Руководящие указания по защите электростанций и подстанций 3-500 кВ от прямых ударов молнии и грозовых волн, набегающих с линий электропередачи

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЗАЩИТЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ 3-500 кВ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ И ГРОЗОВЫХ ВОЛН, НАБЕГАЮЩИХ С ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
МОСКВА 1975

УДК 621.316.9(083.96)

Составлено Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики (ВНИИЭ), Ленинградским политехническим институтом, Московским энергетическим институтом, Энергосетьпроектом

А в т о р ы доктор техн.наук В.В.БУРГСДОРФ, инж.С.М.ПОПОВ, кандидаты техн.наук И.Ф.ПОЛОВОЙ, Е.Я.РЯБКОВА, инженеры А.С.БЕЛЯЕВ, М.Б.КЕГЕЛЬС

Р е д а к т о р инж. Л.Ф.ТАФИПОЛЬСКИЙ

I,7 уч.-изд.л. Цена 17 коп. (194/75) Заказ № 182/74

№ 29058 Подписано к печати 19/У 1975 г. Тираж 5000 экз.

Ротапринт СПНТИ ОРГРЭС
I09432,Москва,Ж-432,2-й Кожуховский проезд,д.29,корп.6

© Специализированный центр научно-технической информации Всесоюзного государственного треста по организации и рационализации работы районных электрических станций и сетей (ОРГРЭС), 1975

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель начальника
Главтехуправления
К.АНТИПОВ
29 января 1975 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

I. Опасные грозовые перенапряжения в распределительных устройствах электростанций и подстанций возникают при непосредственном поражении их молнией и при набегании на подстанцию грозовых волн с линий электропередачи. Такие волны возникают в результате непосредственного поражения проводов молнией и обратных перекрытий изоляции с опоры, оказавшейся под высоким потенциалом при грозовом ударе в ее вершину или трос.

Опасными являются удары молнии в участки линии вблизи подстанций. Эти участки называются опасной зоной (подходом).

В распределительных устройствах 6–IO кВ могут возникнуть опасные перенапряжения от индуктированных зарядов на проводах при ударах молнии в землю или другие объекты вблизи линий или подстанции.

Некоторые сооружения электростанций и подстанций могут быть повреждены при прямых ударах молнии, в отдельных случаях удары молнии могут вызвать взрыв или пожар.

2. Защита от прямых ударов молнии выполняется при помощи молниеотводов или заземлением металлических частей зданий, крыш и т.п.

Расположение молниеотводов на подстанциях и их заземление должны обеспечить защиту от поражений молнией токоведущих частей распределительных устройств и ограничить опасность повышения напряжения на заземленных частях электротехнического оборудования.

Заземляющие устройства подстанций должны надежно защитить электрическое оборудование от обратных перекрытий изоляции при ударах молнии в молниеотводы и в заземленные конструкции подстанций.

3. Для защиты подстанций от набегающих с линии электропередачи грозовых волн выполняются защитные мероприятия на подходе к

подстанции и в распределительных устройствах.

Такими мероприятиями на подходах к подстанциям являются: подвеска троса; уменьшение защитных углов тросов; снижение сопротивления заземления опор; установка трубчатых разрядников или искровых промежутков в начале подхода (на линиях с деревянными опорами).

В распределительных устройствах устанавливаются вентильные разрядники. Выбор числа, типа, а также размещение разрядников производится с учетом схемы коммутации подстанции, уровня изоляции защищаемого оборудования, числа присоединенных к ним подстанции линий и длины защищенных подходов к подстанции.

Разработанные в настоящее время схемы грозозащиты подстанций обеспечивают высокую надежность при сравнительно небольших затратах. Экономически оправдано повышение надежности грозозащиты с увеличением мощности и напряжения электроустановок.

Глава I
ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИЙ

4. От прямых ударов молнии должны быть защищены следующие расположенные на территории электростанций и подстанций объекты:

а) открытые распределительные устройства (ОРУ), в том числе машинные мосты и гибкие связи;

б) здания машинного зала и закрытые распределительные устройства (ЗРУ);

в) здания трансформаторной башни, маслохозяйства, мазутохозяйства, электролизной и ацетилено-генераторной станции;

г) угледробилки, вагоноопрокидыватели, а также резервуары с горючими жидкостями или газами и места хранения баллонов с водородом;

д) градирни;

е) дымовые трубы.

5. Для защиты от прямых ударов молнии зданий и сооружений, имеющих металлические несущие конструкции кровли или металлическую кровлю, достаточно заземлить металлические части.

Защита от прямых ударов молнии металлических маслобаков, имеющих верхнюю стенку толщиной не менее 5 мм, осуществляется путем их заземления. Металлические маслобаки со стенками толщиной менее 5 мм защищаются отдельно устанавливаемыми молниеотводами.

Металлические дымовые трубы для защиты от прямых ударов молнии должны быть заземлены.

Защита кирпичных, бетонных и железобетонных дымовых труб осуществляется установкой на их вершине стального молниеотвода, от которого вдоль трубы прокладывается заземляющий спуск, присоединяемый к заземлителю.

Взрывоопасные и пожароопасные сооружения защищаются в соответствии с требованиями строительных норм (СП 305-69) к грозозащите таких сооружений.

6. Открытые распределительные устройства защищаются стержневыми молниеотводами. Для защиты жестких мостов и гибких связей большой протяженности могут применяться тросовые молниеотводы.

Стержневые молниеотводы устанавливаются на конструкциях (порталах) ОРУ или выполняются отдельно стоящими с обособленными заземлителями.

Установка молниеотводов на конструкциях ОРУ является наиболее простым и дешевым решением, она позволяет уменьшить высоту молниеотводов и наиболее эффективно использовать их защитную зону. Однако при поражении такого молниеотвода ударом молнии с большой амплитудой тока и высокой крутизной фронта волны значительно возрастает напряжение на заземляющем контуре и заземленных частях оборудования ОРУ. Поэтому должны быть приняты меры для предупреждения обратных перекрытий изоляции.

Мероприятия по повышению грозоупорности ОРУ зависят от интенсивности грозовой деятельности, электрической прочности изоляции установленного оборудования и импульсного сопротивления заземляющего устройства. С повышением рабочего напряжения подстанций вероятность обратных перекрытий снижается, поэтому в ОРУ 220 кВ и выше при наличии заземляющих устройств, удовлетворяющих требованиям безопасности, с обратными перекрытиями можно не считаться.

В ОРУ 35-150 кВ для снижения вероятности обратных перекрытий увеличивается число магистралей заземляющего контура, отходящих от

основной стойки с молниеотводом; вблизи стойки устанавливаются дополнительные вертикальные электроды.

Кроме того, заземляющие провода оборудования, установленного вблизи порталов с молниеотводами, и вентильных разрядников рекомендуется присоединять к контуру подстанции ближе один к другому.

7. Надежность защиты подстанций от прямых ударов молнии характеризуется числом случаев коротких замыканий в распределительных устройствах при прорывах молнии через зону защиты молниеотводов и при обратных перекрытиях за год. Это число может определяться по формуле

$$\beta = 0{,}06 D_r (\ell + 7h)(b + 7h)(\eta_n \psi_n \rho_n + \eta_{on} \rho_{on}) \cdot 10^{-6}, \quad (I)$$

где 0,06 – число ударов молнии на I км^2 территории за один грозовой час;

D_r – число грозовых часов в год;

ℓ и b – соответственно длина и ширина подстанции, м;

h – высота молниеотводов, м;

$\psi_n = 10^{-3}$ – вероятность поражений токоведущих частей при прорывах молнии сквозь зону защиты молниеотводов;

ρ_n – вероятность перекрытия изоляции при прямом ударе молнии в провод;

ρ_{on} – вероятность обратного перекрытия изоляции при прямом ударе молнии в молниеотвод;

η_n и η_{on} – вероятность перехода импульсного перекрытия изоляции в силовую дугу соответственно при прорывах молний сквозь зону защиты молниеотводов и при обратных перекрытиях.

Обычно пользуются обратной величиной, характеризующей среднюю повторяемость (в годах) перекрытий изоляции на подстанции:

$$T = \frac{1}{\beta}.$$

Если при установке молниеотводов на конструкциях ОРУ необходимая грозоупорность не может быть достигнута, грозозащита выполняется отдельно стоящими молниеотводами с обособленными заземлителями.

8. В ОРУ напряжением 220 кВ и выше молниеотводы, как правило, устанавливаются на конструкциях (порталах) распределительного устройства.

Молниеотводы на порталах ОРУ напряжением 110, 150 кВ устанавливаются при удельных сопротивлениях грунта в грозовой сезон $\rho \leq 1000$ Ом·м вне зависимости от площади, занимаемой заземляющим контуром подстанции, а при удельном сопротивлении грунта $1000 \leq \rho \leq 2000$ Ом·м - на подстанциях с площадью, занимаемой заземляющим контуром, не менее 10000 м^2.

При таких размерах контура обеспечивается сопротивление молниеотвода, позволяющее при расчетных токах молнии снизить напряжение на заземлителе до безопасной величины.

От стоек конструкции ОРУ 110 и 150 кВ с молниеотводами должно обеспечиваться растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в двух-трех направлениях. На расстоянии 3-5 м от стойки с молниеотводом на каждой магистрали следует устанавливать по одному вертикальному электроду длиной 3-5 м.

На конструкциях ОРУ напряжением 35 кВ молниеотводы устанавливаются при грунтах с удельным сопротивлением в грозовой сезон не более 500 Ом·м независимо от размеров площади контура подстанции и при грунтах с удельным сопротивлением $500 < \rho \leq 750$ Ом·м на подстанциях с площадью заземляющего контура не менее 10000 м^2. От стоек конструкции ОРУ 35 кВ с молниеотводами должно обеспечиваться растекание тока молнии по магистралям заземления в трех-четырех направлениях. На расстоянии 3-5 м от стойки с молниеотводом на каждой магистрали следует устанавливать по одному вертикальному электроду длиной 3-5 м.

Гирлянды изоляторов на порталах 35 кВ с установленными на них молниеотводами выполняются на класс напряжения 110 кВ.

Расстояния по воздуху между конструкциями ОРУ 35-500 кВ, на которых установлены молниеотводы, и токоведущими частями должны быть не менее длины гирлянды.

Место присоединения стойки конструкции с молниеотводом к заземляющему устройству должно быть удалено по магистралям заземлителя от места присоединения к нему бака трансформатора на расстояние не менее 15 м. Рекомендуется по возможности присоединять молниеотводы и баки трансформаторов к разным магистралям заземлителя.

9. Молниеотводы могут устанавливаться на трансформаторных

порталах при соблюдении следующих условий:

а) удельное сопротивление грунта в пределах контура заземления подстанции (на площадке подстанции) в грозовой сезон должно быть не более 350 Ом·м;

б) непосредственно на выводах обмоток 3-35 кВ трансформаторов или на расстоянии не более 5 м от них по ошиновке, включая ответвления к разрядникам, должны быть установлены вентильные разрядники;

в) от портала с молниеотводом должно обеспечиваться растекание тока молнии по магистралям заземления в трех-четырех направлениях;

г) на расстоянии 3-5 м от портала с молниеотводом на каждой магистрали заземления должно устанавливаться по одному вертикальному электроду длиной 3-5 м.

На подстанциях с высоким напряжением 35 кВ при установке молниеотвода на трансформаторном портале сопротивление заземляющего контура ОРУ не должно превышать 4 Ом (без учета выносного заземления).

10. Не допускается установка молниеотводов на конструкциях ОРУ, находящихся на расстоянии менее 15 м от следующих объектов:

а) трансформаторов, к которым гибкими связями или открытыми шинопроводами присоединены вращающиеся машины;

б) открытых токопроводов и опор гибких связей, если к ним присоединены вращающиеся машины.

11. Порталы трансформаторов, связанных с вращающимися машинами открытыми шинопроводами или гибкими связями, а также трансформаторные порталы подстанций, удельное сопротивление грунта на площадках которых превышает 350 Ом·м, должны входить в зону защиты отдельно стоящих или установленных на других порталах молниеотводов.

12. Тросы ВЛ 220 кВ и выше присоединяются к линейным порталам ОРУ без ограничений. Тросы ВЛ 110 и 150 кВ могут присоединяться к заземленным конструкциям ОРУ при обеспечении растекания тока молнии от портала с тросом по магистралям заземления не менее чем в двух-трех направлениях.

Тросы ВЛ 35 кВ допускается присоединять к конструкциям ОРУ на площадках подстанций с удельным сопротивлением грунтов не более

750 Ом·м. При этом гирлянды изоляторов на порталах ОРУ 35 кВ с молниеотводом должны выполняться на класс напряжения 110 кВ, сопротивление заземлителя ближайшей к ОРУ опоры ВЛ 35 кВ должно снижаться до 10 Ом. В месте присоединения стойки с тросом к заземляющему контуру необходимо принимать меры по снижению импульсного сопротивления в соответствии с рекомендациями п.8 при установке на конструкциях стержневых молниеотводов.

13. В случаях, когда требования пп.8,9 не могут быть выполнены и установка стержневых молниеотводов на конструкциях ОРУ не допускается, следует применять отдельно стоящие молниеотводы с обособленными заземлителями.

При этом вероятность обратных перекрытий изоляции оборудования распределительных устройств может быть ограничена с большой степенью надежности.

14. В случаях, когда требования п.12 не могут быть выполнены, тросы ВЛ 35 кВ должны оканчиваться на ближайшей к распределительному устройству опоре, а оставшийся без троса пролет линии следует защищать стержневыми молниеотводами.

15. При установке отдельно стоящих молниеотводов необходимо соблюдать определенные расстояния по воздуху и в земле от молниеотводов и их заземлителей до токоведущих и заземленных частей распределительного устройства.

Расстояние в земле между обособленным заземлителем молниеотвода и ближайшей к нему точкой заземляющего контура подстанции определяется по формуле

$$L_3 \geq 0{,}2 R_и , \qquad (2)$$

где $R_и$ – импульсное сопротивление заземления отдельно стоящего молниеотвода.

Это расстояние должно быть не менее 3 м.

Расстояние по воздуху от отдельно стоящего молниеотвода с обособленным заземлителем до токоведущих и заземленных частей распределительного устройства и установленного в нем оборудования ($L_в$) определяется по формуле

$$L_в \geq 0{,}12 R_и + 0{,}1 H , \qquad (3)$$

где H - высота рассматриваемой точки над уровнем земли.

Это расстояние должно быть не менее 5 м.

16. При использовании прожекторных матч в качестве отдельно стоящих молниеотводов электрическую проводку к прожекторам следует выполнять в металлической оболочке, например освинцованным кабелем. Кабель после спуска с молниеотвода необходимо прокладывать непосредственно в земле.

17. Допускается не защищать от прямых ударов молнии:

- ОРУ 20-35 кВ с трансформаторами единичной мощности 1000 кВ·А и менее, расположенные в районах с интенсивностью грозовой деятельности не более 70 ч в год;

- ОРУ 20-35 кВ в районах с интенсивностью грозовой деятельности не более 20 ч в год;

- подстанции напряжением 220 кВ и ниже на площадках с удельным сопротивлением грунта 2000 Ом·м и более с интенсивностью грозовой деятельности не более 20 ч в год.

Глава II

ЗАЩИТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 3-500 кВ ОТ ГРОЗОВЫХ ВОЛН, НАБЕГАЮЩИХ С ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

18. Выбор мероприятий для защиты оборудования распределительных устройств от набегающих с линии электропередачи волн атмосферных перенапряжений определяется параметрами защищаемого оборудования, схемой электрических соединений подстанции и конструкцией присоединенных к ней линий электропередачи.

19. Наиболее совершенным средством грозозащиты оборудования подстанций являются вентильные разрядники. Вентильные разрядники отличаются стабильностью характеристик. Пологая вольт-секундная характеристика и нелинейность рабочих сопротивлений предотвращают глубокие срезы напряжения и обеспечивают малые изменения остающегося напряжения в широком диапазоне импульсных токов, проходящих через разрядник. В сочетании со средствами грозозащиты, установленными на подходе к подстанции, вентильные разрядники позволяют с экономически приемлемой надежностью ограничить перенапряжения на подстанции до допустимых для оборудования значений.

20. Защитные характеристики вентильного разрядника должны быть скоординированы с прочностью изоляции подстанционного обору-

дования, то есть должно быть выполнено следующее условие:

$$U_д = U_{ост} + \Delta U_к , \qquad (4)$$

где $U_д$ – импульсное напряжение, допустимое для подстанционного оборудования, кВ;

$U_{ост}$ – остающееся напряжение на разряднике при нормированном импульсном токе (токе координации), кВ;

$\Delta U_к$ – координационный интервал, кВ.

Координационный интервал учитывает:

– увеличение остающегося напряжения при крутом фронте волны тока через разрядник и при старении нелинейных сопротивлений;

– повышение напряжения на защищаемом оборудовании по отношению к напряжению на разряднике, зависящее от их взаимного удаления;

– снижение прочности защищаемой изоляции в эксплуатации.

21. Допустимые для внутренней изоляции силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов значения перенапряжений $U_д$ приведены в табл.I. Эти значения установлены по нормированным импульсным испытательным напряжениям (ГОСТ 1516-73) с учетом фактической формы волн грозовых перенапряжений (рис.I).

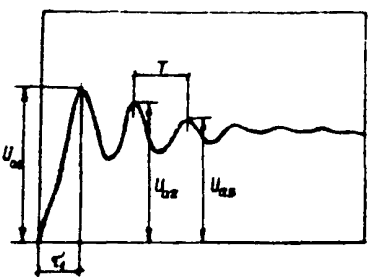

Рис.I. Форма волн грозовых перенапряжений, воздействующих на силовые трансформаторы при нормальных схемах защиты распределительных устройств 35-500 кВ:

U_{a1}, U_{a2}, U_{a3} – амплитуды последовательных максимумов униполярной колебательной волны;

τ_1 – время первого максимума U_{a1};

T – период колебательной составляющей

Таблица I

Амплитуды допустимых грозовых униполярных колебательных волн на трансформаторах, автотрансформаторах и шунтирующих реакторах

Уровень изоляции	Допустимое импульсное напряжение ($кВ_{макс.}$) при номинальном напряжении, $кВ_{эфф.}$					
	35	II0	I50	220	330	500
Основной	2I0	470	520	705	975 / II40	I430 / I570
Повышенный	-	-	650	920	-	-

Примечания: I. Основной и повышенный уровни изоляции даны в соответствии с уровнями испытательных напряжений по ГОСТ I5I6-73. 2. Для классов напряжения 330 и 500 кВ в знаменателе указаны допустимые импульсные напряжения для шунтирующих реакторов.

Допустимые грозовые перенапряжения для внешней изоляции (вводов, разъединителей, выключателей, конденсаторов связи) определяются по вольт-секундным характеристикам, полученным при специальных импульсных испытаниях или построенным по уравнению

$$U_д = B_0\sqrt{1+\frac{T_0}{t}}, \qquad (5)$$

где B_0, T_0 – постоянные коэффициенты, определяемые по величинам испытательных напряжений рассматриваемого аппарата при полной и срезанной волнах подстановкой этих значений соответственно в формулу (5) при времени 8 и 2 мкс;

t – время наступления перекрытия, мкс.

22. Перенапряжения на оборудовании, в непосредственной близости к которому установлен разрядник, совпадают с напряжением на разряднике и определяются вольт-секундной характеристикой последнего, амплитудой и формой волн протекающего через него тока.

Перенапряжения на оборудовании, удаленном от вентильного разрядника, превышают напряжения на разряднике вследствие многократных преломлений и отражений импульсных волн в узловых точках подстанции. Это превышение зависит в основном от крутизны фронта и амплитуды набегающей на подстанцию грозовой волны и параметров схемы подстанции: количества устанавливаемых разрядников и расстояния от них до защищаемого оборудования, волнового сопротивления обмотки и входных емкостей аппаратов ближайших участков подстанции, количества подключенных к ней линий электропередачи.

Перенапряжение в точках подстанции, расположенных по ходу волны за разрядником, имеет форму униполярного импульса (см. рис.I), равного остающемуся напряжению разрядника, с наложенными на него затухающими колебаниями. Период колебаний T зависит только от параметров схемы подстанции.

На оборудовании, установленном между линией электропередачи и разрядником по ходу волны (по обмотке), форма волны грозового перенапряжения в первый момент примерно повторяет форму исходного грозового импульса. После прихода отраженной от сработавшего разрядника волны перенапряжение быстро снижается, приближаясь к величине, равной сумме остающегося напряжения на разряднике и падения напряжения на индуктивности обмотки. Такое кратковременное воздействие на изоляцию менее опасно, чем воздействие полной стандартной волны той же амплитуды.

23. Величина грозового перенапряжения в каждой точке подстанции с выбранными характеристиками подстанционного оборудования и расстояниями до разрядника зависит только от крутизны, амплитуды и длины хвоста волны на входе в распределительное устройство. Эти значения определяются параметрами молнии, уровнем изоляции пораженной молнией линии электропередачи, сопротивлением заземления опор и расстоянием от места удара до подстанции.

При известных характеристиках вентильных разрядников и электрической прочности изоляции подстанционного оборудования, заданной амплитуде и длине волны на входе подстанции для каждого расстояния между разрядником и защищаемым объектом может быть определена максимальная допустимая крутизна фронта волны, при которой перенапряжения на защищаемом объекте не превышают допустимых.

Волна, распространяющаяся по линии электропередачи, затухает под действием импульсной короны и земли. При определенной длине пробега крутизна фронта любой практически возможной грозовой волны снизится до допустимой.

Принимая в месте удара молнии в качестве расчетной наиболее опасную волну с вертикальным фронтом, бесконечно длинным хвостом и амплитудой, определяемой вольт-секундной характеристикой линейной изоляции, можно найти максимальную длину опасной зоны. Она определяется по формуле

$$l_{оз} = \frac{U}{a_д\left(0{,}5 + \frac{0{,}008\,U}{h_{ср}}\right)} K \ , \qquad (6)$$

где U – амплитуда исходной расчетной волны, кВ;

$a_д$ – предельно допустимая крутизна волны на входе подстанции, кВ/мкс;

$h_{ср}$ – средняя высота подвеса провода, м;

K – коэффициент, учитывающий влияние конструкции фазы на затухание волны.

При расщеплении проводов затухание происходит слабее, в силу чего требуемая длина пробега возрастает. Значения коэффициента K при расщеплении фазы на I,2 и 3 провода могут быть приняты равными I; I,2; I,5.

24. Надежность грозозащиты подстанции определяется числом случаев появления опасных для ее изоляции грозовых волн. При определении этой надежности принимается, что все грозовые удары в линию электропередачи вне опасной зоны, находимой по уравнению (6), безопасны. Опасность могут представлять только грозовые волны, возникающие при ударе молнии в линию электропередачи в пределах опасной зоны $l_{оз}$. Часть этих волн (срезанных) имеет малую длину хвоста, небольшую амплитуду или малую крутизну. Такие волны не всегда вызывают повреждения или перекрытия изоляции оборудования подстанций, даже если они возникают в пределах опасной зоны.

Поэтому при более точной оценке надежности грозозащиты подстанций от волн, приходящих с линии электропередачи, следует ис-

пользовать методы, учитывающие статистическую вариацию амплитуды, крутизны, длины хвоста волны, тока молнии, рабочего напряжения, удаленности грозового удара и пр. Эти методы позволяют определить долю опасных грозовых волн, возникающих на подходе к подстанции.

Среднее число опасных грозовых перенапряжений, возникающих на подстанции (т.е. перенапряжений, превышающих допустимые значения) за год, может быть определено по формуле

$$\beta_1 = N D_r n f \ell_{03} (\rho_n \Psi_n + \lambda \rho_{on} \Psi_{on}) \cdot 10^{-4}, \qquad (7)$$

где β_1 – среднее число опасных перенапряжений, возникающих на подстанции в течение года;

N – число грозовых ударов в линию электропередачи длиной 100 км при 100 грозовых часах;

D_r – число грозовых часов в год;

n, f – число отходящих линий электропередачи и коэффициент их взаимного экранирования;

ρ_n, ρ_{on} – доли опасных волн прорыва молнии и обратного перекрытия изоляции, возникающих в пределах опасной зоны;

Ψ_n, Ψ_{on} – вероятности прорыва молнии и обратного перекрытия изоляции;

λ – доля грозовых ударов, приходящихся на вершину опоры.

Часто пользуются обратной величиной, характеризующей среднюю повторяемость в годах опасных перенапряжений, возникающих на подстанции:

$$T_1 = \frac{1}{\beta_1} .$$

Для повышения надежности грозозащиты подстанций могут быть проведены следующие мероприятия:

- улучшена грозозащита подхода, обеспечивающая снижение вероятности прорыва и обратных перекрытий изоляции в опасной зоне;
- уменьшено расстояние между разрядниками и защищаемым оборудованием;
- использованы разрядники с лучшими защитными характеристиками.

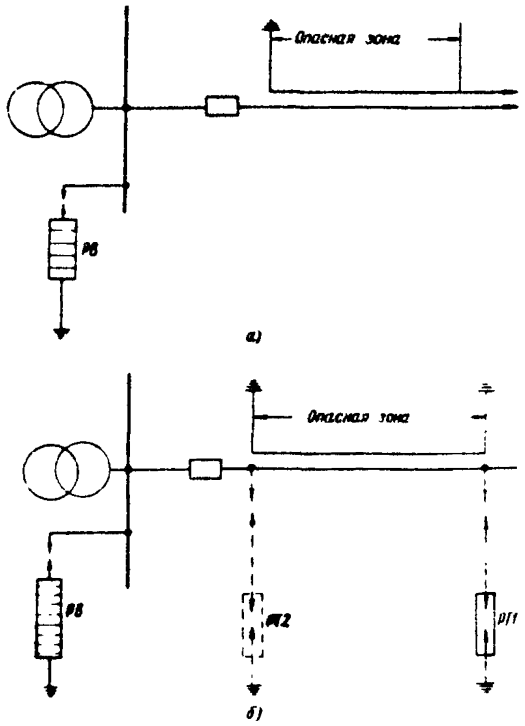

Рис.2. Нормальные схемы защиты подстанций 35-500 кВ:

а - линия, находящаяся под тросом по всей длине

б - линия на деревянных опорах, не защищенных тросом по всей длине

Повышение надежности грозозащиты подхода к подстанции достигается путем подвески тросов на подходах, не защищенных тросом по всей длине; увеличением числа тросов и уменьшением их защитных углов; снижением сопротивлений заземления опор и применением конструкций опор с повышенной грозоупорностью.

Проведение указанных выше мероприятий может потребоваться при использовании новых конструкций опор, например высотой 45 м и более, низкой проводимости грунтов на подходе к подстанции и т.п.

25. Рекомендуемые схемы грозозащиты подстанций 35-500 кВ от набегающих волн с линии электропередачи приведены на рис.2. Они включают установку разрядников в распределительных устройствах и защиту тросами подходов в пределах опасной зоны в соответствии с данными табл.2.

Амплитуда набегающей волны с линии электропередачи ограничивается импульсной прочностью линейной изоляции. На линиях электропередачи с деревянными опорами без тросов, имеющих повышенную импульсную прочность, для снижения амплитуды волны рекомендуется устанавливать в начале подхода к подстанции трубчатые разрядники РТИ (рис.2,б). Эти разрядники одновременно защищают от перекрытия на землю опору подхода, изоляция которой ослаблена заземляющими спусками от тросов.

26. При выборе вентильных разрядников и мест их установки должно учитываться следующее:

а) изоляция аппаратов 35-220 кВ, силовых и измерительных трансформаторов 35-110 кВ, а также обмоток 150-220 кВ силовых трансформаторов с повышенным уровнем изоляции по ГОСТ 1516-73 рассчитана на защиту разрядниками III группы по ГОСТ 16357-70 (типа РВС). При необходимости повысить надежность защиты этой изоляции или увеличить расстояния между разрядником и защищаемым оборудованием могут быть использованы разрядники с улучшенными характеристиками - II или I группы по ГОСТ 16357-70 (серии РВМ, РВМГ или РВРД-РВТ);

б) силовые трансформаторы 150-220 кВ с основным уровнем изоляции (по ГОСТ 1516-73) и все оборудование 330-500 кВ должны защищаться разрядниками II или I группы по ГОСТ 16357-70 (серии РВМ, РВМГ или РВРД-РВТ);

в) в цепи между разрядником и защищаемым объектом не допускается установка коммутационных аппаратов, если разрядник предназначается для защиты:

- обмоток всех напряжений силовых трансформаторов, имеющих автотрансформаторную связь;
- обмоток 150, 220, 330, 500 кВ трансформаторов с основным уровнем изоляции по ГОСТ 1516-73;
- шунтирующих реакторов 330, 500 кВ;

г) количество устанавливаемых на подстанции вентильных раз -

рядников должно обеспечивать координацию защитных характеристик разрядника с прочностью изоляции подстанционного оборудования согласно уравнению (5). Требуемая координация устанавливается из сопоставления тока в разряднике при набегании с линии электропередачи максимально возможной амплитуды грозовой волны с допустимым током через разрядник из условия координации (с нормированным током координации).

27. Для типовых компоновок современных подстанций в табл.2-4 приведены согласованные максимальные значения допустимых расстояний разрядник - защищаемое оборудование и длина защищенного подхода линии.

Если выбранное по конструктивным условиям расстояние между разрядником и защищаемым оборудованием находится между приведенными в таблицах значениями, необходимая длина защищенного подхода линии устанавливается путем интерполяции.

Типовые решения по защите подходов ВЛ к подстанциям 35-500кВ приведены в табл.5.

Наибольшие допустимые расстояния между вентильными разрядниками и защищаемым оборудованием необходимо определять исходя из условий нормального режима работы подстанций при полном ее развитии (по проекту схемы развития сетей на пятилетний период). При этом аварийные и ремонтные режимы работы подстанции могут не учитываться (см.приложение).

В случае подключения трансформаторов 35 кВ и выше к шинам распределительного устройства длинными кабелями их большая емкость и малая индуктивность существенно облегчают условия грозозащиты. При выполнении рекомендаций п.25 для защиты трансформаторов, подключенных через кабели, вне зависимости от длины кабелей достаточно установить вентильный разрядник на шинах возможно ближе к месту присоединения к ним кабеля. Расстояние от разрядника до кабельной муфты во всех случаях не должно превышать расстояний до аппаратов, рекомендуемых в табл.2-4. Оболочки кабелей и заземляющие провода разрядника должны присоединяться к заземляющему контуру подстанции возможно ближе один к другому.

28. Для подстанций 35 и 110 кВ, подключаемых короткими ответвлениями к действующим линиям электропередачи на деревянных опорах без тросов, допускается применение упрощенной схемы грозозащиты с укороченной длиной защищенного подхода. В этом случае вентиль-

ный разрядник должен быть установлен в непосредственной близости к трансформатору (на расстоянии не более 10 м). Для уменьшения тока через вентильный разрядник на подходе линии к подстанции по ходу грозовой волны должны быть установлены два комплекта трубчатых разрядников.

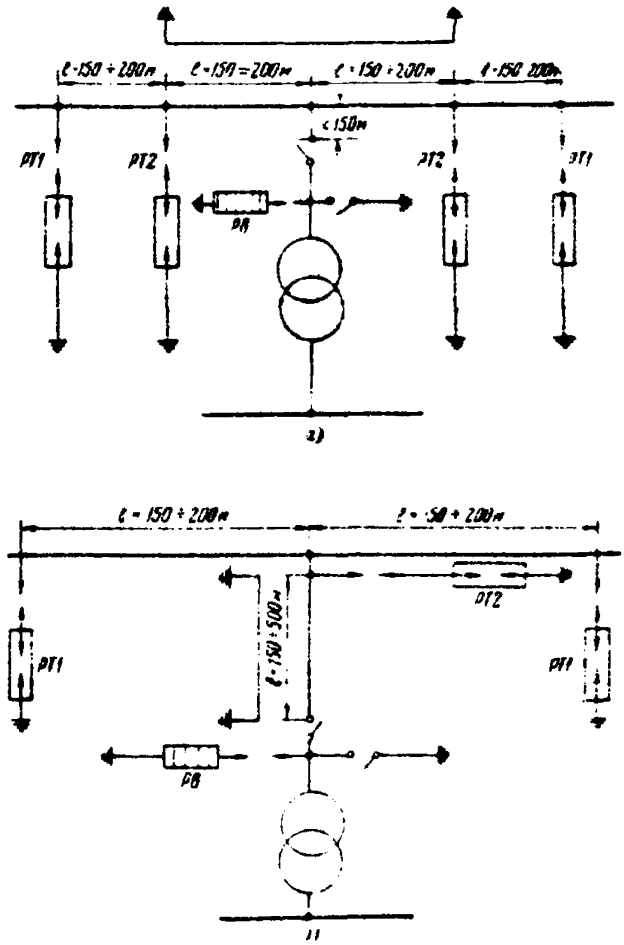

Рис.3. Схемы защиты подстанций на ответвлениях от грозовых перенапряжений:

а – длина ответвления менее 150 м; *б* – длина ответвления 150–500 м

Упрощенная защита может применяться для подстанций с трансформаторами мощностью до 40 МВ·А.

Рекомендуемые схемы защиты таких подстанций приведены на рис.3:

а) при длине ответвления от магистральной линии менее 150 м тросом защищается ответвление и по одному пролету магистральной линии по обе стороны от него. Кроме того, на линии устанавливаются четыре комплекта трубчатых разрядников (см.рис.3,*а*);

б) при длине ответвления 150-500 м трос подвешивается только на ответвлении и устанавливаются три комплекта трубчатых разрядников (см.рис.3,*б*);

в) при длине ответвления более 500 м трос подвешивается только на ответвлении и защита подстанции осуществляется по нормальной схеме (см.рис.2,*б*).

29. Если по условиям работы сети разомкнутый конец линии, не имеющей защиты тросом по всей длине, может длительно находиться под напряжением, для защиты изоляции разомкнутого выключателя или разъединителя устанавливается трубчатый разрядник РТ2 на расстоянии не более 60 м (см.рис.2,*б*).

Если линия защищена тросом по всей длине, установка трубчатых разрядников на разомкнутом конце линии и отходящих от нее ответвлениях не требуется. В упрощенных схемах грозозащиты подстанции (см.рис.3) установка трубчатого разрядника на конце длительно отключенного ответвления не требуется при его длине до 250 м. В этом случае защита обеспечивается трубчатыми разрядниками РТ1 и РТ2 (см.рис.3), защитная зона которых расширяется ввиду проходного режима работы магистральной линии.

30. Запрещается заземление нейтрали трансформаторов 110 кВ и выше и установка в цепи ее заземления коммутационных аппаратов и вентильных разрядников, если изоляция нейтрали рассчитана на работу при глухом заземлении.

Нейтрали трансформаторов 110-220 кВ, имеющих изоляцию, пониженную относительно изоляции линейного конца обмотки и допускающую работу с разземленной нейтралью, должны защищаться вентильными разрядниками.

31. В районах, имеющих не более 40 грозовых часов в год, длина защищенного подхода к подстанции 35 кВ с двумя трансформаторами общей мощностью до 2000 кВ·А и с одним трансформатором мощностью до 1600 кВ·А может быть сокращена до 0,5 км. При этом расстояние между разрядниками и трансформатором не должно превышать 10 м. Если подходы линий к рассматриваемым подстанциям выполнены

на металлических или железобетонных опорах с сопротивлением заземлителей, соответствующим данным табл.2, защита подходов тросом не требуется. Если же такие подстанции подключены к линиям на деревянных опорах, трос на подходе может не подвешиваться при условии соблюдения следующих требований:

а) крепления подвесных гирлянд или штыревых изоляторов на расстоянии 0,5 км от подстанции должны быть заземлены;

б) в начале подхода должен быть установлен комплект трубчатых разрядников;

в) сопротивления заземления опор и трубчатых разрядников должны соответствовать данным табл.2.

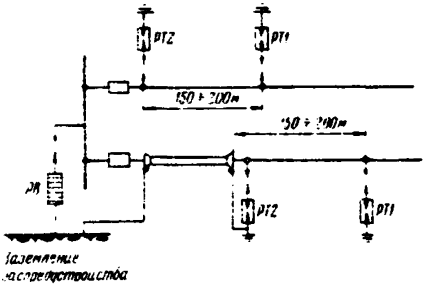

Рис.4. Схема грозозащиты РУ 3-20 кВ

32. Неиспользуемые обмотки низшего и среднего напряжения силовых трансформаторов (автотрансформаторов) должны быть соединены в звезду или треугольник и защищены вентильными разрядниками соответствующего класса напряжения, включенными между вводами каждой фазы и землей. Если неиспользуемая обмотка низшего напряжения расположена первой от магнитопровода, достаточно для ее защиты заземлить одну из вершин треугольника (нейтраль или одну из фаз звезды) без установки вентильных разрядников.

33. Рекомендуемые схемы защиты РУ 3-20 кВ приведены на рис.4.

В распределительном устройстве устанавливается вентильный разрядник. При его размещении в одной ячейке с трансформатором напряжения разрядник рекомендуется присоединять до предохранителя во избежание перегорания последнего при протекании импульсных

токов. Ограничение амплитуды волны, набегающей на подстанцию с линии электропередачи на деревянных опорах, осуществляется трубчатым разрядником РТІ, устанавливаемым на расстоянии 200-300 м от ввода в подстанцию. Сопротивление его заземления не должно превышать 10 Ом. На линиях электропередачи с металлическими или железобетонными опорами установка РТІ не требуется, низкий уровень линейной изоляции таких линий исключает опасность прихода на подстанцию волн с большой амплитудой.

Применение тросов для защиты подходов линий 3-20 кВ неэффективно.

Удовлетворительная надежность рекомендуемой схемы достигается за счет:

- небольшой поражаемости сравнительно коротких линий 3 и 20 кВ, часто проходящих по застроенной местности;

- относительно большого координационного интервала между прочностью изоляции защищаемого оборудования и остающимся напряжением разрядника.

34. Если воздушная линия 3-20 кВ соединена с подстанцией кабельной перемычкой, для защиты кабельной воронки в месте перехода воздушной линии в кабель устанавливается трубчатый или вентильный разрядник. Заземляющие зажимы разрядника должны быть кратчайшим путем присоединены к броне оболочки кабеля. Трубчатый разрядник, установленный перед кабельной воронкой, обеспечивает защиту оборудования разомкнутого конца при длине кабеля до 50 м. При установке на линейном конце кабеля вентильного разрядника РВП изоляция разомкнутого конца будет защищена на любой длине кабеля.

При чисто воздушных подходах линий к подстанциям 3-20 кВ защита разомкнутого выключателя или разъединителя осуществляется в соответствии с рекомендациями п.29.

35. Для РУ 6-10 кВ, имеющих кабельную связь между шинами и трансформатором, и всех РУ 3 кВ расстояние между вентильными разрядниками на шинах и трансформатором не ограничивается.

При воздушной связи между шинами РУ 6-10 кВ и трансформатором расстояние разрядник - трансформатор не должно превышать:

а) 90 м при воздушных линиях на металлических и железобетонных опорах;

б) 60 м при воздушных линиях на деревянных опорах.

36. Защита киосков, столбовых подстанций и распределительных устройств 3–10 кВ подстанции 35 кВ с трансформаторами мощностью до 560 кВ·А осуществляется комплектом вентильных разрядников, установленных на сборке у трансформатора или на выходе.

Замена вентильных разрядников трубчатыми не рекомендуется.

37. Для защиты переключательных пунктов устанавливаются трубчатые разрядники – один комплект на каждую питающую линию.

Заземлители разрядников следует присоединять к общему заземляющему устройству переключательного пункта.

Приложение

ПРИМЕР РАСЧЕТА ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИИ ОТ ВОЛН, НАБЕГАЮЩИХ С ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Необходимо выбрать грозозащиту подстанции 110 кВ, которая при полном развитии будет иметь двойную систему шин с четырьмя отходящими линиями, трансформатор 110/10 кВ и автотрансформатор 220/110/10 кВ. На подстанцию заходят две линии на деревянных опорах и две линии на металлических опорах. Обмотка 10 кВ автотрансформатора, соединенная в треугольник, в течение расчетного периода остается неиспользованной.

В соответствии с п.27 грозозащита подстанции выбирается из условий нормального режима работы подстанции и ее развития в конце пятилетнего периода. При полном развитии подстанции наиболее вероятным нормальным режимом будет подключение к каждой системе шин по две линии и по трансформатору.

В случае расположения шиносоединительного выключателя в конце шин грозозащита каждой системы шин с подключенными к ней подсоединениями выбирается как для двух отдельных подстанций. Включение шиносоединительного выключателя при этом считается эквивалентным подключению к каждой системе шин еще по одной отходящей линии. Таким образом, для каждой системы шин допустимые расстояние между разрядником и подстанционным оборудованием и длина опасной зоны должны выбираться по табл.2 из графы "Подстанция с тремя и более включенными ВЛ и разрядниками".

Рассмотрим различные случаи подключения присоединений к сборным шинам:

а) выбор защитных средств для системы шин, к которым в нормальном режиме будет обычно подключен трансформатор 110/10 кВ.

В этом случае на шинах целесообразно установить комплект вентильных разрядников РВС-110 (ближе к присоединению трансформатора).

Положим, что расстояние по ошиновке разрядник - трансформатор получилось равным 90 м. В этом случае, согласно данным граф 3 и 10 табл.2, длина подхода линии на деревянных опорах, подключенной в нормальном режиме к рассматриваемой системе шин, должна быть $\geq$ 1,5 км. Экстраполируя данные табл.2, получаем, что длина опасных зон линий на металлических опорах составляет пример-

но $\geqslant 2{,}8$ км. В пределах величин найденной длины подходов и опасных зон, согласно п.25, сопротивления заземления и защитные углы должны соответствовать данным табл.5.

Для проверки правильности принятого решения необходимо сопоставить максимально допустимые расстояния до аппаратов, соответствующие выбранной длине каждого подхода (опасной зоны), с реальными. В данном случае расстояние от разрядника до линейного оборудования не должно превышать 140 м для линий с деревянными опорами и 200 м для линии с металлическими или железобетонными опорами. Если окажется, что реальные расстояния намного меньше максимально допустимых, необходимо рассмотреть возможность перемещения вентильного разрядника ближе к трансформатору. В этом случае можно будет сократить длину опасной зоны, а следовательно, и объем работ по выполнению условий табл.5, что в целом позволит удешевить грозозащиту при одновременном повышении ее надежности (см.п.24). При этом следует иметь в виду, что выбирать длину опасной зоны (подхода) меньше I км не следует, в то время как расстояние от трансформатора до разрядника желательно выбирать как можно меньшим;

б) выбор защитных мер для системы шин, к которым в нормальном режиме подключается автотрансформатор.

В данном случае необходимо выполнить требование п.26в настоящих Руководящих указаний, установив разрядник РВС-II0 на присоединении автотрансформатора без коммутационных аппаратов. Если данным разрядником нельзя защитить наиболее удаленное от него оборудование, то необходимо установить второй комплект разрядников.

Защита неиспользуемых обмоток I0 кВ автотрансформатора должна выполняться по п.32.

Таблица 2

Наименьшие допустимые расстояния от вентильных разрядников до защищаемого оборудования напряжением 35–220 кВ

Номинальное напряжение, кВ	Тип и материал опор	Длина защищаемого троса подхода ВЛ, км	Расстояние до силовых трансформаторов, м									Расстояние до аппаратов, м			
			Тупиковая подстанция с разрядниками			Подстанция с двумя постоянно включенными ВЛ и разрядниками			Подстанция с тремя и более постоянно включенными ВЛ и разрядниками			Тупиковая подстанция с разрядниками		Проходная подстанция с разрядниками	
			1хРВС	2хРВС	1хРВМГ	1хРВС	2хРВС	1хРВМГ	1хРВС	2хРВС	1хРВМГ	1хРВС	2хРВС (или 1хРВМГ)	1хРВС	2хРВС (или 1хРВМГ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
35	Деревянные с трубчатыми разрядниками или искровым промежутком в начале подхода	1,0	30	50	40	50	100	75	90	-	-	75	100	100	120
		1,5	50	75	60	70	115	90	120	-	-	100	125	125	150
		2,0	70	90	80	90	130	100	150	-	-	125	150	150	150
35	Металлические и железобетонные	1,0	15	30	20	30	40	40	40	-	-	60	70	70	90
		1,5	25	50	40	50	60	60	80	-	-	65	90	80	100
		2,0	50	70	60	70	90	80	90	-	-	70	100	90	125
110	Деревянные с трубчатыми разрядниками или искровым промежутком в начале подхода	1,0	25	40	35	50	65	60	70	90	80	100	120	120	130
		1,5	45	70	60	70	85	75	90	110	100	120	140	140	160
		2,0	55	90	80	80	100	90	115	135	120	150	170	170	200
110	Металлические и железобетонные	1,0	10	20	15	15	25	20	20	40	30	70	90	100	120
		1,5	15	35	25	30	45	40	35	60	50	90	120	150	150
		2,5	50	70	60	65	90	80	80	110	95	130	175	200	200
		3,0	65	90	80	80	110	100	95	140	125	150	200	200	200
150	Одноцепные	2,0	30	60	50	50	80	70	100	150	130	85	110	150	175
		2,5	40	75	65	65	110	90	115	175	150	100	130	175	200
		3,0	50	90	80	80	130	115	130	200	175	115	150	200	250
150	Двухцепные башенного типа	2,0	-	-	-	30	60	50	50	70	70	-	-	90	100
		2,5	-	-	-	40	75	70	70	100	90	-	-	110	130
		3,0	-	-	-	60	90	80	80	120	110	-	-	150	150
220	Одноцепные	2,0	30	60	60	50	90	70	90	120	100	85	150	150	170
		2,5	40	85	75	70	120	90	105	160	130	105	150	170	190
		3,0	50	110	90	85	150	120	115	200	150	125	170	190	210
220	Двухцепные башенного типа	2,0	-	-	-	30	50	50	50	70	60	-	-	90	120
		2,5	-	-	-	45	80	75	70	100	90	-	-	100	140
		,0	-	-	-	60	100	90	85	130	110	-	-	130	140

Примечания: 1. Допустимые расстояния до трансформаторов 150 и 220 кВ приведены для повышенного уровня изоляции по ГОСТ 1516-78. 2. При защите трансформаторов (автотрансформаторов) 150 и 220 кВ с основным уровнем изоляции по ГОСТ 1516-78 разрядниками II или I группы по ГОСТ 16357-70 (РВМ, РВМГ или РВРД, РВТ) допустимые расстояния соответственно равны 0,90 и 1,05 от значений, указанных в табл.2, для разрядников 6 группы (РВС) по ГОСТ 16357-70. 3. При защите трансформаторов (автотрансформаторов) 150 и 220 кВ с повышенным уровнем изоляции всего остального подстанционного оборудования 35–220 кВ разрядниками I группы (РВРД, РВТ) допустимые расстояния могут быть увеличены на 40% по сравнению с рекомендуемыми в табл.2 для разрядников РВМГ. 4. Допустимые расстояния до аппаратов в табл.2 справедливы для выключателей, трансформаторов напряжения, конденсаторов связи, разъединителей, трансформаторов тока и всех типов опорных изоляторов.

Минимальные допустимые расстояния от вентильных разрядников до защищаемого оборудования 330 кВ

Тип подстанции, число ВЛ	Тип, число вентильных разрядников, место установки	Длина защищаемого подхода с повышенным защитным уровнем, км	Расстояние, м					
			до силовых трансформаторов (автотрансформаторов) и шунтирующих реакторов		до трансформаторов напряжения		до аппаратов	
			при портальных опорах на подходе	при одностоечных опорах на подходе	при портальных опорах на подходе	при одностоечных опорах на подходе с двумя тросами	при портальных опорах на подходе	при одностоечных опорах на подходе с двумя тросами
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тупиковая, выполненная по схеме ОРУ "блок-трансформатор-линия"	1 комп. вентильных разрядников II группы у силового трансформатора	2,5	45	-	75	-	130	100
		3,0	70	-	90	-	140	110
		4,0	100	50	115	85	150	130
Тупиковая, выполненная по схеме ОРУ "блок-трансформатор-линия"	2 комп. вентильных разрядников II группы: один - у силового трансформатора, другой - в линейной ячейке	2,5	70	-	250*	-	330*	235*
		3,0	120	-	320*	-	380*	270*
		4,0	160	90	400*	250	450*	340*
Тупиковая, выполненная по схеме ОРУ "объединенный блок"	2 комп. вентильных разрядников II группы у силовых трансформаторов	2,0	70	-	210	-	335	280
		2,5	110	-	240	-	340	320
		3,0	150	65	260	200	355	340
Проходная с двумя ВЛ и одним трансформатором, выполненная по схеме ОРУ "треугольник"	1 комп. вентильных разрядников II группы у силового трансформатора	2,0	80	-	160	-	390	300
		2,5	110	50	210	120	410	350
		3,0	150	80	250	150	425	380
Проходная с двумя ВЛ и двумя трансформаторами, выполненная по схеме ОРУ "мостик"	2 комп. вентильных разрядников II группы у силовых трансформаторов	2,0	60	-	320	-	420	300
		2,5	80	-	400	250	500	360
		3,0	130	60	475	310	580	415
Проходная с двумя ВЛ и двумя трансформаторами, выполненная по схеме ОРУ "четырехугольник"	2 комп. вентильных разрядников II группы у силовых трансформаторов	2,0	150	-	500	-	1000	1000
		2,5	200	80	700	320	1000	1000
		3,0	240	140	750	470	1000	1000
Многофигурная с тремя ВЛ и двумя трансформаторами	2 комп. вентильных разрядников II группы у силовых трансформаторов	2,0	150	40	960	-	1000	1000
		2,5	200	80	1000	400	1000	1000
		3,0	220	140	1000	1000	1000	1000
Многофигурная с тремя ВЛ и одним трансформатором	1 комп. вентильных разрядников II группы у силового трансформатора	2,0	100	30	700	-	1000	750
		2,5	175	70	800	-	1000	1000
		3,0	250	130	880	700	1000	1000

Примечания: 1. Расстояния, отмеченные звездочкой, соответствуют допустимым удалениям оборудования от разрядников, установленных у силового трансформатора. 2. При использовании разрядников I группы по ГОСТ 16357-70 допустимые расстояния увеличиваются в 1,3 раза.

Таблица 4

Наибольшие допустимые расстояния от вентильных разрядников до защищаемого оборудования 500 кВ

Тип подстанции, число ВЛ	Тип, число комплектов разрядников, место установки	Расстояние, м		
		до силовых трансформаторов и автотрансформаторов и шунтирующих реакторов	до трансформаторов напряжения	до аппаратов
I	2	3	4	5
Тупиковая, выполненная по схеме ОРУ "блок-трансформатор-линия"	2 комп. вентильных разрядников II группы: один - у силового трансформатора, другой - в линейной ячейке или на реакторном присоединении	95	I50/700	I50/700*
Проходная с двумя ВЛ и одним трансформатором, выполненная по схеме ОРУ "треугольник"	2 комп. вентильных разрядников II группы: один - у силового трансформатора, другой - на шинах, в линейной ячейке или на реакторном присоединении	I30	350/700	350/900*
Проходная с двумя ВЛ и двумя трансформаторами, выполненная по схеме ОРУ "четырехугольник"	2 комп. вентильных разрядников II группы у силовых трансформаторов	I60	350	800*
Многофидерная с тремя ВЛ и двумя трансформаторами	2 комп. вентильных разрядников II группы у силовых трансформаторов	240	450	900*

Окончание таблицы 4

Тип подстанции, число ВЛ	Тип, число комплектов разрядников, место установки	Расстояние, м		
		до силовых трансформаторов и автотрансформаторов и шунтирующих реакторов	до трансформаторов напряжения	до аппаратов
I	2	3	4	5
Многоэтажная с тремя ВЛ и одним трансформатором	I компл. вентильных разрядников II группы у силового трансформатора	I75	400	600* -

Примечания: I. В значениях, указанных дробью, числитель - допустимое расстояние до ближайшего вентильного разрядника (в линейной ячейке, на шинах или на реакторном присоединении), знаменатель - допустимое расстояние до разрядника, установленного у силового трансформатора. 2. При использовании вентильных разрядников I группы по ГОСТ I6357-70 для защиты оборудования с изоляцией по ГОСТ I5I6-73 допустимые значения расстояний, указанных в данной таблице, увеличиваются в I,5 раза, за исключением значений расстояний, отмеченных звездочкой, которые увеличиваются в I,I раза.

Таблица 9

Защита подходов ВЛ к подстанциям

Номинальное напряжение ВЛ, кВ	Подходы ВЛ на портальных опорах						Подходы ВЛ на одностоечных опорах					
	Длина защищенного подхода с повышенным уровнем грозоупорности, км	Число тросов	Защитный угол троса, град.	Сопротивление заземляющих устройств опор (Ом) при удельном сопротивлении грунта, Ом·м			Длина защищенного подхода с повышенным уровнем грозоупорности, км	Число тросов	Защитный угол троса, град.	Сопротивление заземляющих устройств опор (Ом) при удельном сопротивлении грунта, Ом·м		
				до 100	100-500	более 500				до 100	100-500	более 500
35	1-2	2	25-30	10	15	20	1,5-2	1-2	30	10	15	20
110	1-3	2	25-30	10	15	20	1,5-3	1-2	25	10	15	20
150	1-3	2	25-30	10	15	20	1,5-3	1-2	25	10	15	20
220	2-3	2	25	10	15	20	2-3	2	20	10	15	20
330	2-4	2	25	10	15	20	2-3	2	20	10	10	15
500	2,5-3,0	2	25	10	15	20	-	-	-	-	-	-

Примечания: 1. Подход длиной 4 км разрешается для тупиковых подстанций 330 кВ. 2. Заземляющее устройство двухцепных одностоечных опор на подходах к подстанциям должны выполняться с сопротивлениями 5, 10, 15 Ом соответственно при грунтах с удельным сопротивлением до 100, 100-500 и более 500 Ом·м.

gost.e-ecolog.ru