



МІНІСТЕРСТВО ПАЛИВА ТА ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

НАКАЗ

02.08.2001

Київ

№ 4

Про затвердження Методичних вказівок
з вибору обмежувачів перенапруг

З метою широкого впровадження для захисту електроустаткування електромереж напругою 6-35 кВ від комутаційних та грозових перенапруг обмежувачів перенапруг нелінійних (далі ОПН),
НАКАЗУЮ:

1. Затвердити розроблені Київським національним університетом "Київський політехнічний інститут" Методичні вказівки з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних виробництва підприємства "Таврида Електрик" для електричних мереж напругою 6-35 кВ".

2. Галузевим проектним інститутам при виконанні проектів будівництва, реконструкції та технічного переозброєння електромереж керуватись зазначеними Методичними вказівками для вибору ОПН виробництва "Таврида Електрик".

3. Енергопостачальним та енергогенеруючим компаніям:

3.1. При виконанні заміни існуючих засобів захисту електромереж від комутаційних та грозових перенапруг на ОПН виробництва "Таврида Електрик" вибір обмежувачів здійснювати згідно з даними Методичними вказівками.

3.2. Включити в програму навчання підвідомчого персоналу відповідних підрозділів компаній вивчення методики вибору ОПН, приведеної у зазначених Методичних вказівках.

4. Взяти до відома, що забезпечення Методичними вказівками всіх енергопостачальних компаній і галузевих проектних інститутів бере на себе підприємство "Таврида Електрик".

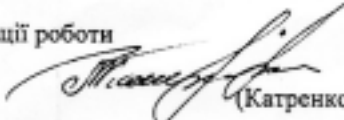
5. Контроль за виконанням цього наказу покласти на Управління координації роботи електричних мереж (Меженного).

В.о. директора

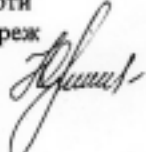
Дацишин Б.Я.

Лист погодження до наказу "Про затвердження Методичних
вказівок з вибору обмежувачів перенапруг"

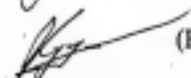
Підготовлений: Управління координації роботи
електричних мереж



(Катренко Г.М.)

Погоджений з: Управлінням координації роботи
електростанцій і теплових мереж


(Орлов Ю.А.)

Перевірений: юрисконсультom
редактором


(Куш О.С.)


(Чиргун Л. В.)

Виконавець: Ольшанська
229-99-78



Міністерство палива та енергетики України
Державний департамент електроенергетики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних
виробництва підприємства «Таврида Електрик»
для електричних мереж 6 – 35 кВ**

РОЗРОБЛЕНО Національним технічним університетом України
“Київський політехнічний інститут”.
Кафедра техніки та електрофізики
високих напруг

ВИКОНАВЦІ: В.О.Бржезицький,
В.К.Бєляєв,
О.С.Ільєнко,
С.А.Соколовський

УЗГОДЖЕНО Управлінням координації роботи електричних
мереж

ЗАТВЕРДЖЕНО Наказом Державного департаменту
електроенергетики Мінпаливенерго України
від 02.08.2001 № 4.

Без обмеження терміну дії

ЗАПРОВАДЖЕНО ВПЕРШЕ

Цей нормативний документ не може бути тиражований і розповсюджений
без дозволу підприємства «Таврида Електрик».

В С Т У П

Останнім часом на заміну традиційних вентиляльних розрядників змінного струму прийшли нові електричні апарати високої напруги—обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН), які в порівнянні з розрядниками більш глибоко обмежують комутаційні та грозові перенапруги. Заміна вентиляльних розрядників на ОПН співпала з вичерпуванням ресурсів ізоляції електрообладнання, встановленого в післявоєнні роки. При цьому ефективне обмеження перенапруг за допомогою порівняно дешевих ОПН дає значний економічний ефект у зберіганні ресурсів електрообладнання, що є особливо актуальним для України.

Маючи значні переваги у порівнянні з вентиляльними розрядниками, ОПН характеризуються більш широким набором параметрів, що ускладнює їх оптимальний вибір до умов експлуатації. Крім того, перехід до ринкових умов призвів до появи в Україні зразків ОПН різних фірм з різноманітними характеристиками, що ще більш загостило ситуацію з практичним вибором ОПН.

Керівництво цими методичними матеріалами по виборі ОПН виробництва підприємства «Таврида Електрик» надасть можливість фахівцям також орієнтуватись при виборі ОПН інших фірм.

Слід відзначити, що в ринкових умовах зростає відповідальність практичних спеціалістів за вирішення конкретних науково-практичних проблем свого підприємства. Від рівня їх знань, освіти, ступеня вивчення «своїх об'єктів» залежить ефективність вироблених ними пропозицій. З огляду на це, розроблені Методичні вказівки підготовлені для широкого кола практичних фахівців різних спеціальностей, що обдумовило їх побудову та зміст.

Зміст Методичних вказівок ґрунтується на чинних нормативних документах та стандартах України, СНД, рекомендаціях 60099-4 та 60099-5 Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК), а також на результатах досліджень виконавців.

Методичні вказівки з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних виробництва підприємства «Таврида Електрик» для електричних мереж напругою 6—35 кВ.

УДК 621.317.2

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Галузь використання

Ці методичні вказівки призначені для використання при виборі нелінійних обмежувачів перенапруг підприємства «Таврида Електрик» для електричних мереж України напругою 6—35 кВ.

1.2. Нормативні посилання

У цих методичних вказівках є посилання на такі нормативні документи.

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 Міненерго 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-ое изд.—Санкт-Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.—353 с.

Ограничители перенапряжений нелинейные типа ОПН-ВР/TEL27(35). Технические условия ТУ У25123867.004-200.—Севастополь, 2000.—26 с.

1.3. Визначення

У цих Методичних вказівках застосовуються такі терміни і визначення (англійський текст відповідно до рекомендацій МЕК 60099-4).

1.3.1. Обмежувач перенапруги нелінійний (ОПН)—апарат на основі мета-лооксидних варисторів без іскрових проміжків, призначений для обмеження перенапруг.

1.3.2. Клас напруги електрообладнання—номінальна міжфазна напруга електричної мережі, для роботи в якій призначене електрообладнання.

1.3.3. Найбільша робоча напруга електрообладнання—найбільша напруга частоти 50 Гц, необмежена (у часі), прикладення якої до зажимів різних фаз (полюсів) електрообладнання допустиме по умовам роботи його ізоляції ($U_{нр}$).

Найбільша робоча напруга електрообладнання не враховує допустимі для його ізоляції короточасні, тривалістю до 20 с, підвищення напруги частотою 50 Гц в аварійних умовах та тривалі підвищення напруги частоти 50 Гц, які можливі в експлуатації.

Значення номінальної і найбільшої тривало допустимої робочої напруги електричної мережі відповідно до класів напруги та найбільшої робочої напруги електрообладнання наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Клас напруги електрообладнання	Найбільша робоча напруга електрообладнання	Номінальна напруга електричної мережі	Найбільша тривало допустима напруга в електричній мережі
кВ	кВ	кВ	кВ
6	7.2	6.0	6.9
		6.6	7.2
10	12	10.0	11.5
		11.0	12.0
27	30	27	30
35	40.5	35	40.5

1.3.4. Перенапругою може бути названа будь-яка, обмежена певним чином у часі, напруга, амплітудне значення якої $U_{пн}$ перевищує амплітудне значення відповідної найбільшої робочої напруги, причому їх відношення визначається як кратність перенапруги K . Для ізоляції електрообладнання фаза-земля

$$K = \frac{U_{пн}}{\sqrt{2} U_{нр} / \sqrt{3}},$$

де $U_{нр}$ —відповідна найбільша робоча напруга. До перенапруг, які суттєво обмежують ресурс роботи ізоляції, відносяться напруги з $K > 2$.

1.3.5. Розрядний струм ОПН (discharge current)—імпульс струму, що протікає через ОПН (I_p).

Виділяють такі види розрядного струму ОПН:

- імпульс струму з крутим фронтом**—розрядний струм із формою імпульсу 1/(2—20) мкс (тривалість фронту 1 мкс, тривалість імпульсу 2—20 мкс);
- імпульс струму великої амплітуди**—розрядний струм із формою імпульсу 4/10 мкс;
- грозовий імпульс струму**—розрядний струм із формою імпульсу 8/20 мкс.
- комутаційний імпульс струму**—розрядний струм із формою імпульсу 30/60 мкс (тривалість фронту 30—100 мкс, тривалість імпульсу дорівнює подвійному часу фронту).
- «довгий» імпульс струму**—імпульс струму прямокутної форми, тривалістю 2—4 мс.

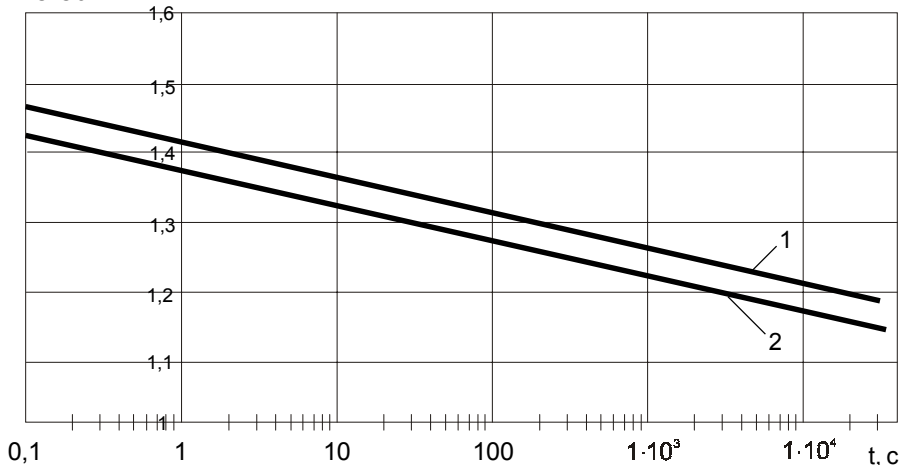
1.3.6. Залишкова напруга ОПН (residual voltage)—найбільше значення напруги на виводах ОПН при протіканні того або іншого розрядного струму (U_z).

1.3.7. Тривало допустима робоча напруга ОПН (continuous operating voltage)—найбільше діюче значення напруги частоти 50 Гц, що може бути підведена до виводів ОПН необмежено довго в межах терміну його експлуатації (U_d).

ОПН при впливі U_d повинний зберігати працездатність відповідно до вимог чинних нормативних документів. Зазначений параметр за змістом цілком збігається з тривало допустимою робочою напругою вентиляного розрядника.

ОПН-КР

$$T=U/U_d$$



Мал. 1.1а. Вольт часові характеристики ОПН-КР.

1—до навантаження; 2—після навантаження енергією, що еквівалентна впливу одного імпульсу струму великої амплітуди (4/10 мкс).

1.3.8. Вольт-часова характеристика ОПН—залежність кратності напруги $T=UI\vartheta$, яку може витримувати ОПН від часу її впливу t .

Ця характеристика дає змогу визначити допустимий проміжок часу (t), протягом якого ОПН, що попередньо піддавався нормованому випробувальному навантаженню, може бути під впливом напруги U частоти 50 Гц заданої кратності T . Вольт-часові характеристики ОПН «Таврида Електрик» зображені на мал. 1.1(а—в).

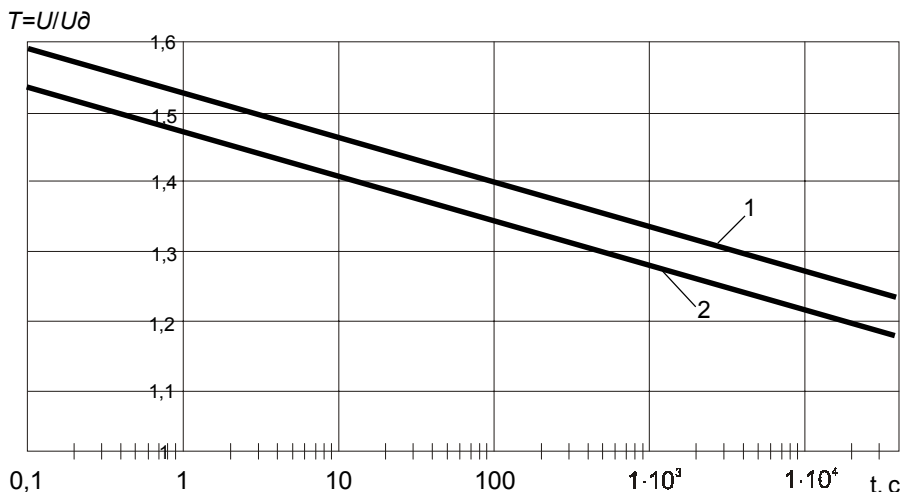
Значення кратності напруги, що знаходяться нижче вольт-часової характеристики, є допустимими для даного типу ОПН. При виборі ОПН повинна використовуватись вольт-часова характеристика, задана для обмежувача, що попередньо піддавався нормованим випробувальним навантаженням, які визначені МЕК 60099-4 відповідно до величини номінального розрядного струму і класу пропускної здатності (криві 2 на мал. 1.1).

1.3.9. Номінальний розрядний струм (nominal discharge current)—амплітудне значення грозового імпульсу струму (форма 8/20 мкс), що використовується для класифікації ОПН (I_H).

Величина I_H впливає на захисні характеристики ОПН і допустимі струмові й випробувальні навантаження на ОПН. Зокрема, у залежності від I_H змінюється значення амплітуди імпульсів струму великої амплітуди (4/10 мкс), що використовуються при випробуваннях і визначенні характеристик ОПН.

I_H , кА	$I_{4/10}$, кА
5	65
10	100

ОПН-РТ



Мал. 1.16. Вольт часові характеристики ОПН-РТ.

1—до навантаження; 2—після навантаження енергією, що еквівалентна впливу двом «довгим» імпульсам струму (2000мкс).

1.3.10. Захисні характеристики ОПН (protective characteristics)—комбінація залишкової напруги ОПН при впливі розрядних струмів різної амплітуди і форми, серед яких виділяють:

—**грозовий рівень захисту**—залишкова напруга ($U_{зг}$), при впливі I_H ;

—**комутаційний рівень захисту**—найбільша із залишкових напруг ($U_{зк}$) при впливі комутаційних імпульсів струму з нормованими амплітудами.

Орієнтовні захисні характеристики ОПН/TEL наведені у графіках на мал.1.2 та у вигляді таблиць 3.1—3.3 (для кожного типу ОПН).

1.3.11. Клас пропускної здатності (line discharge class—клас розряду лінії)—здатність ОПН витримувати нормовані відповідно до МЕК 60099-4 випробувальні енергетичні навантаження (можливість поглинати енергію перенапруг без утрати працездатності).

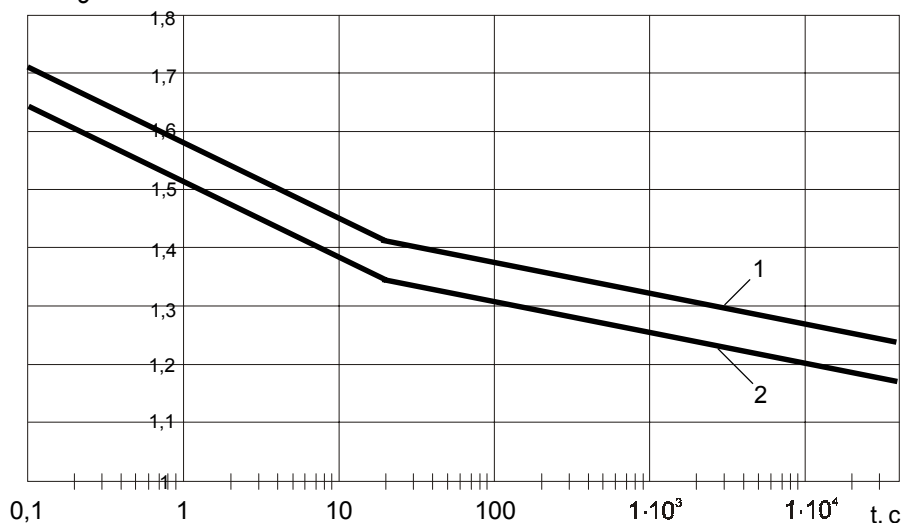
Відповідно до рекомендацій МЕК передбачаються п'ять класів пропускної здатності (від 1 до 5). Чим більше клас пропускної здатності, тим більшу енергію перенапруг може поглинати ОПН, зберігаючи свої захисні властивості.

Для підтвердження пропускної здатності, відповідно до МЕК 60099-4, проводяться спеціальні випробування, у ході яких варистори ОПН повинні витримати вплив 18 «довгих» імпульсів струму, параметри яких залежать від класу пропускної здатності і номінальної напруги ОПН.

У залежності від класу пропускної здатності та I_H , нормуються параметри і вид імпульсів струму, впливи яких ОПН повинен гарантовано витримати в випробуваннях робочого режиму, проведених відповідно до МЕК 60099-4.

ОПН-ВР

$$T=U/U_0$$



Мал. 1.1в. Вольт часові характеристики ОПН-ВР.

1—до навантаження; 2—після навантаження енергією, що еквівалентна впливу двом «довгим» імпульсам струму (2000мкс).

Клас пропускної здатності, а також величини імпульсів струму і відповідних випробувальних навантажень на ОПН/TEL у ході вказаних випробувань наводяться в таблицях 3.1-3.3.

1.3.12. Класифікаційний струм (reference current)—амплітуда активної складової струму промислової частоти через ОПН, при якій визначається класифікаційна напруга.

Цей струм приводиться виробником і використовується в приймально-здавальних випробуваннях. Для ОПН/TEL класифікаційний струм дорівнює 1,4 мА для ОПН-КР і 2,0 мА для ОПН-РТ і ОПН-ВР.

1.3.13. Класифікаційна напруга (reference voltage) відповідно до МЕК 60099-4—поділене на $\sqrt{2}$ амплітудне значення напруги промислової частоти, яка прикладається до ОПН, щоб через нього протікав класифікаційний струм.

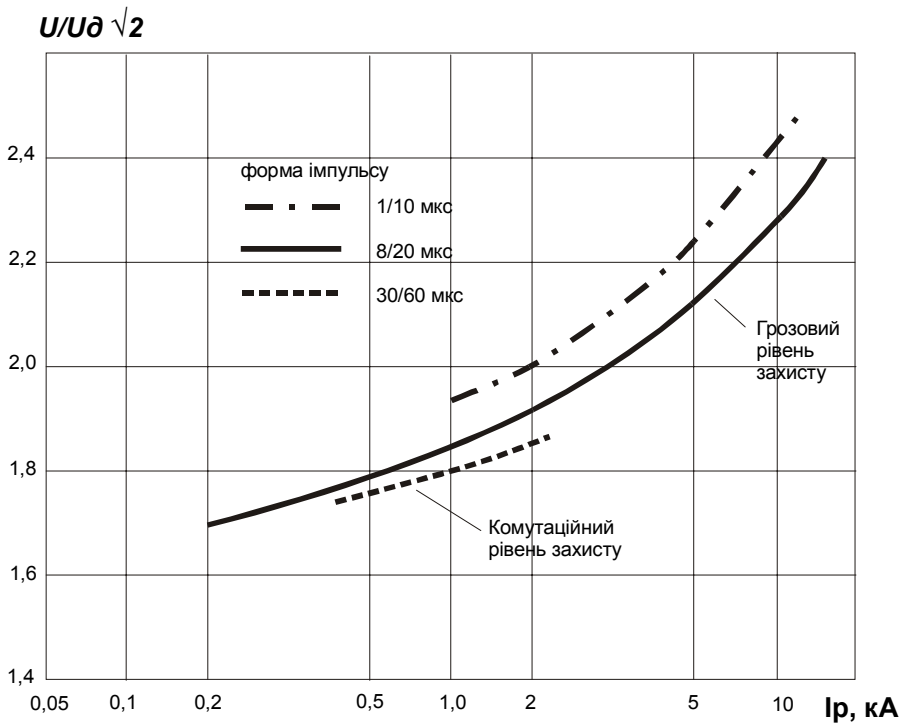
Ця напруга використовується в приймально-здавальних випробуваннях і її значення повинно фіксуватися виробником (табл. 3.1—3.2 для ОПН/TEL).

1.3.14. Струм провідності ОПН—максимально допустиме амплітудне значення струму при прикладанні до виводів обмежувача серії ОПН/TEL напруги U_{∂} . Дане значення може використовуватися для грубого контролю стану ОПН (табл. 3.1—3.3).

1.4. Позначення і скорочення

У цих методичних вказівках застосовуються такі позначення і скорочення:

АПВ	—автоматичне повторне включення;
АШФ	—автоматичне шунтування фази;
ОПН	—обмежувач перенапруг нелінійний;
ОПН/TEL	—обмежувач перенапруг виробництва підприємства «Таврида Електрик»;
ПН	—перенапруга;
ПЛ	—повітряна лінія електропередачі;
$U_{пн}$	—амплітудне значення перенапруги;
K	—кратність перенапруги по відношенню до амплітуди найбільшої фазної робочої напруги;
U_n	—номінальна напруга електричної мережі (лінійна);
$U_{нр}$	—найбільша тривало допустима робоча напруга електромережі (лінійна);
U_z	—залишкова напруга ОПН;
U_{∂}	—тривало допустима робоча напруга ОПН;
U	—напруга частоти 50 Гц;
T	—кратність напруги U по відношенню до U_{∂} ;
t	—проміжок часу;
I_n	—номінальний розрядний струм;
$U_{зз}$	—грозовий рівень захисту;
$U_{зк}$	—комутаційний рівень захисту.



Мал. 1.2. Захисні характеристики ОПН/TEL.

2. ПЕРЕНАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

За причиною виникнення перенапруги поділяються на грозові (зовнішні) та внутрішні.

2.1. Грозові перенапруги

2.1.1. Джерелом грозових перенапруг (ПН) в електричних мережах є блискавка, що являє собою електричний розряд з хмари в електроустановку (ПН прямого удару) або поблизу неї в землю (індуктовані ПН).

2.1.2. Грозова активність (інтенсивність грозової діяльності) у певній місцевості визначається числом n_g грозових годин за рік. В Україні, на основній частині території, число грозових годин за рік складає 60—80. У регіоні, що включає області Луганську, Харківську, північну частину Херсонської, Запорізької, Донецької і східну частину Дніпропетровської областей число грозових годин за рік становить 80—100. В Івано-Франківській області число грозових годин за рік n_g є максимальним і складає більше 100. В Ужгородській і Чернівецькій областях, а також у південних частинах Львівської, Тернопільської, Хмельницької і Вінницької областей число грозових годин за рік сягає 80—100. У Криму число грозових годин за рік становить 40—60, у районі Києва—100 годин.

2.1.3. Густина p_o ударів блискавки в землю (середнє число ударів у 1 кв.км за 1 грозову годину) звичайно складає $p_o = 0,07$ уд/(кв.км.год.). Для підвищення точності розрахунків необхідно користуватися статистичними даними регіональних метеостанцій. При 100 грозових годинах на рік має місце близько 40 прямих ударів блискавки на кожні 100 кілометрів повітряних ліній електропередачі 6-35 кВ.

2.1.4. Статистичними величинами є також параметри блискавки—амплітуда струму I_o , тривалість фронту T_ϕ , крутизна фронту s , тривалість імпульсу T_i . Розрахунок електроустановок на грозостійкість проводиться з урахуванням ймовірності перевищення заданих параметрів, які визначені в табл. 2.1—2.4.

Таблиця 2.1

Розподілення амплітуди I_o струмів блискавки

Амплітуда I_o, кА	10	20	30	40	50	60	80	120	150	180	200
Ймовірність перевищення $P(I_o)$	0.95	0.7	0.5	0.35	0.25	0.18	0.09	0.028	0.015	0.008	0.005

Таблиця 2.2

Розподілення тривалості T_ϕ фронту струмів блискавки

Тривалість T_ϕ, мкс	0.9	1.5	2.3	3.0	4.0	5.8
Ймовірність перевищення $P(T_\phi)$	0.95	0.75	0.50	0.35	0.20	0.05

Таблиця 2.3

Розподілення крутизни s фронту струмів блискавки

Максимальна крутизна s, кА/мкс	9.0	15	25	40	65
Ймовірність перевищення $P(s)$	0.95	0.75	0.50	0.20	0.05

Таблиця 2.4

Розподілення тривалості T_i імпульсів струмів блискавки

Тривалість T_i , мкс	30	50	70	100	150	200
Ймовірність перевищення $P(T_i)$	0.95	0.68	0.50	0.30	0.15	0.05

2.1.5. Після нейтралізації у першому розряді блискавки одного скупчення зарядів у хмарі відбувається розряд на сусідні скупчення, і тому по каналу першого розряду розвивається декілька (найчастіше два-три) повторних імпульсів струму. Крутизна фронту у них значно більша, бо розвиваються вони по вже існуючому каналу. Загальна тривалість серії розрядів блискавки може сягати десятих долей секунди і навіть перевищувати секунду.

2.1.6. При струмах блискавки до 50 кА (найчастіше зустрічаються) хвильовий опір каналу блискавки становить $z_k=800\text{—}4000$ Ом; при 50—100 кА (бувають рідко) $z_k=500\text{—}800$ Ом; при струмах до 150 кА (дуже рідкі випадки) $z_k=280\text{—}800$ Ом. Опір заземлення електроустановок на порядок і навіть на декілька порядків менший хвильового опору каналу блискавки, у зв'язку з чим його величина практично не впливає на струм блискавки. Тому при розрахунках блискавку вважають джерелом струму.

2.1.7. Оскільки ПЛ 6—35 кВ виконуються без грозозахисних тросів і пристроїв (за виключенням підходів до підстанцій), то грозові перенапруги на повітряних лініях електропередачі 6—35 кВ обмежені лише імпульсною електричною міцністю їх ізоляції.

2.1.8. Грозові перенапруги в кабелях та на шинах підстанцій 6—35 кВ є, в основному, результатом дії хвиль, що набігають з підключених ПЛ і характеризуються більшою тривалістю фронту та меншою амплітудою ніж для ПЛ (проте вони в достатній мірі можуть бути близькі до них).

2.2. Внутрішні перенапруги

2.2.1. Першопричиною внутрішніх перенапруг (ВП) є перетікання електромагнітної енергії, накопиченої в елементах електричної мережі, або ж яка надходить від генераторів мережі. В залежності від умов виникнення та можливої тривалості дії ВП на ізоляцію розрізняють комутаційні, квазістаціонарні та стаціонарні ПН.

2.2.2. Комутаційні ПН виникають внаслідок раптових змін схеми чи параметрів мережі. Типовими комутаціями є планові і аварійні вимикання і вмикання ліній, трансформаторів та інших елементів електромережі, при яких виникають перехідні процеси від попереднього до нового сталого стану. Внаслідок малих втрат і високої добротності контурів, які складаються з індуктивностей і ємностей проводів лінії або обмоток трансформаторів та реакторів, перехідні процеси при комутаціях мають коливний характер і можуть призвести до виникнення значних ПН, особливо при ненульових початкових умовах, наприклад, при АПВ ліній.

2.2.3. Вимкнення ємнісних струмів електричних мереж може супроводжуватися повторними запалюваннями електричної дуги у вимикачі і відповідними ПН, а вимкнення малих індуктивних струмів холостого ходу трансформатора—

вимушеним обривом дуги у вимикачі і коливним переходом енергії магнітного поля трансформатора в енергію електричного поля його паралельних ємностей. При дуговому замиканні на землю в мережі з ізольованою нейтраллю також спостерігаються багаторазові запалювання і згасання дуги з виникненням відповідних дугових ПН.

2.2.4. Перенапруги при комутаціях вакуумними вимикачами (ВВ) мають ряд особливостей. При вимиканні індуктивності L_0 об'єкту (трансформатора, електродвигуна) виникають: зріз струму; ескалація напруги; віртуальний зріз струму. При вмиканні L_0 виникають повторні пробої між контактами ВВ. Для об'єкту з ємністю C_0 ПН виникають тільки при вимиканні. При вимиканні малих індуктивних струмів, внаслідок зрізу струму енергія магнітного поля індуктивності переходить в енергію електричного поля ємності. Оскільки C_0 незначна (до 10000 пФ), а струм зрізу для ВВ досягає 2—5 А., то ПН після зрізу струму може мати $K_{max} = 5$. Для вирішення питання про необхідність використання ОПН у приєднаннях ВВ з силовими трансформаторами слід використовувати поняття «область безпечної роботи», яку визначають в координатах: «струм холостого ходу трансформатора I_{xx} , А»—фазна «ємність приєднання C_{ϕ} , нФ» (Додаток 1).

2.2.5. Квазістаціонарні ПН можуть розвинутих при несиметричних режимах лінії, які виникають, наприклад, при замиканні однієї фази на землю, обриві провoda, відмові однієї або двох фаз вимикача. Такі режими можуть призвести до додаткового підвищення напруги основної частоти або стати причиною появи значних ПН на якій-небудь вищій гармоніці. Джерелом вищих або нижчих гармонік і відповідних ферорезонансних ПН може стати також який-небудь елемент системи з суттєво нелінійними характеристиками, наприклад, трансформатор з насиченим магнітопроводом.

2.2.6. Стаціонарні ПН першого типу пов'язані із регулюванням збудження електричних машин, завдяки якому напруга на шинах станції не перевищує найбільшої робочої. Наявність регулювання суттєво обмежує такі стаціонарні ПН, які, як правило, бувають меншими квазістаціонарних і не мають істотного практичного значення.

2.2.7. До стаціонарних ПН другого типу відносяться усталені резонансні процеси різноманітного походження.

2.2.8. Найбільш значні квазістаціонарні та стаціонарні ПН другого типу в основному мають характер резонансних ПН. При цьому квазістаціонарні ПН відповідають короткочасному, так званому, перехідному резонансу, а стаціонарні—усталеному резонансу.

2.2.9. ОПН повинен бути розрахованим на обмеження комутаційних ПН та ПН перехідного резонансу. Слід враховувати, що у відповідності до рекомендацій МЕК 60099-5 ОПН не призначені для обмеження стаціонарних резонансних ПН, які слід усувати схемними засобами.

2.2.10. Внутрішні ПН, як комутаційні, так і перехідні резонансні, які визначають параметри ОПН, характеризуються тривалістю 1-2 періодів частоти 50 Гц, причому, як правило, з явним виділенням одного переважаючого коливання. Тому для вибору ОПН за впливом ВП основною характеристикою слід вважати найбільшу кратність внутрішніх ПН (K_{max}). Проведені дослідження показали, що періоду 25 років (строк служби ОПН) для електричних мереж 6—35 кВ без обмеження ПН відповідає поява одного коливання внутрішніх ПН з кратністю K_{max} і 5.

3. ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГ НЕЛІНІЙНІ

3.1 Загальні відомості про ОПН

3.1.1. ОПН—апарати для обмеження перенапруг нового покоління, які виготовлені на основі високонелінійних металооксидних резисторів (варисторів) і підключаються в електричну мережу без іскрових проміжків. Такі апарати одержали назву нелінійних обмежувачів перенапруг (ОПН), а по термінології Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК)—металооксидних обмежувачів перенапруг без іскрових проміжків (*metal-oxide surge arresters without gaps*).

3.1.2. Сучасні варистори для ОПН виготовляються по складній технології з ZnO з малими добавками інших окислів і металів. Варистори на основі ZnO мають різко нелінійну вольт-амперну характеристику, так що при зростанні щільності струму від 10^{-5} А/см² до 10^2 А/см² напруга на варисторі збільшується приблизно в два рази. Високий ступінь нелінійності дозволив в ОПН використовувати варистори в режимі постійного підключення до мережі, що обумовило відмову від іскрових проміжків.

У нормальному робочому режимі струм через обмежувач носить ємнісний характер і складає десятки частки міліампера. При виникненні хвиль перенапруг варистори обмежувача переходять у провідний стан і обмежують подальше зростання напруги на його виводах. Коли перенапруга знижується, обмежувач повертається в непровідний стан.

3.1.3. Сучасні варистори мають високу здатність поглинати і розсіювати, без руйнацій і втрати своїх властивостей, значну енергію, що виділяється при проходженні через них імпульсних струмів, тобто мають високу пропускну здатність. Ця властивість дозволяє створювати на основі варисторів із ZnO достатньо компактні обмежувачі, здатні протистояти впливам грозових і внутрішніх перенапруг.

3.1.4. Конструктивно ОПН звичайно являють собою активну частину у вигляді колонки послідовно сполучених варисторів, установлену в ізоляційний корпус з необхідними пристроями приєднання і монтажу.

3.1.5. У порівнянні з вентильними розрядниками ОПН мають ряд переваг, що випливають із відсутності іскрових проміжків і високої нелінійності вольт-амперної характеристики:

- більш глибоке обмеження перенапруг (при рівних розмірах активної частини);
- простота конструкції і велика надійність;
- стійкість до зовнішніх забруднень ізоляційного корпусу;
- здатність обмежувати внутрішні перенапруги;
- при використанні полімерного корпусу—більша вибухобезпечність;
- менші габарити і маса.

3.1.6. Оскільки варистори ОПН постійно знаходяться під впливом напруги, потрібно підвищену увагу приділяти спроможності ОПН успішно (без втрати теплової стабільності) переносити впливи короткочасних та тривалих підвищень напруги, що тривають від часток секунди до десятків годин. Правильний вибір ОПН, з параметрами, що відповідають конкретній ситуації, дозволяє забезпечити надійний захист електроустаткування і безпечну роботу ОПН протягом тривалого часу.

3.2. Обмежувачі перенапруг ОПН/ТЕЛ

3.2.1. Область застосування. Нелінійні обмежувачі перенапруг типу ОПН/ТЕЛ, виробництва підприємства «Таврида Електрик», призначені для забезпечення захисту ізоляції електроустановок від грозових і внутрішніх (комутаційних та перехідних резонансних) перенапруг в електричних мережах класів напруги 3—35 кВ змінного струму промислової частоти (48—62 Гц) з ізолюваною або компенсованою нейтраллю.

Умовне позначення ОПН виробництва «Таврида Електрик»:



3.2.2. Конструкція і принцип дії. При виготовленні обмежувачів використовуються нелінійні металооксидні варистори кращих світових виробників. Технологія складання нелінійних варисторів у полімерний корпус обмежувача унікальна й аналогів у світовій практиці не має. Колонка варисторів міститься між металевими електродами і спресовується в оболонку зі спеціального атмосферостійкого полімерного матеріалу. Полімерний корпус забезпечує необхідні механічні й ізоляційні властивості обмежувача. ОПН/ТЕЛ являє собою герметичний монолітний виріб, надійно захищений від зовнішніх впливів.

Обмежувачі випускаються у виконаннях УХЛ1 і УХЛ2, які призначені відповідно для зовнішнього та внутрішнього установлення згідно ГОСТ 15150. Довжина шляху витoku зовнішньої ізоляції ОПН у виконанні УХЛ1 відповідає ступеню забрудненості атмосфери IV, а у виконанні УХЛ2—ступеню забруднення атмосфери 1 за ГОСТ 9920-89. Зовнішня ізоляція обмежувачів витримує випробувальні напруги відповідно до вимог ГОСТ 1516.3 і ГОСТ 16962.1-89 і має трекінгостійкість відповідно до ГОСТ 28856-90. Рівень часткових розрядів в обмежувачах не перевершує 10 пКл.

3.2.3. Вибухобезпечність. Обмежувачі серії ОПН/ТЕЛ випробувані на вибухобезпечність відповідно до ГОСТ 16357-83. При випробуваннях руйнація обмежувача відбувається без вибухового ефекту. Обмежувачі є екологічно безпечним апаратом.

3.2.4. Випробування і контроль якості. Гарантії виробника. Спеціальна програма випробування і контрольних перевірок протягом усього процесу виробництва обмежувачів перенапруг забезпечує високу якість продукції. Вхідному контролю і прийнятно-здавальним випробуванням піддаються 100% комплектуючих і готових виробів.

Таблиця 3.1

Основні технічні параметри ОПН-КР/ТЕЛ-6,10 УХЛ1 (УХЛ2)

Найменування параметру	ОПН-КР/ТЕЛ—ХХ-УХЛ1(УХЛ2)					
	6/6.0	6/6.6	6/6.9	10/10.5	10/11.5	10/12.0
Клас напруги мережі, кВ	6	6	6	10	10	10
	6.0	6.6	6.9	10.5	11.5	12.0
струм (ампл.), 8/20 мкс, кА	10	10	10	10	10	10
	100	100	100	100	100	100
Залишкова напруга, кВ, ампл., не більше: —при комутаційному імпульсі струму						
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
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
Клас пропускної здатності	1	1	1	1	1	1
Струм імпульсу А, при прикладанні 18 прямокутних імпульсів, 2000 мкс	250	250	250	250	250	250
Енергія, що поглинається, кДж, не менше (за 1 імпульс струму 100 кА, 4/10 мкс)	21.6	23.7	24.8	37.8	41.4	43.2
Му (ампл.) 1.4 мА на частоті 50Гц	6.9	7.4	7.7	12.0	13.2	13.8
Максимально допустима амплітуда струму провідності, мА	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Маса, не більш, 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)
Приєднувальні розміри	М 10Х10(2 отвори)					

Обмежувачі перенапруг «Таврида Електрик» мають сертифікати якості і безпеки системи ГОСТ-Р і УкрСЕПРО, а система керування якістю виробництва сертифікована на відповідність вимогам міжнародного стандарту ISO 9002 (КЕМА).

Нормований термін служби обмежувачів складає 25 років при гарантійному терміні збереження і експлуатації 5 років.

Підприємством «Таврида Електрик» випускаються обмежувачі перенапруг серій ОПН-КР/TEL, ОПН-РТ/TEL та ОПН-ВР/TEL, основні параметри яких наведені в таблицях 3.1—3.3.

Таблиця 3.2

Основні технічні параметри ОПН-РТ/TEL 3(6,10) УХЛ2

Найменування параметру	ОПН-РТ/TEL—Х/Х-УХЛ2						
	3/3	3/4	6/6	6/6.9	6/7.2	10/10.5	10/11.5
Клас напруги мережі, кВ	3	3	6	6	6	10	10
Тривало допустима робоча напруга, кВ (діюч.)	3.0	4.0	6.0	6.9	7.2	10.5	11.5
Номинальний розрядний струм (ампл.), 8/20 мкс, кА	10	10	10	10	10	10	10
Амплітуда імпульсу струму 4/10 мкс, кА	100	100	100	100	100	100	100
Залишкова напруга, кВ, ампл., не більше							
—при комутаційному імпульсі струму							
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 грозовому імпульсі струму							
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 імпульсі струму з крутим фронтом							
10000 А, 1/10 мк	10.7	14.4	21.5	24.7	25.8	36.6	41.2
Клас пропускної здатності	2	2	2	2	2	2	2
Струм імпульсу А, при прикладанні 18 прямокутних імпульсів, 2000 мкс	500	500	500	500	500	500	500
Енергія, що поглинається, кДж, не менше (за 2 імпульси струму 500 А, 2000 мкс)	16.5	22.0	33.0	38.0	39.6	57.8	63.3
Класифікаційна напруга, не менше, кВ (діюч.), при активній складовій струму (ампл.) 2.0 мА на частоті 50 Гц	3.6	4.8	7.1	8.2	8.6	12.5	13.7
Струм провідності, не більше							
—ампл., мА	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
—діюче значення, мА	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Маса, не більш, кг	1.1	1.1	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7
Висота, не більш, мм	95	95	95	95	95	140	140

Таблиця 3.3

Основні технічні параметри ОПН-ВР/TEL 27,35 УХЛ1

Найменування параметру	ОПН-ВР/TEL—Х/Х -УХЛ1		
	27/30	35/40.5	35/42
Клас напруги мережі, кВ	27	35	35
Тривало допустима робоча напруга, кВ (діюч.)	30	40.5	42.0
Номінальний розрядний струм (ампл.), 8/20 мкс, кА	10	10	10
Амплітуда імпульсу струму 4/10 мкс, кА	100	100	100
Залишкова напруга, кВ, ампл., не більше:			
—при комутаційному імпульсі струму			
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 грозовому імпульсі струму			
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 імпульсі струму з крутим фронтом			
10000 А, 1/10 мкс	113	153	158
Клас пропускної здатності	2	2	2
Струм імпульсу А, при прикладанні 18 прямокутних імпульсів, 2000 мкс	500	500	500
Енергія, що поглинається, кДж, не менше (за 2 імпульси струму 500 А, 2000 мкс)	165	223	231
Класифікаційна напруга, не менше, кВ (діюч.) при активній складовій струму (ампл) 2.0 мА на частоті 50Гц	36	48	50
Струм провідності, не більше			
ампл., мА	0.6	0.6	0.6
діюче значення, мА	0,3	0,3	0,3
Маса, не більш, кг	12	14	14
Висота, не більш, мм	530	610	610

4. ЗАСТОСУВАННЯ ТА МІСЦЕ УСТАНОВКИ ОПН

4.1. В електричних мережах 6—35 кВ необхідно застосовувати ОПН в усіх випадках, коли для захисту від грозових перенапруг діючими Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) передбачено застосування вентиляльних розрядників (п.п. 4.2.150—4.2.163, 4.2.166—4.2.168), а також для обмеження внутрішніх перенапруг.

Слід враховувати, що перенапруги на обладнанні, безпосередньо до якого приєднаний ОПН, співпадають з напругою на ОПН. Перенапруги на обладнанні, що розміщене на віддалі (вимірюється вздовж ошиновки) від ОПН, перевищують напругу на ОПН за рахунок коливних процесів між ОПН і обладнанням. Інтенсивність цих процесів залежить від цієї віддалі, крутизни фронту грозового імпульсу, кількості підключених до шин ліній тощо.

При застосуванні ОПН для захисту розподільчих пристроїв підстанцій напругою 6—35 кВ від грозових перенапруг слід керуватись наступним.

1. Обладнання розподільчих пристроїв підстанцій 6—35 кВ, до яких приєднані ПЛ, повинні захищатись ОПН, які встановлюються на шинах чи біля трансформатора.
2. Кількість та місця установки ОПН слід вибирати виходячи з прийнятих на розрахунковий період схеми електричних приєднань, кількості ПЛ і трансформаторів. При цьому допустима відстань від ОПН до устаткування повинна бути забезпечена для кожного етапу (черги) розвитку підстанції.

При виборі необхідно виходити з того, щоб захист підстанції забезпечувався при мінімальній кількості ОПН. При цьому віддається перевага установці ОПН на трансформаторному приєднанні.

3. В розподільчих пристроях 35 кВ відстань від ОПН до трансформаторів та інших апаратів, враховуючи довжину ошиновки, повинна бути не більшою ніж вказана в табл. 4.2.8 ПУЕ для вентиляльних розрядників.
4. На підстанціях, підходи ПЛ напругою 35 кВ до яких не захищені тросом або довжина захищених підходів зменшена, ОПН повинні встановлюватися на приєднаннях трансформаторів не більше ніж 10 м від них. При перевищенні цієї відстані повинні бути додатково установлені ОПН на шинах.
5. На ПЛ, що приєднані до електростанції чи підстанції кабельними вставками довжиною до 50 м, додатково у місці приєднання ПЛ до кабелю повинен бути установлений комплект ОПН з опором заземлення не більше 5 Ом. ОПН повинні найкоротшим шляхом з'єднуватись з металевою оболонкою кабелю та приєднуватись до заземлювача підстанції.
6. На ПЛ 35 кВ при наявності трансформатора напруги (ТН) на кінці лінії перед комутаційним апаратом (вимикачем) ОПН повинен бути установлений на відстані не більше 40 м від ТН.
7. При установленні ОПН в одній комірці з трансформатором напруги рекомендується приєднувати ОПН до запобіжника, щоб уникнути перегорання запобіжника при проходженні імпульсних струмів.

8. При захисті силових трансформаторів від грозових перенапруг ОПН повинен установлюватись до комутаційного апарату і приєднуватись найкоротшим шляхом від введів трансформатора до заземлюючого пристрою підстанції.
9. При наявності на приєднаннях трансформаторів на стороні 3—20 кВ струмообмежуючих реакторів ОПН повинні бути установлені на шинах 3—20 кВ незалежно від наявності ОПН біля трансформаторів.
10. Обмотки трансформаторів, які не використовуються, повинні бути з'єднані у трикутник чи зірку (у відповідності до заводських схем) і захищені ОПН та заземлені. Захист обмоток, що не використовуються не потрібен, якщо до них постійно приєднана кабельна лінія довжиною не менше 30 м, що має заземлену оболонку або броню.
11. Захист підстанцій 3—20 кВ з нижчою напругою до 1000 В повинен бути виконаним ОПН, що установлені з вищої і нижчої сторони підстанції.
12. На підстанціях 35 кВ, що виконані по спрощеній схемі з одним вимикачем на декілька трансформаторних приєднань, всі ОПН повинні бути розміщені на відстані не більше 10 м від силового трансформатора. Захист підстанцій, де ця відстань перевищує 10 м, виконується згідно п.4 цього розділу.
13. Для захисту генераторів і синхронних компенсаторів, а також електродвигунів потужністю більше 3 МВт, що приєднуються до ПЛ, повинні використовуватись ОПН ємністю не менше 0,5 мкФ на фазу.
ОПН слід встановлювати для захисту: генераторів (синхронних компенсаторів) потужністю більше 15 МВт (більше 15 МВ*А)—на приєднанні кожного генератора (синхронного компенсатора); 15 МВт і менше (15 МВ*А і менше)—на шинах (секціях шин) генераторної напруги; електродвигунів потужністю більше 3 МВт—на шинах розподільного пристрою.
14. Якщо до загальних шин електростанції чи підстанції приєднані обертові машини і ПЛ з залізобетонними опорами, то на початку захищеного тросом підходу повинен бути установлений комплект ОПН з опором заземлення не більше 3 Ом.

4.2. Необхідність обмеження внутрішніх перенапруг за допомогою ОПН пов'язана з широким застосуванням вакуумних вимикачів (ВВ), спрацьовування яких супроводжується появою значних комутаційних перенапруг (Додаток 1), та з вичерпуванням ресурсів ізоляції електрообладнання.

При вирішенні питання необхідності захисту від внутрішніх перенапруг слід також враховувати структуру електричної мережі з наявними у ній електроприймачами, які розподіляються відносно надійності електропостачання на I, II і III категорії у відповідності з правилами ПУЕ .

5. ПОРЯДОК ВИБОРУ ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГ ПІДПРИЄМСТВА «ТАВРИДА ЕЛЕКТРИК»

5.1. Визначення вихідних параметрів електромережі

Вихідні параметри повинні містити у собі наступне:

- а) клас напруги електромережі $U_{\text{кн}}$ (6, 10 або 35 (27) кВ);
- б) найбільша робоча напруга мережі $U_{\text{нр}}$ в місці установки ОПН. При відсутності точних даних для даної мережі приймається найбільша робоча напруга відповідно таблиці 1.1;
- в) наявність у даній мережі повітряних ліній електропередачі у ненаселеній місцевості;
- г) допустима тривалість однофазного замикання на землю t в електричних мережах 6-35 кВ, яка становить:
 - у постійно контрольованих мережах, що живляться від турбогенераторів, гідрогенераторів і синхронних компенсаторів, а також із підключеними потужними електродвигунами, при струмі однофазного замикання на землю понад 5 А—не більше 0,5 с;
 - у таких же мережах при струмі однофазного замикання на землю нижче 5 А—до 2 годин і може бути збільшеним до 6 годин, якщо замикання існує поза обмотками електричних машин;
 - у кабельних мережах, що не містять вказаних вище електричних машин—до 2 годин і може бути збільшеним до 6 годин по узгодженню з енергопостачальною організацією;
 - у повітряних мережах з ізолюваною нейтраллю або з компенсацією ємнісного струму замикання на землю, що не містять електростанцій та підключень з електродвигунами, тривалість однофазного замикання на землю не нормується (що слід вважати недоліком існуючих нормативних документів, бо обірвані проводи та пошкоджені опори дуже небезпечні для людей та тварин; тому тривалість замикання повинна бути якомога меншою, принаймні, не виходити за межі 24 годин).При відсутності обмежень слід прийняти тривалість однофазного замикання на землю t рівною 24 години.
- д) Наявність у даній мережі устрою автоматичного шунтування ушкодженої фази (АШФ).
- е) Струм однофазного замикання на землю I_0 без урахування струму компенсації заземлюючого реактора. При відсутності даних про струм однофазного замикання на землю береться протяжність повітряних ліній і кабельних ліній, приєднаних до передбачуваного вузла встановлення ОПН.
- є) Необхідне кліматичне виконання ОПН (внутрішнє чи зовнішнє установлення і ступінь забрудненості атмосфери за ГОСТ 9920-89 та ГҚД 34.51.101-96).
- ж) Група вентильного розрядника в електричній мережі, відповідного ОПН (п. 5.4).

5.2. Порівняльний аналіз характеристик серійних ОПН для визначення їх працездатності в заданих умовах

Для захисту електроустаткування від комутаційних та грозових перенапруг в електричних мережах напругою 3—10 кВ з ізолюваною або компенсованою нейтраллю призначені обмежувачі серії ОПН-КР/ТЕЛ та ОПН-РТ/ТЕЛ. При цьому, слід враховувати наступне. Обмежувачі серії ОПН-КР/ТЕЛ виготовляються на класи напруги 6-10 кВ і призначені для обмеження грозових перенапруг та застосовуються для зовнішньої (УХЛ1) та внутрішньої (УХЛ2) установки. Обмежувачі ОПН-РТ/ТЕЛ призначені для глибокого обмеження комутаційних перенапруг в електричних мережах 3—10 кВ і застосовуються для гарантованого захисту спеціального електроустаткування (трансформаторів електродугових печей, високочастотних загороджувачів, ізоляції, кабельних мереж, електричних генераторів і двигунів, вентиляційних випрямлячів тягових підстанцій). Кліматичне виконання зазначеного типу обмежувачів тільки для внутрішньої установки (УХЛ2). Вищезазначені серії ОПН застосовуються в умовах помірного і холодного клімату при температурі навколишнього повітря в діапазоні від -60°C до $+45^{\circ}\text{C}$ на висоті не більше 1000 м над рівнем моря та тривало витримують механічне навантаження до 305 Н.

Для захисту ізоляції електроустаткування від перенапруг в мережах класу напруги 27 та 35 кВ змінного струму частоти 48—62 Гц з ізолюваною або компенсованою нейтраллю призначені обмежувачі серії ОПН-ВР/ТЕЛ. Ці обмежувачі застосовуються для зовнішньої (УХЛ1) установки в умовах помірного і холодного клімату при температурі навколишнього повітря в діапазоні від -60°C до $+45^{\circ}\text{C}$ на висоті не більш 1000 м над рівнем моря. Обмежувачі довгостроково витримують механічне навантаження до 500 Н (з урахуванням вітру й ожеледі згідно з ГОСТ 16357-83) у напрямку, перпендикулярному до вертикальної осі ОПН.

5.3. Перевірка ОПН на тривало допустиму робочу напругу

Тривало допустима робоча напруга ОПН U_0 повинна бути більшою або дорівнювати розрахунковому виразу

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

де $U_{нр}$ —найбільша лінійна робоча напруга мережі в місці установлення ОПН;

K_0 — коефіцієнт, який у залежності від особливостей електричної мережі та умов її роботи має такі значення при: симетричному навантаженню трифазної мережі—1; використанні незаземлених залізобетонних опор у не населеній місцевості, коли при «падінні» проводу на опору замикання фази на землю відбувається через перехідний опір (при використанні АШФ даний ефект виключається), а також при несиметричному навантаженні фаз мережі—1,05; спільній дії зазначених чинників = 1,1;

$T(t)$ — кратність, яка характеризує спроможність ОПН витримувати підвищення напруги частоти 50 Гц тривалістю t (п.1.3.8) і визначається за такими формулами:

для ОПН-КР

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

для ОПН-РТ

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

для ОПН-ВР

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

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

У формулах (5.2) час t виражено у секундах (2 години—7200с; 6 годин—21600с; 24 години—86400 с).

В залежності від значень K_0 , t та $U_{нр}$, мінімальні значення тривало допустимої робочої напруги ОПН наведені у таблицях 5.1—5.3.

Таблиця 5.1

Рекомендовані мінімальні значення тривало допустимих робочих напруг U_0 (діючі значення) для обмежувачів типу ОПН-КР/ТЕЛ

Мережа		Уд, кВ			
Унр, кВ	K_0	$t = 0.5 \text{ с}$	$t = 2 \text{ години}$	$t = 6 \text{ годин}$	$t = 24 \text{ години}$
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

Таблиця 5.2

Рекомендовані мінімальні значення тривало допустимої робочої напруги U_0 (діючі значення) для обмежувачів типу ОПН-РТ/ТЕЛ

Мережа		Уд, кВ			
Унр,кВ	K_0	$t = 0.5 \text{ с}$	$t = 2 \text{ години}$	$t = 6 \text{ годин}$	$t = 24 \text{ години}$
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

Таблиця 5.3

Рекомендовані мінімальні значення тривало допустимої робочої напруги U_{θ} (діючі значення) для обмежувачів типу ОПН-ВР/ТЕЛ

Мережа		Уд, кВ			
Унр,кВ	Ко	t = 0.5 с	t = 2 години	t = 6 годин	t = 24 години
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

Виходячи з показників таблиць 5.1—5.3 необхідно відзначити, що проведення в електричних мережах ефективної роботи по зменшенню допустимого часу однофазного замикання на землю t дозволяє використовувати ОПН з пониженою тривало допустимою робочою напругою, що в свою чергу забезпечує можливість відповідного зменшення залишкових напруг на електрообладнанні, яке захищається ОПН.

5.4. Перевірка залишкової напруги (при дії грозових перенапруг)

5.4.1. При установленні ОПН для захисту від грозових перенапруг його номінальний розрядний струм приймають $I_n = 10$ кА. у випадках:

- в районах з грозовою активністю більше 50 грозових годин на рік;
- в мережах з ПЛ на дерев'яних опорах;
- в схемах грозозахисту двигунів і генераторів, що приєднані до ПЛ;
- в районах зі ступенем забрудненості атмосфери IV і більше, а також якщо ОПН розміщений на відстані менше 1000 м від моря.

В інших випадках приймають $I_n = 5$ кА.

Для всіх ОПН виробництва підприємства «Таврида Електрик» номінальний розрядний струм $I_n = 10$ кА.

5.4.2. Перевірка залишкової напруги вибраного ОПН виконується виходячи з умови відповідності, тобто вона повинна бути меншою або дорівнювати залишковій напрузі вентильного розрядника, відповідного до п.4.1. При співставленні залишкової напруги ОПН та вентильних розрядників слід враховувати, що розрядники поділяються на чотири групи (табл. 5.4): група I—важкого режиму (захист від грозових та внутрішніх перенапруг), групи II, III та IV—легкого режиму (захист лише від грозових перенапруг).

Розрядники важкого режиму (групи I) мають найкращі захисні властивості, тобто найменші значення залишкової напруги. Це—розрядники типів РВТ (які ефективно обмежують струм) та РВРД (які розтягують дугу).

Розрядники групи II—це розрядники типів РВМ та РВМГ, які використовують магнітне дуття для гасіння дуги.

Розрядники групи III — типу РВС (станційний).

Розрядники групи IV—типів РВП (підстанційний) та РВО (полегшений, для захисту сільських мереж).

5.4.3. Перевірка значень U_3 ОПН/ТЕЛ згідно таблиць 3.1—3.3 на відповідність п.5.4.2 показує, що вони мають істотно менші значення U_3 ніж максимальні значення залишкової напруги вентильних розрядників легкого режиму групи IV для класів напруги $U_{кн} = 6$ і 10 кВ та групи III для 27 і 35 кВ.

Таблиця 5.4

Максимальні значення залишкової напруги U_3 вентильних розрядників

$U_{кн},$ кВ	I_n , А	Група I $U_3,$ кВ	Група II $U_3,$ кВ	Група III $U_3,$ кВ	Група IV $U_3,$ 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	—

^{*)} Зазначено амплітудні значення струму I_n (5 кА і 10 кА) при імпульсі струму 8/20 мкс.

5.4.4. Для I та II груп вентильних розрядників (табл.5.4) не всі ОПН «Таврида Електрик» забезпечують достатньо низькі залишкові напруги. Зокрема, за умови відповідності вентильним розрядникам групи II можуть бути використані тільки деякі ОПН з мінімальними значеннями тривало допустимої робочої напруги, а саме: ОПН-КР/ТЕЛ-6/6,0; ОПН-РТ/ТЕЛ-6/6,0; ОПН-КР/ТЕЛ-10/10,5; ОПН-РТ/ТЕЛ-10/10,5. Необхідність використання ОПН інших типів за умови їх відповідності вентильним розрядникам II групи слід узгоджувати з підприємством «Таврида Електрик» для можливого використання двох паралельно ввімкнених ОПН у кожній фазі.

5.4.5. За умови відповідності ОПН вентильним розрядникам групи I можна застосовувати паралельно на одну фазу по два обмежувачі типів ОПН-КР/ТЕЛ-6/6,0; ОПН-РТ/ТЕЛ-6/6,0 і ОПН-РТ/ТЕЛ-10/10,5 (в цьому випадку відповідну вимогу необхідно сформулювати в замовленні ОПН виробнику). Необхідність використання ОПН інших типів за умови їх відповідності вентильним розрядникам I групи рекомендується узгоджувати з підприємством «Таврида Електрик» для можливого використання трьох паралельно ввімкнених ОПН у кожній фазі.

5.5. Перевірка ОПН за навантаженням енергією внутрішніх перенапруг

5.5.1. Енергію W , що виділяється в ОПН при комутаційних перенапругах, можна наближено визначати за рекомендованою МЕК 60099-5 формулою

$$W = 0,5 C [(3 U_0)^2 - 2 U_{ном}^2], \quad (53)$$

де C —ємність мережі, U_0 —амплітуда найбільшої робочої фазної напруги, $U_{ном}$ —номінальна напруга ОПН, $З$ —розрахункова кратність комутаційних перенапруг.

Оскільки ємність мережі 6—35 кВ визначає струм однофазного замикання на землю, який у більшості випадків відомий, а кратність внутрішніх перенапруг часто перевищує 3, внаслідок чого останньою складовою у формулі (5.3) можна знехтувати, то практично зручніше обчислювати енергію W по одержаному з (5.3) розрахунковому виразу

$$W = I_0 K_{\max}^2 U_{nr}^2 / (3 \sqrt{3} w U_n), \quad (5.4)$$

де I_0 —повний струм однофазного замикання на землю при номінальній напрузі мережі U_n без пристроїв компенсації нейтралі; K_{\max} —максимальна кратність внутрішніх перенапруг (при відсутності спеціальних досліджень слід приймати $K_{\max} = 5$); $w = 314 \text{ с}^{-1}$ —кутова частота. При підстановці в (5.4) I_0 —в амперах (діюч.), U_{nr} , U_n —в кВ (діюч.), значення W одержуємо в кДж.

5.5.2. При відсутності даних струму замикання на землю I_0 його можна обчислити за допомогою питомих величин I_0/L (А/км) струму замикання на землю в кабельних і повітряних лініях, які становлять для повітряної лінії і кабельної лінії при напрузі:

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

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

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

Більш точно струм замикання на землю I_0 визначається формулою

$$I_0 = \sqrt{3} U_n w C,$$

де C —часткова ємність фази на землю (виражена у фарадах, Ф), рівна добутку погонної часткової ємності C_{11} на довжину L лінії електропередачі ($C = C_{11} L$); де U_n —виражена у вольтах.

Середні значення погонної часткової ємності фази на землю C_{11} для ПЛ 6-10 кВ складають 4 нФ/км (тобто $4 \cdot 10^{-9}$ Ф/км), для ПЛ 27-35 кВ складають 5 нФ/км. Для кабельних ліній відповідні значення цієї ємності у залежності від класу напруги і площі перетину жили кабелю наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Погонна часткова ємність C_{11} фази кабелю на землю

(при класах напруги 6 і 10 кВ—для трижильних кабелів з поясною ізоляцією, при 35 кВ—для кабелів з окремо освинцьованими жилами)

Перетин жили кабеля, мм 2	C_{11} , нФ/км при $U_{kn} = 6 \text{ кВ}$	C_{11} , нФ/км при $U_{kn} = 10 \text{ кВ}$	при $U_{kn} = 35 \text{ кВ}$
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. Розрахункова енергія W , що виділяється в ОПН при внутрішніх перенапругах, повинна бути меншою або дорівнювати значенням енергії, що поглинається вибраним ОПН, згідно до технічних характеристик, наведених у таблицях 3.1—3.3.

Результати обчислень за (5.4) енергії, що виділяється в ОПН при внутрішніх перенапругах, в залежності від I_0 , $U_{нр}$, U_n при $K_{max} = 5$ приведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

**Розрахункові значення енергії W ,
що виділяється в ОПН при внутрішніх перенапругах**

Струм I_0 , А	Енергія W , кДж при		
	$U_n=6$ кВ, $U_{нр}=7,2$ кВ	$U_n=10$ кВ, $U_{нр}=12$ кВ	$U_n=35$ кВ, $U_{нр}=40.5$ 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. ПРИКЛАДИ ВИБОРУ ОПН

6.1. Кабельна мережа 6 кВ з вихідними параметрами:

- клас напруги—6 кВ;
- найбільша робоча напруга мережі в місці установлення ОПН—6,9 кВ (табл.1.1);
- наявність у даній мережі повітряних ліній електропередачі у ненаселеній місцевості—немає;
- тривалість однофазного замикання на землю— $t=0,5$ с;
- наявність устрою автоматичного шунтування ушкодженої фази (АШФ)—відсутня;
- кратність внутрішніх перенапруг $K_{\max} = 5$ (п.5.5.1);
- струм однофазного замикання на землю (без урахування пристрою компенсації)—відсутні точні дані; протяжність кабельних ліній у даній мережі складає 50 км;
- установлення ОПН—внутрішнє;
- група вентильного розрядника (відповідного ОПН)—II.

Вибір ОПН.

1. Визначаємо спочатку можливість використання ОПН серії КР.
2. За вихідними параметрами мережі приймаємо (п.5.3): $K_0=1,05$ —тому, що немає ПЛ у ненаселеній місцевості, але можлива несиметрія навантаження.
3. Для цього обмежувача (табл. 5.1) для $U_{нр}=6,9$ кВ та $K_0=1,05$ знаходимо $U_{\delta}=5,19$ кВ при $t = 0,5$ с.
4. Згідно табл.3.1 всі ОПН серії КР мають тривало допустиму робочу напругу $U_{\delta}16,0$ кВ. Тому за цим параметром вибираємо ОПН-КР/TEL-6/6,0.
5. Оскільки потрібен ОПН для внутрішнього установлення, вибираємо обмежувач типу ОПН-РТ/TEL-6/6,0-УХЛ2.
6. Для нього залишкова напруга при $I_n=10$ кА (8/20 мкс) складає $U_z=19,0$ кВ.
7. Відповідний вентильний розрядник II групи забезпечує залишкову напругу $U_z=20$ кВ (табл.5.4).
Тому вибраний ОПН за значенням U_z відповідає вихідним параметрам.
8. Розрахунок енергії, що виділяється в ОПН при внутрішніх перенапругах, визначаємо за повним струмом однофазного замикання на землю I_0 . Оскільки цей струм не зазначений, використаємо наведену вище оцінку I_0/L (п.5.5.2): при $U_n = 6$ кВ для кабельних ліній питомий струм замикання на землю складає $0,9$ А/км. Для даної мережі протяжність КЛ дорівнює 50 км, що відповідає струму $I_0 = 0,9$ А/км \times 50 км = 45 А.
9. За формулою (5.4) визначаємо, що при $U_n=6$ кВ, $U_{нр}=6,9$ кВ і струмі $I_0=45$ А енергія W , що виділяється при внутрішніх перенапругах, складає

$$W = \frac{45 \cdot 51 \cdot 6,91}{(3\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 6)} = 5,47 \text{ кДж.}$$

10. За даними «Таврида Електрик», енергія, що поглинається вибраним обмежувачем, табл.3.1, досягає 21,6 кДж. Отже, можна рекомендувати до застосування в розглянутому випадку обмежувач ОПН-КР/TEL-6/6,0-УХЛ2.

6.2. Повітряна мережа 10 кВ з вихідними параметрами:

- клас напруги—10 кВ;
- найбільша робоча напруга мережі в місці установлення ОПН—11,5 кВ (табл.1.1);
- наявність у даній мережі повітряних ліній електропередачі у ненаселеній місцевості—є;
- допустима тривалість однофазного замикання на землю—обмежень немає (приймаємо за п.5.1.2 розрахункову тривалість $t=24$ години);
- наявність устрою автоматичного шунтування uszkodженої фази (АШФ)—відсутня;
- кратність внутрішніх перенапруг $K_{\max} = 5$ (п.5.5.1);
- струм однофазного замикання на землю (без урахування пристрою компенсації)—відсутні точні дані; протяжність повітряних ліній у даній мережі складає 150 км;
- установлення ОПН—зовнішнє (ступінь забрудненості атмосфери—IV);
- група вентильного розрядника (відповідного ОПН)—IV.

Вибір ОПН.

1. Оскільки установлення ОПН зовнішнє, вибираємо обмежувач серії ОПН-КР/TEL.
2. Для цього обмежувача (табл. 5.1) для $U_{нр}=11,5$ кВ та $K_0=1,1$ при $t=24$ години знаходимо $U_{\partial}=11,20$ кВ.
3. Згідно табл.3.1 вибираємо ОПН-КР/TEL-10/11,5.
4. Оскільки потрібен ОПН для зовнішньої установки, вибираємо обмежувач типу ОПН-КР/TEL-10/11,5-УХЛ1.
5. Для нього залишкова напруга при $I_n=10$ кА (8/20 мкс) складає $U_z=35,8$ кВ, а при $I_r=5$ кА (8/20 мкс)— $U_z=33,3$ кВ
6. Відповідний вентильний розрядник IV групи забезпечує залишкову напругу при струмі 5 кА (8/20 мкс) $U_z=45$ кВ (табл. 5.4).
Отже, вибраний ОПН за значенням U_z відповідає вихідним параметрам.
7. Розрахунок енергії, що виділяється в ОПН при внутрішніх перенапругах, визначаємо за повним струмом однофазного замикання на землю I_0 . Оскільки цей струм не зазначений, використаємо наведену вище (п.5.5.2) оцінку I_0/L : при $U_n = 10$ кВ для повітряних ліній питомий струм замикання на землю складає 0,025 А/км. Для даної мережі протяжність ВЛ дорівнює 150 км, що відповідає струму $I_0 = 0,025$ А/км \times 150 км = 3,75 А.
8. За формулою (5.4) визначаємо, що при $U_n=10$ кВ, $U_{нр}=11,5$ кВ і струмі $I_0=3,75$ А енергія W , що виділяється при внутрішніх перенапругах, складає

$$W = \frac{3,75 \cdot 51 \cdot 11,51}{(3\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 10)} = 0,76 \text{ кДж.}$$

9. За даними «Таврида Електрик», енергія, що поглинається вибраним обмежувачем, табл.3.1, досягає 41,4 кДж. Отже, можна рекомендувати до застосування в розглянутому випадку обмежувач ОПН-КР/TEL-10/11,5-УХЛ1.

6.3. Змішана (повітряно-кабельна) мережа 35 кВ з вихідними параметрами:

- клас напруги—35 кВ;
- найбільша робоча напруга мережі в місці установлення ОПН—40,5 кВ (табл.1.1);
- наявність у даній мережі повітряних ліній електропередачі у не-населеній місцевості—для 35 кВ не враховується, оскільки всі опори цього класу заземлені;
- допустима тривалість однофазного замикання на землю— $t = 6$ годин;
- наявність устрою автоматичного шунтування ушкодженої фази (АШФ)—відсутня;
- кратність внутрішніх перенапруг: $K_{\max} = 5$ (п.5.5.1);
- струм однофазного замикання на землю (без урахування пристрою компенсації)— $I_0 = 100$ А;
- установлення ОПН—зовнішнє (ступінь забрудненості атмосфери—IV);
- група вентильного розрядника (відповідного ОПН)—III.

Вибір ОПН.

1. Вибираємо обмежувач серії ОПН-ВР/ТЕЛ.
 2. За вихідними параметрами приймаємо $K_0 = 1,05$ —тому, що можлива несиметрія навантаження.
 3. Для цього обмежувача для $U_{nr} = 40,5$ кВ та $K_0 = 1,05$ при $t = 6$ годин по таблиці 5.3 знаходимо $U_d = 35,48$ кВ.
 4. Згідно табл.3.3 вибираємо ОПН-ВР/ТЕЛ-35/40,5-УХЛ1.
 5. Для нього залишкова напруга при $I_n = 10$ кА (8/20 мкс) складає $U_z = 130$ кВ.
 6. Відповідний вентильний розрядник III групи забезпечує залишкову напругу $U_z = 143$ кВ (табл. 5.4).
- Отже вибраний ОПН за значенням U_z відповідає вихідним параметрам.
7. Розрахунок енергії W , що виділяється в ОПН при внутрішніх перенапругах, проводимо за формулою (5.4) при $I_0 = 100$ А. та при $U_n = 35$ кВ, $U_{nr} = 40,5$ кВ:

$$W = \frac{100 \cdot 51 \cdot 40,51}{(3\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 35)} = 71,8 \text{ кДж.}$$

8. За даними «Таврида Електрик», енергія, що поглинається вибраним обмежувачем, досягає 223 кДж. Отже, можна рекомендувати до застосування в розглянутому випадку обмежувач ОПН-ВР/ТЕЛ-35/40,5-УХЛ1.

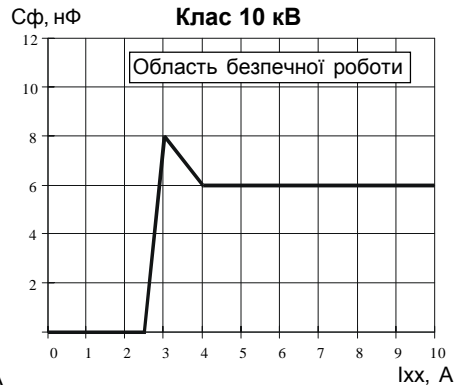
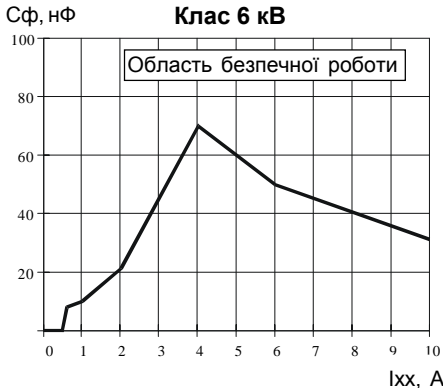
ДОДАТОК

Області безпечної роботи для силових трансформаторів в приєднаннях з вакуумними вимикачами «Таврида Електрик»

Для трансформаторів з нормальною ізоляцією



Для трансформаторів з полегшеною ізоляцією



У випадку знаходження режимів електроустановок в зоні нижче наведених кривих, трансформатори необхідно захистити комплектом ОПН.

Фазну ємність преднання Сф (нФ) визначають за погонною частковою ємністю C_{11} (нФ/км) на землю фази кабеля (табл. 5.5), який приєднує силовий трансформатор до вакуумного вимикача, за виразом

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

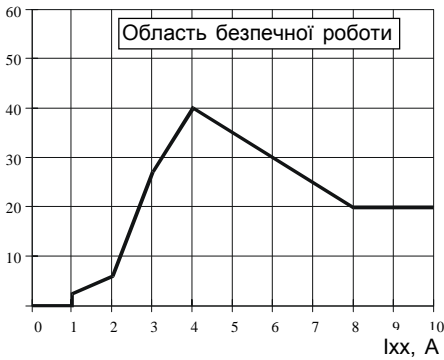
де l — довжина кабеля в метрах.

Струм холостого ходу I_{xx} (А) визначають за паспортними даними силового трансформатора.

Для електропічних трансформаторів з полегшеною ізоляцією

Сф, нФ

Клас 6 кВ



Сф, нФ

Клас 10 кВ



Вибір ОПН для обмеження внутрішніх перенапруг здійснюють за тривало допустимою робочою напругою (п. 5.3), навантаженням енергією ВП (п. 5.5) та кліматичним виконанням.

Бажане місце установлення ОПН—приєднання до зажимів лінійних струмопроводів та баку трансформатора (оболонки кабеля). Допустиме приєднання ОПН до початку кабеля, якщо його довжина не перевищує $L=200$ м.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16357—83. Разрядники вентиляльные 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 Электрик», 1997.—59с.
4. Перенапряжения в электрических сетях. Проблемы и опыт эксплуатации. Рекомендации к применению нелинейных ограничителей перенапряжений.—Севастополь: Предприятие «Таврида Электрик», 2000.—60с.
5. ГОСТ 1516.3-96. Межгосударственный стандарт. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750кВ. Требования к электрической прочности изоляции.— Киев: Госстандарт Украины, 1999.—50 с.
6. Правила устройств электроустановок.—М.:Энергоатомиздат,1987.—648с.
7. Руководство по защите электрических сетей 6—1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Под ред. Н.Н.Тиходеева. 2-ое изд.—Санкт-Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.—353с.
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 грозовых 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 recommendatios.
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 contrancs 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 fo 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/TEL27(35). Технические условия ТУ У25123867.004-200.—Севастополь, 2000.—26с.
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» 27.04.2001г.—М.:РАО ЕЭС России, 2001.—74 с.
25. ГКД 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.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	6
1.1. Галузь використання	6
1.2. Нормативні посилання	6
1.3. Визначення	7
1.4. Позначення і скорочення	11
2. ПЕРЕНАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	13
2.1. Грозові перенапруги	13
2.2. Внутрішні перенапруги	14
3. ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГ НЕЛІНІЙНІ	16
3.1 Загальні відомості про ОПН	16
3.2. Обмежувачі перенапруг ОПН/ТЕЛ	17
4. ЗАСТОСУВАННЯ ТА МІСЦЕ УСТАНОВКИ ОПН	21
5. ПОРЯДОК ВИБОРУ ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГ ПІДПРИЄМСТВА «ТАВРИДА ЕЛЕКТРИК»	23
5.1. Визначення вихідних параметрів електромережі	23
5.2. Порівняльний аналіз характеристик серійних ОПН для визначення їх працездатності в заданих умовах	24
5.3. Перевірка ОПН на тривало допустиму робочу напругу	24
5.4. Перевірка залишкової напруги (при дії грозових перенапруг)	26
5.5. Перевірка ОПН за навантаженням енергією внутрішніх перенапруг ..	27
6. Приклади вибору ОПН	30
6.1. Кабельна мережа 6 кВ	30
6.2. Повітряна мережа 10 кВ	31
6.3. Змішана (повітряно-кабельна) мережа 35 кВ	32
ДОДАТОК. Області безпечної роботи для силових трансформаторів в приєднаннях з вакуумними вимикачами «Таврида Електрик»	33
ЛІТЕРАТУРА	35