

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**М. П. Лабзун, О. Є. Рубаненко, В. М. Кутін**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ  
ДІАГНОСТУВАННЯ  
ОПОРНО-СТРИЖНЕВИХ ІЗОЛЯТОРІВ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2010

УДК 621.315.623:621.311

ББК 65.305.142

Л 12

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №11 від 25.06.09 р.)

*Рецензенти:*

**В. В. Назаров**, доктор технічних наук, професор

**В. В. Кухарчук**, доктор технічних наук, професор

**Лабзун, М. П.**

Л 12      **Методи та засоби діагностування опорно-стрижневих ізоляторів: монографія / М. П. Лабзун, О. С. Рубаненко, В. М. Кутін – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 323 с.**

**ISBN 978-966-641-361-4**

У монографії розглянуто призначення, класифікацію, технічні характеристики опорно-стрижневих ізоляторів. Виконано короткий аналіз використання цих ізоляторів, технологій їх виробництва. Проведено дослідження причин пошкоджуваності та визначено діагностичні параметри. Показано основні методи випробувань, контролю параметрів та визначення стану ізоляторів на їх основі.

Книга розрахована на фахівців з діагностування та випробувань опорно-стрижневих ізоляторів. Може використовуватись студентами, аспірантами та інженерно-технічним працівникам, які обслуговують розподільні установки високої і надвисокої напруги.

**УДК 621.315.623:621.311**

**ББК 65.305.142**

**ISBN 978-966-641-361-4**

© М. Лабзун, О. Рубаненко, В. Кутін, 2010

## ЗМІСТ

	Список умовних позначень і скорочень.....	8
	Вступ.....	10
1	Загальні відомості про опорно-стрижневі ізолятори.....	12
1.1	Призначення, параметри та класифікація ізоляторів.....	13
1.1.1	Призначення та класифікація ізоляторів.....	13
1.1.2	Лінійні ізолятори.....	16
1.1.3	Прохідні ізолятори та вводи.....	20
1.1.4	Опорні ізолятори.....	23
1.1.5	Опорні полімерні ізолятори.....	27
1.2	Технологія виготовлення та конструкції ОСІ.....	30
1.2.1	Матеріали, які використовуються для виготовлення електротехнічного фарфору .....	30
1.2.2	Загальні властивості електротехнічного фарфору.....	36
1.2.3	Вплив хімічного і гранулометричного складу фарфорової маси на основні параметри фарфору.....	40
1.2.4	Вплив температури на основні властивості електрофарфору та зміна електричних і механічних властивостей при збільшенні товщини ізоляторів.....	43
1.2.5	Конструкція опорно-стрижневих ізоляторів та ізоляційні конструкції з них.....	47
1.2.6	Модернізація ізоляторів за рахунок покращення характеристик фарфору та вдосконалення конструкції .....	52
1.2.7	Виготовлення фарфорових ізоляторів.....	57
1.2.7.1	Технології виготовлення фарфору.....	57
1.2.7.2	Процес приготування керамічних мас.....	57
1.2.7.3	Сушіння та формування заготовок.....	60
1.2.7.4	Глазурування.....	61
1.2.7.5	Обпалювання фарфорових ізоляторів.....	62
1.2.7.6	Усадка ізоляторів в процесі виготовлення.....	65
1.2.7.7	Армування ізоляторів.....	66
1.3	Особливості умов експлуатації ОСІ. Вимоги до електричної та механічної міцності опорно-стрижневих ізоляторів.....	68

1.3.1	Види впливів на ізолятори.....	68
1.3.2	Класифікація умов експлуатації ізоляторів при впливі кліматичних факторів.....	69
1.3.3	Класифікація умов експлуатації опорно-стрижневих ізоляторів при впливі забруднення.....	70
1.3.4	Внутрішня та зовнішня ізоляції ОСІ.....	72
1.3.5	Вимоги до електричної міцності ОСІ.....	75
1.3.6	Механізм перекриття забрудненого ізолятора.....	78
1.3.7	Експлуатація ОСІ в зонах забруднення .....	81
1.3.8	Контроль стану забруднення ізоляції.....	83
1.3.9	Вимоги до механічної міцності ОСІ .....	85
1.4	Вимоги до якості виготовлення ОСІ.....	86
1.5	Підвищення надійності і безпеки експлуатації ОСІ.....	88
2	Дефекти фарфорових ізоляторів.....	91
2.1	Класифікація дефектів фарфорових ізоляторів.....	91
2.2	Дослідження причин пошкодження ОСІ.....	92
2.3	Виробничі дефекти фарфорових ізоляторів.....	94
2.3.1	Місцеві дефекти.....	94
2.3.2	Об'ємні та обмежено-об'ємні дефекти макроструктурного типу.....	97
2.3.3	Відкрита мікроскопічна пористість.....	100
2.3.3.1	Визначення, види та причини утворення ВМП.....	100
2.3.3.2	Види глибинної ВМП.....	104
2.3.3.3	Особливості ВМП ОСІ.....	108
2.4	Сортність фарфорових ізоляторів і періодичність контролю.....	110
2.5	Автоматизація підтримки прийняття рішень про сортність ОСІ.....	112
3	Методи виявлення дефектів фарфорової ізоляції .....	118
3.1	Діагностичні параметри ОСІ. Загальна характеристика методів виявлення дефектів фарфору та їх класифікація....	118
3.2	Електричні методи.....	122
3.2.1	Загальна характеристика контролю ізоляції.....	122
3.2.2	Вимірювання опору ізоляції.....	125
3.2.3	Метод вимірювання розподілу напруги.....	127

3.2.4	Випробування підвищеною напругою промислової частоти.....	127
3.2.5	Оцінювання ефективності електричних методів для контролю ОСІ.....	127
3.3	Звукові та низькочастотні ультразвукові методи.....	128
3.3.1	Наскрізне прозвучування на частотах 4-10 кГц.....	128
3.3.2	Контактний та безконтактний методи вільних коливань....	129
3.3.3	Велосиметричний метод.....	131
3.3.4	Ультразвуковий резонансний метод.....	132
3.3.5	Вібраційний метод.....	133
3.3.6	Оцінювання ефективності використання звукових та низькочастотних ультразвукових методів для контролю ОСІ	135
3.4	Ультразвукові методи.....	136
3.4.1	Загальна характеристика.....	136
3.4.2	Метод локації.....	137
3.4.3	Тіньовий метод.....	140
3.4.4	Ультразвукова структурометрія.....	141
3.4.5	Ультразвукова дефектометрія.....	143
3.4.6	Загальні алгоритми оцінювання дефектів та ефективність їх виявлення методами УЗНК .....	145
3.4.7	Виявлення та оцінювання ступеня ВМП методами УЗНК.....	148
3.4.8	Перевірка можливості використання дисперсійного аналізу з метою визначення впливу місця і року виготовлення ОСІ на швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль.....	151
3.4.9	Оцінювання небезпеки місцевих дефектів за результатами УЗНК. ....	159
3.4.10	Вплив засміченої пористості на функціональні показники якості ОСІ при УЗНК.....	159
3.4.11	УЗНК ОМАП та зосереджених дефектів небезпечних перерізів і підфланцевих зон ізолятора.....	162
3.4.12	Оцінювання ефективності ультразвукової структурометрії та дефектометрії для оцінювання технічного стану ОСІ в експлуатації.....	163

3.5	Візуальні методи.....	164
3.5.1	Контроль зовнішнього стану.....	164
3.5.2	Органолептичний метод.....	165
3.5.3	Метод індикаторних фарб.....	165
3.5.4	Ефективність візуальних методів контролю ОСІ в експлуатації.....	166
3.6	Методи рентгенодефектоскопії.....	166
3.7	Руйнівні методи.....	167
3.7.1	Огляд руйнівних методів.....	167
3.7.2	Метод фуксинової проби під тиском.....	168
3.8	Силові та змішані методи.....	170
3.8.1	Механічні випробування ізоляторів.....	170
3.8.2	Метод реєстрації сигналів акустичної емісії.....	178
3.8.3	Оцінювання ефективності механічних випробувань та методу акустичної емісії для контролю ОСІ в експлуатації.....	181
3.9	Непрямі методи контролю.....	181
3.9.1	Температурні аномалії ізоляторів та їх діагностування засобами інфрачервоної техніки.....	181
3.9.1.1	Причини розсіювання енергії в опорно-стрижневих ізоляторах.....	181
3.9.1.2	Внесок видів теплообміну в тепловіддачу ОСІ.....	186
3.9.1.3	Механізми утворення температурних аномалій ізолятора..	193
3.9.1.4	Розподіл напруги по ізоляторах та оцінювання температурних аномалій в багатоелементних конструкціях.....	200
3.9.2	Метод реєстрації ультрафіолетового випромінювання коронного розряду.....	205
3.9.3	Метод реєстрації часткових розрядів.....	206
3.9.4	Метод виявлення зволоженого фарфору.....	210
3.9.5	Оцінювання ефективності непрямих методів контролю ОСІ в експлуатації.....	210
3.10	Порівняльна характеристика ефективності методів контролю ОСІ в експлуатації.....	210
3.11	Дослідження результатів контролю стану ОСІ в експлуатації методами УЗНК.....	214

4	Обладнання для випробувань, контролю та діагностування ОСІ.....	221
4.1	Засоби інфрачервоної техніки.....	221
4.2	Прилади реєстрації ультрафіолетового випромінювання...	228
4.3	Прилади для проведення УЗНК.....	233
4.4	Устаткування для методу фуксинової проби під тиском....	241
4.5	Прилади засновані на вимірюванні частоти власних коливань ОСІ.....	243
4.6	Пристрої для випробувань високовольтних фарфорових ізоляторів методом акустичної емісії.....	245
5	Вдосконалення нормативної документації.....	252
5.1	Необхідність перегляду нормативної документації, яка визначає вимоги до опорно-стрижневих ізоляторів.....	252
5.2	Про необхідність перегляду норм випробування опорно-стрижневих ізоляторів в експлуатації.....	254
	Висновки.....	258
	Література.....	260
	Додаток А. Габаритні розміри та ескізи опорно-стрижневих ізоляторів та їх арматури.....	268
	Додаток Б. Товарні знаки підприємств, які виготовляють електротехнічний фарфор.....	276
	Додаток В. Теоретичні відомості до методу віброакустичного контролю.....	281
	Додаток Г. Прилади для вимірювання опору ізоляторів.....	293
	Додаток Д. Пояснення до використання дисперсійного аналізу при дослідженні ОСІ.....	295
	Додаток Ж. Програма розрахунку значень критеріїв Фішера.....	317
	Додаток Е. Блок-схема алгоритму програми розрахунку значень критеріїв Фішера.....	322

## СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АДР	амплітуда–дальність–розмір
АЕ	акустична емісія
АЕК	акустично-емісійний контроль
ВАК	віброакустичний контроль
ВЗЕФ	Великолукський завод електротехнічного фарфору
ВМП	відкрита мікроскопічна пористість
ВНДІ	Всеросійський науково-дослідний інститут абразивного шліфування
АШ	
ВНДІЕ	Всеросійський науково-дослідний інститут енергетики
ВНП	верхній небезпечний переріз
ВНМЗ	велика неметалева засміченість
ВРУ	відкрита розподільна установка
ВТ	верхній торець
ДІ	донний імпульс
ЗАСП	засмічена макроскопічна пористість
ЗІ	зондувальний імпульс
ЗР	зона розтріскування
ЗРУ	закрита розподільна установка
ІП	іскровий проміжок
КГІ	компактна група імпульсів
КР	коронний розряд
ЛФЗ	Ленінградський фарфоровий завод
МД	місцевий дефект
МЕК	міжнародна електротехнічна комісія
НДР	небезпека–дальність–радіальна координата дефекту
НТ	нижній торець
ННП	нижній небезпечний переріз
НТД	нормативно-технічна документація
НДІ	науково-дослідний інститут
ОМАП	обпалювальна макроскопічна пористість
ТОВ	Товариство з обмеженою відповідальністю «Центр ис-
«ЦИВОМ»	пытаний высоковольтного оборудования и материалов»
ОС	опорний сигнал



ОП	опорний полімерний ізолятор
ОСІ	опорно-стрижневий ізолятор
ОСФ	опорний стрижневий фарфоровий
О1	вхідний об'єктив ЕОД «Филин-6М»
О2	окуляр електронно-оптичного дефектоскопу «Филин-6М»
ПЗВЕІ	Пермський завод високовольтних електроізоляторів
ПЧР	поверхневий частковий розряд
СЗА	ступінь забруднення атмосфери
СЗВІ	Слов'янський завод високовольтних ізоляторів
СФРЮ	Соціалістична федеративна республіка Югославія
СШ	система шин
ТДЗІЧТ	технічне діагностування засобами інфрачервоної техніки
УЗ	ультразвук (ультразвуковий)
УЗНК	ультразвуковий неруйнівний контроль
УЗД	ультразвукова дефектометрія
УЗП	ультразвуковий перетворювач
УЗС	ультразвукова структурометрія
ФПТ	фуксинова проба під тиском
ЦВД	циліндр високого тиску (рос.) – (циліндр високого тиску)
ЧР	частковий розряд
ЧВК	частота власних коливань
ШСР	шуми структурної реверберації
ШО	шинна опора
1С,	ізолятори, відповідно 1,2..5 сорту за результатами УЗНК
2С...5С	

## ВСТУП

Важливим завданням експлуатації електротехнічного устаткування є забезпечення надійності та безперебійності його роботи. Відомо, що вихід з ладу електричної установки завжди пов'язаний із значними економічними втратами, зумовленими пошкодженням дорогого електротехнічного устаткування та припиненням відпуску електричної енергії споживачам.

В Україні експлуатується силове електричне обладнання, значна частина якого пропрацювала понад 25 років і виробила свій паспортний ресурс. Одним з видів такого обладнання є опорно-стрижневі ізолятори (ОСІ). Масове введення ОСІ в експлуатацію відбувалося в 1970–1990 роках. Подальша експлуатація такого застарілого обладнання приводить до відмов, створює аварійні ситуації, накладає обмеження на дії оперативного персоналу, погіршує умови безпеки, зменшує показники надійності, викликає зростання витрат на ремонт та експлуатацію.

Тому актуальною на сьогодні задачею є вдосконалення існуючих, розробка та впровадження нових методів та засобів діагностування високовольтного обладнання електроенергетичних систем.

Задачами діагностування є визначення технічного стану (справний, несправний, придатний до експлуатації, не придатний до експлуатації та ін.) електричного обладнання та його елементів; визначення місця та причини пошкодження або погіршення параметрів; визначення можливості, умов та терміну подальшої експлуатації; визначення та прогнозування залишкового ресурсу; визначення необхідності, об'єму та часу проведення ремонту.

Для вирішення цих задач вдосконалюються існуючі та розробляються нові методи контролю параметрів та випробувань електричного обладнання.

В умовах зростаючої автоматизації електроенергетичних систем розвиваються системи постійного моніторингу параметрів електричного обладнання під час експлуатації, визначення зміни його стану та ресурсу за прогнозованих умов експлуатації в майбутньому.

З метою покращення діагностування отримують подальший розвиток методи і засоби періодичного контролю (засоби інфрачервоної

техніки, прилади спостереження за ультрафіолетовим випромінюванням, хроматографічний контроль складу розчинених в маслі газів, вимірювання часткових розрядів та ін.) впроваджуються нові методики та засоби руйнівних (елегазові високовольтні випробувальні трансформатори, в яких в якості ізоляції використовується шестифториста сіра, та пересувне випробувальне високовольтне обладнання) та неруйнівних випробувань (прилади контролю проходження тестового ультразвукового сигналу та ін.), що актуально за умов виконання ремонтів силового електричного обладнання підрозділами експлуатуючих організацій.

Чималу частку обладнання відкритих розподільних пристроїв 110–750 кВ становлять опорно-стрижневі ізолятори. Існуючі норми [1] на випробування ОСІ не дозволяють виявити внутрішні дефекти фарфорових ізоляторів. Тому актуальним є застосування нетрадиційних методів і засобів діагностування опорно-стрижневих ізоляторів.

В монографії розглядаються методи та засоби діагностування цього виду обладнання в умовах експлуатації.

Монографія складена з урахуванням досвіду освоєння методів діагностування ОСІ у Південно-Західній електроенергетичній системі (ПЗЕС). Автори набули перший досвід діагностування ОСІ після отримання комплекту приладів і навчання методам їх використання у лабораторії НДІ «Електрокерамика» (м. Санкт-Петербург).

Автори вдячні працівникам цієї лабораторії і особисто начальнику Шейкіну Олександрю Аскольдовичу за внесок в роботи з освоєння методів діагностування ОСІ. При створенні цієї монографії широко використовувались матеріали з посібників, наданих О. А. Шейкіним, за що йому окрема щира подяка.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОПОРНО-СТРИЖНЕВІ ІЗОЛЯТОРИ

Опорно-стрижневі ізолятори (ОСІ) – як найбільш масовий, так і найбільш вразливий в електричному та механічному відношеннях ізоляційний елемент розподільних пристроїв (шинні опори, ізолятори роз'єднувачів та інших апаратів).

З кінця 50 на початку 60 років минулого сторіччя в експлуатації почали інтенсивно застосовуватися опорно-стрижневі фарфорові ізолятори. В наш час на енергетичних підприємствах країни знаходяться в експлуатації декілька мільйонів ОСІ, які використовуються в електроустановках 35–750 кВ і випускаються з механічною міцністю на вигин від 4000 до 20000 Н [2].

Досвід експлуатації електроустаткування розподільних пристроїв станцій і підстанцій напругою 110 кВ та вище свідчить, що опорно-стрижневі ізолятори є елементом, який найбільш часто пошкоджується, особливо ізоляторів у складі роз'єднувачів. Вплив пошкодженої ОСІ на надійність ВРУ збільшується їхньою кількістю, що перевищує на кілька порядків кількість інших видів електроустаткування. Число технологічних порушень, пов'язаних з руйнуванням ОСІ в електроенергетичних системах України в цілому складає десятки за рік.

При цьому руйнуються не тільки старі опорно-стрижневі ізолятори випуску 60–70-х років (серії АКО, УСТ, ОНС), стосовно яких в 2001 році видано розпорядження НЕК «Укренерго» щодо планової заміни, але й ізолятори, які випускаються з початку 80-х років (серія ИОС). Пошкоджуваність ізоляторів значно зростає після 10–12 років експлуатації.

На енергетичних підприємствах неодноразово траплялися аварії через пошкодження (поломку) ОСІ, які втрачали механічну міцність через розтріскування фарфору. На рис. 1.1 показаний роз'єднувач 330 кВ, у якого при черговому ремонті виявили та замінили ізолятори з пошкодженою фарфоровою частиною. Замінені ізолятори мають білий колір без слідів забруднення. Такий роз'єднувач у будь-який момент міг пошкодитися.



Рисунок 1.1 – Відремонтований роз'єднувач 330 кВ

Особливу небезпеку представляють відмови ОСІ з розвитком технологічних порушень, які можуть спричинити нещасні випадки, супроводжуються знеструмленням ліній, виділенням на ізолювану роботу станцій, тобто на режим роботи при якому згенерована електроенергія не передається, порушенням режимів відпуску електроенергії.

Протягом багатьох десятиліть електричні перекриття ОСІ були однією з головних причин аварій з тяжкими наслідками, особливо в районах з різними природними та промисловими забрудненнями. Сьогодні переважна кількість технологічних порушень викликана механічними пошкодженнями ОСІ.

## **1.1 Призначення, параметри та класифікація ізоляторів**

### **1.1.1 Призначення та класифікація ізоляторів**

Ізолятори є невід'ємною частиною високовольтних і низьковольтних апаратів, розподільних та трансформаторних підстанцій і призначені для електричної ізоляції та механічного кріплення частин електричних пристроїв, які знаходяться під різними потенціалами. Деякі з видів фарфорових ізоляторів показані на рис. 1.2.

Електричні ізолятори та спорудження з них являють собою самостійні конструкції, які використовуються в розподільних пристроях або в різного роду електротехнічних установках, а також входять до складу багатьох електричних апаратів. У всіх випадках ізолятори викону-

ють цілком певні функції: з їхньою допомогою здійснюється механічне кріплення струмопровідних частин, у деяких випадках передається механічний рух, наприклад від привода до рухомого контакту комутаційного апарату.



Рисунок 1.2 – Деякі види фарфорових ізоляторів

Як елементи механічного кріплення ізолятори забезпечують необхідне взаємне розташування струмопровідних, заземлених та інших частин установки, тим самим, забезпечуючи необхідний рівень електричної міцності на всіх ділянках розподільної установки або лінії.

Основні характеристики ізоляторів – габарити, маса та вартість – істотно впливають на загальні техніко-економічні показники всієї установки в цілому. Цей вплив різко зростає зі збільшенням номінальної напруги. В установках надвисокої напруги характеристики ізоляторів можуть мати визначальне значення.

Кожен тип ізолятора має різновиди, які відрізняються за конструктивним виконанням, технічними характеристиками та умовами експлуатації (наприклад, видом та ступенем атмосферного забруднення). Для кожного класу напруги однотипні ізолятори виготовляють на різні механічні навантаження. Класифікація ізоляторів наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація ізоляторів

За призначенням	Лінійні			Станційно-апаратні				
				прохідні ізолятори та вводи		опорні		
по типу	штиреві	тарілчасті	стрижневі	фарфорові	апаратні вводи	опорно-штиреві	опорно- стрижневі	опорні полімерні
за конструк- тивним виконанням	суцільні, склеєні	з конус- ною голов- кою, з цилінд- ричною головкою	з фарфоро- вим ізоля- тором, з полімер- ним пок- риттям	з повітряною порожниною, без повітряної порожнини	паперово- бакелітові, масло- бар'єрні, паперово- масляні, з твердою ізоляцією	з закладенням арматури: – зовнішнім; – внутрішнім; – комбінованим	звичайні, зі збільшеною довжиною шляху витоку (з додаткови- ми ребрами)	з склоплас- тиковим стрижнем, з склоплас- тиковим циліндром
за місцем установки	лінійні	лінійні	лінійні/ апаратні	стаціонарні/ апаратні	апаратні	стаціонарні	апаратні/ стаціонарні	апаратні/ стаціонарні
виконання за умовами експлуатації	зовнішні	зовнішні	зовнішні	внутрішні/ зовнішньо- внутрішні	зовнішні (паперово- бакелітові – внутрішні/ зовнішні)	внутрішні/ зовнішні	внутрішні/ зовнішні	внутрішні/ зовнішні
по класу напруги (одиначні)	до 35 кВ включно	до 10 кВ включно	до 110 кВ включно	до 35 кВ включно	110 кВ і вище	до 35 кВ включно	до 110 кВ включно (іноді 220 кВ, 330 кВ)	до 220 кВ включно

За призначенням ізолятори можна поділити на дві групи: лінійні та станційно-апаратні. На станціях та підстанціях, окрім ізоляторів лінійного типу, які використовуються для монтажу ошиновування в відкритих розподільних установках, використовуються станційно-апаратні ізолятори, серед яких розрізняють прохідні та опорні ізолятори.

Опорні ізолятори для розподільних пристроїв за виконанням поділяються на дві основні групи: ізолятори опорно-штиреві та опорно-стрижневі.

За умовами експлуатації станційно-апаратні ізолятори поділяються на: ізолятори внутрішньої установки (для роботи в приміщенні) та зовнішньої установки (для роботи у відкритих розподільних установках). Існують також ізолятори зовнішньо-внутрішнього конструктивного виконання.

За кліматичним виконанням ізолятори для внутрішньої установки виготовляють для районів з помірним (У), холодним (ХЛ) та тропічним (Т) кліматом (категорії розміщення 2 і 3) за ГОСТ 15150-69 [3] та ГОСТ 15543-89 [4], а ізолятори для зовнішньої установки – для районів з помірним (У) та холодним (ХЛ) кліматом (категорія розміщення 1).

По класах напруги ізолятори поділяють на: ізолятори низької (до 660 В включно) та високої (вище 660 В) напруги. Ізолятори високої напруги виготовляють на напругу 1, 3, 6, 10, 35, 110, 150 кВ та вище.

За місцем установки ізолятори поділяються на стаціонарні, лінійні та апаратні.

Стаціонарні ізолятори призначені для кріплення та ізоляції шин в закритих і відкритих розподільних установках електричних станцій і підстанцій.

Апаратні ізолятори призначені для кріплення струмопровідних частин апаратів. Конструктивно поділяються на опорні та прохідні, які виготовляються у вигляді стрижнів, тяг, втулок тощо.

### **1.1.2 Лінійні ізолятори**

Лінійні ізолятори, призначені для кріплення та ізоляції проводів повітряних ліній високої напруги та ошиновування відкритих розподільних установок від опор та металевих конструкцій (рис. 1.3). Конструктивно лінійні ізолятори поділяють на штиреві, тарілчасті та стрижневі [5].

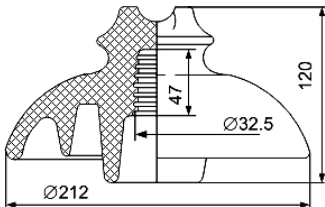
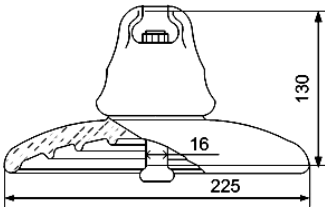
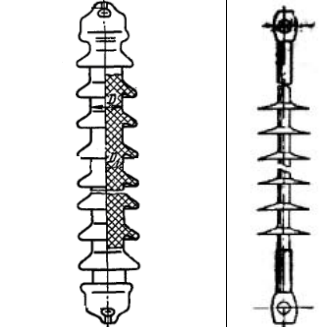




Рисунок 1.3 – Гірлянди підвісних тарілчастих ізоляторів

Лінійні штиреві ізолятори складаються з сталевого штиря, що створює механічну жорсткість всієї конструкції, на який насаджуються фарфорові або скляні елементи. Ізолятори закріплюються на опорах за допомогою кілків або штирів і мають спеціальну канавку в головці ізолятора або шийку на яких розташовується провід, що кріпиться шляхом в'язки або за допомогою спеціальних затискачів. У цих ізоляторах характерні сильно розвинені ребра, що дозволяє виготовляти ізолятори невеликої висоти. Одиночні штиреві ізолятори використовуються на повітряних лініях та в розподільних установках до 35 кВ включно (табл. 1.2). Оскільки виконати декілька сильно розвинених ребер в одному лінійному фарфоровому ізоляторі складно, фарфор ізолятора на напругу 35 кВ складений з окремих склеєних між собою елементів, для більш високих напруг лінійні ізолятори складаються в колонку. Виготовляються ізолятори у виконанні з підвищеною стійкістю до бруду та для нормальних умов експлуатації.

Таблиця 1.2 – Типи лінійних ізоляторів

Тип	Клас напруги одиначного ізолятора	Ізоляційний матеріал	Ескіз
Штиреві	до 35 кВ включно	загартоване лужне скло, фарфор	
Тарілчасті (підвісні тарілчастого типу)	до 10 кВ включно	загартоване лужне скло, фарфор	
Стрижневі	110 кВ та вище	фарфор, полімерні матеріали	

Лінійні ізолятори тарілчастого типу (тарілчасті) мають типові конструкції з конусною (табл. 1.2) та циліндричною головками ізолюючого тіла («тарілки»), яка армована зовні металевою шапкою. Зсередини в головку введений і закріплений сталевий стрижень (маточка). Для армування шапки та маточки використовується портландцемент високої якості, який має температурний коефіцієнт розширення, близький до температурного коефіцієнту розширення фарфору (загартованого лужного скла). Тарілчаста конструкція підвісних

ізоляторів подовжує шлях поверхневого розряду, що приводить до збільшення розрядної напруги. Одиночні ізолятори використовуються в лініях напругою до 10 кВ, для ліній більш високого класу напруги необхідний рівень ізоляції створюється вибором достатньої кількості ізоляторів, які з'єднуються за допомогою шарнірних вузлів арматури в гірлянди. У районах підвищеного забруднення атмосфери використовують ізолятори зі збільшеною довжиною шляху витоку, частини, захищеної від прямого зволоження, або з поліпшеною здатністю до самоочищення – типу ПСГ.

Лінійні стрижневі ізолятори, як правило являють собою фарфоровий стрижень із концентричними або гвинтовими ребрами. Поряд з фарфоровими стрижневими ізоляторами широке розповсюдження знайшли полімерні стрижневі ізолятори. Кінці стрижня мають форму конуса, яка забезпечує високу механічну міцність закладення арматури. Ізолятори із гвинтовими ребрами технологічні у виготовленні та мають здатність до самоочищення під дощем. Одиночні стрижневі ізолятори призначені на номінальну напругу 35–110 кВ і вище, що приводить до значного скорочення довжини та ваги ізоляції в порівнянні з вагою та довжиною гірлянди тарілчастих ізоляторів. Окрім застосування в лінійній ізоляції, стрижневі ізолятори та гірлянди, складені з них, використовуються як апаратні ізолятори: в якості розтяжок в деяких конструкціях повітряних вимикачів та вентиляльних розрядників на напругу 220–330 кВ.

Умовні позначення лінійних ізоляторів:

- перша літера – тип ізолятора (Ш – штиревий, П – підвісний, С – стрижневий);
- друга – матеріал ізоляційної частини (Ф – фарфоровий; С – скляний; П – полімерний);
- третя – умови експлуатації (Г – для районів з підвищеним забрудненням атмосфери, М – зі зменшеною висотою, Е – удосконалений для районів з польовими забрудненнями);
- цифра – мінімальне гарантоване електромеханічне навантаження, кН (10, 30 тощо), для штиревих та стрижневих ізоляторів – клас напруги, кВ (35, 110);
- літера – конструктивне виконання (А, Б, В).

### 1.1.3 Прокідні ізолятори та вводи

Прокідні ізолятори використовуються з метою ізоляції струмопровідних частин обладнання при проходженні їх через стіни, стелі або інші елементи конструкцій розподільних пристроїв і апаратів (трансформаторів, маслонаповнених вимикачів). За призначенням прохідні ізолятори можна поділити на прохідні ізолятори, які призначені для ізоляції струмопровідних частин від будівельних конструкцій (рис. 1.4), та вводи (рис. 1.5) – прохідні ізолятори в складі високовольтних електричних апаратів (трансформаторів, реакторів, вимикачів тощо).



Рисунок 1.4 – Прокідні ізолятори ЗРУ 15 кВ



Рисунок 1.5 – Вводи 154 кВ та 750 кВ автотрансформатора

Прокідні ізолятори поділяються на прохідні ізолятори для внутрішньої (всередині ЗРУ) та зовнішньої (для підведення напруги до

## ЛІТЕРАТУРА

1. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – Офіц. Вид. – К. ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2007. – II. 262 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Норми).
2. Абрамов В. Д. Эксплуатация изоляторов высокого напряжения / В. Д. Абрамов, М. В. Хомяков – М. : Энергия, 1976. – 262 с.
3. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды : ГОСТ 15150-69. – [Дата введения 1971-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов, 1969. – 95 с.
4. Изделия электротехнические. Исполнения для различных климатических районов. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам : ГОСТ 15543.1-89. – [Дата введения 1990-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1989. – 17 с.
5. Долгинов А. И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике / Долгинов А. И. – М. : Энергия, 1968. – 464 с.
6. Опорные стержневые кремнийорганические изоляторы. НПО Изолятор. Реклама [Электронный ресурс] // Новости электротехники. – 2002. – №2(14). – С. 22 – Режим доступа до журн. : <http://www.news.elteh.ru/arh/2002/14/22.php>.
7. Опорные полимерные изоляторы ЗАО «Феникс-88»: изготовление, испытания, опыт [Электронный ресурс] : / Данилов Г., Власов В., Сухар В. Сяков В. // Новости электротехники. – 2002. – №2(14). – С. 23 – Режим доступа до журн. : <http://www.news.elteh.ru/arh/2002/14/22.php>.
8. Кувайцев В. И. Высоковольтные изоляторы : Методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС. : / Кувайцев В. И. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 24 с.
9. Электроустановки переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции : ГОСТ 9920-

- 89 (МЭК 694-80, МЭК 815-86). – [Дата введения 1990-07-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1989. – 5 с.
10. Корицкий Ю. В. Справочник по электротехническим материалам : в 2 т. / Корицкий Ю. В. – М. : Энергия, 1974. – Т. 2 – 615 с.
  11. Физико-механические характеристики высокотвердых поликристаллических материалов. / Нешпор В. С., Зайцев Г. П., Славина Л. Я. и др. // Огнеупоры. – 1995. – №9. – С. 2–5.
  12. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы / Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. – Л. : Энергия, 1969. – 352 с.
  13. Электрические изоляторы / [Костюков Н. С., Минаков Н. В., Князев В. А. и др]; под ред. Н. С. Костюкова. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
  14. Синявский В. Н. Расчёт и конструирование электрокерамических конструкций : учебник [для электромеханических техникумов] / Синявский В. Н. – [2-е изд.] – М. : Энергия, 1977. – 192 с.
  15. Материалы керамические электротехнические. Классификация и технические требования : ГОСТ 20419-83. – [Дата введения 1985-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 2002. – 8 с.
  16. Изоляторы и покрышки керамические на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. : ГОСТ 5862-79. – [Дата введения 1980-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1989. – 7 с.
  17. Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. : ГОСТ 9984-85. – [Дата введения 1986-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1985. – 17 с.
  18. Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000 В для работы в помещении. Типы, основные параметры и размеры. : ГОСТ 19797-85. – [Дата введения 1987-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1985. – 13 с.

19. Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000 В для работы на открытом воздухе. Типы, основные параметры и размеры. : ГОСТ 25073-81. – [Дата введения 1983-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1981. – 19 с.
20. Бурлуцька Л. В. Нове покоління опорних стрижневих ізоляторів підвищеної надійності. / Бурлуцька Л. В., Абрамов В. І. // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 4. – С. 63–65.
21. Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000В. Общие технические условия. : ГОСТ Р 52034-2003. – [Дата введения 2004-01-01] – М. : ФГУП Стандартинформ. 2005. – 24 с.
22. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. : ГОСТ 10178-85. – [Дата введения 1987-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1986. – 7 с.
23. Птичкин П.Н. Фарфоровые изоляторы / Птичкин П.Н. – Л. : Энергия, 1966. – 464 с.
24. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. : ГОСТ 1412-85. – [Дата введения 1987-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 2004. – 5 с.
25. Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия. : ГОСТ 1215-79. – [Дата введения 1981-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1980. – 7 с.
26. Чавун з кулястим графітом для виливів. Марки. : ДСТУ 3925-99. – [Чинний від 2000-07-01] – К. : Держстандарт України. 2000. – 25 с.
27. Отливки стальные. Общие технические условия. : ГОСТ 977-88. – [Дата введения 1990-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 2004. – 33 с.
28. Паронит и прокладки из него. Технические условия. : ГОСТ 481-80. – [Дата введения 1981-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1992. – 17 с.
29. Электротехнический справочник : в 3 т. / [Герасимов В. Г., Грудинский П. Г., Жуков Л. А. и др.] ; под ред. И. Н. Орлова. – [6-е изд.] – М. : Энергия, 1980. – Т.1: Общие вопросы. Электротехнические материалы. – 520 с.

30. Баумштейн И. А. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / И. А. Баумштейн, С. А. Бажанов – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 656 с.
31. Руководящие указания по выбору и эксплуатации изоляции в районах с загрязненной атмосферой. — М. : СЦНТИ, 1975. – 27 с.
32. Барыбин Ю. Г. Справочник по проектированию электрооборудования / Барыбин Ю. Г. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 563 с.
33. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции : ГОСТ 1516.2-97. – [Дата введения 1999-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1998. – 37 с.
34. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов : ГОСТ 20074-83. – [Дата введения 1984-01-07] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1983. – 22 с.
35. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 3 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции : ГОСТ 1516.1-76. – [Дата введения 1978-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1999. – 46 с.
36. О предупреждении поломок опорно-стержневых изоляторов разъединителей 110-220 кВ : Ц-01-01 (Э) [Дата введения 2001-14-05] – М. : НЦ ЭНАС. 2001 – 10 с. – (Циркуляр РАО «ЕЭС России»).
37. Технологии оценки состояния фарфоровых изоляционных конструкций высоковольтных электроустановок : учебное пособие / А. А. Шейкин, А. И. Таджибаев, Ю. А. Омельченко, М. А. Надеяев. – СПб.: Издательство ПЭИпк, 2004. – 110 с.
38. Омельченко Ю. А. Контроль качества изделий из высоковольтного электрофарфора на монтаже и в эксплуатации / Ю. А. Омельченко, А. А. Шейкин // Диагностика технического состояния фарфоровых изоляторов высоковольтных коммутационных аппаратов : материалы 2-го научно-



- технического сем., 27–29 октября 1999 г., – М. : ВНИИЭ, 1999. – С. 1-10.
39. Мокін Б. І. Прогнозування добових графіків споживання електричної потужності на основі баз нечітких знань. / Б. І. Мокін, Ю. І. Мітюшкін // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2001. – №3 – С. 47–54.
40. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Штовба С. Д. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
41. Кутін В. М. Система перевірки механічної міцності опорно-стержньових ізоляторів роз'єднувачів і відокремлювачів. / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко // Вісник Кременчукського державного політехнічного університету – 2004. – №2(25) – С. 109–111.
42. Лежнюк П. Д. Основи теорії планування експерименту : лабораторний практикум / Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Лук'яненко Ю. В. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 132 с.
43. Московенко И. Б. Применение низкочастотного акустического метода для контроля качества изделий и конструкций из металла / И. Б. Московенко, Е. З. Коварская, Л. Я. Славина // УЗДМ-98 : сборник докладов конференции, 3–5 июня 1998 г.) – СПб. : Издательство ПЭИпк, С. 217–220.
44. Московенко И. Б. Применение низкочастотного акустического метода для контроля качества изделий и конструкций из металла / И. Б. Московенко, Л. Я. Славина, Е. З. Коварская // Физика и техника ультразвука : материалы научно-технической конференции, 9–11 июня 1997 г.) – СПб. : Издательство ПЭИпк, С. 240–242.
45. Глаговский Б. А. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении / Б. А. Глаговский, И. Б. Московенко – Л., Машиностроение, 1997. – 208 с.
46. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. / Бреховских Л. М. – М. : Наука, 1973. – 343 с.
47. Таловер'я В. Л. Освоєння ультразвукового контролю опорно-стрижневих ізоляторів. / В. Л. Таловер'я, М. П. Лабзун // Новини енергетики. – 2002. – №8 – С. 52–53.

48. Чернявец А. Н. Акустический неразрушающий метод контроля качества углеродных тиглей для плавки металла. / А. Н. Чернявец, И. Б. Московенко, Е. З. Коварская // Цветные металлы. – 1997. – № 3 – С. 77–79.
49. Контроль неразрушающий. Преобразователи ультразвуковые. Общие технические требования. : ГОСТ 26266-90. – [Дата введения 1991-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1990. – 24 с.
50. Красавина М. А. Неразрушающий контроль высоковольтного электрофарфора ультразвуком. / М. А. Красавина, А. А. Шейкин // Стекло и керамика – 1984. – № 4 – С. 24.
51. Хараджа Ф. Н. Общий курс рентгенотехники / Хараджа Ф. Н. – [2-е изд.] – М. – Л. : Госэнергоиздат, 1956. – 564 с.
52. Изоляторы керамические. Методы испытаний. : ГОСТ 26093-84. – [Дата введения 1986-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1990. – 14 с.
53. А.С. 1631613 СССР, МКИ Н01 В 19/00, 3/00. Способ проверки механической прочности опорно-стержневых изоляторов, разъединителей и отделителей / Кульматицкий О.И., Кутин В. М., Костюк Б. Я.-№464555107; заявл. 06.02.89; опубл. 28.09.91; Бюл. № 3 – 5 с.
54. Кухтиков В. А. Методы и средства контроля механического состояния опорно-стержневой фарфоровой изоляции высоковольтных разъединителей в условиях эксплуатации. / В. А. Кухтиков, В. Э. Воротницкий, А. Н. Демин // Энергетик. – 2002. – №8. – С. 28–40.
55. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения. : ГОСТ 27655-88. – [Дата введения 1989-01-01] – М. : ИПК Издательство стандартов. 1988. – 11 с.
56. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов : РД 03-131-97 [Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 11.11.96 № 44] – М. : НЦ ЭНАС. – 1997 – 27 с.

57. Аронштам Ю. Л. Методика акустико-эмиссионного контроля фарфоровых изоляторов разъединителей 110-220 кВ / Ю. Л. Аронштам, А. Н. Демин // Изоляция-99 : труды международной научно-технической конференции, 15-18 июня 1999 г. – СПб.: Издательство ПЭИпк, 1999 – С. 37–42.
58. Шейкин А. А. Анализ характера развития дефектов в фарфоровых изоляционных конструкциях и возможностей их выявления на основе тепловизионного контроля и других методов. / А. А. Шейкин, А. И. Таджибаев // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. – СПб.: Издательство ПЭИпк, 1997. – № 4 – С. 43–49.
59. Лабзун М. П. Механізми виникнення та оцінка теплових аномалій опорно-стрижневих ізоляторів. / М. П. Лабзун // Новини енергетики. – 2009. – №12, – С. 40–45.
60. Иерусалимов М. Е. Техника высоких напряжений / М. Е. Иерусалимов, Н. Н. Орлов. – К. : Изд. Киевского университета, 1967. – 440 с.
61. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Уонг Х. ; пер. с англ. В. В. Яковлева, В. И. Колядина. – М. : Атомиздат, 1979. – 216 с.
62. Афанасьев В. В. Разъединители / В. В. Афанасьев, Э. Н. Якунин – Л. : Энергия, 1979. – 216 с.
63. Некрасов А. М. Дальние электропередачи 750 кВ : вторая часть: Оборудование, подстанции / А. М. Некрасов, С. С. Рокотян. – М. : Энергия, 1974. – 238 с.
64. Якобсон И. А. Испытания и проверки при наладке электрооборудования / Якобсон И. А. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 120 с
65. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками : ГОСТ 14254-96. – [Дата введения 1997-01-01] – М. : ФГУП Стандартиформ. 2007. – 32 с.
66. Изделия ГСП. Общие технические условия. : ГОСТ 12997-84. – [Дата введения 1986-01-07] – М. : ФГУП Стандартиформ. 2007. – 30 с.
67. Спирт этиловый технический. Технические условия. : ГОСТ 17299-78. – [Дата введения 1980-01-01] – М. : ФГУП Стандартиформ. 2006. – 4 с.

68. Муравин Г. Б. Эффект Кайзера и структурное состояние бетона. / Г. Б. Муравин, В. В. Гурьев // Дефектоскопия. – 1986. – № 10 – С.22–27.
69. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре : РД 03-299-99 [Утвержден постановлением Госгортехнадзора России от 15.07.99 № 52] – М. : НЦ ЭНАС. – 1999 – 7 с.
70. Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередач засобами інфрачервоної техніки: СОУ-Н БЕ 20.577:2007. – Офіц. вид. – К. : ДП «НТУКЦ «АсЕлЕнерго» : М-во палива та енергетики України, 2007. – 119 с.
71. Норми часу на ремонт і технічне обслуговування електричних мереж. – Т.8: Роботи служби ізоляції: СОУ-Н БЕ 05.837:2006. – Офіц. Вид. – К. ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2007. – 128 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Норми).
72. Лабзун М. П. Вдосконалення системи контролю стану опорно-стрижневих ізоляторів в експлуатації. / М. П. Лабзун, В. Л. Таловер'я, О. Є. Рубаненко // Новини енергетики. – 2009. – № 9, С. 52–53.
73. Лежнюк П.Д. Використання рекурентних нейронних мереж в діагностуванні РПН трансформаторів. / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, М. І. Пиріжок // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. - № 4, ч. 1. – С. 104–107

Наукове видання

Лабзун Михайло Павлович  
Рубаненко Олександр Євгенійович  
Кутін Василь Михайлович

## **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ ОПОРНО-СТРИЖНЕВИХ ІЗОЛЯТОРІВ**

Монографія

Редактор С. Малішевська  
Оригінал-макет підготовлено О. Рубаненком

Підписано до друку 06.05.2010 р.  
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 18,65  
Наклад 100 прим. Зам № 2010-089

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.