

**МИНИСТЕРСТВО ТОПЛИВА И ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДЕПАРТАМЕНТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по выбору ограничителей перенапряжений нелинейных
производства предприятия «Таврида Электрик»
для электрических сетей 6-35 кВ**

РАЗРАБОТАНО

Национальным техническим университетом
Украины «Киевский политехнический институт».
Кафедрой техники и электрофизики
высоких напряжений.

ИСПОЛНИТЕЛИ:

В.А.Бржезицкий,
В.К.Беляев,
О.С.Ильенко,
С.А.Соколовский.

СОГЛАСОВАНО

Управлением координации работы
электрических сетей
Министерства топлива и энергетики Украины.

УТВЕРЖДЕНО

Приказом Государственного департамента
электроэнергетики Минтопэнерго Украины
от 02.08.2001 № 4.

Без ограничения срока действия.

Издание третье, стереотипное.

Перевод на русский язык выполнен предприятием
«Таврида Электрик Украина» в 2002 г.

Этот нормативный документ не может быть тиражирован и распространен
без разрешения предприятия «Таврида Электрик».

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Уважаемые коллеги!

«Таврида Электрик», занимаясь разработкой и серийным производством вакуумных выключателей и контакторов, в силу специфики природы вакуумной коммутации не могло обойти проблему ограничения перенапряжений, в результате чего и приступило к серийному производству ОПН более 15 лет назад. Широкое внедрение новых изделий—ограничителей перенапряжений—совпало с недостатком информации о них и полным отсутствием нормативно-технической документации.

«Методические указания...» разработаны коллективом кафедры ТиЭФВН НТУ «Киевский политехнический институт» под руководством профессора В.А. Бржезицкого и при активном содействии ведущих специалистов «Таврида Электрик». Безусловна заслуга коллективов областных энергокомпаний Минтопэнерго Украины, взявших на себя опытно-промышленную эксплуатацию ОПН в начале 90-х годов прошлого века.

«Методические указания по выбору ограничителей перенапряжений производства предприятия «Таврида Электрик» для электрических сетей 6-35 кВ» утверждены Государственным Департаментом электроэнергетики Министерства топлива и энергетики Украины №4 от 02.08.2001 г.

С момента выхода в свет первого издания «Методических указаний...» не прошло и года. Сегодня очевидно, что этот документ оказался востребованным не только в Украине, но и в других странах СНГ. Мы надеемся, что второе издание «Методических указаний...» будет интересно не только отечественным электроэнергетикам, но и студентам электротехнических специальностей учебных заведений СНГ.

Ваши замечания и предложения будут приняты с благодарностью.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	45
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	46
1.1. Область применения	46
1.2. Нормативные ссылки	46
1.3. Определения	47
1.4. Обозначения и сокращения	52
2. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	53
2.1. Грозовые перенапряжения	53
2.2. Внутренние перенапряжения	54
3. ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫЕ	57
3.1 Общие сведения об ОПН	57
3.2. Ограничители перенапряжений ОПН/TEL	58
4. ПРИМЕНЕНИЕ И МЕСТО УСТАНОВКИ ОПН	63
5. ПОРЯДОК ВЫБОРА ОПН	65
5.1. Определение исходных параметров	65
5.2. Анализ характеристик серийных ОПН и область применения	66
5.3. Проверка ОПН на длительно допустимое рабочее напряжение	66
5.4. Проверка остаточного напряжения (при действии грозовых перенапряжений)	69
5.5. Проверка ОПН при воздействии энергии внутренних перенапряжений	71
6. Примеры выбора ОПН	73
6.1. Кабельная сеть 6 кВ	73
6.2. Воздушная сеть 10 кВ	74
6.3. Смешанная (воздушно-кабельная) сеть 35 кВ	75
Приложение. Области безопасной работы для силовых трансформаторов в присоединениях с вакуумными выключателями	76
ЛИТЕРАТУРА	78

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время на замену традиционным вентильным разрядникам переменного тока пришли новые электрические аппараты высокого напряжения—ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), которые в сравнении с разрядниками эффективнее ограничивают коммутационные и грозовые перенапряжения. Замена вентильных разрядников на ОПН совпала с исчерпанием ресурсов изоляции электрооборудования, установленного в послевоенные годы. При этом использование ОПН обуславливает экономический эффект и сохранение ресурсов электрооборудования, что является особенно актуальным для Украины.

Имея значительные преимущества по сравнению с вентильными разрядниками, ОПН характеризуются более широким набором параметров, который усложняет их оптимальный выбор с учетом условий эксплуатации. Кроме того, переход к рыночным отношениям привел к появлению в Украине образцов ОПН различных фирм-производителей, что еще более усложнило ситуацию с практическим выбором этих изделий.

Данные методические материалы по выбору ОПН, серийно выпускаемых предприятием «Таврида Электрик», помогут специалистам ориентироваться при выборе продукции и других производителей.

Следует отметить, что в условиях рыночных отношений возрастает ответственность специалистов при решении конкретных научно-практических задач своего предприятия. От уровня их знаний, образования, степени освоения «своих объектов» зависит эффективность принимаемых ими решений. С учетом этого разработанные Методические указания адресованы широкому кругу специалистов разных профилей, что обусловило их построение и содержание.

Содержание Методических указаний базируется на действующих нормативных документах и стандартах Украины, СНГ, рекомендациях 60099-4 и 60099-5 Международной электротехнической комиссии (МЭК), а также на результатах исследований исполнителей.

Методические указания по выбору ограничителей перенапряжений нелинейных производства предприятия «Таврида Электрик» для электрических сетей напряжением 6-35 кВ.

УДК 621.317.2

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Область применения

Настоящие Методические указания предназначены для использования при выборе нелинейных ограничителей перенапряжений производства предприятия «Таврида Электрик» для электрических сетей напряжением 6-35 кВ.

1.2. Нормативные ссылки

В Методических указаниях содержатся ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 16357-83. Разрядники вентильные переменного тока на номинальное напряжение от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия.

ГОСТ 1516.3-96. Межгосударственный стандарт. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

ГОСТ 1516.1-76. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 3 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

ГОСТ 9920-89. Электроустановки переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции.

ГОСТ 16962.1-89. Изделия электротехнические. Методы испытаний на устойчивость к климатическим внешним воздействующим факторам.

ГОСТ 28856-90. Изоляторы линейные подвесные стержневые полимерные. Общие технические условия.

ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

ГКД 34.01.101-94. Нормативні документи Мініенерго України. Правила розробки.—Київ, 1994.

Правила устройства электроустановок. 6-е издание—М.: Энергоатомиздат, 1987.—648 с.

IEC 60099-4 (1991). Surge arresters, Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems.

IEC 60099-5 (1996). Surge arresters, Part 5: Selection and application recommendations.

Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений под ред. Н.Н.Тиходеева. 2-е изд.—Санкт-Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.—353 с.

Ограничители перенапряжений нелинейные типа ОПН-ВР/TEL27(35). Технические условия ТУ У25123867.004-2000.—Севастополь, 2000.—26 с.

1.3. Определения

В Методических указаниях используются следующие термины и определения (английский текст соответствует рекомендациям МЭК 60099-4):

1.3.1. Ограничитель перенапряжения нелинейный (ОПН)—аппарат на основе металлооксидных варисторов без искровых промежутков, предназначенный для ограничения перенапряжений.

1.3.2. Класс напряжения электрооборудования—номинальное межфазное напряжение электрической сети, для работы в которой предназначено электрооборудование.

1.3.3. Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования—наибольшее напряжение частоты 50 Гц, неограниченное (во времени), приложение которого к зажимам разных фаз (полусов) электрооборудования допустимо по условиям работы его изоляции (U_{np}).

Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования не учитывает допустимое для его изоляции кратковременное, продолжительностью до 20 с., повышение напряжения частоты 50 Гц в аварийных условиях и продолжительное повышение напряжения частоты 50 Гц, которые возможны при эксплуатации.

Значения номинального и наибольшего длительно допустимого напряжения электрической сети соответственно классам напряжения и наибольшего рабочего напряжения электрооборудования приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Класс напряжения электрооборудования	кВ	6		10		27		35	
Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования	кВ	7.2		12		30		40.5	
Номинальное напряжение электрической сети	кВ	6.0	6.6	10.0	11.0	27	35		
Наибольшее длительно допустимое напряжение в электрической сети	кВ	6.9	7.2	11.5	12.0	30	40.5		

1.3.4. Перенапряжением может быть названо любое, определенным образом ограниченное во времени, напряжение, амплитудное значение которого $U_{пр}$ превышает амплитудное значение соответствующего наибольшего рабочего напряжения. Их отношение определяется как кратность перенапряжения K . Для изоляции электрооборудования фаза—земля

$$K = \frac{U_{пр}}{\sqrt{2} U_{np} / \sqrt{3}}$$

где $U_{пр}$ —соответствующее наибольшее рабочее напряжение. K перенапряжениям, которые существенно ограничивают ресурс работы изоляции, относятся напряжения с $K > 2$.

1.3.5. Разрядный ток ОПН (discharge current)—импульс тока, который протекает через ОПН (I_p).

Выделяют следующие виды разрядного тока ОПН:

- импульс тока с крутым фронтом**—разрядный ток с формой импульса 1/(2-20) мкс (продолжительность фронта 1 мкс, продолжительность импульса 2-20 мкс);
- импульс тока большой амплитуды**—разрядный ток с формой импульса 4/10 мкс;
- грозовой импульс тока**—разрядный ток с формой импульса 8/20 мкс;
- коммутационный импульс тока**—разрядный ток с формой импульса 30/60 мкс (продолжительность фронта 30-100 мкс, продолжительность импульса равняется двойному времени фронта);
- «длинный» импульс тока**—импульс тока прямоугольной формы продолжительностью 2-4 мс.

1.3.6. Остаточное напряжение ОПН (residual voltage)—наибольшее значение напряжения на выводах ОПН при протекании того или иного разрядного тока (U_p).

1.3.7. Длительно допустимое рабочее напряжение ОПН (continuous operating voltage)—наибольшее действующее значение напряжения частоты 50 Гц, которое может подаваться на выводы ОПН неограниченно долго в пределах срока его эксплуатации (U_d).

$$T=UIU_d$$

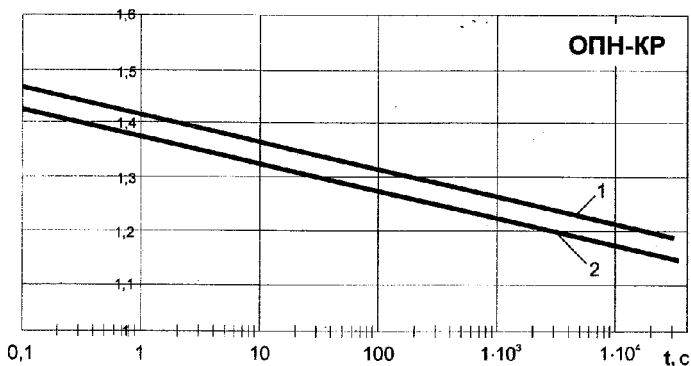


Рис. 1.1а. Вольт-секундные характеристики ОПН-КР.

1—без предварительного нагружения импульсами тока; 2—с предварительным нагружением одним импульсом тока большой амплитуды (4/10 мкс).

ОПН при воздействии U_0 должен сохранять работоспособность в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Указанный параметр по значению целиком совпадает с продолжительно допустимым рабочим напряжением вентильного разрядника.

1.3.8. Вольт-секундная характеристика ОПН—зависимость кратности напряжения $T=U/U_0$, которое может выдерживать ОПН, от времени его воздействия t .

Эта характеристика дает возможность определить допустимый промежуток времени (t), в течении которого ОПН может находиться под воздействием напряжения U частоты 50 Гц заданной кратности T , в том числе и при условии предварительного воздействия нормированной испытательной нагрузки. Вольт-секундные характеристики ОПН, серийно выпускаемых предприятием «Таврида Электрик», изображены на рис.1.1.

Значения кратности напряжения, которые находятся ниже вольт-секундной характеристики, являются допустимыми для данного типа ОПН. При выборе ОПН должна использоваться вольт-секундная характеристика, заданная для ограничителя, на который предварительно подавалась нормированная испытательная нагрузка, соответствующая (МЭК 60099-4) величине номинального разрядного тока и классу пропускной способности (кривая 2 на рис.1.1).

$$T=U/U_0$$

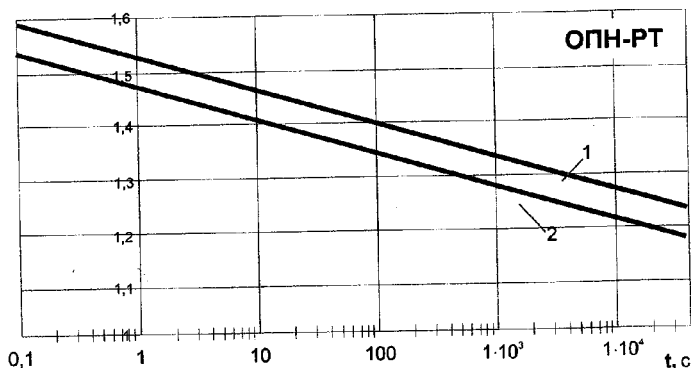


Рис. 1.16. Вольт-секундные характеристики ОПН-РТ.

1—без предварительного нагружения импульсами тока; 2—с предварительным нагружением двумя «длинными» импульсами тока (2000 мкс).

1.3.9. Номинальный разрядный ток (nominal discharge current)—амплитудное значение грозового импульса тока (форма 8/20 мкс), который используется для классификации ОПН (I_n).

I_n , кА	$I_{4/10}$, кА
5	65
10	100

Величина I_n обуславливает защитные характеристики ОПН и его допустимые токовые и испытательные нагрузки. В частности, в зависимости от I_n изменяется значение импульсов тока большой амплитуды (4/10 мкс), которые используются при испытаниях и определении характеристик ОПН.

1.3.10. Защитные характеристики ОПН (protective characteristics)—совокупность величин остаточного напряжения ОПН при влиянии разрядных токов разной амплитуды и формы, среди которых выделяют:

—**грозовой уровень защиты**—остаточное напряжение (U_{30}) в результате воздействия I_n ;

—**коммутационный уровень защиты**—наибольшее из остаточных напряжений (U_{30}) при воздействии коммутационных импульсов тока с нормированными амплитудами.

Примерные защитные характеристики ОПН/TEL приведены в графиках на рис. 1.2 и в таблицах 3.1-3.3 (для каждого типа ОПН).

$$T=UIU_a$$

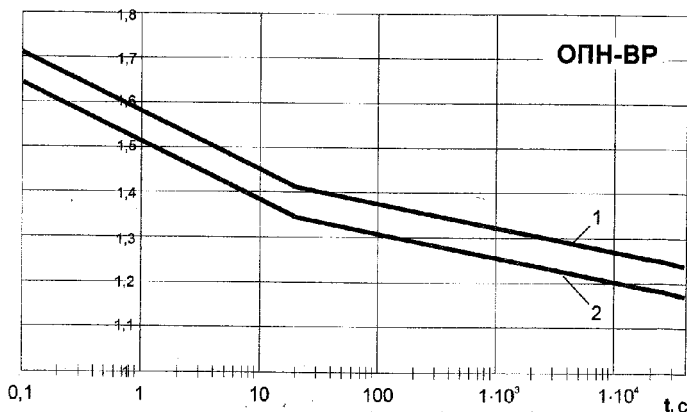


Рис. 1.1в. Вольт-секундные характеристики ОПН-ВР.

1—без предварительного нагружения импульсами тока; 2—с предварительным нагружением двумя «длинными» импульсами тока (2000 мкс).

1.3.11. Класс пропускной способности (line discharge class—класс разряда линии)—способность ОПН выдерживать нормированные по МЭК 60099-4 испытательные энергетические нагрузки (способность поглощать энергию перенапряжений без потери работоспособности).

Соответственно рекомендациям МЭК определено пять классов пропускной способности (от 1 до 5). Чем выше класс пропускной способности, тем большую энергию перенапряжений может поглощать ОПН, сохраняя свои защитные свойства.

Для определения пропускной способности по МЭК 60099-4 проводятся специальные испытания, в ходе которых варисторы ОПН должны выдержать воздействие 18 «длинных» импульсов тока, параметры которых зависят от класса пропускной способности и номинального напряжения.

В зависимости от класса пропускной способности и I_p определяются параметры и вид импульсов тока, воздействие которых ОПН должен гарантированно выдержать при испытаниях в рабочем режиме, проведенных в соответствии с МЭК 60099-4.

Класс пропускной способности, а также величины импульсов тока и соответствующих испытательных нагрузок для ОПН/TEL в ходе указанных испытаний приводятся в таблицах 3.1-3.3.

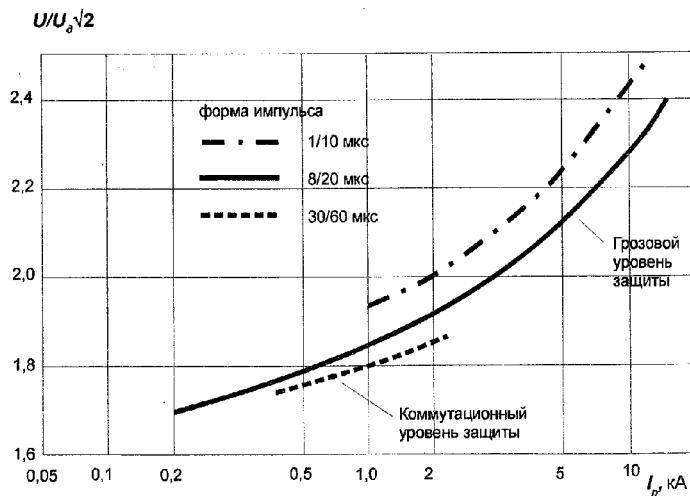


Рис. 1.2. Защитные характеристики ОПН/TEL.

1.3.12. Классификационный ток (reference current)—амплитуда активной составляющей тока промышленной частоты для ОПН, при которой определяется классификационное напряжение.

Величина этого тока определяется производителем и используется при приемо-сдаточных испытаниях. Для ОПН/TEL классификационный ток равен 1,4 мА для ОПН-КР и 2,0 мА для ОПН-РТ и ОПН-ВР.

1.3.13. Классификационное напряжение (reference voltage) в соответствии с МЭК 60099-4—разделенное на $\sqrt{2}$ амплитудное значение напряжения промышленной частоты, которое подается на ОПН для протекания через него классификационного тока.

Это напряжение используется при приемо-сдаточных испытаниях, и его значение определяется производителем (табл.3.1-3.2 для ОПН/TEL).

1.3.14. Ток проводимости ОПН—максимально допустимое амплитудное значение тока при подаче на выводы ограничителя серии ОПН/TEL напряжения U_d . Данное значение может использоваться для грубого контроля состояния ОПН (табл. 3.1-3.3).

1.4. Обозначения и сокращения

В Методических указаниях используются следующие обозначения и сокращения:

АПВ—автоматическое повторное включение;	U_n —номинальное напряжение электрической сети (линейное);
АШФ—автоматическое шунтирование фазы;	U_{np} —наибольшее продолжительно допустимое рабочее напряжение электросети (линейное);
ОПН—ограничитель перенапряжений нелинейный;	U_s —остаточное напряжение ОПН;
ОПН/TEL—ограничитель перенапряжений производства предприятия «Таврида Электрик»;	U_d —продолжительно допустимое рабочее напряжение ОПН;
ПН —перенапряжение;	U —напряжение частоты 50 Гц;
ВЛ —воздушная линия электропередачи;	T —кратность напряжения U по отношению к U_d ;
$U_{ин}$ —амплитудное значение перенапряжения;	t —промежуток времени;
K —кратность перенапряжения по отношению к амплитуде наибольшего фазного рабочего напряжения;	I_n —номинальный разрядный ток;
	$U_{за}$ —грозовой уровень защиты;
	$U_{эк}$ —коммутационный уровень защиты.

2. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Причины возникновения перенапряжения делятся на грозовые (внешние) и внутренние.

2.1. Грозовые перенапряжения

2.1.1. Источником грозовых перенапряжений (ПН) в электрических сетях является молния, которая представляет собой попадание электрического разряда из грозового облака в электроустановку (ПН прямого удара) или около нее в землю (индукционное ПН).

2.1.2. Грозовая активность (интенсивность грозовой деятельности) для каждой местности определяется числом n_g грозовых часов за год. В Украине на основной части территории число грозовых часов за год составляет 60-80. В регионе, который включает области—Луганскую, Харьковскую, северную часть Херсонской, Запорожской, Донецкой и восточную часть Днепропетровской областей, число грозовых часов за год составляет 80-100. В Ивано-Франковской области число грозовых часов за год n_g является максимальным (более 100). В Ужгородской и Черновицкой областях, а также в южных районах Львовской, Тернопольской, Хмельницкой и Винницкой областей число грозовых часов за год достигает 80-100. В Крыму число грозовых часов за год составляет 40-60, а в районе Киева—100 часов.

2.1.3. Плотность p_g ударов молнии в землю (среднее количество ударов на 1 кв.км за 1 грозовой час) обычно составляет $p_g = 0,07$ уд/(кв.км·час.). Для повышения точности расчетов необходимо пользоваться статистическими данными региональных метеостанций. При 100 грозовых часах в год имеет место около 40 прямых ударов молнии на каждые 100 километров воздушных линий электропередачи 6-35 кВ.

2.1.4. Статистическими величинами являются также параметры молнии: амплитуда тока I_g , продолжительность фронта T_ϕ , крутизна фронта s , продолжительность импульса T_i . Расчет электроустановок на грозостойкость проводится с учетом вероятности превышения заданных параметров, которые определены в табл.2.1-2.4.

Таблица 2.1

Распределение амплитуды тока I_g молнии

Амплитуда I_g , кА	10	20	30	40	50	60	80	120	150	180	200
Вероятность превышения $p(I_g)$	0.95	0.7	0.5	0.35	0.25	0.18	0.09	0.028	0.015	0.008	0.005

Таблица 2.2

Распределение продолжительности фронта тока T_ϕ молнии

Продолжительность T_ϕ , мкс	0.9	1.5	2.3	3.0	4.0	5.8
Вероятность превышения $p(T_\phi)$	0.95	0.75	0.50	0.35	0.20	0.05

Таблица 2.3

Распределение крутизны фронта тока s молнии

Максимальная крутизна s , кА/мкс	9.0	15	25	40	65
Вероятность превышения $p(s)$	0.95	0.75	0.50	0.20	0.05

Таблица 2.4

Распределение продолжительности импульсов тока T_i молнии

Продолжительность T_i , мкс	30	50	70	100	150	200
Вероятность превышения $p(T_i)$	0.95	0.68	0.50	0.30	0.15	0.05

2.1.5. После нейтрализации в первом разряде молнии одной из групп электрических зарядов в грозовом облаке происходит разряд на соседние группы, поэтому по каналу первого разряда развивается несколько (чаще два-три) повторных импульсов тока. Крутизна фронта у них значительно больше, поскольку развиваются они по уже существующему каналу. Общая продолжительность серии разрядов молнии может достигать десятых долей секунды и даже превышать секунду.

2.1.6. При токах молнии до 50 кА (наиболее часто встречающихся) волновое сопротивление канала молнии составляет $z_k=800-4000$ Ом; при 50-100 кА (встречаются редко) $z_k=500-800$ Ом; при токах до 150 кА (очень редко) $z_k=280-800$ Ом. Сопротивление заземления электроустановок на порядок и даже на несколько порядков меньше волнового сопротивления канала молнии, в связи с чем его величина практически не влияет на протекающий ток. Поэтому при расчетах молнию считают источником тока.

2.1.7. Поскольку ВЛ 6-35 кВ выполняются без грозозащитных тросов и устройств (за исключением подходов к подстанциям), грозовые перенапряжения на воздушных линиях электропередачи 6-35 кВ ограничены только импульсной электрической прочностью их изоляции.

2.1.8. Грозовые перенапряжения в кабелях и на шинах подстанций 6-35 кВ являются в основном результатом действия волн, которые набегают с подключенных ВЛ и характеризуются большей продолжительностью фронта и меньшей амплитудой, чем для ВЛ (тем не менее они в достаточной мере могут быть близки к ним).

2.2. Внутренние перенапряжения

2.2.1. Первопричиной внутренних перенапряжений (ВП) является перетекание электромагнитной энергии, накопленной в элементах электрической сети, или энергии, которая поступает от генераторов сети. В зависимости от условий возникновения и возможной продолжительности действия ВП на изоляцию различают коммутационные, квазистационарные и стационарные ПН.

2.2.2. Коммутационные ПН возникают вследствие внезапных изменений схемы или параметров сети. Типовыми коммутациями являются плановые и аварийные отключения и включения линий, трансформаторов и других элементов сети, при которых возникают переходные процессы. Вследствие малых потерь и высокой добротности контуров, обусловленных соотношением величин индуктивностей и емкостей проводов линии или обмоток трансформаторов и реакторов, переходные процессы при коммутациях имеют колебательный характер и могут привести к возникновению значительных ПН, особенно при ненулевых начальных условиях, например, при АПВ линий.

2.2.3. Отключение емкостных токов электрических сетей может сопровождаться повторными зажиганиями электрической дуги в выключателе и сопутствующими ПН, а отключение малых индуктивных токов холостого хода трансформаторов—вынужденным обрывом дуги в выключателе и колебательным переходом энергии магнитного поля трансформатора в энергию электрического поля его параллельных емкостей. При дуговом замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью также наблюдаются многократные зажигания и обрывы дуги с возникновением соответствующих дуговых ПН.

2.2.4. Перенапряжения при коммутациях вакуумными выключателями (ВВ) имеют ряд особенностей. При отключении индуктивности L_0 объекта (трансформатора, электродвигателя) возникают: срез тока, эскалация напряжения, виртуальный срез тока. При включении L_0 возникают повторные пробои между контактами ВВ. Для объекта с емкостью C_0 ПН возникают только при отключении. При отключении малых индуктивных токов вследствие среза тока энергия магнитного поля индуктивности переходит в энергию электрического поля емкости. Поскольку C_0 незначительно (до 10000 пФ), а ток среза для ВВ составляет 2-5 А, то ПН после среза тока может иметь $K_{max} = 5$. Для решения вопроса о необходимости использования ОПН при условии коммутации силового трансформатора вакуумным выключателем следует использовать понятие «область безопасной работы», которую определяют в координатах: «ток холостого хода трансформатора I_{xx} , А»—«емкость присоединения C_{ϕ} , нФ» (Приложение 1).

2.2.5. Квазистационарные ПН могут развиваться при несимметричных режимах работы линии, которые возникают, например, при замыкании одной фазы на землю, обрыве провода, отказе одной или двух фаз выключателя. Такие режимы могут привести к дополнительному повышению напряжения основной частоты или стать причиной появления значительных ПН на высших гармониках. Источником гармоник и соответствующих феррорезонансных ПН может стать также какой-либо элемент системы с существенно нелинейными характеристиками, например, трансформатор с насыщенным магнитопроводом.

2.2.6. Стационарные ПН первого типа связаны с регулированием возбуждения электрических машин, благодаря которому напряжение на шинах станции не превышает наибольшей рабочей. Наличие регулирования существенно ограничивает такие стационарные ПН, которые, как правило, бывают меньше квазистационарных и не имеют существенного практического значения.

2.2.7. К стационарным ПН второго типа относятся установившиеся резонансные процессы разного происхождения.

2.2.8. Наиболее важные квазистационарные и стационарные ПН второго типа в основном имеют характер резонансных ПН. При этом квазистационарные ПН отвечают кратковременному, так называемому переходному, резонансу, а стационарные—установившемуся резонансу:

2.2.9. ОПН должен быть рассчитан на ограничение коммутационных ПН и ПН переходного резонанса. Следует учитывать, что в соответствии с рекомендациями МЭК 60099-5 ОПН не предназначены для ограничения стационарных резонансных ПН, которые следует исключать схемными средствами.

2.2.10. Внутренние ПН, как коммутационные, так и переходные резонансные, которые определяют параметры ОПН, характеризуются продолжительностью 1-2 периода частоты 50 Гц, причем, как правило, с явным выделением одного преобладающего колебания. Поэтому для выбора ОПН по воздействию ВП основной характеристикой следует считать наибольшую кратность внутренних ПН (K_{max}). Проведенные исследования показали, что периоду 25 лет (срок службы ОПН) для электрических сетей 6-35 кВ без ограничения ПН соответствует появление одного колебания внутренних ПН с кратностью $K_{max} \geq 5$.

3. ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫЕ

3.1 Общие сведения об ОПН

3.1.1. ОПН—аппараты нового поколения для ограничения перенапряжений, изготовленные на основе высоконелинейных металлооксидных резисторов (варисторов) и подключаемые в электрическую сеть без искровых промежутков. Такие аппараты получили название нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), а по терминологии Международной электротехнической комиссии (МЭК)—металлооксидных ограничителей перенапряжений без искровых промежутков (*metal-oxide surge arresters without gaps*).

3.1.2. Современные варисторы для ОПН изготавливаются по сложной технологии из ZnO с малыми добавками других окислов и металлов. Варисторы на основе ZnO имеют резко нелинейную вольт-амперную характеристику, такую, что при возрастании плотности тока от 10^{-5} А/см² до 10^2 А/см² напряжение на варисторе увеличивается приблизительно в два раза. Высокая степень нелинейности позволяет использовать в ограничителях варисторы в режиме постоянного подключения к сети, что обуславливает полный отказ от искровых промежутков.

В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель является емкостным и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении перенапряжений ток через варисторы резко возрастает, ограничивая дальнейший рост напряжения на его выводах. Если перенапряжение снижается, ограничитель возвращается в непроводящее состояние.

3.1.3. Применяемые варисторы характеризуются высокой поглощающей и рассеивающей способностью. Это свойство позволяет создавать на основе варисторов из ZnO достаточно компактные ограничители, способные противостоять влияниям грозových и внутренних перенапряжений.

3.1.4. Конструктивно ОПН обычно представляют собой активную часть в виде колонки последовательно соединенных варисторов, установленной в изоляционный корпус с необходимыми устройствами присоединения и монтажа.

3.1.5. По сравнению с вентильными разрядниками ОПН имеют ряд преимуществ, которые обусловлены отсутствием искровых промежутков и высокой нелинейностью вольт-амперной характеристики:

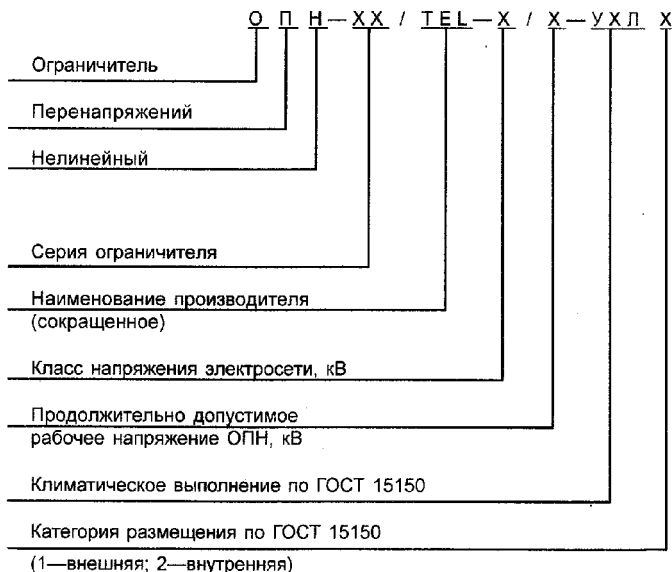
- более глубокое ограничение перенапряжений (при равных размерах активной части);
- простота конструкции и большая надежность;
- стойкость к внешним загрязнениям изоляционного корпуса;
- способность ограничивать внутренние перенапряжения;
- при использовании полимерного корпуса—взрывобезопасность;
- меньшие габариты и масса.

3.1.6. Поскольку варисторы постоянно находятся под напряжением, особого внимания заслуживает оценка возможности сохранения работоспособности ОПН (без потери тепловой стабильности) при воздействии кратковременных и продолжительных повышений напряжения. Поэтому правильный выбор ОПН, с параметрами, отвечающими конкретной ситуации, обеспечит надежную защиту электрооборудования и безопасную работу ОПН на протяжении всего срока службы.

3.2. Ограничители перенапряжений ОПН/TEL

3.2.1. Область применения. Нелинейные ограничители перенапряжений типа ОПН/TEL производства предприятия «Таврида Электрик» предназначены для обеспечения защиты изоляции электрооборудования от грозовых и внутренних (коммутационных и переходных резонансных) перенапряжений в электрических сетях класса напряжений 3-35 кВ переменного тока промышленной частоты (48-62 Гц) с изолированной или компенсированной нейтралью.

Условное обозначение ОПН производства «Таврида Электрик»:



3.2.2. Устройство и принцип действия. При изготовлении ограничителей используются нелинейные металлооксидные варисторы лучших мировых производителей. Технология изготовления нелинейных варисторов в полимерном корпусе ограничителя уникальна и аналогов в мировой практике не имеет. Колонка варисторов помещается между металлическими электродами и спрессовывается в оболочку из специального атмосферостойкого полимерного материала. Полимерный корпус обеспечивает необходимые механические и изоляционные свойства ограничителя. ОПН/TEL представляет собой герметичное монолитное изделие, надежно защищенное от внешних воздействий.

Ограничители выпускаются в исполнении УХЛ1 и УХЛ2, которые предназначены соответственно для внешней и внутренней установки согласно ГОСТ 15150. Длина пути утечки внешней изоляции ОПН в исполнении УХЛ1 отвечает степени загрязнения атмосферы IV, а в исполнении УХЛ2—степени загрязнения атмосферы I по ГОСТ 9920-89. Внешняя изоляция ограничителей выдерживает испытательные напряжения по ГОСТ 1516.3 и ГОСТ 16962.1-89 и имеет трекинговость, соответствующую ГОСТ 28856-90. Уровень частичных разрядов в ограничителях не превосходит 10 пКл.

3.2.3. Взрывобезопасность. Ограничители серии ОПН/TEL прошли испытание на взрывобезопасность согласно ГОСТ 16357-83. При испытаниях разрушение ограничителя происходит без взрывного эффекта. Ограничители являются экологически безопасным аппаратом.

3.2.4. Испытание и контроль качества. Гарантии производителя. Специальная программа испытаний и контрольных проверок на протяжении всего процесса производства ограничителей перенапряжений обеспечивает высокое качество продукции. Входной контроль и приемо-сдаточные испытания проходят 100% комплектующих и готовых изделий.

Ограничители перенапряжений «Таврида Электрик» имеют сертификаты качества и безопасности системы ГОСТ-Р и УкрСЕПРО, а система управления качеством производства сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9002 (KEMA).

Нормированный срок службы ограничителей составляет 25 лет при гарантийном сроке хранения и эксплуатации 5 лет.

Предприятием «Таврида Электрик» выпускаются ограничители перенапряжений серий ОПН-КР/TEL, ОПН-РТ/TEL и ОПН-ВР/TEL, основные параметры которых приведены в таблицах 3.1-3.3.

Таблица 3.1

Основные технические параметры ОПН-Р/ТЕЛ—Х/Х-УХЛ1 (УХЛ2)

Наименование параметра	ОПН- Р/ТЕЛ—Х/Х-УХЛ1 (УХЛ2)					
	6/6.0	6/6.6	6/6.9	10/10.5	10/11.5	10/12.0
Класс напряжения сети, кВ	6	6	6	10	10	10
Длительно допустимое рабочее напряжение, кВ	6.0	6.6	6.9	10.5	11.5	12.0
Номинальный разрядный ток (ампл.), 8/20 мкс, кА	10	10	10	10	10	10
Амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100	100	100	100	100
Остаточное напряжение, кВ, ампл., не больше:						
—при коммутационном импульсе тока						
125 А, 30/60 мкс	14.3	15.4	16.2	24.8	26.9	29.7
500 А, 30/60 мкс	15.0	16.2	17.0	26.1	28.3	31.3
—при грозовом импульсе тока						
1000 А, 8/20 мкс	15.6	16.8	17.6	27.0	29.3	32.4
5000 А, 8/20 мкс	17.7	19.1	20.0	30.7	33.3	36.9
10000 А, 8/20 мкс	19.0	20.5	21.5	33.0	35.8	39.6
20000 А, 8/20 мкс	21.2	22.8	24.0	36.7	39.9	44.1
Класс пропускной способности	1	1	1	1	1	1
Ток импульса, А, при воздействии 18 прямоугольных импульсов, 2000 мкс	250	250	250	250	250	250
Поглощаемая энергия, кДж, не меньше (за 1 импульс тока 100 кА, 4/10 мкс)	21.6	23.7	24.8	37.8	41.4	43.2
Классификационное напряжение, не меньше, кВ (действ.) при активной составляющей тока (ампл.) 1.4 мА на частоте 50 Гц	6.9	7.4	7.7	12.0	13.2	13.8
Максимально допустимая амплитуда тока проводимости, мА	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Масса, не больше, кг УХЛ1 (УХЛ2)	0,9 (0,7)	0,9 (0,7)	0,9 (0,7)	1,3 (0,9)	1,3 (0,9)	1,3 (0,9)
Присоединительные размеры	М 10х10 (2 отверстия)					

Таблица 3.2

Основные технические параметры ОПН-РТ/TEL 3(6,10) УХЛ2

Наименование параметра	ОПН-РТ/TEL—Х/Х-УХЛ2						
	3/3	3/4	6/6	6/6.9	6/7.2	10/10.5	10/11.5
Класс напряжения сети, кВ	3	3	6	6	6	10	10
Длительно допустимое рабочее напряжение, кВ (действ.)	3.0	4.0	6.0	6.9	7.2	10.5	11.5
Номинальный разрядный ток (ампл.), 8/20 мкс, кА	10	10	10	10	10	10	10
Амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100	100	100	100	100	100
Остаточное напряжение, кВ, ампл., не больше							
—при коммутационном импульсе тока							
125 А, 30/60 мкс	6.6	8.9	13.34	15.3	15.9	23.2	25.4
250 А, 30/60 мкс	7.0	9.4	14.0	16.1	16.8	24.5	26.9
500 А, 30/60 мкс	7.2	9.6	14.4	16.6	17.3	25.2	27.6
—при грозовом импульсе тока							
5000 А, 8/20 мкс	8.5	11.5	17.2	19.7	20.6	30.0	32.8
10000 А, 8/20 мкс	9.3	12.5	18.7	21.5	22.4	32.7	35.8
20000 А, 8/20 мкс	10.4	14.0	21.0	24.1	25.1	36.6	40.1
—при импульсе тока с крутым фронтом							
10000 А, 1/10 мкс	10.7	14.4	21.5	24.7	25.8	36.6	41.2
Класс пропускной способности	2	2	2	2	2	2	2
Ток импульса, А, при воздействии 18 прямоугольных импульсов, 2000 мкс	500	500	500	500	500	500	500
Поглощаемая энергия, кДж, не меньше (за 2 импульса тока 500 А, 2000мкс)	16.5	22.0	33.0	38,0	39.6	57.8	63.3
Классификационное напряжение, не меньше, кВ (действ.), при активной составляющей тока (ампл.) 2.0 мА на частоте 50 Гц	3.6	4.8	7.1	8.2	8.6	12.5	13.7
Ток проводимости, не больше							
—ампл., мА	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
—действ. значение, мА	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0,3	0.3
Масса, не больше, кг	1.1	1.1	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7
Высота, не больше, мм	95	95	95	95	95	140	140

Таблица 3.3

Основные технические параметры ОПН-ВР/TEL 27,35 УХЛ1

Наименование параметра	ОПН-ВР/TEL—Х/Х-УХЛ1		
	27/30	35/40.5	35/42
Класс напряжения сети, кВ	27	35	35
Длительно допустимое рабочее напряжение, кВ (действ.)	30	40.5	42.0
Номинальный разрядный ток (ампл.), 8/20 мкс, кА	10	10	10
Амплитуда импульса тока 4/10 мкс, кА	100	100	100
Остаточное напряжение, кВ, ампл., не больше:			
—при коммутационном импульсе тока			
125 А, 30/60 мкс	68	93	95
250 А, 30/60 мкс	72	98	101
500 А, 30/60 мкс	74	101	103
—при грозовом импульсе тока			
5000 А, 8/20 мкс	88	119	123
10000 А, 8/20 мкс	96	130	134
20000 А, 8/20 мкс	108	146	151
—при импульсе тока с крутым фронтом			
10000 А, 1/10 мкс	113	153	158
Класс пропускной способности	2	2	2
Ток импульса, А, при воздействии 18 прямоугольных импульсов, 2000 мкс	500	500	500
Поглощаемая энергия, кДж, не меньше (за 2 импульса тока 500 А, 2000 мкс)	165	223	231
Классификационное напряжение, не меньше, кВ (действ.) при активной составляющей тока (ампл.) 2.0 мА на частоте 50 Гц	36	48	50
Ток утечки, не больше			
ампл., мА	0.6	0.6	0.6
действ. значения, мА	0.3	0.3	0.3
Масса, не больше, кг	12	14	14
Высота, не больше, мм	530	610	610

4. ПРИМЕНЕНИЕ И МЕСТО УСТАНОВКИ ОПН

4.1. ОПН необходимо применять в электрических сетях 6-35 кВ в тех случаях, когда для защиты от грозовых перенапряжений действующими Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) предусмотрено применение вентильных разрядников (п.п. 4.2.150-4.2.163, 4.2.166-4.2.168), а также для ограничения внутренних перенапряжений.

Следует учитывать, что перенапряжения на оборудовании, непосредственно к которому подключен ОПН, совпадают с напряжением на ОПН. Перенапряжения на оборудовании, которое размещено на расстоянии (измеряется вдоль ошиновки) от ОПН, превышают напряжение на ОПН за счет колебательных процессов между ОПН и оборудованием. Интенсивность этих процессов зависит от этого расстояния, крутизны фронта грозового импульса, количества подключенных к шинам линий и т.п.

При применении ОПН для защиты распределительных устройств подстанций напряжением 6-35 кВ от грозовых перенапряжений следует руководствоваться следующим:

1. Оборудование распределительных устройств подстанций 6-35 кВ, к которым присоединены ВЛ, должно защищаться ОПН, которые устанавливаются на шинах или возле трансформатора.
2. Количество и место установки ОПН следует выбирать, исходя из принятых на расчетный период схемы электрических присоединений, количества ВЛ и трансформаторов. При этом допустимое расстояние между ОПН и оборудованием должно быть обеспечено для каждого этапа (очереди) развития подстанции.

При выборе необходимо исходить из того, что защита подстанции обеспечивается при минимальном количестве ОПН. При этом отдается предпочтение установке ОПН на присоединении (фидере) с трансформатором.

3. В распределительных устройствах 35 кВ расстояние от ОПН до трансформаторов и других аппаратов (с учетом ошиновки) должно быть не больше указанного в табл. 4.2.8 ПУЭ для вентильных разрядников.
4. На подстанциях, подходы ВЛ напряжением 35 кВ к которым не защищены тросом или протяженность защищенных подходов уменьшена, ОПН должны устанавливаться на присоединениях трансформаторов не далее чем за 10 м от них. При превышении этого расстояния должны быть дополнительно установлены ОПН на шинах.
5. На ВЛ, которые присоединены к электростанции или подстанции кабельными вставками длиной до 50 м, дополнительно в месте присоединения ВЛ к кабелю должен быть установлен комплект ОПН с сопротивлением заземления не больше 5 Ом. ОПН должны кратчайшим путем соединяться с металлической оболочкой кабеля и заземлителем подстанции.
6. На ВЛ 35 кВ при наличии трансформатора напряжения (ТН) ОПН должен быть установлен на конце линии перед коммутационным аппаратом (выключателем) на расстоянии не больше 40 м от ТН.

7. При установке ОПН в одной камере (шкафу) с трансформатором напряжения рекомендуется присоединять ОПН к предохранителю во избежание перегорания предохранителя при прохождении импульсных токов.
8. При защите силовых трансформаторов от грозовых перенапряжений ОПН должен устанавливаться на коммутационном аппарате и соединяться кратчайшим путем с входами трансформатора и заземляющим устройством подстанции.
9. При наличии на выходах трансформаторов со стороны 3-20 кВ токоограничивающих реакторов ОПН должны быть установлены на шинах 3-20 кВ независимо от наличия ОПН возле трансформаторов.
10. Обмотки трансформаторов, которые не используются, должны быть соединены в треугольник или звездой (в соответствии с заводскими схемами), защищены ОПН и заземлены. Защита неиспользуемых обмоток не требуется, если к ним постоянно присоединена кабельная линия длиной не менее 30 м, которая имеет заземленную оболочку или броню.
11. Защита подстанций 3-20 кВ с величиной напряжения на низкой стороне до 1000 В должна быть выполнена применением ОПН, установленных как на высокой, так и на низкой сторонах подстанции.
12. На подстанциях 35 кВ, которые выполнены по упрощенной схеме с одним выключателем на нескольких трансформаторных присоединениях, все ОПН должны быть размещены на расстоянии не более 10 м от силового трансформатора. Защита подстанций, где это расстояние превышает 10 м, выполняется согласно п.4 этого раздела.
13. Для защиты генераторов и синхронных компенсаторов, а также электродвигателей мощностью более 3 МВт, которые присоединяются к ВЛ, должны использоваться ОПН емкостью не меньше 0,5 мкФ на фазу.

ОПН следует устанавливать для защиты: генераторов (синхронных компенсаторов) мощностью более 15 МВт (более 15 МВ·А)—на выходах каждого генератора (синхронного компенсатора); 15 МВт и меньше (15 МВ·А и менее)—на шинах (секциях шин) генератора напряжения; электродвигателей мощностью свыше 3 МВт—на шинах распределительного устройства.

14. Если к общим шинам электростанции или подстанции присоединены врашающиеся машины и ВЛ с железобетонными опорами, то в начале защищенного тросом участка должен быть установлен комплект ОПН с сопротивлением заземления не более 3 Ом.

4.2. Необходимость ограничения внутренних перенапряжений с помощью ОПН связана с широким применением вакуумных выключателей (ВВ), срабатывание которых может сопровождаться появлением коммутационных перенапряжений (Приложение 1).

При решении вопроса необходимости защиты от внутренних перенапряжений следует также учитывать структуру электрической сети с имеющимися в ней токоприемниками, которые в соответствии с ПУЭ делятся по надежности электроснабжения на I, II и III категории.

5. ПОРЯДОК ВЫБОРА ОПН

5.1. Определение исходных параметров

Исходными параметрами являются:

- а) класс напряжения сети $U_{нн}$ (6, 10 или 35 (27) кВ);
- б) наибольшее рабочее напряжение сети $U_{рп}$ в месте установки ОПН. При отсутствии точных данных для данной сети принимается наибольшее рабочее напряжение в соответствии с таблицей 1.1;

в) наличие в данной сети воздушных линий электропередачи в малонаселенной местности;

г) допустимая длительность однофазного замыкания на землю t в электрических сетях 6-35 кВ, которая составляет:

- в постоянно контролируемых сетях, питаемых от турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, а также с подключенными мощными электродвигателями, при токе однофазного замыкания на землю свыше 5 А—не более 0,5 с;
- в таких же сетях при токе однофазного замыкания на землю менее 5 А—до 2 часов и может быть увеличена до 6 часов, если замыкание существует вне обмоток электрических машин;
- в кабельных сетях, не содержащих указанных выше электрических машин,—до 2 часов и может быть увеличена до 6 часов по согласованию с энергоснабжающей организацией;
- в воздушных сетях с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостного тока замыкания на землю, не содержащих электростанций и соединений с электродвигателями, продолжительность однофазного замыкания на землю не нормируется (что следует считать недостатком существующих нормативных документов, так как оборванные провода и поврежденные опоры очень опасны для людей и животных; продолжительность замыкания должна быть по возможности малой, по крайней мере, не выходить за пределы 24 часов).

При отсутствии ограничений следует принять продолжительность однофазного замыкания на землю t равной 24 часам.

д) наличие в данной сети устройства автоматического шунтирования поврежденной фазы (АШФ);

е) ток однофазного замыкания на землю I_0 без учета тока компенсации заземляющего реактора. При отсутствии данных о токе однофазного замыкания на землю берется протяженность воздушных линий и кабельных линий, присоединенных к предусмотренному месту установки ОПН;

ж) необходимое климатическое исполнение ОПН (внутренняя или внешняя установка и степень загрязнения атмосферы по ГОСТ 9920-89 и ГКД 34.51.101-96);

з) группа вентильного разрядника в электрической сети, соответствующего ОПН (п. 5.4).

5.2. Анализ характеристик серийных ОПН и область применения

Для защиты электрооборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений в электрических сетях напряжением 3-10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью предназначены ограничители серии ОПН-КР/TEL и ОПН-РТ/TEL. При этом следует учитывать следующее. Ограничители серии ОПН-КР/TEL предназначены для ограничения грозовых перенапряжений и применяются для внешней (УХЛ1) и внутренней (УХЛ2) установки. Ограничители ОПН-РТ/TEL предназначены для глубокого ограничения коммутационных перенапряжений и применяются для гарантированной защиты специального электрооборудования (трансформаторов электродуговых печей, высокочастотных заградителей, изоляции, кабельных сетей, электрических генераторов и двигателей, вентиляльных выпрямителей тяговых подстанций). Климатическое исполнение указанного типа ограничителей—только для внутренней установки (УХЛ2). Вышеупомянутые серии ОПН применяются в условиях умеренного и холодного климата при температуре воздуха от -60°C до $+45^{\circ}\text{C}$ на высоте не более 1000 м над уровнем моря и продолжительно выдерживают механическую нагрузку до 305 Н.

Для защиты изоляции электрооборудования от перенапряжений в сетях класса напряжения 27 и 35 кВ переменного тока частоты 48-62 Гц с изолированной или компенсированной нейтралью предназначены ограничители серии ОПН-ВР/TEL. Эти ограничители применяются для внешней (УХЛ1) установки в условиях умеренного и холодного климата при температуре воздуха от -60°C до $+45^{\circ}\text{C}$ на высоте не более 1000 м над уровнем моря. Ограничители длительно выдерживают механическую нагрузку до 500 Н (с учетом ветра и гололедицы в соответствии с ГОСТ 16357-83), перпендикулярную к вертикальной оси ОПН.

5.3. Проверка ОПН на длительно допустимое рабочее напряжение

Продолжительно допустимое рабочее напряжение ОПН U_0 должно быть больше или равно расчетному выражению

$$U_0 \geq K_0 U_{\text{нр}} / T(t), \quad (5.1)$$

где $U_{\text{нр}}$ —наибольшее линейное рабочее напряжение сети в месте установки ОПН;

K_0 —коэффициент, который в зависимости от особенностей электрической сети и условий ее работы имеет следующие значения: при симметричной нагрузке трехфазной сети—1; при использовании незаземленных железобетонных опор в малонаселенной местности, если при «падении» провода на опору замыкание фазы на землю происходит через переходное сопротивление (при использовании АШФ данный эффект исключается), а также при несимметричной нагрузке—1,05; при действии всех указанных факторов = 1,1;

$T(t)$ — кратность, которая характеризует возможность ОПН выдерживать повышение напряжения частоты 50 Гц продолжительностью t (п. 1.3.8) и определяется по таким формулам:

для ОПН-КР

$$T(t) = 1,38 - 0,022 \ln(t), \text{ или } \lg(t) = 27,5 - 20 T(t);$$

для ОПН-РТ

$$T(t) = 1,47 - 0,026 \ln(t), \text{ или } \lg(t) = 23 - 15,7 T(t); \quad (5.2)$$

для ОПН-ВР

при $t < 20$ с $T(t) = 1,52 - 0,0567 \ln(t)$, или $\lg(t) = 11,61 - 7,64 T(t)$;

при $t \geq 20$ с $T(t) = 1,415 - 0,0217 \ln(t)$, или $\lg(t) = 28,3 - 20 T(t)$.

В формулах (5.2) время t выражено в секундах (2 часа—7200 с.; 6 часов—21600 с.; 24 часа—86400 с.).

В зависимости от значений K_o , t и $U_{нр}$, минимальные значения длительно допустимого рабочего напряжения ОПН приведены в таблицах 5.1-5.3.

Исходя из данных таблиц 5.1-5.3 необходимо отметить, что проведение в электрических сетях эффективной работы по уменьшению допустимого времени однофазного замыкания на землю t позволяет использовать ОПН со сниженным продолжительно допустимым рабочим напряжением, которое, в свою очередь, обеспечивает возможность уменьшения остаточных напряжений на электрооборудовании, защищаемом ОПН.

Таблица 5.1

Рекомендованные минимальные значения длительно допустимых рабочих напряжений U_o (действующие значения) для ОПН-КР/TEL

Сеть		U_o , кВ			
$U_{нр}$, кВ	K_o	$t = 0.5$ с.	$t = 2$ часа	$t = 6$ часа	$t = 24$ часа
6.9	1.00	4.95	5.82	5.95	6.11
6.9	1.05	5.19	6.12	6.24	6.41
6.9	1.10	5.44	6.41	6.54	6.72
7.2	1.00	5.16	6.08	6.20	6.37
7.2	1.05	5.42	6.38	6.51	6.69
7.2	1.10	5.68	6.69	6.83	7.01
11.5	1.00	8.24	9.71	9.91	10.18
11.5	1.05	8.65	10.19	10.41	10.69
11.5	1.10	9.07	10.68	10.90	11.20
12.0	1.00	8.60	10.13	10.34	10.62
12.0	1.05	9.03	10.64	10.86	11.15
12.0	1.10	9.46	11.14	11.38	11.68

Таблица 5.2

Рекомендованные минимальные значения длительно допустимого рабочего напряжения U_0 (действующие значения) для ОПН-РТ/TEL

Сеть		U_0 , кВ			
$U_{пр}$, кВ	K_0	t = 0.5 с.	t = 2 часа	t = 6 часа	t = 24 часа
6.9	1.00	4.62	5.57	5.70	5.88
6.9	1.05	4.87	5.85	5.99	6.17
6.9	1.10	5.10	6.13	6.27	6.46
7.2	1.00	4.84	5.81	5.95	6.13
7.2	1.05	5.08	6.10	6.25	6.44
7.2	1.10	5.32	6.39	6.54	6.74
11.5	1.00	7.73	9.28	9.50	9.79
11.5	1.05	8.11	9.75	9.98	10.28
11.5	1.10	8.50	10.21	10.45	10.77
12.0	1.00	8.06	9.68	9.91	10.22
12.0	1.05	8.47	10.17	10.41	10.73
12.0	1.10	8.87	11.65	10.90	11.24

Таблица 5.3

Рекомендованные минимальные значения длительно допустимого рабочего напряжения U_0 (действующие значения) для ОПН-ВР/TEL

Сеть		U_0 , кВ			
$U_{пр}$, кВ	K_0	t = 0.5 с.	t = 2 часа	t = 6 часа	t = 24 часа
30.0	1.00	19.24	24.54	25.03	25.68
30.0	1.05	20.20	25.77	26.28	26.96
40.5	1.00	25.97	33.14	33.79	34.66
40.5	1.05	27.27	34.79	35.48	36.40

5.4. Проверка остаточного напряжения (при действии грозových перенапряжений)

5.4.1. При установке ОПН для защиты от грозových перенапряжений его номинальный разрядный ток принимают $I_{н} = 10$ кА в случаях:

- в районах с грозовой активностью более 50 грозových часов в год;
- в сетях с ВЛ на деревянных опорах;
- в схемах грозозащиты двигателей и генераторов, подключенных к ВЛ;
- в районах со степенью загрязнения атмосферы IV и больше, а также если ОПН размещен на расстоянии менее 1000 м от моря.

В других случаях принимают $I_{н} = 5$ кА.

Для всех ОПН производства предприятия «Таврида Электрик» номинальный разрядный ток $I_{н} = 10$ кА.

5.4.2. Проверка остаточного напряжения, выбранного ОПН, выполняется исходя из условия соответствия остаточному напряжению вентильного разрядника в соответствии с п. 4.1. При сопоставлении остаточного напряжения ОПН и вентильных разрядников следует учитывать, что разрядники делятся на четыре группы (табл. 5.4): группа I—тяжелого режима (защита от грозových и внутренних перенапряжений), группы II, III и IV—легкого режима (защита только от грозových перенапряжений).

Разрядники тяжелого режима (группы I) имеют наилучшие защитные свойства, то есть наименьшие значения остаточного напряжения. Это разрядники типа РВТ (эффективно ограничивающие ток) и РВРД (растягивающие дугу).

Разрядники группы II—это разрядники типов РВМ и РВМГ, которые используют магнитное дутье для гашения дуги.

Разрядники группы III — типа РВС (станционный).

Разрядники группы IV—типов РВП (подстанционный) и РВО (облегченный, для защиты сельских сетей).

5.4.3. Проверка значений U_3 ОПН/ТЕЛ согласно таблицам 3.1-3.3 на соответствие п. 5.4.2 показывает, что значения U_3 существенно меньше максимальных значений остаточного напряжения вентильных разрядников легкого режима группы IV для классов напряжения $U_{н} = 6$ и 10 кВ и группы III для 27 и 35 кВ.

5.4.4. Для I и II групп вентильных разрядников (табл. 5.4) не все ОПН «Таврида Электрик» обеспечивают достаточно низкие остаточные напряжения. В частности, для соответствующих вентильных разрядников группы II могут быть использованы только некоторые ОПН с минимальными значениями длительно допустимого рабочего напряжения, а именно: ОПН-КР/ТЕЛ-6/6,0; ОПН-РТ/ТЕЛ-6/6,0; ОПН-КР/ТЕЛ-10/10,5; ОПН-РТ/ТЕЛ-10/10,5. Необходимость использования ОПН других типов при условии их соответствия вентильным разрядникам II группы следует согласовывать с предприятием «Таврида Электрик» для возможного использования двух параллельно включенных ОПН в каждой фазе.

Таблица 5.4

**Максимальные значения остаточного напряжения U_r ,
вентильных разрядников**

$U_{кв}$, кВ	I_n , А	Группа I U_r , кВ	Группа II U_r , кВ	Группа III U_r , кВ	Группа IV U_r , кВ
6	5000	16	18	—	27
6	10000	18	20	—	—
10	5000	26,5	30	—	45
10	10000	30,5	33	—	—
27	5000	—	—	110	—
27	10000	—	—	120	—
35	5000	87	105	130	—
35	10000	98	116	143	—

^{*)} Указаны амплитудные значения тока I_n (5 кА и 10 кА) при импульсе тока 8/20 мкс.

5.4.5. При условии соответствия ОПН вентильным разрядникам группы I можно применять параллельно на одну фазу по два ограничителя типов ОПН-КР/ТЕЛ-6/6,0; ОПН-РТ/ТЕЛ-6/6,0 и ОПН-РТ/ТЕЛ-10/10,5 (в этом случае соответствующее требование необходимо сформулировать в заказе ОПН производителю). Необходимость использования ОПН других типов при условии их соответствия вентильным разрядникам I группы рекомендуется согласовывать с предприятием «Таврида Электрик» для возможного использования трех параллельно включенных ОПН в каждой фазе.

5.5. Проверка ОПН при воздействии энергии внутренних перенапряжений

5.5.1. Энергию W , которая выделяется в ОПН при коммутационных перенапряжениях, можно приблизительно определить по рекомендованной МЭК 60099-5 формуле

$$W = 0,5 C [(3 U_o)^2 - 2 U_{ном}^2], \quad (5.3)$$

где C —емкость сети, U_o —амплитуда наибольшего рабочего фазного напряжения, $U_{ном}$ —номинальное напряжение ОПН, 3—расчетная кратность коммутационных перенапряжений.

Поскольку емкость сети 6-35 кВ определяет ток однофазного замыкания на землю, который в большинстве случаев известен, а кратность внутренних перенапряжений часто превышает 3 (вследствие чего последней составляющей в формуле (5.3) можно пренебречь), то практически удобнее вычислять энергию W по полученному из (5.3) расчетному выражению

$$W = I_o K^2_{max} U_{нр}^2 / (3 \sqrt{3} \omega U_n), \quad (5.4)$$

где I_o —полный ток однофазного замыкания на землю при номинальном напряжении сети U_n без устройств компенсации нейтрали; K_{max} —максимальная кратность внутренних перенапряжений (при отсутствии специальных исследований следует принимать $K_{max} = 5$); $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$ —угловая частота. При подстановке в (5.4) I_o —в амперах (действ.), $U_{нр}$, U_n —в кВ (действ.), значение W получаем в кДж.

5.5.2. При отсутствии данных тока замыкания на землю I_o его можно вычислить с помощью удельных величин I_o/L (А/км) тока замыкания на землю в кабельных и воздушных линиях, которые составляют для воздушной линии и кабельной линии при напряжении:

$$U_n = 6 \text{ кВ: ВЛ—}0,015 \text{ А/км; КЛ—}0,9 \text{ А/км;}$$

$$U_n = 10 \text{ кВ: ВЛ—}0,025 \text{ А/км; КЛ—}1,1 \text{ А/км;}$$

$$U_n = 35 \text{ кВ: ВЛ—}0,110 \text{ А/км; КЛ—}4,0 \text{ А/км.}$$

Более точно ток замыкания на землю I_o определяется формулой

$$I_o = \sqrt{3} U_n \omega C,$$

где C —частичная емкость фазы на землю (выраженная в фарадах, Ф), равная произведению погонной частичной емкости $C_{н}$ на длину L линии электропередачи ($C = C_{н} L$); U_n —в вольтах.

Средние значения погонной частичной емкости фазы на землю C_{11} для ВЛ 6-10 кВ составляют 4 нФ/км (то есть $4 \cdot 10^{-9}$ Ф/км), для ВЛ 27—35 кВ составляют 5 нФ/км. Для кабельных линий соответствующие значения этой емкости в зависимости от класса напряжения и площади сечения жилы кабеля приведены в таблицы 5.5.

Таблица 5.5

Погонная частичная емкость C_{11} фазы кабеля на землю

(при классах напряжения 6 и 10 кВ—для трехжильных кабелей с поясной изоляцией, при 35 кВ—для кабелей с отдельно освинцованными жилами)

Сечение жилы кабеля, мм ²	C_{11} , нФ/км при $U_{нп} = 6$ кВ	C_{11} , нФ/км при $U_{нп} = 10$ кВ	C_{11} , нФ/км при $U_{нп} = 35$ кВ
25	160	130	—
35	170	150	—
50	200	160	—
70	220	170	180
95	240	200	200
120	260	210	240
150	290	250	260
185	300	250	280
24	320	260	310
300	—	—	330

5.5.3. Расчетная энергия W , выделяющаяся в ОПН при внутренних перенапряжениях, должна быть меньше или равняться значению энергии, поглощаемой выбранным ОПН согласно его техническим характеристикам, приведенным в таблицах 3.1-3.3.

Результаты расчетов по (5.4) энергии, которая выделяется в ОПН при внутренних перенапряжениях в зависимости от $I_{ор}$, $U_{нп}$, $U_{н}$ при $K_{тmax} = 5$ приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6

Расчетные значения энергии W , которая выделяется в ОПН при внутренних перенапряжениях

Ток $I_{ор}$, А	Энергия W , кДж при		
	$U_{н}=6$ кВ, $U_{нп}=7.2$ кВ	$U_{н}=10$ кВ, $U_{нп}=12$ кВ	$U_{н}=35$ кВ, $U_{нп}=40.5$ кВ
10	1.32	2.2	7.72
20	2.65	4.41	15.45
30	3.97	6.62	23.17
40	5.30	8.83	30.89
50	6.62	11.03	38.61
100	13.24	22.06	77.23
150	19.86	33.10	115.84
200	26.48	44.13	154.45

6. ПРИМЕРЫ ВЫБОРА ОПН

6.1. Кабельная сеть 6 кВ с исходными параметрами:

- класс напряжения—6 кВ;
- наибольшее рабочее напряжение сети в месте установки ОПН—6,9 кВ (табл.1.1);
- наличие в данной сети воздушных линий электропередачи в ненаселенной местности—нет;
- продолжительность однофазного замыкания на землю— $t=0,5$ с;
- наличие устройства автоматического шунтирования поврежденной фазы (АШФ)—отсутствует;
- кратность внутренних перенапряжений $K_{max}=5$ (п.5.5.1);
- ток однофазного замыкания на землю (без учета устройства компенсации)—отсутствуют точные данные;
- протяженность кабельных линий в данной сети составляет 50 км;
- установка ОПН—внутренняя;
- группа вентильного разрядника (соответствующего ОПН)—II.

Выбор ОПН

1. Определяем сначала возможность использования ОПН серии КР.
2. За исходные параметры сети принимаем (п.5.3): $K_o=1,05$ —в ненаселенной местности ВЛ отсутствует, но возможна несимметрия нагрузки.
3. По табл. 5.1 для $U_{np}=6,9$ кВ и $K_o=1,05$ находим $U_o=5,19$ кВ при $t=0,5$ с.
4. Согласно табл.3.1 все ОПН серии КР имеют продолжительно допустимое рабочее напряжение $U_o \geq 6,0$ кВ. По этому параметру выбираем ОПН-КР/TEL-6/6,0.
5. Поскольку требуется ОПН для внутренней установки, выбираем ограничитель типа ОПН-РТ/TEL-6/6,0-УХЛ2.
6. Остаточное напряжение при $I_n=10$ кА (8/20 мкс) составляет $U_s=19,0$ кВ.
7. Соответствующий вентильный разрядник II группы обеспечивает остаточное напряжение $U_s=20$ кВ (табл.5.4). Поэтому выбранный ОПН со значением U_o отвечает исходным параметрам.
8. Расчет энергии, которая выделяется в ОПН при внутренних перенапряжениях, определяем по полному току однофазного замыкания на землю I_o . Поскольку этот ток не указан, используем приведенную выше оценку I_o/L (п.5.5.2): при $U_n=6$ кВ для кабельных линий удельный ток замыкания на землю составляет 0,9А/км. Для данной сети протяжность КЛ равняется 50 км, что отвечает току $I_o=0,9$ А/км \times 50 км = 45 А.
9. По формуле (5.4) определяем, что при $U_n=6$ кВ, $U_{np}=6,9$ кВ и токе $I_o=45$ А энергия W , которая выделяется при внутренних перенапряжениях, составляет

$$W = \frac{45 \cdot 5^2 \cdot 6,9^2}{(3 \cdot \sqrt{3} \cdot 314 \cdot 6)} = 5,47 \text{ кДж.}$$

10. По данным «Таврида Электрик», энергия, которая поглощается выбранным ограничителем, табл.3.1, достигает 21,6 кДж. Итак, можно рекомендовать к применению в данном случае ограничитель ОПН-КР/TEL-6/6,0-УХЛ2.

6.2. Воздушная сеть 10 кВ с исходными параметрами:

- класс напряжения—10 кВ;
- наибольшее рабочее напряжение сети в месте установки ОПН—11,5 кВ (табл.1.1);
- наличие в данной сети воздушных линий электропередачи в ненаселенной местности—есть;
- допустимая продолжительность однофазного замыкания на землю—ограничений нет (принимаем по п.5.1.2 расчетную продолжительность $t=24$ часа);
- наличие устройства автоматического шунтирования поврежденной фазы (АШФ)—отсутствует;
- кратность внутренних перенапряжений $K_{max}=5$ (п.5.5.1);
- ток однофазного замыкания на землю (без учета устройства компенсации)—отсутствуют точные данные; протяженность воздушных линий в данной сети составляет 150 км;
- установка ОПН—внешняя (степень загрязнения атмосферы-I);
- группа вентильного разрядника (соответствующего ОПН)—IV.

Выбор ОПН

1. Поскольку установка ОПН внешняя, выбираем ограничитель серии ОПН-КР/ТЕЛ.
2. Для этого ограничителя (табл. 5.1) для $U_{нр}=11,5$ кВ и $K_0=1,1$ при $t=24$ часа находим $U_0=11,20$ кВ.
3. Согласно табл.3.1 выбираем ОПН-КР/ТЕЛ-10/11,5.
4. Поскольку требуется ОПН для внешней установки, выбираем ограничитель типа ОПН-КР/ТЕЛ-10/11,5-УХЛ1.
5. Остаточное напряжение при $I_n=10$ кА (8/20 мкс) составляет $U_3=35,8$ кВ, а при $I_n=5$ кА (8/20 мкс)— $U_3=33,3$ кВ.
6. Соответствующий вентильный разрядник IV группы обеспечивает остаточное напряжение при токе 5 кА (8/20 мкс) $U_3=45$ кВ (табл. 5.4). Итак, выбранный ОПН по значению U_3 отвечает исходным параметрам.
7. Расчет энергии, которая выделяется в ОПН при внутренних перенапряжениях, проводим по полному току однофазного замыкания на землю I_0 . Поскольку этот ток не указан, используем приведенную выше (п.5.5.2) оценку I_0/L : при $U_n=10$ кВ для воздушных линий удельный ток замыкания на землю составляет 0,025 А/км. Для данной сети протяженность ВЛ равняется 150 км, что соответствует току $I_0=0,025$ А/км \times 150 км = 3,75 А.
8. По формуле (5.4) определяем, что при $U_n=10$ кВ, $U_{нр}=11,5$ кВ и токе $I_0=3,75$ А энергия W , которая выделяется при внутренних перенапряжениях, составляет

$$W = \frac{3,75 \cdot 5^2 \cdot 11,5^2}{(3\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 10)} = 0,76 \text{ кДж.}$$
9. По данным «Таврида Электрик», энергия, которая поглощается выбранным ограничителем, табл.3.1, достигает 41,4 кДж. Итак, в рассмотренном случае можно рекомендовать к применению ограничитель ОПН-КР/ТЕЛ-10/11,5-УХЛ1.

6.3. Смешанная (воздушно-кабельная) сеть 35 кВ с исходными параметрами:

- класс напряжения—35 кВ;
- наибольшее рабочее напряжение сети в месте установки ОПН—40,5 кВ (табл. 1.1);
- наличие в данной сети воздушных линий электропередачи в ненаселенной местности—для 35 кВ не учитывается, поскольку все опоры этого класса заземлены;
- допустимая продолжительность однофазного замыкания на землю— $t=6$ часов;
- наличие устройства автоматического шунтирования поврежденной фазы (АШФ)—отсутствует;
- кратность внутренних перенапряжений: $K_{max}=5$ (п.5.5.1);
- ток однофазного замыкания на землю (без учета устройства компенсации)— $I_0=100$ А;
- установка ОПН—внутренняя (степень загрязнения атмосферы-I);
- группа вентильного разрядника (соответствующего ОПН)—III.

Выбор ОПН

1. Выбираем ограничитель серии ОПН-ВР/ТЕЛ.
 2. За исходные параметры принимаем $K_0=1,05$ —т.к. возможна несимметричная нагрузка.
 3. Для этого ограничителя для $U_{нр}=40,5$ кВ и $K_0=1,05$ при $t=6$ часов по таблице 5.3 находим $U_0=35,48$ кВ.
 4. Согласно табл. 3.3 выбираем ОПН-ВР/ТЕЛ-35/40,5-УХЛ1.
 5. Остаточное напряжение при $I_n=10$ кА (8/20 мкс) составляет $U_3=130$ кВ.
 6. Соответствующий вентильный разрядник III группы обеспечивает остаточное напряжение $U_3=143$ кВ (табл. 5.4).
- Итак, выбранный ОПН по значению U_3 отвечает исходным параметрам.
7. Расчет энергии W , выделяемой в ОПН при внутренних перенапряжениях, проводим по формуле (5.4) при $I_0=100$ А и при $U_n=35$ кВ, $U_{нр}=40,5$ кВ:

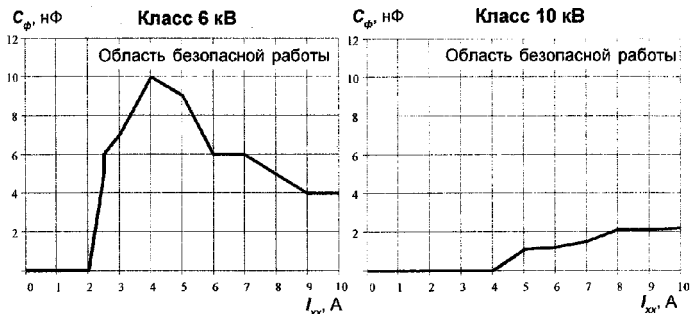
$$W = \frac{100 \cdot 5^2 \cdot 40,5^2}{(3 \sqrt{3} \cdot 314 \cdot 35)} = 71,8 \text{ кДж.}$$

8. По данным «Таврида Электрик», энергия, которая поглощается выбранным ограничителем, достигает 223 кДж.
- Итак, в рассмотренном случае можно рекомендовать к применению ограничитель ОПН-ВР/ТЕЛ-35/40,5-УХЛ1.

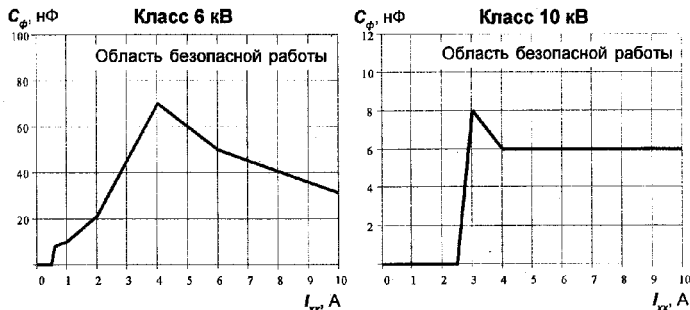
ПРИЛОЖЕНИЕ

Области безопасной работы для силовых трансформаторов в присоединениях с вакуумными выключателями

Для трансформаторов с нормальной изоляцией



Для трансформаторов с облегченной изоляцией



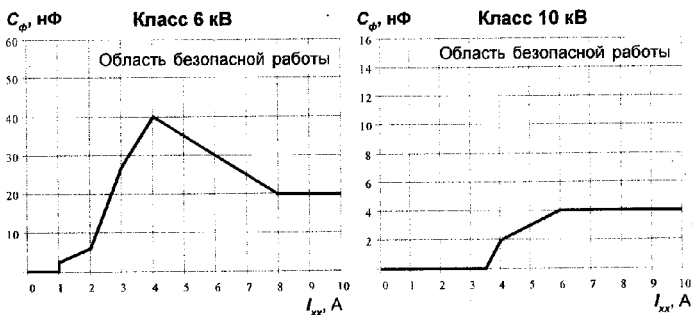
В случае нахождения режимов электроустановок в зоне ниже приведенных кривых трансформаторы необходимо защитить комплектом ОПН.

Фазную емкость присоединения C_{ϕ} (нФ) определяют по погонной частичной емкости C_{11} (нФ/км) на землю фазы кабеля (табл. 5.5), который соединяет силовой трансформатор и вакуумный выключатель, по выражению

$$C_{\phi} = C_{11} \cdot l / 1000$$

где l — длина кабеля в метрах.

Для электропечных трансформаторов с облегченной изоляцией



Ток холостого хода I_{xx} (А) определяют по паспортным данным силового трансформатора.

Выбор ОПН для ограничения внутренних перенапряжений осуществляют по продолжительно допустимому рабочему напряжению (п. 5.3), нагрузке энергии ВП (п. 5.5) и климатическим исполнениям.

Желательное место установления ОПН—присоединение к зажимам линейных токоприемников и корпусу трансформатора (оболочки кабеля). Допускается присоединение ОПН к началу кабеля, если его длина не превышает $L=200$ м.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16357—83. Разрядники вентильные переменного тока на номинальное напряжение от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия.
2. IEC 60099-4 (1991). Surge arresters, Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems.
3. Вакуумное коммутационное оборудование. Перенапряжения. Исследования, рекомендации—Севастополь: Предприятие «Таврида Электрикс», 1997.—59с.
4. Перенапряжения в электрических сетях. Проблемы и опыт эксплуатации. Рекомендации к применению нелинейных ограничителей перенапряжений.—Севастополь: Предприятие «Таврида Электрикс», 2000.—60с.
5. ГОСТ 1516.3—96. Межгосударственный стандарт. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.—Киев: Госстандарт Украины, 1999.—50 с.
6. Правила устройства электроустановок.—М.: Энергоатомиздат, 1987.—648 с.
7. Руководство по защите электрических сетей 6—1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / Под ред. Н.Н.Тиходеева. 2-ое изд.—Санкт-Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.—353 с.
8. ГОСТ 1516.1—76. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 3 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.
9. Сантоцкий В.Г., Соколовский С.А., Козюра В.Н. Вероятность грозových отключений ВЛ 10 кВ на железобетонных опорах // Энергетическое строительство.—1989.—№11.—с. 52—53.
10. Техника высоких напряжений. Под редакцией М.В.Костенко.—М.: Высшая школа, 1973.—528 с.
11. Костенко М.В., Богатенков И.М., Михайлов Ю.А., Халилов Ф.Х. Квазистационарные перенапряжения в энергосистемах.—Л.: ЛПИ, 1987.—73 с.
12. Перенапряжения в сетях 6—35 кВ / Ф.А. Гиндуллин, В.Г.Гольдштейн, А.А.Дульзон, Ф.Х.Халилов.—М.: Энергоатомиздат, 1989.—192 с.
13. IEC 60099-5 (1996). Surge arresters, Part 5: Selection and application recommendations.
14. Исследования перенапряжений в сетях 6—35 кВ Киевэнерго и разработка методических рекомендаций по выбору и применению ограничителей перенапряжений. Отчет о НИР (заключительный). НТУУ «КПИ»; руков. В.А.Бржезицкий, исполнит. О.С. Ильенко, С.А. Соколовский.—Киев, 1999.—60 с.
15. Interruption of small inductive currents. Chapter 3. Part A.—Elektra, 1981, N 75.

16. Roguski A.T. Experimental investigation of the dielectric recovery strength between the separating contracts of vacuum circuit breakers.—IEEE Trans. on Power Delivery. 1989, vol.4, N4, Apr.

17. Perkins J.F., Bhasavanich D. Vacuum switcher application study with reference to switching surge protection.—IEEE Trans. on Industry Application Delivery. 1983, vol.19, N 5, Sept.

18. Matsui Y., Yokoyama T., Umeya E. Reignition current interruption characteristics of the vacuum interrupters.—IEEE Trans. on Power Delivery. 1988, vol.3, N 4, Okt.

19. Кузьмичева К.И., Подъячев В.Н., Шлейфман И.Л. Ограничение перенапряжений при отключении вакуумными выключателями пусковых токов электродвигателей с помощью ОПН // электрические станции.—1996, N4, с.45—49.

20. Colombo E., Costa G., Piccarreta L. Results of an investigation on the overvoltages due to a vacuum circuit-breaker when switching an H.V. motor.—IEEE Trans. on Power Delivery. 1988, vol.3, N 1, Jan.

21. Gibbs J.D., Koch D., Malkin Dr.P., Cornick K.J. Comparison of performance of switching technologies on E cigre motor simulation circuit.—IEEE Trans. on Power Delivery. 1989, vol.4, N 3, July.

22. Ограничители перенапряжений нелинейные типа ОПН-ВР/ТЕL27(35). Технические условия ТУ У25123867.004-200.—Севастополь, 2000.—26 с.

23. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.—Киев: Госстандарт Украины, 1999.

24. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6—35 кВ. Утверждено департаментом научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» 27.04.2001 г.—М.: РАО ЕЭС России, 2001.—74 с.

25. ГҚД 34.51.101—96. Вибір та експлуатація зовнішньої ізоляції електроустановок 6—750 кВ на підприємствах Міненерго України. Інструкція.—Київ. ДП «Науково-інженерний енергосервісний центр», 1999.—106 с.

Ваши отзывы и предложения
просим присылать по адресу:

ООО "Предприятие "Таврида Электрик Украина"
03680 г. Киев, ул. Гарматная, 2
Тел.: +380(44) 338-69-25; +380(44) 455-57-51
E-mail: telu@tavrida.com
www.tavrida-ua.com