

Молниезащита оборудования ПС 110–220 кВ с помощью ОПН от набегающих волн перенапряжений с линий электропередачи при демонтаже грозозащитного троса на подходе к подстанциям

Защита подстанций высокого напряжения от набегающих с ВЛ волн грозовых перенапряжений основана на выборе защитных аппаратов (ОПН, разрядников), числа и места их установки на ПС с тем, чтобы обеспечить такое снижение воздействующих волн грозовых перенапряжений по амплитуде и крутизне, при котором в течение нормированного срока эксплуатации — числа лет безаварийной работы, $T_{н.в}$ — не будут превышены допустимые значения перенапряжений для наиболее ответственного и дорогостоящего оборудования (трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и т.д.).

Кемпнен М.Э.,

заместитель генерального директора АО «Полимер-Аппарат»

Кольчев А.В.,

к.т.н., доцент Высшей школы высоковольтной энергетики Института энергетики СПбПУ Петра Великого, заместитель директора по науке АО «Полимер-Аппарат»

Гулов А.М.,

аспирант Высшей школы высоковольтной энергетики Института энергетики СПбПУ Петра Великого

Показатель надежности подстанции $T_{н.в}$ представляет собой период времени между возникновением двух опасных воздействий и определяется обратной величиной к вероятности $N_{н.в}$ (1/год) прихода на ПС опасных набегающих волн $T_{н.в}=1/N_{н.в}$. Для класса напряжения 110 кВ рекомендуемый показатель надежности грозозащиты от набегающих волн $T_{н.в}$ составляет 300–400 лет, для класса напряжения 220 кВ — 400–600 лет [1].

Согласно РД [1] по защите от внутренних и грозовых перенапряжений, опасные грозовые воздействия на подстанционном оборудовании возникают при ударах молнии непосредственно в подстанцию, а также при поражениях ВЛ и приходе по ним на распределительное устройство и ПС грозовых волн.

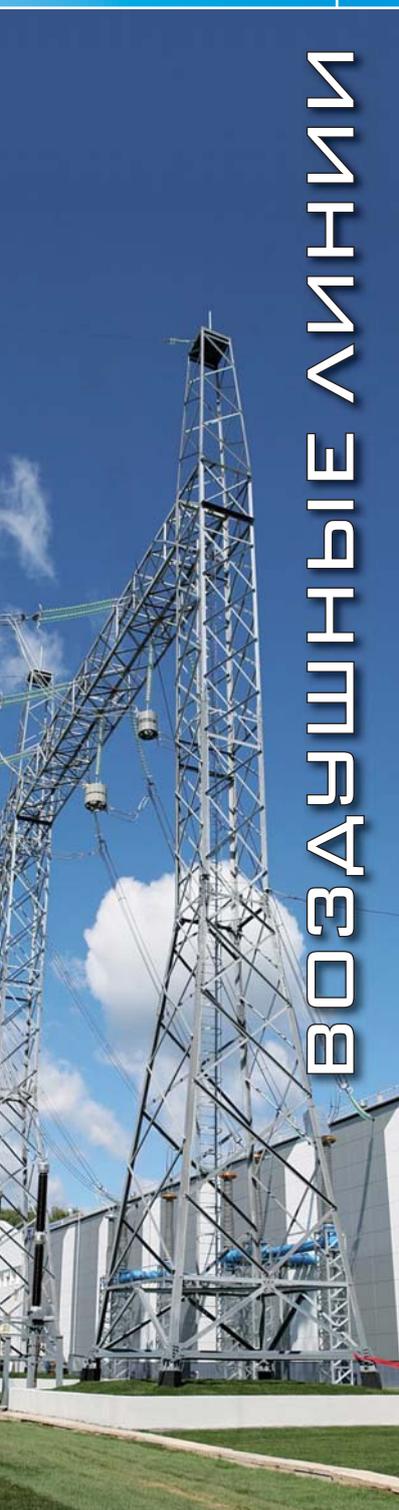
В части требований главы 4 ПУЭ [2] к организации грозозащиты ПС 110 кВ и выше и подходов ВЛ к подстанциям рассматривается применение вентильных разрядников и ОПН. При этом длины защищенных подходов и допусти-

мые расстояния между защищаемым электрооборудованием и защитными аппаратами определены в таблице 4.2.10 для вентильных разрядников (РВ) II и III групп по ГОСТ 16357-83 [3]. Применение вместо РВ нелинейных ограничителей перенапряжений [4] позволяет уменьшить расстояния до защищаемого оборудования в зависимости от отношения остающихся напряжений на ОПН и РВ. Применение ОПН, которые обладают более низкими значениями остающихся напряжений при грозовых перенапряжениях, значительно повышает надежность грозозащиты ПС 110 кВ и выше.

Исследования грозозащиты ПС 110 кВ и 220 кВ различного типа (тупиковые, проходные и т.д.) [5, 6] при установке ОПН на ПС вместо вентильных разрядников приводят к значительному уменьшению длины «опасной зоны» — защищенного подхода, который не превышает 800–900 м.

Требования ПУЭ [2] в части грозозащиты ПС основываются на детерминистском подходе и понятии «опасной зоны». Длина «опасной

ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ



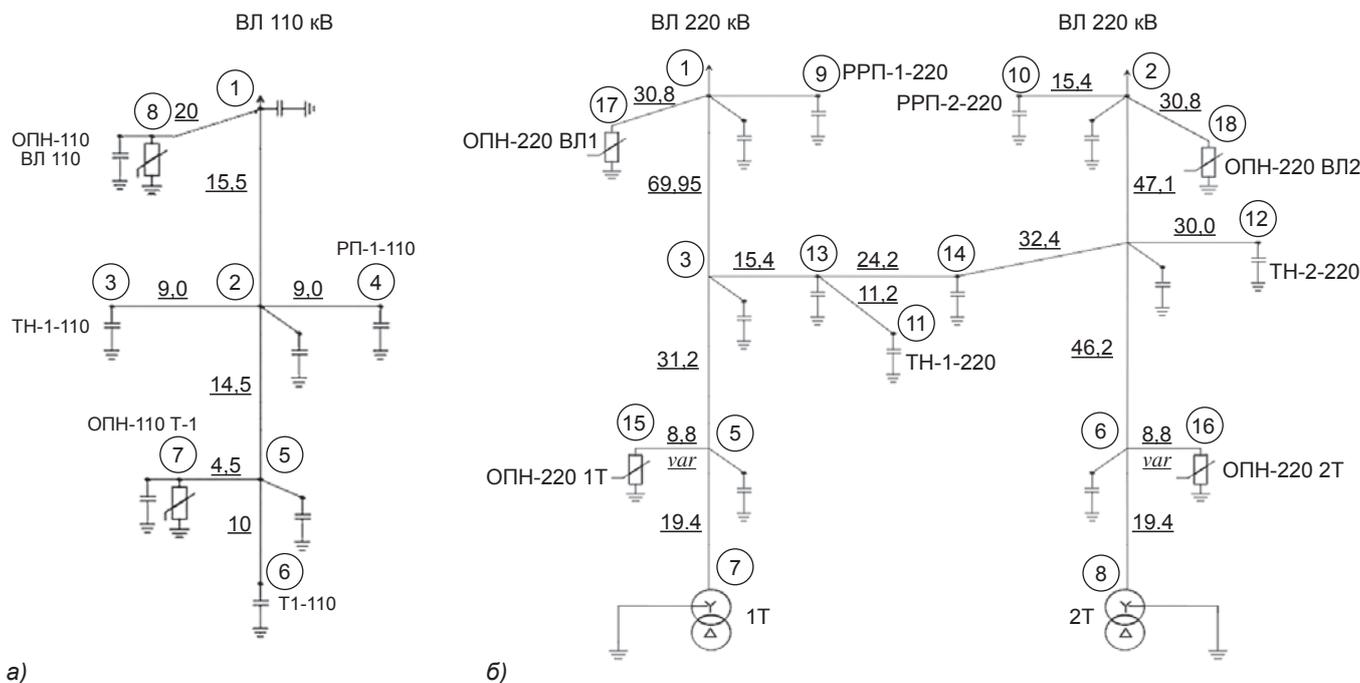


Рис. 1. Принципиальные схемы подстанций 110–220 кВ для анализа грозозащиты: а) схема «Блок трансформатор-линия»; б) схема «Мостик» (где цифрами в кружках обозначены номера узлов; цифры между узлами — расстояния, м; расстояния приведены с учетом спуска проводов к оборудованию; var — варьируемое расстояние до трансформатора)

зоны» соответствует предельной длине участка ВЛ на подходе к ПС, после пробега которого полная волна с отвесным фронтом максимальной возможной амплитуды становится безопасной для изоляции подстанционного оборудования в результате ее деформации из-за потерь энергии на импульсную корону. Требования ПУЭ позволяют определить характеристики защитных аппаратов, их размещение и длину защищенного подхода при заданной длине опасной зоны. Однако они не определяют фактическую надежность грозозащиты ПС.

В соответствии с ПУЭ [2] и СТО [7] подход ВЛ к ОРУ 110–220 кВ должен быть защищен с помощью грозозащитного троса. В ряде случаев возникает необходимость снятия грозозащитного троса с ВЛ из-за высоких гололедных и ветровых нагрузок. С другой стороны, на ВЛ 35–110 кВ используются преимущественно стальные канаты типа ТК, защищенные цинковым покрытием. После 15–20 лет эксплуатации ВЛ происходит снижение эффективности антикоррозионной защиты, механической прочности тросов из-за коррозии и усталости металла. Высокое значение переходного сопротивления в узле крепления грозозащитного троса к тросостойке опоры при больших токах КЗ может привести к перегосу троса. Обрыв троса с падением на провода приводит к возникновению одноцепных и двухцепных коротких замыканий на линиях.

Эксплуатация ВЛ 110 кВ без грозозащитного троса на подходе допускалась на ВЛ 35–220 кВ с деревянными опорами согласно п. II–5–73 ПУЭ-4 [8].

Демонтаж троса для ВЛ 110–220 кВ приводит к увеличению числа ударов молнии в фазный провод на подходе, что значительно снижает надежность грозозащиты ПС 110–220 кВ для типовых схем грозозащиты в рамках требований ПУЭ.

Для повышения показателя надежности грозозащиты ПС в этом случае необходимо применять дополнительные ограничители перенапряжений на входе ПС.

Установка дополнительного комплекта ОПН на входе ПС (линейная ячейка или портал) за счет каскадной схемы грозозащиты позволяет уменьшить расстояния, с которых возможен приход опасных набегающих волн молнии на подстанцию и повысить надежность грозозащиты до требуемых показателей [1]. Установка ОПН в линейных ячейках также отражена в СТО [7].

Расчеты грозозащиты проводились для двух типовых схем подстанций 110–220 кВ: «Блок трансформатор-линия», с одной отходящей ВЛ и силовым трансформатором; «Мостик» с двумя отходящими ВЛ и двумя трансформаторами (рисунки 1).

Эквивалентные расчетные схемы исследуемых подстанций составлены в соответствии с требованиями РД [1]. Расчеты проводились с помощью программного комплекса «Минск», предназначенного для расчета грозозащиты в системе «ВЛ — Подстанция».

Для каждой схемы определялись показатели грозоупорности подстанции $N_{н.в}$ при варьировании расстояния между ОПН и трансформатором.

В качестве защитных аппаратов применялись ОПН-110 кВ и ОПН-220 кВ, основные характеристики которых представлены в таблице 1.

Расчеты в программном комплексе «Минск» позволяют определять расстояния, на которых удары молний могут создавать опасные перенапряжения, то есть требуемые длины защитных подходов.

Расчет грозозащиты выполнялся как для прорывов молнии мимо тросовой защиты, так и для обратных перекрытий при ударах молнии в тросы и опоры. Последовательно менялись расстояния от места удара молнии до подстанции. Сначала рассматривается удар в непосредственной близости от подстанции (расстояние — 0 м), затем вблизи первой опоры и т.д., пока при определенном расстоянии волны, приходящие на подстанцию, не будут создавать опасных перенапряжений на защищаемом оборудовании.

Табл. 1. Характеристики нелинейных ограничителей перенапряжений ОПН-110 кВ и ОПН-220 кВ

| Наименование | $U_{НРО}$, ОПН | Удельная энергоемкость ОПН, Э* | Остающееся напряжение при грозовых импульсах тока 8/20 мкс, кВ, с амплитудой | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---|------|-------|
| | кВ | | кДж/кВ | 5 кА | 10 кА |
| ОПНп-110/680/77-10-III УХЛ1 | 77 | 4,0 | 237 | 257 | 282 |
| ОПНп-220/1000/154-10-III УХЛ1 | 154 | 5,75 | 450 | 493 | 553 |

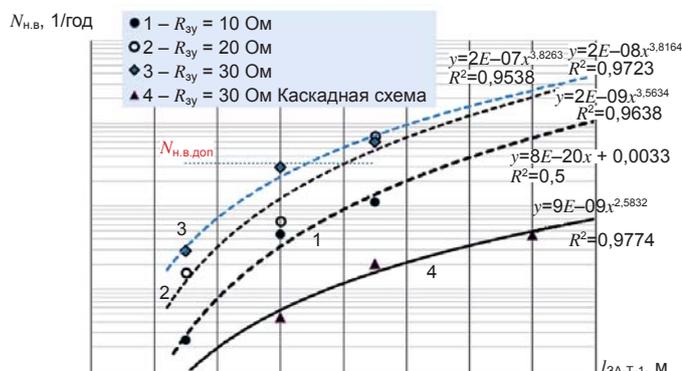


Рис. 2. Зависимости показателя надежности грозозащиты и их аппроксимации от расстояния между трансформатором Т-1 и ОПН-110 кВ для ПС 110 кВ по схеме ОРУ «Блок трансформатор-линия»

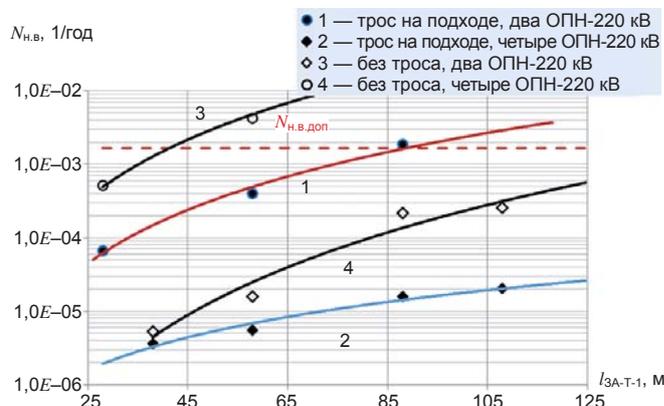


Рис. 3. Зависимости показателя надежности грозозащиты и их аппроксимации от расстояния между СТ и ОПН-220 кВ для ПС 220 кВ по схеме «Мостик» с тросовой защитой (кривые 1, 2) и без троса на подходе (кривые 3, 4)

Результаты расчетов $N_{н.в.}$ (1/год) вероятности прихода на ПС опасных набегающих волн от расстояний между защитным аппаратом и защищаемым оборудованием для подстанций 110 кВ по схеме «Блок трансформатор-линия» представлены на рисунке 2 при сопротивлениях заземления опор на подходе 10 Ом, 20 Ом и 30 Ом и одном ОПН-110 кВ (кривые 1, 2, 3), при установке двух ОПН-110 кВ и сопротивлении заземления опор 30 Ом (кривая 4).

Исследование грозозащиты ПС 110 кВ «Блок трансформатор-линия» от грозовых волн, набегающих с ВЛ при существующей схеме грозозащиты, показали:

- показатели надежности грозозащиты силовых трансформаторов удовлетворяет требованиям РД при сопротивлениях сопротивления R_{3y} опор ВЛ 110 кВ на подходе к ПС не более 10 Ом и расстояниях от ОПН-110 кВ до силовых трансформаторов $l_{ОПН-СТ}$ не более 55 м;
- при сопротивлениях R_{3y} опор 30 Ом и более показатель надежности грозозащиты $T_{нв}$ для трансформаторов напряжения ТН-1-110 будет

составлять менее требуемого значения по РД 300–400 лет при расстояниях более 35 м;

- максимальные расстояния, с которых приходят опасные воздействия грозовых перенапряжений, не превышают 620 м от входа к ПС;
- при установке двух ОПН-110 кВ показатель надежности грозозащиты ПС превышает требуемый показатель по РД 300–400 лет при сопротивлениях R_{3y} опор ВЛ 110 кВ на подходе к ПС до 30 Ом включительно.

Результаты расчетов молниезащиты ПС 220 кВ по схеме «Мостик» представлены на рисунке 3 в зависимости от расстояния до ОПН-220 кВ от силовых трансформаторов и каскадном способе грозозащиты (4-ОПН-220 кВ) при сопротивлении заземления опор на подходе, равном 15 Ом. Также на рисунке 3 представлены результаты расчетов показателя грозозащиты ПС без грозозащитного троса на подходе к ПС 220 кВ.

В таблицах 2 и 3 приведены рекомендуемые расстояния между высоковольтными аппаратами и защитными аппаратами, полученные при прове-

Табл. 2. Рекомендуемые расстояния $l_{3А-30}$ (м) для подстанций 110 кВ

| Схема ОРУ | Тип разрядника | Длина защищенного подхода, км | ПУЭ для РВ | ОПН-110 кВ | |
|--------------------------|----------------|-------------------------------|------------|------------|------------|
| | | | | Расчет | ПУЭ расчет |
| Блок трансформатор-линия | РВС | 1,0 | 15 | 58 | 26 |
| | | 2,0 | 50 | | 85 |
| | | 3,0 | 80 | | 136 |
| | РВМГ | 1,0 | 20 | 58 | 23 |
| | | 2,0 | 70 | | 80 |
| | | 3,0 | 120 | | 138 |
| | | 2,0 | 150 | | 172 |
| | | 3,0 | 250 | | 287 |

Табл. 3. Рекомендуемые расстояния l_{3A-3O} (м) для подстанций 220 кВ

| Схема ОРУ | Тип разрядника | ПУЭ для РВ | ОПН-220 кВ | |
|--|----------------|------------|------------|------------|
| | | | Расчет | ПУЭ расчет |
| Проходная с двумя ВЛ и двумя трансформаторами «Мостик» | РВМГ | 60–110 | 85 | 88–161 |

дении расчетов и по формуле пересчета для ОПН [2], а также рекомендуемые в ПУЭ для РВ. Приведенные в таблицах рекомендации позволяют при использовании ограничителя осуществить достаточную защиту от волн, набегающих на подстанцию при ударах молнии в ВЛ.

Результаты расчетов показателя грозозащиты ПС 110 кВ без грозозащитного троса представлены на рисунке 4.

В ходе исследований было определено, что для ПС 110 кВ по схеме «Блок трансформатор-линия» при демонтаже грозозащитного троса на подходе допустимых показатели грозозащиты с ОПН-110 кВ возможно достичь при расстоянии до силового трансформатора не более 25 м и сопротивлении заземления опор не более 30 Ом. Отказ от грозозащитного троса значительно снижает показатель грозоупорности подстанций. Для повышения надежности грозозащиты ПС 110 кВ должны быть использованы дополнительные ограничители ОПН-110 кВ в линейных ячейках ПС и допустимом расстоянии от трансформатора до ближайших ОПН-110 кВ не более 70 м.

Наиболее оптимальным с точки зрения грозозащиты является вариант установки ОПН на входе в ОРУ и вблизи силовых трансформаторов. В данном случае используется каскадный принцип грозозащиты [5].

Для повышения надежности работы ОПН, установленных в линейной ячейке, должны быть установлены дополнительные ОПН на первой опоре от линейного портала. Это приводит к более равномерному распределению энергии между ограничителями при ударах молнии в 1 и 2 пролеты ВЛ без троса на подходе.

Исследования грозозащиты ПС 220 кВ по схеме «Мостик» от грозовых волн, набегающих с воздушных линий электропередачи, показали:

- показатели надежности грозозащиты ПС 220 кВ удовлетворяют требованиям РД при сопротивле-

ниях R_{3y} опор ВЛ 220 кВ на подходе к ПС не более 15 Ом и расстояниях от ОПН-220 кВ до силовых трансформаторов — 28 м, до трансформаторов напряжения — 76 м;

- максимальные расстояния, с которых приходят опасные воздействия грозовых перенапряжений, не превышают 300 м от входа к ПС.

Таким образом, установка дополнительных ОПН в линейных ячейках ПС 110–220 кВ на расстоянии не более 30 м:

- обеспечивает каскадный принцип ограничения грозовых перенапряжений;
- повышает надежность молниезащиты ПС 110 кВ и 220 кВ;
- обеспечивает требуемые показатели надежности молниезащиты ПС 110–220 кВ при демонтаже троса на подходе ВЛ к ПС 110–220 кВ. **Р**

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Под ред. Н.Н. Тиходеева. СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ. 7-е изд.). М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. 464 с.
3. ГОСТ 16357-83. Разрядники вентильные переменного тока на номинальные напряжения от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200013238>.
4. ГОСТ Р 52725-2007. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200051508>.
5. Гумерова Н.И., Кольчев А.В., Репкина О.Д. Надежность грозозащиты подстанций 110–220 кВ. Зависимость от характеристик ОПН при отказе от грозозащитного троса на подходе ВЛ к ПС // Новости ЭлектроТехники, 2016, № 4(100).
6. Алиев Ф.Г., Демьяненко К.Б., Домрачев Н.П., Гуров Н.П., Халилов Ф.Х. Влияние старения защитных аппаратов на надежность грозозащиты подстанций 35–500 кВ. Санкт-Петербург, 2002. 155 с.
7. СТО 56947007-29.240.01.221-2016. Руководство по защите электрических сетей 110–750 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Стандарт организации. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2016. 46 с.
8. Правила устройств электроустановок. 4-е издание. М.: Энергия, 1966. 464 с.

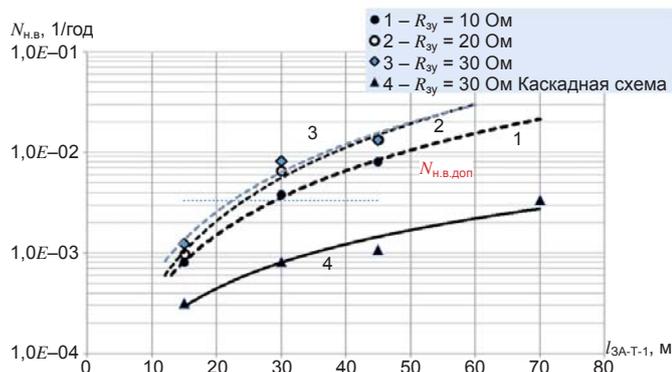


Рис. 4. Зависимости показателя надежности грозозащиты и их аппроксимации от расстояния между Т-1 и ОПН-110 кВ для ПС 110 кВ без троса на подходе по схеме ОРУ «Блок трансформатор-линия»