

**ЗАО «ЗЭТО»**



## **РЕКОМЕНДАЦИИ**

по выбору и применению ограничителей перенапряжения  
производства ЗАО «ЗЭТО» для оптимальной защиты  
электрооборудования

**г. Великие Луки  
2006 год**

## 1. Назначение и область применения

Настоящие рекомендации разработаны по выбору и применению ограничителей перенапряжений производства ЗАО «ЗЭТО» в электрических сетях 3-500 кВ и определяют применение и выбор основных параметров и типа ограничителей в воздушных, кабельных и смешанных сетях 3-35 кВ, в сетях собственных нужд (СН) станций с учётом режимов заземления нейтрали, компенсации емкостного тока замыкания на землю, а также в сетях 110-500 кВ с учётом схем и режимов работы, релейной защиты и противоаварийной автоматики, надёжности работы электрооборудования и коммутационной аппаратуры.

Настоящие рекомендации не распространяются на выбор ограничителей для установки в сетях генераторного напряжения блоков генератор-трансформатор на классы напряжения 3-20 кВ, а также на выбор ограничителей, устанавливаемых на линии электропередачи параллельно гирляндам изоляторов для защиты изоляции линии от коммутационных и грозовых перенапряжений (на классы напряжения 110-500кВ).

## 2. Основные положения

Ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН) является одним из основных элементов системы защиты от перенапряжений, обеспечивающим защиту электрооборудования распределительного устройства подстанций и линий от коммутационных и грозовых перенапряжений.

Настоящие рекомендации предназначены для использования персоналом проектных и эксплуатационных организаций РАО «ЕЭС России» АО-энерго и электростанций, а также электросетевых объектов промышленных предприятий при выборе ограничителей перенапряжений по условиям его работы в данной точке электрической сети при плановой замене разрядников, техперевооружения, реконструкции и проектировании новых распределительных устройств.

В настоящих рекомендациях использована следующая терминология:

**2.1 Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя** – наибольшее значение действующего напряжения промышленной частоты, которое не ограничено долго может быть приложено между выводами ограничителя.

Обозначение – **U<sub>нр</sub>**, кВ действ.

**2.2 Временно допустимое повышение напряжения на ограничителе** – наибольшее действующее значение напряжения, которое может быть приложено между выводами ограничителя в течение заданного изготовителем времени не вызывая повреждения или термической неустойчивости.

Обозначение – **U<sub>вн</sub>**, кВ действ.

Нормируемые зависимости  $U_{вн}$  от их допустимой длительности приведены в виде линейных зависимостей «напряжение промышленной частоты – время» в полулогарифмическом масштабе в Приложении 1. Значения  $U_{вн}$  даны в долях к  $U_{нр}$ . Указанная характеристика приведена для двух случаев:

- «с предварительным нагружением энергией» соответствующей - для ограничителей 1 класса по пропускной способности - одному импульсу большого тока волной 4/10 мкс амплитудой 65 кА;
- для ограничителей 2-5 классов по пропускной способности - двум импульсам тока длительностью 2000 мкс с амплитудой равной току пропускной способности;
- «без предварительного нагружения».

**2.3 Номинальное напряжение ограничителя** – действующее значение напряжения промышленной частоты, которое ограничитель может выдержать в течение 10с в процессе рабочих испытаний. Номинальное напряжение должно быть не менее 1,25 наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ограничителя.

Обозначение –  $U_n$ , кВ действ.

**2.4 Коммутационные перенапряжения** – перенапряжения существующие во время переходных процессов при коммутации элементов сети, сопровождающих внезапное изменение её схемы или режима.

Обозначение –  $U_k$ , кВ макс.

**2.5 Квазиустановившиеся (квазистационарные) перенапряжения** – перенапряжения, возникающие после окончания переходного процесса при коммутации элементов сети и существующие до тех пор, пока не будут устранены специальными мерами или самоустранены.

К этим перенапряжениям также относятся резонансные и феррорезонансные перенапряжения на промышленной частоте, низших и высших гармониках, перенапряжения с медленно изменяющейся вследствие затухания или изменения параметров системы частотой или амплитудой.

Обозначение –  $U_y$ , кВ действ.

**2.6 Остающееся напряжение при нормируемом токе коммутационных перенапряжений** – напряжение на ограничителе при нормируемом токе коммутационных перенапряжений с формой волны тока 30/60мкс.

Обозначение –  $U_{ост.ком.}$ , кВ макс.

**2.7 Остающееся напряжение при нормируемом токе грозовых перенапряжений** – напряжение на ограничителе при протекании нормируемого тока грозовых перенапряжений

Обозначение –  $U_{ост.гр.}$ , кВ макс.

Нормируемая форма волны – 8/20мкс.

Нормируемые амплитуды – 2,5; 5; 10; 20 кА в зависимости от класса напряжения ограничителя.

**2.8 Энергоёмкость ограничителя** – значение энергии поглощаемой ограничителем в переходном процессе.

Энергоёмкость ограничителя определяется по одному нормируемому испытательному импульсу тока прямоугольной формы длительностью 2000мкс.

Обозначение –  $W_{кДж}$ .

Удельная энергоёмкость – рассеиваемая ограничителем энергия после нагрева его до 60°C и последующего приложения одного нормируемого импульса тока отнесенная к 1кВ наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ограничителя.

Обозначение –  $W_{уд. кДж/кВ \cdot Унр}$

**2.9 Ток пропускной способности ограничителя** (ток большой длительности) – максимальное значение (амплитуда) прямоугольного импульса тока длительно-стью не менее 2000мкс, которое прикладывается к ограничителю в процессе испытаний на пропускную способность 20 воздействий.

Обозначение –  $I_{2000 А}$ .

Значение удельной энергии ограничителя ( $W_{уд.}$ ) и прямоугольного импульса тока большой длительности ( $I_{2000 А}$ ) приведены в Приложении 2.

**2.10 Ток срабатывания противовзрывного устройства ограничителя** – это значение тока однофазного или трёхфазного (большого из них) короткого замыкания ( $I_{кз.,кА}$ ), при котором не происходит взрывного разрушения покрышки ограничителя или при её повреждении разлет осколков ограничителя находится внутри нормируемой зоны.

### **3. Основные положения по выбору параметров ОПН.**

3.1 К основным параметрам ограничителя относятся:

- наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение,
- номинальное напряжение, номинальный разрядный ток, класс пропускной способности,
- уровни остающихся напряжений при коммутационных и грозовых импульсах,
- величина тока срабатывания противовзрывного устройства,
- длина пути утечки внешней изоляции.

3.2 Основные параметры ограничителя выбирают исходя из назначения, требуемого уровня ограничения перенапряжений, места установки, а также схемы сети и её параметров (наибольшего рабочего напряжения сети, способа заземления нейтрали, величины ёмкостного тока замыкания на землю и степени его компенсации,

длительности существования однофазного или трёхфазного замыкания на землю и т.д.).

3.3 По назначению ограничители применяют для защиты оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений.

3.4 Места установки и расстояния от ограничителей до защищаемого оборудования должны соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок», раздел 4 седьмое издание.

## **4. Методика выбора основных параметров**

### **4.1 Выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН.**

В сетях 3-35 кВ работающих с изолированной нейтралью или компенсацией емкостного тока замыкания на землю и допускающих неограниченно длительное существование однофазного замыкания на землю, наибольшее рабочее длительно допустимое напряжение ограничителя выбирается равным наибольшему рабочему напряжению электрооборудования для данного класса напряжения по ГОСТ 1516.3-96.

В сетях 110-500 кВ работающих с эффективно заземленной нейтралью (коэффициент замыкания на землю не выше 1,4) наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя должно быть не ниже:

$$U_{нс\ ОПН} > \frac{U_{нс}}{\sqrt{3}};$$

где:  $U_{нс}$  – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение в электрической сети.

Во всех случаях для повышения надежности выбирают ограничители с наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением  $U_{нр\ ОПН}$  не менее, чем на 2-5% выше наибольшего уровня напряжения сети в точке установки ОПН.

Нормированные значения по  $U_{нр\ ОПН}$  действительны для температуры окружающей среды до плюс 45°C с учетом дополнительного нагрева от солнечной радиации. Если имеются другие источники повышенных температур около ограничителя, длительно воздействующих на ОПН, то увеличивают значение  $U_{нр\ ОПН}$ . В этом случае для каждых 5 градусов повышения температуры окружающей среды  $U_{нр\ ОПН}$  увеличивают на 2%.

Значение наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ограничителя выбирают из номенклатуры предприятия изготовителя, которое должно быть не ниже расчетных значений произведенных в соответствии с данным пунктом.

## 4.2 Выбор номинального разрядного тока.

Величина номинального разрядного тока служит для классификации ОПН.

ЗАО «ЗЭТО» производит ограничители с номинальными разрядными токами:

2500 А – низковольтные ОПН на классы напряжения 0,38 и 0,66 кВ.

5000 А – ограничители для защиты распределительных сетей 3, 6 и 10 кВ от грозových перенапряжений.

10000 А – ограничители для защиты электрооборудования от коммутационных и грозových перенапряжений на классы напряжения от 3 до 330 кВ.

20000 А – ограничители для защиты электрооборудования от коммутационных и грозových перенапряжений на классы напряжения от 220 до 500 кВ.

Выбор номинального разрядного тока производят в случае установки ОПН для защиты от грозových перенапряжений.

Номинальный разрядный ток принимают равным 10 кА в следующих случаях:

- в районах с интенсивной грозовой деятельностью более 50 грозových часов в год;

- в сетях с ВЛ на деревянных опорах;

- в схемах грозозащиты двигателей и генераторов, присоединенных к ВЛ;

- в районах с высокой степенью промышленного загрязнения;

- в схемах грозозащиты, к которым предъявляются повышенные требования к надежности.

Номинальному разрядному току 10 кА соответствует 1, 2 и 3 классы по пропускной способности, номинальному разрядному току 20 кА – 4 и 5 классы по пропускной способности.

## 4.3 Выбор класса энергоемкости ОПН (класса разряда линии).

Практическим критерием оценки энергоемкости ОПН является его способность пропускать нормируемые импульсы тока коммутационного перенапряжения без потери рабочих качеств.

По энергоемкости выпускаемые ограничители ЗАО «ЗЭТО» делятся на 5 классов.

Классы энергоемкости ОПН.

Таблица 1

Удельная энергоемкость кДж/кВ·Унр опн	1,5	2,75	4,8	6,35	7,67
Амплитуда прямоугольного импуль- са тока длительностью 2000 мкс., А	300	550	850	1200	1500
Класс пропускной способности (класс разряда линии)	1	2	3	4	5
Удельная энергоёмкость определена при подаче одного прямоугольного импуль- са тока с амплитудой указанной в данной таблице.					

При возможном возникновении переходного резонанса (при отсутствии выключателей на стороне ВН, коммутациях блока линия-трансформатор) на 2-й или 3-й гармонике при установке в сетях 110 кВ с частично разземлёнными нейтралями трансформаторов ограничитель должен иметь энергоёмкость не ниже  $(5,0-5,6) \text{ кДж/кВ} \cdot U_{\text{нр опн}}$ .

При установке ограничителя на шунтовых конденсаторных батареях или кабельных присоединениях энергия, поглощаемая ОПН, может быть рассчитана по формуле:

$$W = \frac{1}{C} \left[ (3 \times U_{\text{нр}})^2 - (\sqrt{2} \times 1,25 \times U_{\text{нр ОПН}})^2 \right];$$

где:  $C$  – ёмкость батареи или кабеля, Ф

$U_{\text{нр}}$  – амплитуда наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения «фаза – земля», кВ

$U_{\text{нр опн}}$  – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя, кВ

Расчёт энергоёмкости ограничителей следует проводить в случаях установки их в электрических сетях 3-35 кВ 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 расчётом по любой программе расчёта переходных процессов, позволяющей учитывать величину ёмкостного тока замыкания на землю, степень его компенсации, наличие и величину реактанса токоограничивающих реакторов.

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

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

$$W_{\Sigma} = n \times W_1;$$

где  $W_1$  – наибольшая энергия рассеиваемая ограничителем в одном цикле гашение - зажигание (гашение в ноль тока промышленной частоты и повторное зажигание в момент максимума восстанавливающегося напряжения на повреждённой фазе).

$$n = 30 - 0,1 \times I_c;$$

где:  $n$  – число зажиганий с наибольшей энергией за одно замыкание на землю, определяемое по эмпирической формуле, полученной на основе сетевых испытаний.

$I_c$  – ёмкостный ток замыкания на землю для сети с изолированной нейтралью, либо ток недокомпенсации для сети с компенсацией емкостного тока на землю, определяется на основе расчёта или непосредственных измерений в эксплуатации.

При установке на присоединениях РС – цепочек,  $I_c$  должно быть определено с учётом ёмкостей этих цепочек.

При наличии в сети токоограничивающих реакторов расчёт величины  $W_1$  следует проводить с учётом их расстановки в сети, включая схемы источников питания (например секционные реакторы).

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

$$W_{опн} \geq W_{\Sigma};$$

#### 4.4 Определение защитного уровня ОПН

Определяющим при выборе защитного уровня ОПН является его назначение (для защиты от грозовых или коммутационных перенапряжений) и уровень выдерживаемых перенапряжений изоляцией электрооборудования.

**4.4.1 Уровень выдерживаемых напряжений электрооборудованием 3-35кВ при коммутационных перенапряжениях** определяется уровнем испытательных напряжений, которое нормируется ГОСТ 1516.3 – 96.

Переход от испытательных напряжений к выдерживаемому изоляцией электрооборудования уровню коммутационных перенапряжений определяется исходя из одноминутного испытательного напряжения ( $U_1$  мин.), которое нормируется ГОСТ 1516.3-96.

$$U_{выд} = K_I \times K_K \times \sqrt{2} \times U_{1мин};$$

где:  $K_I=1,35$  – коэффициент импульса, учитывающий упрочнение изоляции при более коротком импульсе по сравнению с испытательным.

$K_K=0,9$  – коэффициент кумулятивности, учитывающий многократность воздействий перенапряжений и возможное старение изоляции.

Для аппаратов  $K_I=1,1$  и  $K_K=1,0$ .

Выдерживаемый уровень грозовых перенапряжений для электрооборудования определяется по формуле:

$$U_{выд. гр.} = 1,1 \times (U_{пги} - U_H)$$

Допустимые (выдерживаемые) кратности коммутационных и грозовых перенапряжений электрооборудования 3-35 кВ приведены в таблице 2.



Таблица 2

Уном., кВд.			3	6	10	15	20	35
Ураб.наиб., кВд.			3,5	6,9	11,5	17,5	24,0	40,5
Ураб.наиб.ф., кВд.			2,0	4,0	6,65	10,1	13,9	23,4
Изоляция трансформаторов	нормальная	Уисп.1, кВд	18	25	35	45	55	85
		Кдоп.к	10,9	7,6	6,4	5,4	4,8	4,4
		Уисп.пги, кВм	40	60	80	108	130	200
		Кдоп.г.	14,4	10,5	8,2	7,2	6,2	5,5
	облегчённая	Уисп.1,кВд	10	16	24	37	50	-
		Кдоп.к	6,1	6,1	5,1	4,6	4,4	-
		Уисп.пги, кВм	20	40	60	75	95	-
		Кдоп.г.	6,6	6,6	5,9	4,6	4,2	-
Изоляция аппаратов	нормальная	Уисп.1,кВд	24	32	42	55	65	95
		Кдоп.к	8,8	8,8	7,0	6,0	5,1	4,5
		Уисп.пги, кВм	40	60	75	95	125	190
		Кдоп.г.	14,4	10,5	7,6	6,2	5,9	5,2
	облегчённая	Уисп.1,кВд	10	20	28	38	50	-
		Кдоп.к	5,5	5,5	4,6	4,1	4,0	-
		Уисп.пги.,кВм	20	40	60	75	95	-
		Кдоп.г.	6,6	6,6	5,9	4,6	4,2	-

$$K_{\text{доп.к}} = \frac{K_{\text{и}} \times K_{\text{к}} \times U_{\text{исп.}}}{U_{\text{раб.наиб.ф.}}};$$

где: Кдоп.к – допустимая кратность (выдерживаемый уровень) коммутационных перенапряжений.

Допустимые (выдерживаемые) кратности коммутационных и грозовых перенапряжений электрических машин приведены в таблице 3.

Для электрических машин коэффициент импульса и кумулятивности принимаются равными единице.

Таблица 3

	Мощность электрической машины,кВт									
	до 1000					свыше 1000				
Уном., кВд	3,15	6,0	6,3	10,0	10,5	3,15	6,0	6,3	10,0	10,5
Ураб.наиб., кВд.	3,5	6,6	6,9	11,0	11,5	3,5	6,6	6,9	11,0	11,5
Ураб.наиб.ф. кВд.	2,0	3,8	4,0	6,35	6,65	2,0	3,8	4,0	6,35	6,65
Уисп., кВд	7,3	13	13,6	21	22	7,9	15	15,75	23	24
Удоп.,кВм	10,3	18,4	19,2	29,7	31,0	11,1	21,2	22,2	32,5	33,8
Кдоп.	3,65	3,4	3,4	3,3	3,3	4,0	4,0	4,0	3,6	3,6

Испытательное напряжение для электрических машин определяется по соотношению:

мощностью до 1000 кВт	$2 \cdot U_{ном.} + 1$
мощностью свыше 1000 кВт	$2,5 \cdot U_{ном.}$ где ( $U_{ном.} - 3,15; 6,0; 6,3$ кВд)
мощностью свыше 1000 кВт	$2 \cdot U_{ном.} + 3$ где ( $U_{ном.} - 10,0; 10,5$ кВд).

Допустимая кратность (выдерживаемый уровень) коммутационных и грозовых перенапряжений определяется по соотношению:

$$K_{доп.} = \frac{U_{исп.}}{U_{раб.наиб.ф.}};$$

#### 4.4.2 Уровень выдерживаемых напряжений электрооборудованием 110-500 кВ при коммутационных перенапряжениях.

Для электрооборудования 330 кВ и выше испытательное напряжение на коммутационной волне нормируется ГОСТ 1516.3-96.

Исходя из рассчитанной величины выдерживаемого уровня коммутационных перенапряжений определяется значение остающегося напряжения на ограничителе при расчётном коммутационном токе.

$$U_{ост.к.опн} \leq \frac{U_K}{1,15 \div 1,2};$$

Для электрооборудования 110-220кВ нормируется ГОСТ 1516.3-96 одноименное испытательное напряжение частоты 50 Гц ( $U_1$  мин.).

Выдерживаемый уровень коммутационных перенапряжений для электрооборудования 110-220 кВ можно определить по формуле:

$$U_K = K_I \times K_K \times \sqrt{2} \times U_{1мин};$$

$$U_K = 1,35 \times 0,9 \times 1,41 \times U_{1мин} = 1,71 \times U_{1мин};$$

Количество ограничителей для защиты от коммутационных перенапряжений определяют по соотношению испытательного напряжения электрооборудования на коммутационном импульсе и остающегося напряжения ограничителя при коммутационных перенапряжениях. Если одного ограничителя недостаточно, то учитывают все ограничители рассматриваемого ОРУ данного класса напряжения, на которые воздействуют данное перенапряжение с пропорциональным снижением тока через один ограничитель.

Если рассматриваемый ОПН не удовлетворяет условиям обеспечения требуемого защитного уровня при коммутационном перенапряжении, то выбирают другой ОПН с тем же значением наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения, но большего класса энергоёмкости (т.к. с увеличением класса энергоёмкости для одинаковых  $U_{нр}$  опн, уровень остающихся напряжений снижается).

При замене вентильных разрядников на ОПН, расстояние от ОПН до защищаемого оборудования в соответствии с ПУЭ, раздел 4 (седьмое издание) определяется по формуле:

$$L_{\text{ОПН}} = \frac{L_{\text{РВ}} \times (U_{\text{ИСП}} - U_{\text{ОПН}})}{(U_{\text{ИСП}} - U_{\text{РВ}})};$$

где:  $U_{\text{ИСП}}$  – испытательное напряжение защищаемого оборудования при полном грозовом импульсе, в кВ;

$U_{\text{ОПН}}$ ,  $U_{\text{РВ}}$  – остающееся напряжение на ограничителе и вентильном разряднике при токе 10 (5)кА, в кВ;

$L_{\text{ОПН}}$  – расстояние от защищаемого оборудования до ОПН, в м;

$L_{\text{РВ}}$  – расстояние от защищаемого оборудования до вентильного разрядника, нормируемое ПУЭ, в м.

Допускается установка ограничителей на место заменяемых разрядников, если значения остающихся напряжений этих ограничителей при токе 10кА отличается не более, чем на 15% от соответствующих параметров разрядников.

#### 4.4.3 Выбор ОПН для защиты от грозовых перенапряжений.

Для защиты от грозовых перенапряжений ограничители на классы напряжения от 3 до 35 кВ должны быть установлены там, где в соответствии с рекомендациями ПУЭ должны быть установлены вентильные разрядники.

Ограничители должны быть отстроены от работы при перенапряжениях, вызванных однофазными замыканиями на землю. Это требование выполняется при условии, если величина остающегося напряжения на ограничителе при импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой 500 А не менее значений приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Класс напряжения сети, кВд	3	6	10	15	20	35
Напряжение на ОПН при импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой 500 А не менее, кВ	9,0	18,0	29,0	43,0	59,0	99,0

В этом случае пропускная способность ограничителя при прямоугольном импульсе тока ( $I_{2000 \text{ мкс}}$ ) должна быть не менее 250 А.

Для электрических сетей на классы напряжения 3, 6, 10 кВ рекомендуется применение ОПН-1(2)-3/3,8 III УХЛ; ОПН-1(2)-6/7,6 III УХЛ; ОПН-1(2)-10/12,7 III УХЛ с пропускной способностью 300 А, 2000 мкс.

Если параметры ограничителя по условиям выбора защитного уровня при грозовых перенапряжениях не удовлетворяют требованиям указанным выше, то энергоемкость и наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН выбирают с учетом работы при однофазном дуговом замыкании на землю (см. п. 4.1., п.4.3.).

#### **4.4.4 Выбор ОПН для защиты от коммутационных перенапряжений.**

##### **4.4.4.1 Выбор параметров ограничителей для защиты сети собственных нужд электростанций от перенапряжений при дуговых замыканиях на землю.**

В сетях СН электростанций ограничители устанавливают для защиты сети и электродвигателей от коммутационных перенапряжений, возникающих при дуговых замыканиях на землю. Так как наименьший выдерживаемый уровень изоляции имеет электродвигатель, то ограничитель выбирают в первую очередь из условия ограничения перенапряжений до величины, допустимой для электродвигателя.

Сеть СН электростанции может работать с изолированной нейтралью, с нейтралью заземленной через дугогасительный реактор (ДГР) или нейтралью заземленной через резистор.

#### **А. Выбор параметров ОПН для защиты сети СН, работающей с изолированной нейтралью или нейтралью заземленной через ДГР.**

**А.1** Наибольшее длительно допустимое напряжение ограничителя для защиты сети СН 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  $U_{НР\ ОПН} = 6,0\text{ кВ}$

**А.2** Требуемый уровень ограничения коммутационных перенапряжений определяют по требованию ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю до уровня испытательного, который обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН равным 100 А. Соответственно значение  $U_{500}$  ограничителя должно быть не более 14,5-14,8 кВ.

**А.3** Амплитуда импульса тока пропускной способности ограничителя на прямоугольной волне 2000 мкс зависит от величины емкостного тока замыкания на землю сети СН и определяется по п.4.3 данных рекомендаций.

При этом учитывают что:

- при емкостном токе замыкания на землю не более 10 А и работе сети с изолированной нейтралью (схема питания сети СН 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.

В данном случае рекомендуется применение ограничителя типа ОПН-П1-6/6,0/10/2 УХЛ2 с пропускной способностью 550 А, 2000 мкс;

- при емкостном токе замыкания на землю более 400 А и работе сети с компенсацией емкостного тока замыкания на землю (питание СН от шин ГРУ 6 кВ, как правило, через токоограничивающий реактор) амплитуда импульса тока пропускной способности должна быть не ниже 1000 А.

**А.4** Ограничители устанавливаются на шинах СН в свободной ячейке или ячейке трансформатора напряжения (ТН) до предохранителя.

**Б. Выбор параметров ОПН для защиты сети СН, работающей с нейтралью заземленной через резистор.**

**Б.1** В сетях 6 кВ СН электростанций значение сопротивление 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  $(2,2-2,4) \cdot U_{\phi}$ , а релейная защита надежно отключает поврежденное присоединение.

**Б.2** 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. Это время не превышает обычно 5с.

**Б.3** Расчет показывает, что ограничитель с  $U_{\text{нд}}=5,5$  кВ обеспечивает уровень ограничения дуговых замыканий до  $(2-2,2)U_{\phi}$ .

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

**Б.5** Ограничитель включается в цепь заземляющего трансформатора до выключателя.

**Б.6** В качестве резервного аппарата на шинах СН устанавливается дополнительный ОПН-П1-6/6,0/10/2 УХЛ2, поскольку при отказе в действии релейной защиты и не отключение поврежденного присоединения, отключается присоединение с заземляющим трансформатором и сеть переходит в режим работы с изолированной нейтралью.

**В. Выбор параметров ограничителей для защиты от перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями.**

Установка ОПН на присоединениях с вакуумными выключателями ограничивает перенапряжения, связанные с обрывом тока и эскалацией напряжений, сокращает число повторных зажигания, а следовательно число опасных перенапряжений и полностью исключает перенапряжения при виртуальном срезе тока.

**В.1** Защита от перенапряжений требуется при коммутациях вакуумными выключателями присоединений с электродвигателями и трансформаторами.

**В.2** Не требуется защита от перенапряжений инициируемых вакуумными выключателями:

- электродвигателей мощностью 1800 кВт и более;
- трансформаторов, защищенных по условию грозозащиты вентильными разрядниками или ОПН;
- трансформаторов СН в кабельных сетях, длина подключаемых кабелей которых больше или равна приведенной в таблице 5.

Таблица 5

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

**В.3** Для защиты электродвигателя от перенапряжений, инициируемых вакуумным выключателем, ограничитель устанавливается в сети 6 кВ собственных нужд электростанций. Поэтому выбор основных параметров ОПН производят в соответствии с п.4.4.4.1. настоящих рекомендаций.

**В.4** При установке ограничителей в нескольких ячейках РУ СН характеристики ограничителей должны быть специально подобраны изготовителем для их параллельной работы по спецзаказу.

В этом случае ограничители будут подвержены меньшим токовым и энергетическим воздействиям при однофазных дуговых замыканиях на землю, что повысит надежность работы сети и ОПН.

**В.5** Наибольшая эффективность ограничения перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями, достигается при установке ОПН параллельно выключателю или непосредственно у защищаемого объекта.

Параметры ОПН, устанавливаемого параллельно выключателю, при длине отходящего кабеля 100-250 м выбирают как для сети СН 6 кВ, работающей с изолированной нейтралью (п.4.4.4.1. настоящих рекомендаций).

#### **Г. Выбор ОПН по условиям взрывобезопасности.**

**Г.1** Для ограничителя нормируется величина тока срабатывания противовзрывного устройства, при которой не происходит взрывного разрушения корпуса (покрышки) ОПН при его внутреннем повреждении.

Ограничители производства ЗАО «ЗЭТО» испытаны на взрывобезопасность при следующих токах срабатывания устройств взрывобезопасности:

- Ограничители 1 класса по пропускной способности от 3 до 10 кВ при большом токе КЗ-10кА действ; 0,2с и малом токе КЗ-800 А действ; 2с.

- Ограничители 2 класса по пропускной способности от 3 до 20 кВ при большом токе КЗ-20 кА действ; 0,2с и малом токе КЗ-800 А действ; 2 с.

- Ограничители 2 и 3 классов по пропускной способности от 35 до 330 кВ при большом токе КЗ-40 кА действ; 0,2с и малом токе КЗ-800А действ; 2 с.

- Ограничители 4 и 5 классов по пропускной способности от 110 кВ до 500 кВ при большом токе КЗ-40кА действ.; 0,2с и малом токе КЗ-800А действ; 2 с.

При выборе ограничителей с токами срабатывания противовзрывного устройства до 40 кА действ. в электрических сетях 110-750 кВ его значение должно быть на 15-20% больше значения тока (однофазного или трехфазного) к.з. в месте установки ограничителя.

Ток срабатывания взрывопредохранительного устройства ограничителя в электрических сетях 3-35 кВ выбирают не менее, чем на 10% больше значения двухфазного или трехфазного (большого из них) тока к.з. в месте установки ограничителя.

#### **Д. Выбор длины пути утечки ОПН.**

По зоне загрязнения атмосферы в месте установки ограничителя выбирается нормируемая длина пути утечки для данного типа и конструкции ограничителя в соответствии с ГОСТ 9920-89.

Ограничители производства ЗАО «ЗЭТО» наружной установки выпускаются с длиной пути утечки внешней изоляции не ниже II\* СЗ (подстанционная изоляция), а также соответствующие III и IV СЗ по ГОСТ 9920-89.

Ограничители внутренней установки на классы напряжения от 3 до 10 кВ выпускаются с длиной пути утечки внешней изоляции не менее 1,8 см на 1кВ наибольшего линейного напряжения.

#### **Е. Выбор ОПН по механическим характеристикам.**

**Е.1** Ограничители серийно выпускаются для климатического исполнения УХЛ и категории размещения 1 в соответствии с ГОСТ 15150-69.

Ограничители опорного исполнения категории размещения 1 выдерживают суммарные механические нагрузки от напора ветра со скоростью 40 м/с без гололеда или со скоростью 15 м/с при толщине стенки льда 20 мм и от тяжения проводов в горизонтальном направлении не менее:

до 35 кВ – 330 Н

110 – 220 кВ – 725 Н  
330 – 500 кВ – 2500 Н.

Ограничители подвешенного исполнения категории размещения 1 выдерживают суммарные механические нагрузки на растяжение от собственного веса, веса льда толщиной стенки до 20 мм, воздействующего на ограничитель, а также веса подводящих проводов не менее:

на 110 кВ – 1100 Н  
на 330 – 500 кВ – 4500 Н.

**Е.2** Ограничители на классы напряжения 3-35 кВ выдерживают механические нагрузки от вибрации по группе механического исполнения М6 ГОСТ 17516.1-90, степень жесткости 10 что соответствует интенсивности землетрясения 9 баллов по MSK-64 при уровне установки над нулевой отметкой до 25 м).

**Е.3** Ограничители на классы напряжения 110-500 кВ выдерживают механические нагрузки от вибрации по группе механического исполнения М1 ГОСТ 17516.1-90, степень жесткости 1 (что соответствует интенсивности землетрясения 9 баллов по MSK-64 при уровне установки над нулевой отметкой до 10 м).

## **5. Применение и место установки ОПН**

### **5.1 Применение и место установки ОПН на классы напряжения от 3 до 35 кВ.**

5.1.1 В кабельных сетях 6-10 кВ ограничители могут быть установлены только при отсутствии возможности возникновения резонансных перенапряжений.

Резонансные условия могут выполняться в сети, работающей с изолированной нейтралью, при определенных соотношениях емкости шин (емкостного тока замыкания на землю) и числа трансформаторов напряжения. Резонанс не возникает, если емкостный ток замыкания на землю, приходящийся на один трансформатор напряжения, превышает 1А, либо если в сети установлены трансформаторы напряжения типа НАМИ.

5.1.2. При защите трансформатора от грозовых перенапряжений ОПН должен устанавливаться на защищаемом трансформаторе до коммутационного аппарата.

5.1.3. В РУ 3-10кВ при выполнении связи трансформаторов с шинами при помощи кабелей расстояние от ОПН до трансформатора и аппаратов не ограничивается.

При применении воздушной связи с шинами РУ расстояние от ОПН до трансформатора и аппаратов не должно превышать 60 м при ВЛ на деревянных и 90 м на металлических и железобетонных опорах.

В РУ 35 кВ расстояние по ошиновке, включая ответвления от ограничителя до защищаемого объекта выбирается в соответствии с рекомендациями ПУЭ.



При установке ограничителей в РУ должны сохраняться расстояния до заземленных и находящихся под напряжением элементов РУ в соответствии с рекомендациями ПУЭ.

## **5.2. Применение и место установки ОПН на классы напряжения 110-500 кВ.**

Защита электрооборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений должна соответствовать рекомендациям ПУЭ.

5.2.1. Места установки ОПН определяются функциональным назначением соответствующего ограничителя:

- в цепи трансформатора, автотрансформатора или шунтирующего реактора – для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений при их включении или отключении;
- на конце линии – для защиты от коммутационных перенапряжений при ее включении или отключении и ограничения набегающих на РУ волн грозовых перенапряжений.

Дополнительный ограничитель устанавливают на линии для ее защиты от коммутационных перенапряжений, если шунтирующий реактор или трансформаторы (автотрансформаторы) присоединены к линии через выключатели.

При установке ОПН на шунтирующем реакторе или автотрансформаторе (трансформаторе), подключенном к линии без выключателей, через искровое присоединение или выключатель-отключатель, дополнительный ограничитель, присоединяемый непосредственно к линии, не устанавливают.

5.2.2. Ограничители должны быть установлены без коммутационных аппаратов в цепи присоединения к линии, шинам РУ или ошиновке автотрансформаторов (трансформаторов) или шунтирующих реакторов. Спуск от ошиновки к ограничителю выполняется теми же проводами, что и для остальной аппаратуры РУ. Заземление ограничителя осуществляется присоединением к заземляющему устройству РУ.

5.2.3. Ограничители производства ЗАО «ЗЭТО» не требуют профилактических испытаний в процессе эксплуатации.

По требованию Заказчика ограничители могут комплектоваться датчиками тока для измерения тока проводимости ОПН под рабочим напряжением, пультом измерения для измерения тока проводимости и регистраторами срабатывания.

Примечание:

1. Каждый ОПН в соответствие с заказом комплектуется датчиком тока, который является составной частью измерительного устройства для контроля тока проводимости типа УКТ-02.

2. Один пульт измерения тока проводимости может использоваться на несколько ОПН с датчиками тока.

3. Каждый ОПН в соответствии с заказом комплектуется регистраторами срабатывания РС-1УХЛ1, РС-2УХЛ1 или РС-3УХЛ1 в зависимости от требуемой пропускной способности ОПН.

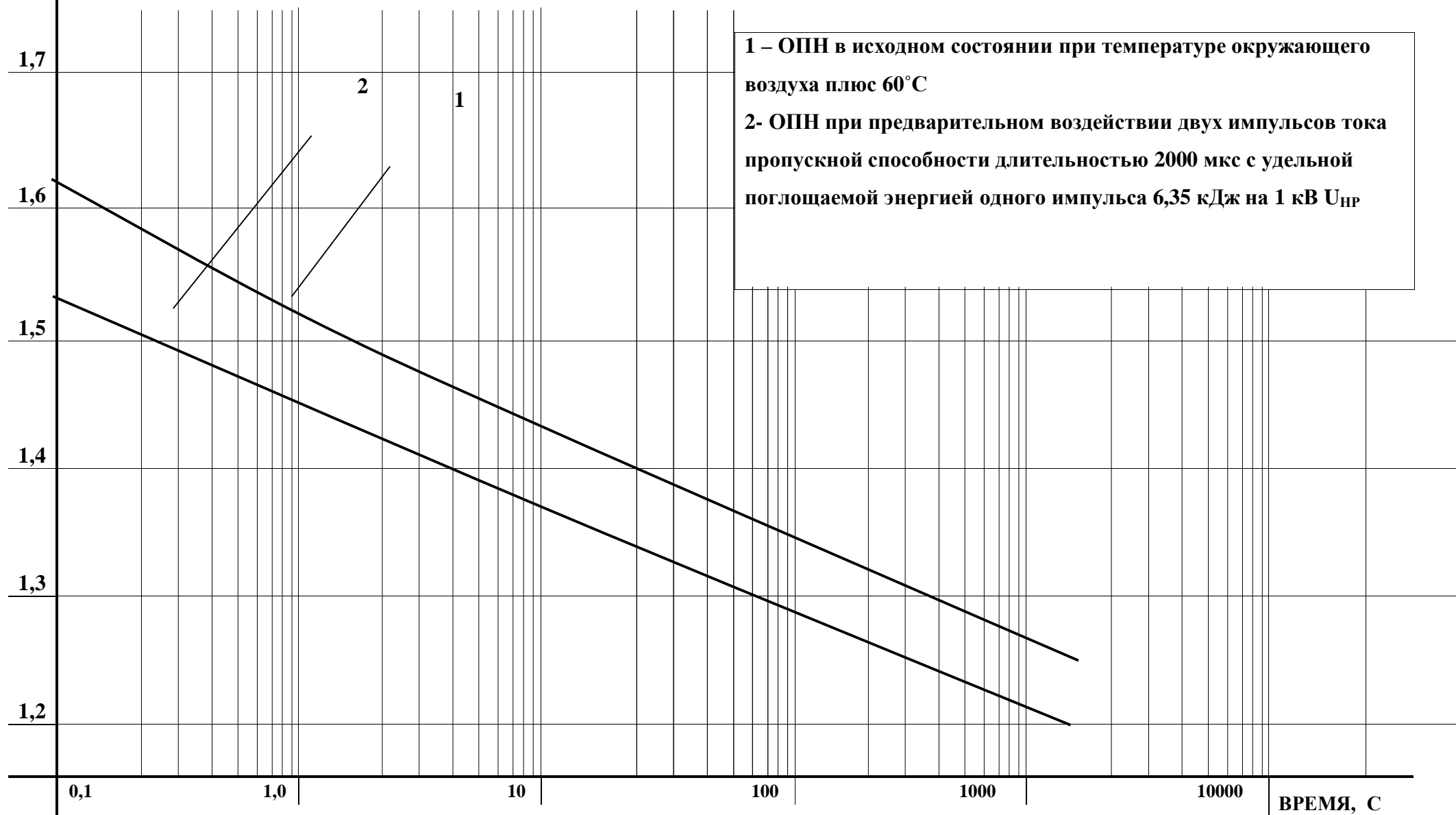
4. Измерение тока проводимости ОПН под рабочим напряжением производится в соответствии с указаниями приведенными в «Руководстве по эксплуатации» предприятия-изготовителя.

5.2.4. Точка присоединения ограничителя к заземляющему устройству (ЗУ) должна быть максимально удалена от точек присоединения к этому ЗУ измерительных трансформаторов.

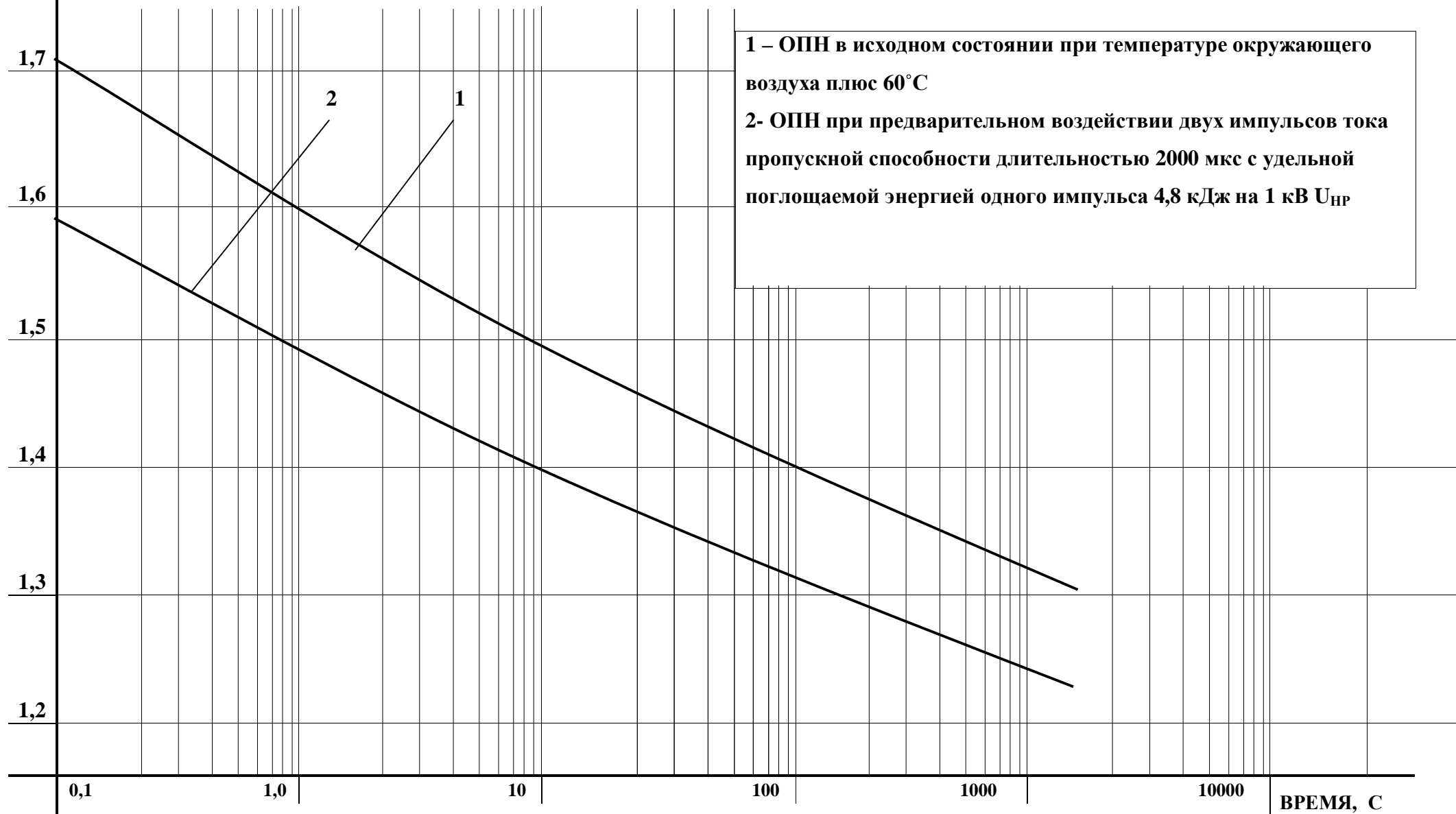
### **Список используемой литературы.**

1. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ, РАО «ЕЭС России», Москва, 2000.
2. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6-35 кВ, РАО «ЕЭС России», Москва, 2001.
3. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений, РД 153-34.3-35.125-99 изд. 2, РАО «ЕЭС России», издательство ПЭИПК, Санкт-Петербург, 1999.
4. ПУЭ Минэнерго СССР, 6-ое изд., перераб. и доп. М Энергоатомиздат.
5. ПУЭ Минэнерго России, 7-е изд., раздел 4, глава 4.1, 4.2 Москва, издат. НЦ ЭНАС, 2003

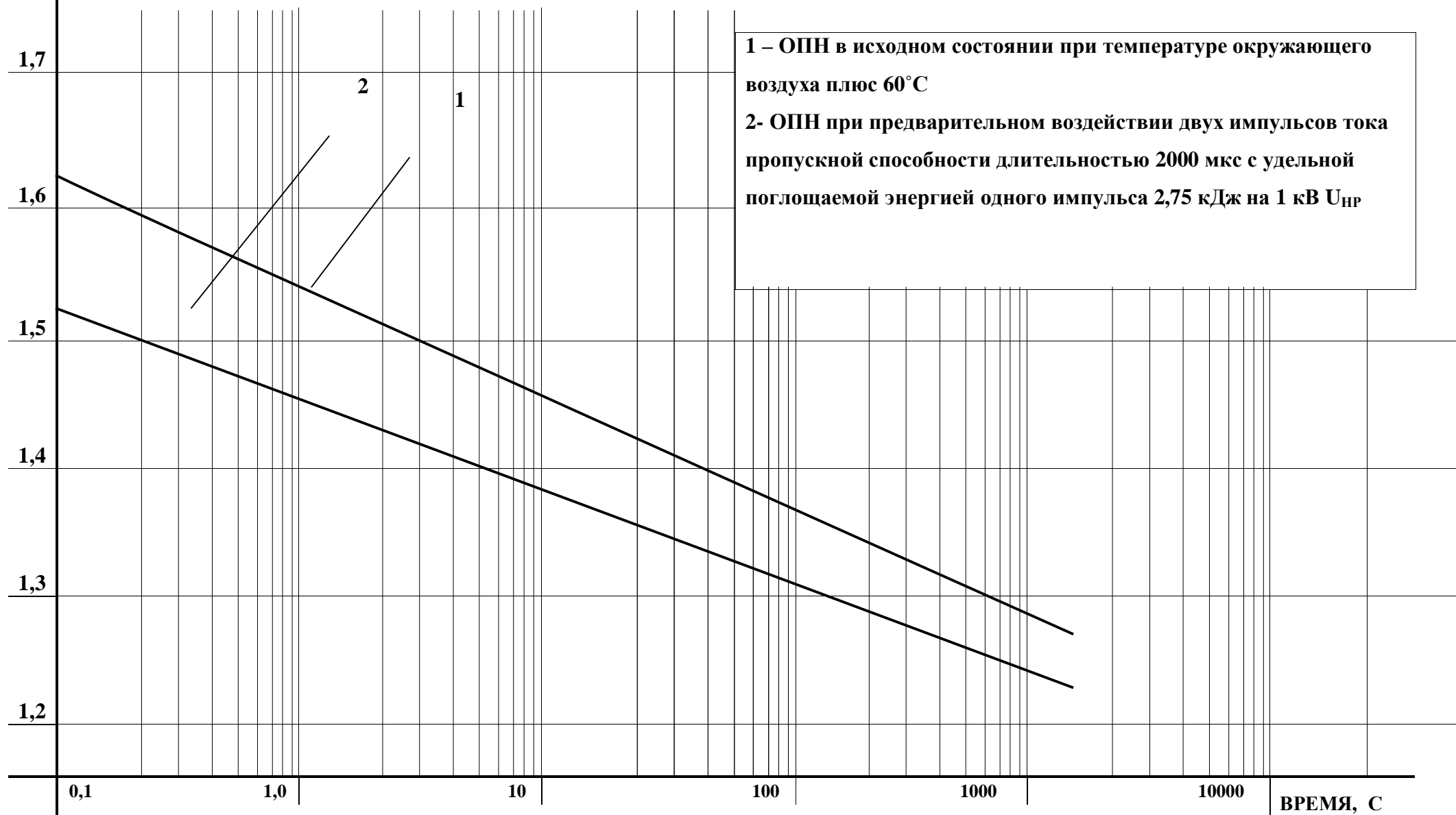
**Зависимость «допустимое напряжение промышленной частоты – время» ограничителей перенапряжения в полимерной изоляции на классы напряжения от 110 до 500 кВ 4 класса по пропускной способности (ОПН-П1-110...500/60...336/20/4 УХЛ1)**



**Зависимость «допустимое напряжение промышленной частоты – время» ограничителей перенапряжения в полимерной изоляции на классы напряжения от 110 до 330 кВ 3 класса по пропускной способности (ОПН-П1-110...330/60...230/10/3 УХЛ1)**



**Зависимость «допустимое напряжение промышленной частоты – время» ограничителей перенапряжения в полимерной изоляции на классы напряжения от 3 до 220 кВ 2 класса по пропускной способности (ОПН-П1-3...220/3,0...172/10/2 УХЛ1)**



**Зависимость «допустимое напряжение промышленной частоты – время» ограничителей перенапряжения в полимерной изоляции на классы напряжения от 110 до 500 кВ 5 класса по пропускной способности (ОПН-П1-220...500/154...336/20/5 УХЛ1)**

