой 35 гц (при двух оборотах генератора в 1 сек).

Приборы имеют три предела измерения: 0—10; 0—100 и 0—1 000 ом с максимальной погрешностью  $\pm 10\%$ . Для каждого предела сопротивление вспомогательного заземления ( $B$ ) должно быть, соответственно, не более 250, 500 и 1 000 ом. Сопротивление зонда ( $Z$ ) для всех случаев не должно превышать 1 000 ом. При сопротивлениях выше указанных приборы теряют чувствительность и измерения с их помощью не могут быть произведены — стрелка прибора остается неподвижной.

При измерениях сопротивлений заземлений опор с тросами нужно отсоединять заземляющие спуски от проверяемого заземлителя. В тех случаях, когда не представляется возможным отсоединять трос, следует пользоваться методом ВНИИЭ, который позволяет измерять сопротивление заземления опор действующих линий электропередач без отсоединения троса. Этот метод основан на измерении токов, наводимых в тросах токами линии электропередачи и стекающих в землю через тело опоры или заземляющие спуски. Величина сопротивления заземления каждой опоры находится путем деления величины напряжения между телом опоры и точкой нулевого потенциала (зондом  $B$ ) на величину измеренного тока. Следует иметь в виду, что величина токов, стекающих по опорам в землю, не одинакова — у опор, расположенных на концах линии, она достигает максимальной величины (для линий электропередач 110 кв, например, 250—300 ма), а у опор на середине линии спадает до минимума. На рис. 39 показана принципиальная схема прибора для измерения сопротивления заземления опор линий электропередачи без отсоединения троса.

**Цена 13 коп.**

### ЛИТЕРАТУРА

1. Безруков Ф. В., Галкин Ю. П., Юрков П. А., Трубчатые разрядники, «Энергия», 1964.
2. Инструкция по монтажу и эксплуатации трубчатых фибробакелитовых разрядников серии РТ, изд. завода «Уралэлектроаппарат», 1961.
3. Инструкция по монтажу и эксплуатации устройств защиты от переизменений, Госэнергоиздат, 1954.
4. Инструкции по работам на линиях электропередачи 35—220 кв и 6—10 кв, находящихся под напряжением. (Установка и снятие трубчатых разрядников. Установка гасителей вибрации на линиях 35—110 кв. Часть V.) Издательство «Энергия», 1964 г.
5. Ларионов В. П., Защита жилых домов и производственных сооружений от молний, Госэнергоиздат, 1960.
6. Найфельд М. Р., Что такое защитное заземление и как его устраивать, Госэнергоиздат, 1960.