

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

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОИЗМЕРЕНИЯ 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(063.96)

Составлено Всесоюзным научно-исследовательским институтом
электроэнергетики (ВИИЭ), Ленинградским политехническим
институтом, Московским энергетическим институтом,
Энергосетьпроект

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

Р е д а к т о р инж. Д.Ф.ТАШПОЛЬСКИЙ

1,7 уч.-изд. л. Цена 17 коп. (194/75) Заказ Б 182/74
Б 29058 Подписано к печати 19/У 1975 г. Тираж 5000 экз.

Ротапринт СИНТИ ОРГЭС
109432, Москва, Е-432, 2-й Кокуховский проезд, д. 29, корп. 6

© Специализированный центр научно-технической информации
Всесоюзного государственного треста по организации и
реализации районных электрических станций в сетях
(ОРГЭС), 1975

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель начальника
Главтехуправления

И. АСТИНОВ
29 января 1975 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Опасные грозовые перенапряжения в распределительных устройствах электростанций и подстанций возникают при непосредственном поражении их молнией и при набегании на подстанции грозовых волн с линий электропередачи. Такие волны возникают в результате непосредственного поражения проводов молнией в обратных перекрытиях 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 6-10 кВ могут возникнуть опасные перенапряжения от индуцированных зарядов на проводах при ударах молнии в землю или другие объекты вблизи линий или подстанций.

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

2. Защита от прямых ударов молнии выполняется при помощи молниеотводов или заземленном 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 заземляющие конструкции подстанций.

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

подстанциях и в распределительных устройствах.

Таковы мероприятия на подходах к подстанциям являются: свесы троса; уменьшение защитных углов тросов; снижение сопротивлении заземления опор; установка трубчатых разрядников или искровых промежутков в начале подхода (на линии с деревянными опорами).

В распределительных устройствах устанавливаются вентильные разрядники. Выбор числа, типа, а также размещение разрядников производится с учетом схемы коммутации подстанции, уровня изоляции защитного оборудования, числа присоединяемых к ней подстанций линий и длины защитных 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.

Г л а в а 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 шинные места и гибкие связи;
- б) здания машинного зала и закрытые распределительные устройства (ЗРУ);
- в) здания трансформаторной баины, маслохозяйства, нефтехозяйства, электромашиной и асинхронно-генераторной станции;
- г) укладочные, вагонопроталкиватели, а также резервуары с горючими жидкостями или газами и места хранения баллонов с водородом;
- д) градирни;
- е) дымоходы трубы.

5. Для защиты от прямых ударов молнии зданий и сооружений, имеющих металлические несущие конструкции кровли или металлические кровли, 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 верхние стальные молниеотводы, 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 вышних мостов и габрих свайей большой протяженности могут применяться тросовые молниеотводы.

Стержневые молниеотводы устанавливаются на конструкциях (порталах) ОРУ или выполняются отдельно стоящими с обособленным заземлителем.

Установка молниеотводов на конструкциях ОРУ является наиболее простым и дешевым решением, она позволяет уменьшать 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 предотвращения 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 вертикальных 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

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

где 0,06 - число ударов молнии на 1 км² территории за один грозовой час;

D_r - число грозовых часов в год;

ℓ и δ - соответственно длина и ширина подстанции, м;

h - высота молниеотводов, м;

$\psi_n = 10^{-2}$ - вероятность поражения токоведущих частей при прорывах молнии сквозь зону защиты молниеотводов;

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

$\rho_{оп}$ - вероятность обратного перекрытия изоляции при прямом ударе молнии в молниеотвод;

η_n и $\eta_{оп}$ - 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 необходима 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 $\rho \leq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ вне зависимости от площади, занимаемой заземляющим контуром подстанции, а при удельном сопротивлении грунта $1000 \leq \rho = 2000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ - 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 $500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ независимо от размеров площади контура подстанции и при грунтах с удельным сопротивлением $500 < \rho \leq 750 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ 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-четыре 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, в токоведущих частях должны быть не менее длин гирлянд.

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

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 до оплывки, 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 уровнем 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 винпроводами присоединены вращающиеся машины;

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

11. Порталы трансформаторов, связанных с вращающимися машинами открытыми винпроводами 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 допускаются 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 стержня с тросом к заземляющему контуру необходимо принимать меры по снижению индукционного 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

$$L_3 \geq 0,2 R_M, \quad (2)$$

где R_M - 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_B) определяется по формуле

$$L_B \geq 0,12 R_M + 0,1 H, \quad (3)$$

где H - высота рассматриваемой точки над уровнем земли.

Это расстояние должно быть не менее 5 м.

16. При использовании прожекторных матч в качестве отдельных 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.

Г л а в а П

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

18. Выбор мероприятий для защиты оборудования распределительных устройств от набегающих с линий 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 оборудо-

дования, то есть должно быть выполнено следующее условие:

$$U_{\partial} = U_{ост} + \Delta U_{\kappa}, \quad (4)$$

где U_{∂} - импульсное напряжение, допустимое для подстанционного оборудования, кВ;

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

ΔU_{κ} - координационный интервал, кВ.

Координационный интервал учитывает:

- увеличение оставшегося 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_{∂} приведены в табл. I. Эти значения установлены по нормированным импульсным испытательным напряжениям (ГОСТ 1516-73) с учетом фактической формы волны грозовых перенапряжений (рис. I).

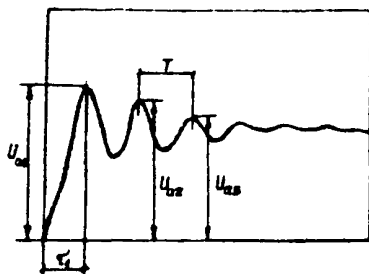


Рис. I. Форма волны грозовых перенапряжений, воздействующих на силовые трансформаторы при нормальных схемах защиты распределительных устройств 35-500 кВ:

U_{m1}, U_{m2}, U_{m3} - амплитуды последовательных максимумов унисполлярной колебательной волны;

τ_1 - время первого максимума

T - период колебательной составляющей

Т а б л и ц а I

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

| Уровень изоляции | допустимое импульсное напряжение ($U_{\text{доп}}$) при номинальном напряжении, кВ _{эфф.} | | | | | |
|------------------|--|-----|-----|-----|--------------------|---------------------|
| | 35 | 110 | 150 | 220 | 330 | 500 |
| Основной | 210 | 470 | 520 | 705 | $\frac{975}{1140}$ | $\frac{1430}{1570}$ |
| Повышенный | - | - | 650 | 920 | - | - |

П р и м е ч а н и я : 1. Основной и повышенный уровни изоляции даны в соответствии с уровнями испытательных напряжений по ГОСТ 1516-73. 2. Для классов напряжения 330 и 500 кВ в знаменателе указаны допустимые импульсные напряжения для вунтирукших реакторов.

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

$$U_{\partial} = B_0 \sqrt{1 + \frac{T_0}{t}}, \quad (5)$$

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 подстанции грозовой волны и параметров схемы подстанции: количества устанавливаемых разрядников и расстояния от них до защищаемого оборудования, волнового сопротивления ошиновки 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.1), равного оставшемуся 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 ошиновке), 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 оставшегося напряжения на разряднике и падения напряжения на индуктивности ошиновки. 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

$$l_{03} = \frac{U}{a_d \left(0,5 + \frac{0,008U}{h_{cp}} \right)} K, \quad (6)$$

где U - амплитуда исходной расчетной волны, кВ;
 a_d - предельно допустимая крутизна волны на входе подстанции, кВ/мкс;
 h_{cp} - средняя высота подвеса провода, м;
 K - коэффициент, учитывающий влияние конструкции фаз на затухание волны.

При расщеплении проводов затухание происходит слабее, в силу чего требуемая длина пробега возрастает. Значения коэффициента K при расщеплении фазы на 1, 2 и 3 провода могут быть приняты равными 1; 1,2; 1,5.

24. Надежность грозозащиты подстанции определяется числом случаев плавления опасных для ее изоляции грозовых волн. При определении этой надежности принимается, что все грозовые удары в линии электропередачи вне опасной зоны, находимой по уравнению (6), безопасны. Опасность могут представлять только грозовые волны, возникающие при ударе молнии в линии электропередачи в пределах опасной зоны l_{03} . 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 подстанции 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 при подходе к подстанции.

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

$$\beta_1 = N D_r n f \ell_{03} (p_n \Psi_n + \lambda p_{оп} \Psi_{оп}) \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

где β_1 - среднее число опасных переувражнений, возникающих на подстанции в течение года;

N - число грозовых ударов в линии 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;

$p_n, p_{оп}$ - доли опасных волн прорыва молнии и обратного перекрытия изоляции, возникающих в пределах опасной зоны;

$\Psi_n, \Psi_{оп}$ - 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 переувражнений, 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.

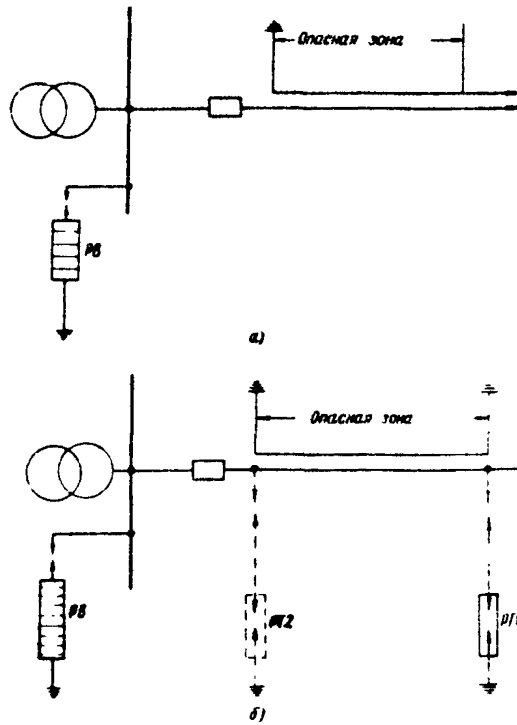


Рис.2. Нормальные схемы защиты подстанций 35-500 кВ:

- 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 грозоударностью.

Проведение указанных выше мероприятий может потребоваться при использовании новых конструкций опор, например высотой 45 м и более, в районах с высокой проводимостью грунтов на подходе к подстанции и т.п.

25. Рекомендуемые схемы грозозащиты подстанций 35-500 кВ от набегавших 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 набегавшей 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 опоры подхода, изоляция которой ослаблена заземляющими спусками от тросов.

26. При выборе ветвильных 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 расстояние 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 предназначен для защиты:

- обмоток всех напряжений силовых трансформаторов, исключая автотрансформаторную связь;

- обмоток 150, 220, 330, 500 кВ трансформаторов с основным уровнем изоляции по ГОСТ 1516-73;

- мундирных реакторов 330, 500 кВ;

г) количество устанавливаемых на подстанции ветвильных раз -

рядников должно обеспечивать координацию защитных характеристик разрядника с прочностью изоляции подстанционного оборудования согласно уравнению (5). Требуемая координация устанавливается на сопоставления тока в разряднике при набегах на линии электропередачи максимальной возможной амплитуды грозовой волны с допустимым током через разрядник на 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 защитного подхода линии.

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

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

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

В случае подключения трансформаторов 35 кВ и выше к линиям 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 вентилящий разрядник на кранах 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 линиями электропередачи на деревянных опорах без тропов, допускается применение упрощенной схемы грозозащиты с укороченной длиной защитного подхода. В этом случае вентиля-

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

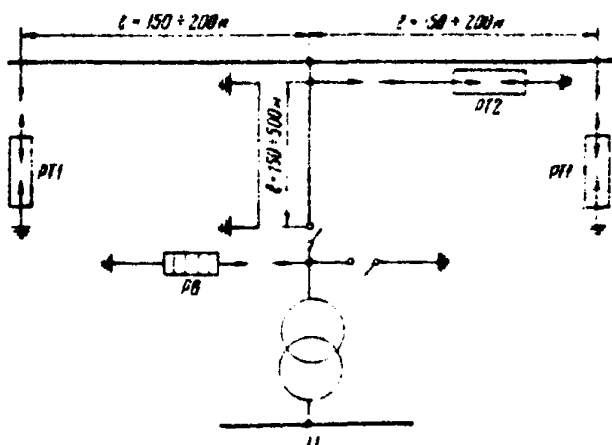
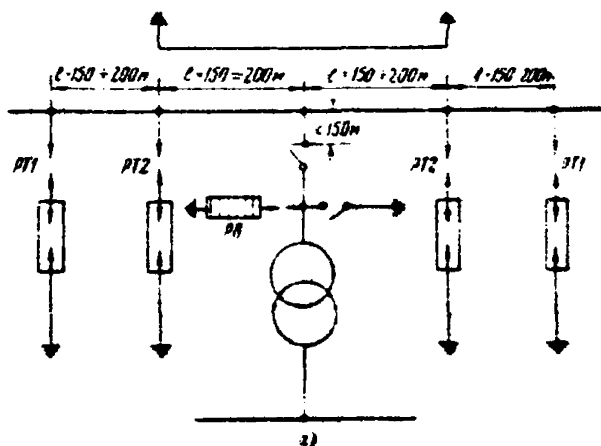


Рис.3. Схемы защиты подстанций на ответвлениях от грозных переапряжений:

α - длина ответвления менее 150 м; δ - 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 устанавливается 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 разземление нейтрали трансформаторов 110 кВ и выше и установка в цепи ее заземления коммутационных аппаратов и вентиляемых разрядников, если изоляция нейтрали рассчитана на работу при глухом заземлении.

Нейтрали трансформаторов 110-220 кВ, имеющих изоляцию, понижающую относительно изоляции линейного конца обмотки и допускающую работу с разземленной нейтралью, должны защищаться вентиляемыми 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 стержневых 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.

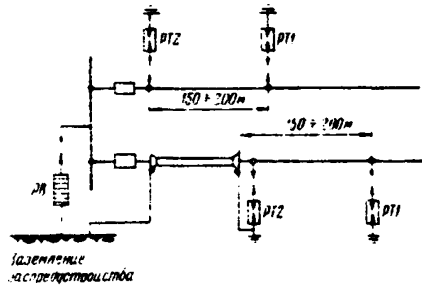


Рис.4. Схема грозозащиты РУ 3-20 кВ

32. Непользуемые 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 треугольничка (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 линиями электропередачи на деревянных опорах, осуществляется трубчатым разрядником РТИ, 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 РТИ не требуется, низкий уровень линейной изоляции таких линий исключает опасность прихода на подстанцию волны 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 оставшимся 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 вентилярный 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 вентилярного 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 вентилярными 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 вентиляльных разрядников, устанавливаемых на сборке у трансформатора или на выходе.

Замена вентиляльных 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.

П р и л о ж е н и е
ПРИМЕР РАСЧЕТА ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИИ ОТ ВОДН,
НАБЕГАНЩИХ 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 подсединениями 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 допустимое 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 вертикальных разрядников РВС-110 (ближе к присоединению трансформатора).

Положим, что расстояние по опилковке разрядник - трансформатор получилось равным 90 м. В этом случае, согласно данным граф 3 и 10 табл.2, длина подходе 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 $\geq 2,8$ км. В пределах величины 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 линии 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 вентиляционного 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 1 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.26а настоящих Руководящих указаний, установив разрядник РС-110 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 10 кВ автотрансформатора должна выполняться по п.32.

Наибольшие допустимые расстояния от воздушных линий до электрического оборудования напряжением 35-220 кВ

| Средняя температура воздуха, °С | Тип и материал опор | Длина воздушного провода в м, по табл. 1.1 | Расстояния до силовых трансформаторов, м | | | | | | | | | Расстояния до аппаратов, м | | | |
|---------------------------------|---|--|--|-------|--------|--|-------|--------|--|-------|--------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | | | Тупиковая подстанция с разрядниками | | | Подстанции с двумя постоянными выключателями в разрядниках | | | Подстанции с тремя и более постоянными выключателями в разрядниках | | | Тупиковая подстанция с разрядниками | | Проходная подстанция с разрядниками | |
| | | | 1хРЭС | 2хРЭС | 1хРВМГ | 1хРЭС | 2хРЭС | 1хРВМГ | 1хРЭС | 2хРЭС | 1хРВМГ | 1хРЭС | 2хРЭС (или 1хРВМГ) | 1хРЭС | 2хРЭС (или 1хРВМГ) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 35 | Деревянные с тубусными разрядниками или металлическими прошепками в центре вышней | 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 | 80 |
| | | 1,5 | 25 | 50 | 40 | 50 | 60 | 60 | 60 | - | - | 65 | 80 | 80 | 100 |
| | | 2,0 | 50 | 70 | 60 | 70 | 80 | 80 | 90 | - | - | 70 | 100 | 90 | 125 |
| 110 | Деревянные с тубусными разрядниками или металлическими прошепками в центре вышней | 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 | 65 | 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 | 80 | 100 | 120 |
| | | 1,5 | 15 | 35 | 25 | 30 | 45 | 40 | 35 | 60 | 50 | 90 | 120 | 130 | 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 с-вешного 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 | - | - | 130 | 150 |

- 26 -

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------------------|-----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 150 | Одноцепные | 2,0 | 30 | 60 | 60 | 50 | 90 | 70 | 90 | 120 | 100 | 85 | 130 | 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 с-вешного типа | 2,0 | - | - | - | 30 | 50 | 50 | 50 | 70 | 60 | - | - | 90 | 120 |
| | | 2,5 | - | - | - | 45 | 80 | 75 | 70 | 100 | 90 | - | - | 100 | 140 |
| | | 3,0 | - | - | - | 60 | 100 | 90 | 85 | 130 | 110 | - | - | 130 | 170 |

Примечания: 1. Допустимые расстояния до трансформаторов 150 и 220 кВ приведены для повышенного уровня защиты по ГОСТ 1516-73. 2. При защите трансформаторов (автотрансформаторов) 150 и 220 кВ с основным уровнем изоляции по ГОСТ 1516-73 разрядниками II или I группы по ГОСТ 16357-70 (РВМ, РВМ или РВМ, РВТ) допустимые расстояния соответственно равны 0,90 и 1,05 от вышней точки в табл. 2, для разрядников II группы (РВМ) 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 (РВМ, РВТ) допустимые расстояния могут быть увеличены на 40% по сравнению с рекомендуемыми в табл. 2 для разрядников РВМ. 4. Допустимые расстояния до аппаратов в табл. 2 приведены для выключателей, трансформаторов напряжения, конденсаторов связи, разъединителей, трансформаторов тока и всех типов опорных изоляторов.

- 27 -

| Тип подстанции, число ВЛ | Тип, число номинальных разрядников, место установки | Длина заземляющего провода с нормальными заземляющими устройствами, км | Расстояние, м | | | | | |
|---|---|--|--|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| | | | до силовых трансформаторов (субтрансформаторов) и воздушных выключателей | | до трансформаторов напрядения | | до вывертов | |
| | | | при перетоковых опорах на подходе | при одиночных опорах на подходе | при перетоковых опорах на подходе | при одиночных опорах на подходе | при перетоковых опорах на подходе в двух трассах | при одиночных опорах на подходе в двух трассах |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Тупиковая, выделенная по схеме ОПУ "блочный трансформатор-линия" | 1 ном. разрядников I 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, выделенная по схеме ОПУ "блочный трансформатор-линия" | 2 ном. разрядников II группы: один - у силового трансформатора, другой - в линейной точке | 2,5 | 70 | - | 250* | - | 130* | 235* |
| | | 3,0 | 120 | - | 320* | - | 380* | 270* |
| | | 4,0 | 160 | 90 | 400* | 250 | 470* | 340* |
| Тупиковая, выделенная по схеме ОПУ "объединенный блок" | 2 ном. разрядников II группы у силовых трансформаторов | 2,0 | 70 | - | 210 | - | 335 | 280 |
| | | 2,5 | 110 | - | 240 | - | 340 | 320 |
| | | 3,0 | 150 | 60 | 260 | 200 | 355 | 340 |
| Прокладка с двумя ВЛ и одним трансформатором, выполненная по схеме ОПУ "треугольник" | 1 ном. разрядников II группы у силового трансформатора | 2,0 | 80 | - | 160 | - | 390 | 330 |
| | | 2,5 | 110 | 50 | 210 | 120 | 410 | 350 |
| | | 3,0 | 150 | 80 | 250 | 150 | 425 | 380 |
| Прокладка с двумя ВЛ и двумя трансформаторами, выполненная по схеме ОПУ "мостик" | 2 ном. разрядников II группы у силовых трансформаторов | 2,0 | 60 | - | 320 | - | 420 | 300 |
| | | 2,5 | 80 | - | 400 | 240 | 500 | 360 |
| | | 3,0 | 130 | 60 | 475 | 310 | 580 | 475 |
| Прокладка с двумя ВЛ и двумя трансформаторами, выполненная по схеме ОПУ "четырёхугольник" | 2 ном. 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 |

| | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Изолированная с тремя ВЛ и двумя трансформаторами | 2 ном. разрядников II группы у силовых трансформаторов | 2,0 | 150 | 40 | 960 | - | 1000 | 1000 |
| | | 2,5 | 220 | 80 | 1000 | 400 | 1000 | 1000 |
| | | 3,0 | 320 | 140 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Изолированная с тремя ВЛ и одним трансформатором | 1 ном. разрядников II группы у силового трансформатора | 2,0 | 100 | 30 | 700 | - | 1000 | 750 |
| | | 2,5 | 175 | 70 | 800 | - | 1000 | 1000 |
| | | 3,0 | 250 | 120 | 880 | 700 | 1000 | 1000 |

Примечания: 1. Расстояния, отмеченные в скобках, соответствуют действительным расстояниям от разрядников, установленных у силового трансформатора. 2. При использовании разрядников I группы по ГОСТ 16357-70 действительные расстояния увеличиваются в 1,3 раза.

Т а б л и ц а 4

Наибольшие допустимые расстояния от вентиляемых разрядников до защищаемого оборудования 500 кВ

| Тип подстанции, число ВЛ | Тип, число комплектов разрядников, место установки | Расстояние, м | | |
|--|---|--|-------------------------------|--------------|
| | | до силовых трансформаторов и автотрансформаторов и индуктивных реакторов | до трансформаторов напряжения | до аппаратов |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Тупиковая, выполненная по схеме ОРУ "блок-трансформатор-линия" | 2 комплекта вентиляемых разрядников II группы: один - у силового трансформатора, другой - в линейной ячейке или на реакторном присоединении | 95 | 150/700 | 150/700* |
| Проходная с двумя ВЛ и одним трансформатором, выполненная по схеме ОРУ "треугольник" | 2 комплекта вентиляемых разрядников II группы: один - у силового трансформатора, другой - на линии, в линейной ячейке или на реакторном присоединении | 130 | 350/700 | 350/900* |
| Проходная с двумя ВЛ и двумя трансформаторами, выполненная по схеме ОРУ "четыреугольник" | 2 комплекта вентиляемых разрядников II группы у силовых трансформаторов | 160 | 350 | 800* |
| Многофазная с тремя ВЛ и двумя трансформаторами | 2 комплекта вентиляемых 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 авто-трансформаторов в пунктах релейных реакторов | до трансформаторов напряжения | до измерительных |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Многофазная с тремя ВЛ и одним трансформатором | I компл. вентиляльных разрядников II группы у силового трансформатора | 175 | 400 | 600* |

Примечания: 1. В значениях, указанных дробью, числитель - допустимое расстояние до ближайшего вентиляльного разрядника (в линейной ячейке, на шинах или на реакторном присоединении), знаменатель - допустимое расстояние до разрядника, установленного у силового трансформатора. 2. При использовании вентиляльных разрядников I группы по ГОСТ 16357-70 для защиты оборудования с изоляцией по ГОСТ 1516-73 допустимые значения расстояний, указанных в данной таблице, увеличиваются в 1,5 раза, за исключением значений расстояний, отмеченных звездочкой, которые увеличиваются в 1,1 раза.

Таблица 9

Защита подходов ВЛ и подстанциям

| Номинальное напряжение ВЛ, кВ | Подходы ВЛ на порталных опорах | | | | | | Подходы ВЛ на одностоечных опорах | | | | | |
|-------------------------------|--|--------------|----------------------------|---|---------|-----------|--|--------------|----------------------------|---|---------|-----------|
| | Длина защитного подхода с повышенным уровнем грозосуперности, км | Число тросов | Защитный угол троса, град. | Сопротивление заземляющих устройств опор (Ом) при удельном сопротивлении грунта, Ом·м | | | Длина защитного подхода с повышенным уровнем грозосуперности, 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. Заземляющие устройства двухцепных одностоечных опор на подходах к подстанциям должны выполняться с сопротивлением 5, 10, 15 Ом соответственно при грунтах с удельным сопротивлением до 100, 100-500 и более 500 Ом·м.