

# Защита распределительных устройств 35-750 кВ от грозовых перенапряжений

к.т.н. Дмитриев М.В., ЗАО «Завод энергозащитных устройств»

Основной причиной грозовых перенапряжений на изоляции оборудования распределительных устройств (РУ) 35-750 кВ являются воздействия молнии на присоединенные воздушные линии (ВЛ). Защита изоляции оборудования РУ от набегающих по ВЛ грозовых волн основана на ряде мероприятий:

- обустройство защищенных подходов воздушных линий к распределительному устройству, на которых приняты меры по снижению числа грозовых волн с опасными параметрами, возникающих на изоляции ВЛ вследствие ударов молнии;
- установка в выбранные места защитных аппаратов с необходимыми характеристиками (ранее - вентильных разрядников РВ, теперь - нелинейных ограничителей перенапряжений ОПН).

## 1. Обустройство защищенных подходов

При анализе грозовых перенапряжений в РУ 35-750 кВ основными расчетными случаями являются:

- удары молнии в фазные провода (например, точка 1 на рис.1);
- удары молнии в опоры (например, точка 2 на рис.1);
- удары молнии в трос (например, точка 3 на рис.1).

Для сетей 110 кВ и выше с индуктированными перенапряжениями при ударах молнии в землю вблизи от трассы ВЛ можно не считаться.

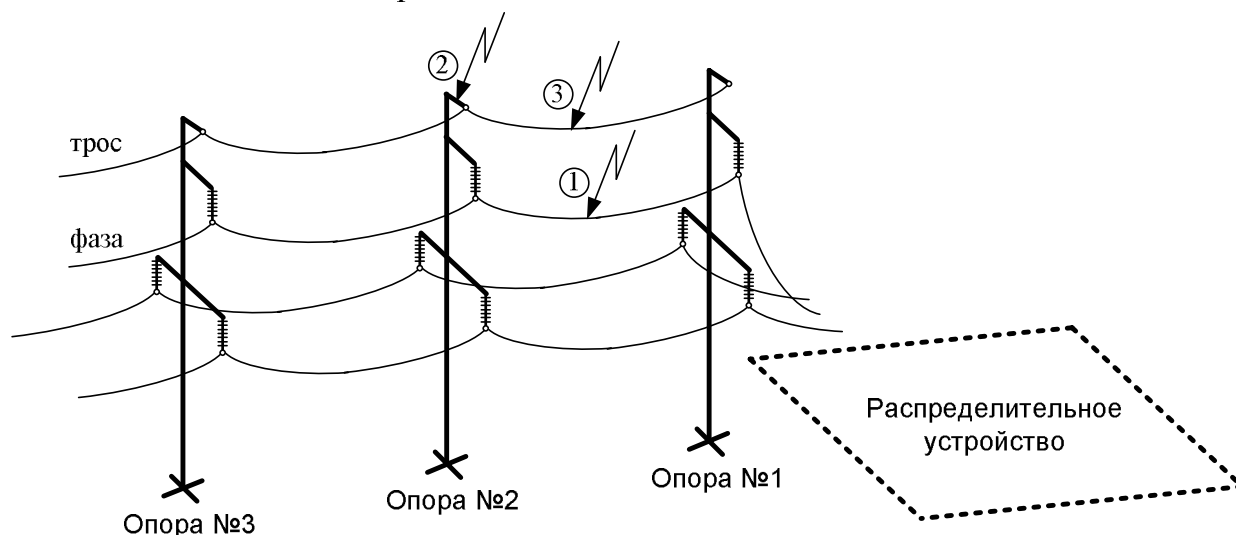


Рис.1. Возможные места ударов молнии в воздушную линию.

Требования к обустройству так называемых защищенных подходов воздушных линий к РУ приведены в ПУЭ и предполагают снижение числа набегающих с ВЛ опасных грозовых волн, вызванных ударами молнии в фазные провода, в опоры и тросы. При этом предполагается, что после реализации комплекса мер число возникающих на защищенном подходе опасных грозовых волн уменьшается, а грозовые волны образующиеся на ВЛ на расстоянии более длины защищенного подхода, уже не представляют особой опасности для оборудования РУ

вследствие заметного увеличения длительности их фронта из-за импульсной короны на проводах ВЛ.

Для обустройства защищенных подходов ПУЭ предписывает:

- установку на подходах присоединенных к РУ воздушных линий одного или нескольких грозозащитных тросов, обеспечивающих снижение вероятности прямого удара молнии в фазные провода ВЛ и соответствующее снижение числа образующихся на фазных проводах грозовых волн;
- выбор оптимального положения тросов на опоре, обеспечивающего минимальную вероятность прорыва молнии на фазные провода (снижение угла  $\alpha$  на рис.2);
- снижение сопротивления заземления ближайших к РУ опор присоединенных ВЛ, в результате чего при ударе молнии в заземленный трос или опору линии уменьшается вероятность обратных перекрытий с тела опоры на фазные провода, т.е. вероятность появления на изоляции РУ грозовых волн с крутым фронтом.

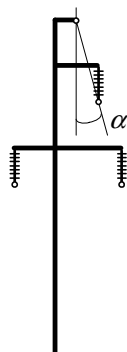


Рис.2. Определение угла  $\alpha$  тросовой защиты на опоре воздушной линии.

## 2. Расстановка защитных аппаратов

Места установки в распределительном устройстве защитных аппаратов типа РВ и ОПН определены в правилах устройства электроустановок ПУЭ, где в качестве типовой рассматривается схема РУ, приведенная на рис.3. На этом рисунке условно показано, каким образом различное оборудование распределительного устройства располагается по ходу набегающей с воздушной линии грозовой волны. В расчетах грозовых перенапряжений трансформаторы и другие высоковольтные аппараты заменяются своими входными емкостями – на рис.3 можно видеть емкости силового трансформатора (Т) и измерительного трансформатора напряжения (ТН).

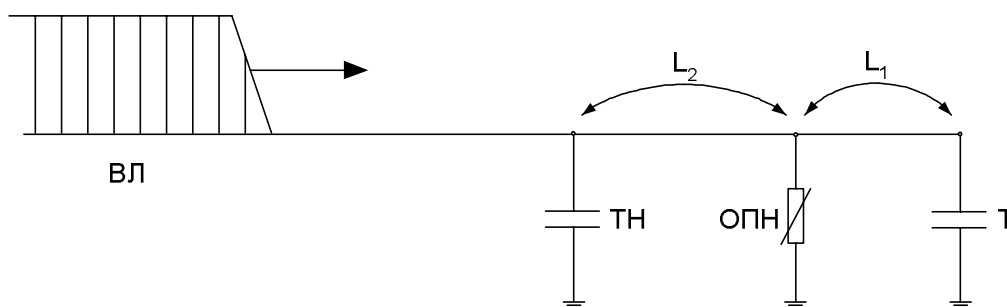


Рис.3. Типовая схема защиты оборудования РУ от грозовых перенапряжений.

Учитывая конечную скорость электромагнитных волн при их распространении по проводам ВЛ и ошиновке РУ, грозовые перенапряжения в схеме рис.3 могут возникать

- на изоляции Т только в том случае, когда грозовая волна прошла за точку установки ОПН; при этом возникающие на Т перенапряжения напрямую определяются защитными характеристиками ОПН;
- на изоляции ТН даже в том случае, когда грозовая волна еще не дошла до ОПН, т.е. ОПН не вступил в работу по ограничению перенапряжений; при этом возникающие на ТН перенапряжения определяются в большей степени амплитудой грозовой волны, набегающей с ВЛ (т.е. сопоставимы с импульсной прочностью изоляции ВЛ, которая значительно выше изоляции оборудования РУ), а в меньшей степени – защитными характеристиками ОПН.

В типовых схемах вида рис.3 ОПН устанавливается в непосредственной близости от силового трансформатора, как наиболее дорогостоящего оборудования, поэтому зачастую имеет место соотношение расстояний  $L_2 > L_1$ . Известно, что чем выше расстояние  $L$  от ОПН до защищаемого оборудования и чем меньше длительность фронта  $\tau_\phi$  набегающих грозовых волн, тем больше напряжение на оборудовании может превосходить напряжение на ОПН. Таким образом, наибольшим перенапряжениям подвергается не только оборудование, которое по ходу набегающей с ВЛ грозовой волны расположено до ОПН, но и наиболее удаленное от ОПН оборудование. В схеме рис.3 в качестве такого оборудования выступает ТН.

В мировой практике распространение нашла схема защиты оборудования РУ от грозовых перенапряжений, в которой на входе РУ устанавливают дополнительные ОПН (рис.4), позволяющие существенно повысить защищенность оборудования от грозовых (и коммутационных) перенапряжений, так как в этом случае:

- все оборудование находится по ходу набегающей с ВЛ волны после защитных аппаратов, т.е. грозовые перенапряжения на оборудовании РУ определяются защитными характеристиками ОПН, обеспечивающими глубокое ограничение перенапряжений;
- снижены расстояния от оборудования до защитных аппаратов.

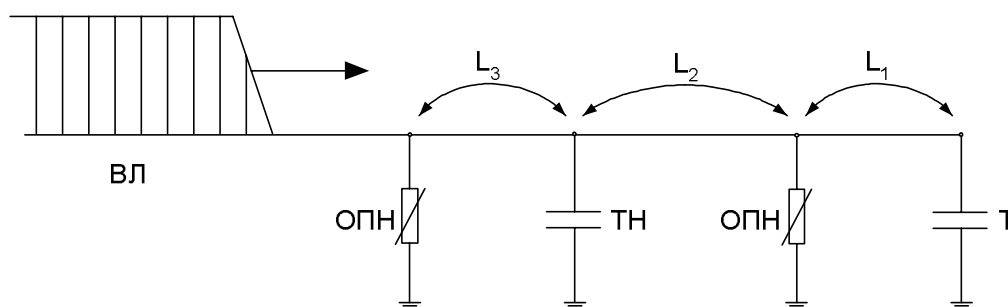


Рис.4. Каскадная схема защиты оборудования РУ от грозовых перенапряжений.

Схема, показанная на рис.4, известна достаточно давно и получила название каскадной, однако, к сожалению, в ПУЭ не рассматривается. Каскадный принцип защиты оборудования реализуется в случае, если ОПН установлены у обмоток

силовых трансформаторов и автотрансформаторов, а также на каждой присоединенной ВЛ (см. рис.5), при этом установка ОПН на сборные шины не требуется. Высокоэффективной каскадной схемой будет при выполнении условия  $L_3 + L_2 > L_1$ .

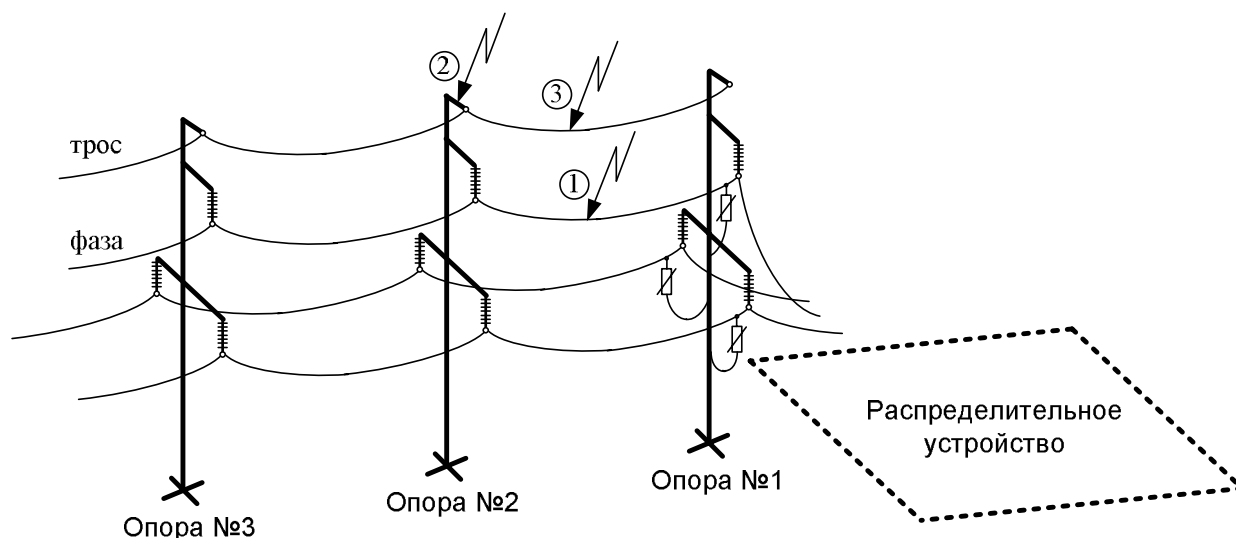


Рис.5. Установка ОПН на приемном портале как один из способов перехода к каскадной схеме защиты оборудования РУ от грозových перенапряжений.

Согласно расчетам грозových перенапряжений в каскадной схеме рис.4, отличающейся от рис.3 наличием на входе РУ дополнительных ОПН, вероятность повреждения изоляции оборудования РУ при грозových перенапряжениях на порядок меньше, чем в типовой схеме рис.3.

### 3. Отказ от грозозащитных тросов

К сожалению, в эксплуатации требования ПУЭ не всегда удается реализовать в полной мере. В частности, подверженные коррозии и состаренные в процессе эксплуатации грозозащитные тросы в ряде случаев, не выдерживая ветровых и гололедных нагрузок, обрываются, создавая на линии короткие замыкания. Из-за недостаточного финансирования некоторые эксплуатирующие организации вынуждены идти на отказ от установки троса на ВЛ и, в том числе, на подходах ВЛ к РУ. Кроме того, не всегда удается привести в соответствие с требованиями ПУЭ сопротивления заземления опор ВЛ, которые зачастую превосходят максимально допустимые по ПУЭ значения, что характерно, например, для районов со скальными и песчаными грунтами.

Во всех перечисленных случаях, когда не выполняются требования ПУЭ по обустройству защищенных подходов ВЛ к РУ, необходим альтернативный способ обеспечения защиты оборудования РУ от грозových перенапряжений. В качестве такого способа можно рекомендовать использование каскадных схем, которые за счет своей эффективности позволяют сохранить защищенность оборудования на приемлемом уровне даже в случае существенного роста числа набегающих на РУ грозových волн.

На рис.6 показан незащищенный тросами подход ВЛ к РУ. На входном портале установлен ОПН, который совместно с ОПН у силового трансформатора образует каскадную схему. Сравнительная эффективность схемы рис.6 (без троса) и

типовой схемы рис.1 (с тросом) существенно зависит от класса номинального напряжения ВЛ и РУ.

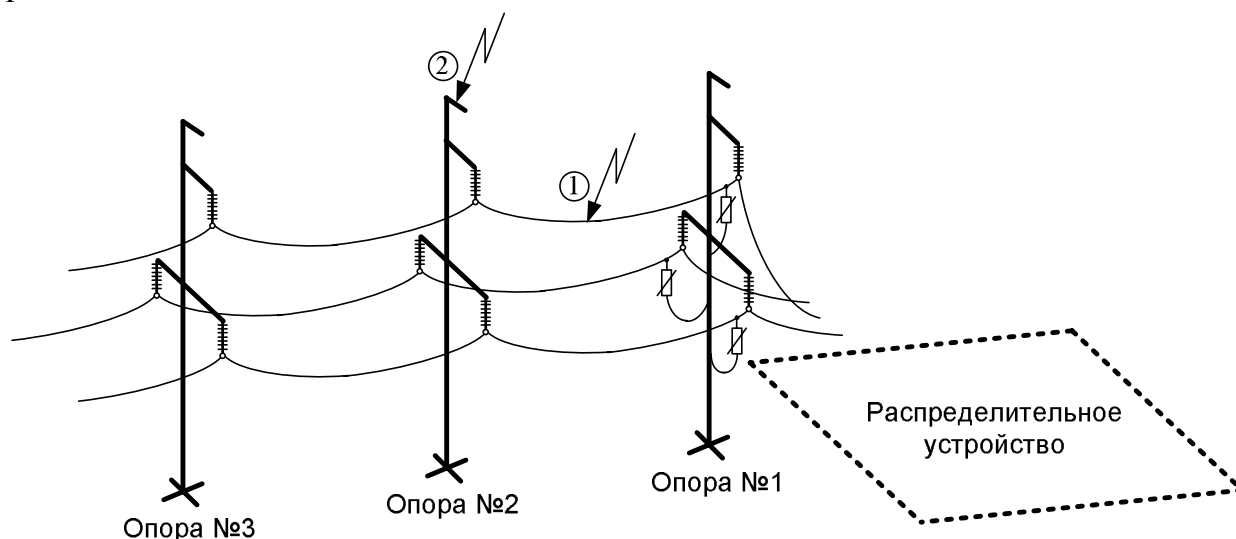


Рис.6. Установка ОПН на приемном портале как способов отказа от троса на подходе ВЛ.

Для классов 220-750 кВ основной причиной образования на ВЛ грозовых волн являются удары молнии в фазные провода. В случае, если на ВЛ установлен один или два троса, вероятность прорыва молнии на фазные провода соответствует одному случаю из 100÷1000. Поэтому для сетей этих классов напряжения отказ от троса приводит к росту числа ударов в фазные провода в 100÷1000 раз, тогда как каскадные схемы повышают защищенность лишь на порядок. Таким образом, увеличение числа грозовых волн и вызванное этим снижение защищенности оборудования РУ 220-750 кВ оказывается значительно больше, чем повышение защищенности оборудования, достигаемое использованием каскадной схемы. Следовательно, для РУ 220-750 кВ каскадная схема не позволит отказаться от троса, а ее применение рекомендуется лишь как дополнительная мера повышения защищенности оборудования.

Для классов 35-110 кВ причинами образования на ВЛ опасных грозовых волн являются, главным образом, обратные перекрытия при ударах молнии в тросы и опоры. Отказ на подходе ВЛ к РУ от тросовой защиты приведет к тому, что основной причиной образования на ВЛ опасных грозовых волн станут удары молнии в фазные провода. При этом общее число грозовых волн, набегающих на РУ с присоединенных ВЛ, возрастет гораздо меньше, чем это было для РУ 220-750 кВ. Поэтому для РУ 35-110 кВ каскадная схема позволит в ряде случаев отказаться от троса без ухудшения защищенности оборудования.

#### 4. Характеристики ОПН, устанавливаемых на входе РУ

Для заданной конструкции (производителя) ОПН выбор наибольшего рабочего напряжения ОПН и его удельной энергии (тока пропускной способности) практически однозначно определяют остальные параметры ОПН. Поэтому выбор ОПН сводится к определению его наибольшего рабочего напряжения  $U_{нрО}$  и удельной энергоемкости  $W_{уд}$  с последующей проверкой соответствия прочих характеристик (остающихся напряжений и др.) выбранного типа ОПН конкретным условиям эксплуатации.

Наибольшее рабочее напряжение ОПН на ВЛ 35-750 кВ выбирается таким же, как и для ОПН в распределительном устройстве. Исключение составляют ВЛ 500-750 кВ длиной более 200-300 км, при установке на которые  $U_{нро}$  определяется в результате расчетов.

Подробнее остановимся на характеристиках ОПН по допустимой энергии и току. Система молниеотводов исключает прямые удары молнии в оборудование распределительных устройств, а значит и в установленные там ОПН. В случае установки ОПН на опорах ВЛ становятся возможными прямые удары молнии в ОПН, т.е. существует реальный риск выхода из строя этих защитных аппаратов. Особенно такой риск велик в случае установки ОПН на ВЛ, не оснащенных грозозащитным тросом, так как в этом случае многие удары молнии в ВЛ приходится не на заземленный грозозащитный трос, а в фазные провода, т.е. фактически непосредственно в ОПН.

Снижение риска повреждения ОПН 35-750 кВ в случае их применения на воздушных линиях 35-750 кВ достигается:

- совместным применением ОПН с грозозащитными тросами;
- выбором ОПН с повышенными энергоемкостью и допустимыми импульсными токами;
- увеличением числа опор ВЛ, на которых установлены ОПН, так как это приводит к снижению выделяющейся энергии в одном аппарате за счет рассеивания энергии разряда молнии не в одном ОПН, а в большом количестве работающих параллельно аппаратов.

Конкретное значение энергоемкости ОПН для ВЛ 35-750 кВ зависит от многих факторов (например, от наличия грозотроса) и должно определяться на основе расчетов. В частности, применение ОПН на ВЛ 35-750 кВ без тросовой защиты (рис.6) не рекомендуется, если энергоемкость ОПН менее  $W_{уд} = 5$  кДж/кВ (по одному импульсу, приведена к  $U_{нро}$ ).

Для обеспечения надежной работы ОПН на ВЛ 35-110 кВ, устанавливаемых при отказе от тросовой защиты на подходах к РУ, рекомендуется схема рис.7, сочетающая в себе схемы рис.5 и рис.6.

Наиболее опасны для ОПН только удары молнии в непосредственной от него близости, т.е. в точку 1 на рис.7, однако наличие троса над ОПН существенно снижает вероятность такого удара. Удары молнии в трос и опоры (точки 2,3,5 на рис.7) не представляют опасности для ОПН, так как являются ударами в заземленные конструкции и, поэтому, не приводят к протеканию в ОПН больших импульсных токов. Удары молнии в фазный провода на первом незащищенном тросом пролете (точка 4) вероятны (этот пролет не защищен тросом), однако не представляют особой опасности для ОПН, так как если молния была «мощной», то скорее всего перекроется изоляция ВЛ на опоре №2, и ОПН, установленный на опоре №1, будет шунтирован.

Расчеты для сетей 35-110 кВ свидетельствуют, что в схеме рис.7, несмотря на отсутствие троса (кроме ближайшего к РУ пролета ВЛ) достаточно применять ОПН, имеющий  $W_{уд} = 2.0 \div 3.0$  кДж/кВ (по одному импульсу, приведена к  $U_{нро}$ ).

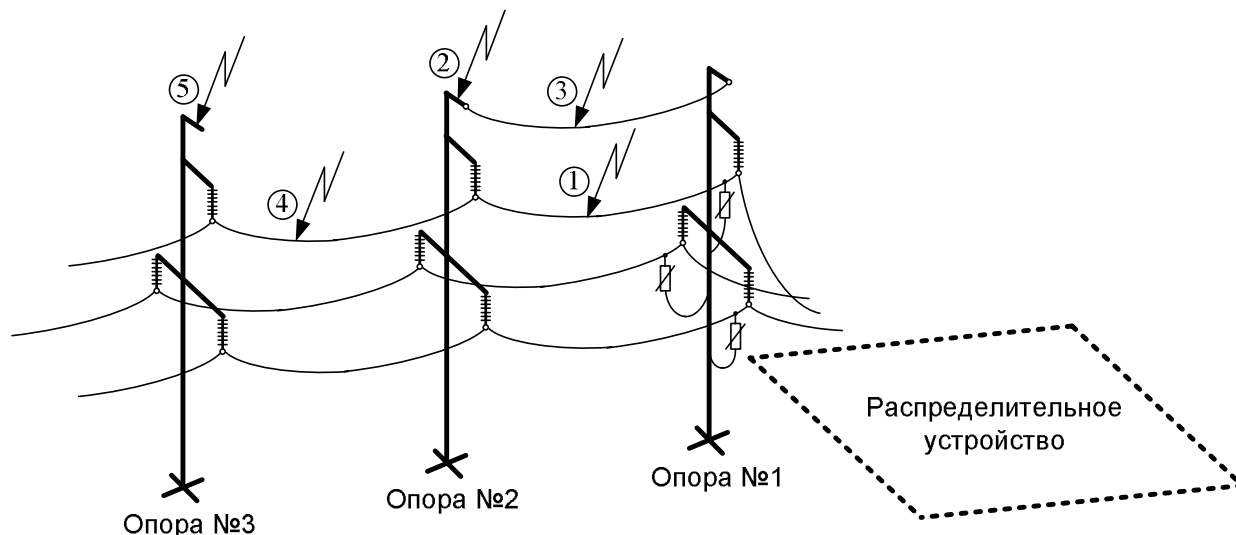


Рис.7. Обустройство защитного подхода ВЛ к РУ, обеспечивающее надежную эксплуатацию ОПН, установленного на ВЛ.

#### 4. Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

- каскадные схемы рекомендуются для всех РУ 35-750 кВ как высокоэффективный способ защиты оборудования от грозových (и коммутационных) перенапряжений;
- для РУ 35-110 кВ каскадные схемы позволяют существенно снизить длину тросового подхода ВЛ к РУ 35-110 кВ или вовсе отказаться от троса без ухудшения защищенности оборудования РУ;
- в каскадных схемах, защищающих РУ 35-110 кВ, важным является вопрос о достаточных токовых и энергетических характеристиках ОПН 35-110 кВ, устанавливаемых на ВЛ на входе РУ; в схеме рис.7 для ОПН на ВЛ будут достаточными такие же характеристики, как и для ОПН в РУ; в схеме рис.6 на ВЛ требуется применение ОПН с повышенными допустимыми токовыми и энергетическими характеристиками.