

Акционерное общество «Курский электроаппаратный завод»

**Методические указания к выбору ограничителей
перенапряжения нелинейных
ГЖИК.674361.021**

Начальник УРСВН

_____ В. Н. Алексеев

«__» _____ 2026 г.

Разработал _____ М. В. Ларин

«__» _____ 20__ г.

Проверил _____ В. Н. Алексеев

«__» _____ 20__ г.

1. Одной из основных характеристик ОПН является номинальное напряжение ограничителя. Номинальное напряжение выбирается в зависимости от номинального напряжения сети, а также учитывается наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение. Стандартными параметрами напряжения выбираются:

- для сети 6 кВ выбирается ОПН с номинальным напряжением 6 кВ и наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением 7,2 кВ.

- для сети 10 кВ выбирается ОПН с номинальным напряжением 10 кВ и наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением 12 кВ.

- для сети 35 кВ выбирается ОПН с номинальным напряжением 35 кВ и наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением 40,5 кВ.

Если длительность однофазного замыкания на землю ограничивается, то наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение рассчитывается по формуле

$$U_{нр} = U_{сети} / Kt,$$

где Kt – коэффициент, равный отношению допустимого изготовителем повышения напряжения в течении t к наибольшему длительно допустимому рабочему (или номинальному) напряжению ограничителя.

Условия выбора ОПН для грозозащиты определяются параметрами сети, приведенными в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 - Наибольшее рабочее напряжение ОПН, применяемых для молниезащиты.

Класс напряжения, кВ	6	10	35
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение $U_{нр}$, кВ	7,2 – 7,6	12 – 12,6	40,5 – 42,5

2. В сети, где имеется необходимость защиты, как от грозовых перенапряжений, так и от коммутационных перенапряжений, вызванных ОЗЗ, а также в сети, где имеются вращающиеся машины, расчетным режимом для выбора $U_{нр}$ ОПН является режим ОЗЗ, при котором напряжение на здоровых фазах в сети повышается до линейного.

Номинальный разрядный ток ОПН выбирается в случае установки ОПН для молниезащиты равным 5 кА. Номинальный разрядный ток в 10 кА принимается в случае:

- наличия интенсивной грозовой деятельности более 50 грозовых часов в год;
- в схемах с вращающимися машинами;
- в районах с высокой степенью промышленных загрязнений (IV и выше степенью загрязнений);
- в схемах с повышенными требованиями к молниезащите;
- в сетях с ВЛ на деревянных опорах.

Защита от перенапряжений требуется при коммутациях вакуумными выключателями присоединений с электродвигателями и трансформаторами.

Не требуется защита от перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями:

- электродвигателей мощностью 1800 кВт и более;
- трансформаторов, защищенных по условиям молниезащиты ОПН;
- трансформаторов, длина подключаемых кабелей которых больше или равна, приведенным в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Длина кабелей подключения трансформаторов, при которых нет необходимости установки ОПН.

Класс напряжения, кВ	Длина кабеля, м, при мощности трансформатора, кВт				
	250	630	1000	1600	2500
6	50	120	150	200	240
10	30	90	115	150	180

3. Ток пропускной способности ОПН (ток большой длительности) - максимальное значение (амплитуда) прямоугольного импульса тока длительностью не менее 2000мкс, которое прикладывается к ограничителю в процессе испытаний на пропускную способность 20 раз. Обозначение – I_{2000} , А.

Ток пропускной способности является расчетным параметром и выбирается по расчетам, предоставленным от заказчика или от проектной организации. Рекомендованные диапазоны тока пропускной способности ОПН для сетей 6, 10 и 35 кВ: 400-600 ампер. При выборе конкретной величины тока пропускной способности следует принимать во внимание расчетный коммутационный ток, который рассчитывает проектная организация или сотрудники заказчика.

Степень загрязнения атмосферы выбирается в зависимости от местоположения установки ОПН. Степень атмосферы определяется качеством воздуха и для разных регионов этот параметр разный.

Климатическое исполнение и категория размещения так же выбирается в зависимости от месторасположения и района установки. ОПН могут устанавливаться в районах с умеренным и холодным климатом (УХЛ), на открытом воздухе (категория 1) и под навесом или в неотапливаемых помещениях (категория 2).

4. Расчет энергоемкости ОПН необходимо проводить в случае установки ОПН в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью для защиты от коммутационных (дуговых) перенапряжений. В этом случае наибольшие энергетические воздействия соответствуют работе ограничителя при дуговых перенапряжениях однофазного замыкания на землю.

Токовые и энергетические воздействия на ограничитель и рассеиваемая им энергия в этом режиме определяют расчетом по любой программе расчета переходных процессов, позволяющей учитывать величину емкостного тока

замыкания на землю, степень его компенсации, наличие и величину реактанса токоограничивающих реакторов.

При расчетах принимают 10 % недокомпенсацию емкостного тока замыкания на землю, которая моделирует возможный аварийный режим.

Суммарная энергия, рассеиваемая ограничителем за одно замыкание, с учетом повторных замыканий может быть определена как:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = n \times \mathcal{E}_1, \text{ где}$$

$\mathcal{E}_1$ - наибольшая энергия, рассеиваемая ограничителем в одном цикле гашение-зажигание (гашение в ноль тока промышленной частоты и повторное зажигание в момент максимума восстанавливающегося напряжения на поврежденной фазе), определяется из рис. 1 и 2 $n = 30 - 0,1 \times I_C$ - число зажиганий с наибольшей энергией за одно замыкание на землю, определяемое по эмпирической формуле, полученной на основе сетевых испытаний.

I_C - емкостной ток замыкания на землю для сети с изолированной нейтралью, либо ток недокомпенсации для сети с компенсацией емкостного тока замыкания на землю, определяется на основе расчета или непосредственных измерений в эксплуатации.

При установке на присоединениях РС-цепочек, I_C должно быть определено с учетом емкостей этих цепочек.

При наличии в сети токоограничивающих реакторов расчет величины $\mathcal{E}_1$ следует проводить с учетом их расстановки в сети, включая схемы источников питания (например, секционные реакторы).

Суммарная расчетная энергия, рассеиваемая ОПН за время ограничения дуговых замыканий, должна быть не более нормируемой для него энергии:

$$\mathcal{E}_{\text{ОПН}} \geq \mathcal{E}_{\Sigma}$$

5. Выбор параметров ОПН для защиты сети собственных нужд, работающей с изолированной нейтралью или нейтралью заземленной через дугогасящий реактор.

Наибольшее длительно допустимое напряжение ограничителя для защиты сети собственных нужд от дуговых перенапряжений выбирается, исходя из следующих положений:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1,1 номинального напряжения электродвигателя, т.е. 6,6 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю не должна превышать 2 часов.

Учет этих условий определяет $U^*_{нро} = 6 \text{ кВ}$.

Требуемый уровень ограничения коммутационных перенапряжений определяют по требованию ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю до уровня испытания и обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН равном 100 А.

Соответственно значение U_{500} ограничителя должно быть не более 14,5 - 14,7 кВ.

Амплитуда импульса тока пропускной способности ограничителя на прямоугольной волне длительностью 2000 мкс зависит от величины емкостного тока замыкания на землю сети собственных нужд и определяется по п. 4.

При расчетах ориентируются на то, что:

- при емкостном токе замыкания на землю не более 10 А и работе сети с изолированной нейтралью (схема питания сети собственных нужд от трансформатора) или при емкостном токе до 100 А и работе сети со 100 % компенсацией емкостного тока замыкания на землю амплитуда импульса тока пропускной способности должна быть не ниже 500 А;
- при емкостном токе замыкания на землю более 400 А и работе сети с компенсацией емкостного тока замыкания на землю (питании собственных нужд от шин газорегуляторной установки 6 кВ, как правило, через токоограничивающий реактор) амплитуда импульса тока пропускной способности должна быть не ниже 1000 А.

Ограничитель устанавливается на шинах собственных нужд в свободной ячейке или ячейке трансформатора напряжения (ТН) до предохранителя.

6. Выбор параметров ОПН для защиты сети собственных нужд, работающей с нейтралью заземленной через резистор.

В сетях 6 кВ собственных нужд электростанций значение сопротивления резистора, включаемого в нейтраль заземляющего трансформатора, выбирают таким образом, чтобы ток через резистор при однофазном замыкании на землю был не менее емкостного тока замыкания на землю (обычно сопротивление резистора равно 100 Ом). В этом случае перенапряжения при дуговых замыканиях на землю ограничены до уровня 2,2 - 2,4 U_{ϕ} , а релейная защита надежно отключает поврежденное присоединение.

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается, исходя из:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1,1 номинального напряжения электродвигателя, т.е. 6,6 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю определяется временем действия релейной защиты, отключающей замыкание (см. п. 2.). Это время не превышает обычно 5 с.

Расчеты показывают, что ограничитель с $U_{\text{ПРО}} = 5,5$ кВ обеспечивает уровень ограничения дуговых замыканий до 2 - 2,2 U_{ϕ} .

С учетом снижения перенапряжений с помощью резистора в нейтрали до уровня 2,3 - 2,4 U_{ϕ} и отключения однофазного замыкания на землю за время не более 1 с пропускная способность ограничителя может быть принята не менее 250 А.

Ограничитель включается в цепь заземляющего трансформатора до выключателя.

В качестве резервного аппарата на шинах собственных нужд устанавливается дополнительный ОПН с параметрами по п. 5, поскольку при отказе в действии релейной защиты и не отключении поврежденного присоединения, отключается присоединение с заземляющим трансформатором, и сеть переходит в режим работы с изолированной нейтралью.

7. Выбор ограничителя для защиты газорегуляторной установки от дуговых перенапряжений.

Защита газорегуляторной установки от дуговых перенапряжений может потребоваться, если имеются случаи отказа электрооборудования при однофазных дуговых замыканиях на землю или кабельная сеть, подключенная к газорегуляторной установке, имеет достаточно высокую повреждаемость и, если потребителями газорегуляторной установки являются источники повышенных перенапряжений, например, плавильные печи.

Поскольку к шинам газорегуляторной установки подключены генераторы, то наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается, исходя из:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1,05 номинального напряжения генератора, т.е. 6,9 и 11,5 кВ соответственно для газорегуляторной установки 6 и 10 кВ;

- длительность однофазного замыкания на землю не должна превышать 2 часов.

При выполнении указанных требований $U_{\text{ПРО}}$ должно быть не ниже 6,3 кВ и 10,5 кВ для сетей 6 и 10 кВ соответственно.

Требуемый уровень ограничения перенапряжений определяется величиной испытательного эксплуатационного напряжения генератора равного $1,7 \times \sqrt{2}U_N$ кВ, и равного 15,1 и 25,2 кВ соответственно для газорегуляторной установки 6 и 10 кВ. Такой уровень ограничения перенапряжений обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН равном 100 А.

Соответственно значение U_{500} ограничителя должно быть не более 16 - 17 и 26 - 28 кВ соответственно для газорегуляторной установки 6 и 10 кВ.

При определении пропускной способности ограничителя необходимо учитывать, что распределительное устройство газорегуляторной установки имеет, как правило, секционные и линейные токоограничивающие реакторы, что увеличивает токовые и энергетические воздействия на ОПН. Расчет производят по методике п. 4.

При расчетах ориентируются на то, что:

- при значениях емкостного тока замыкания на землю в газорегуляторной установке до 400 А, значение тока пропускной способности должно быть не менее 1000 А;

- при значениях емкостного тока замыкания на землю более 400 А выбор параметров ограничителя требует выполнения расчетов с детальным учетом элементов сети.

Ограничитель следует устанавливать на каждой секции газорегуляторной установки в свободной ячейке или в ячейке ТН. При возможности параллельной работы секций газорегуляторной установки устанавливаемые на секциях ограничители должны быть специально подобраны изготовителем по своим характеристикам.