

## СУЧАСНІ ЗАСОБИ ПРОКЛАДАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ДІАГНОСТИКИ

Д.М. Слущкий<sup>1</sup>, В.В. Шевченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магістрант кафедри електричних машин, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> проф. кафедри електричних машин, докт. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна  
Valentyna.Shevchenko@kpi.kharkov.ua

Системи передачі електроенергії – це обов'язкова частина будь-якої енергетичної системи. Проте ще кілька десятиліть тому більшість високовольтних ліній електропостачання (ЛЕП) будувались зверху, у повітрі — на стовпах та опорах. Такі системи були дешевими, але займали багато місця, псували вигляд міст і, головне, були вразливі до погодних умов та нападів ворога. З розвитком урбанізації почали переносити електричні комунікації під землю, що Проте технічні можливості кабельних систем ще довго залишалися обмеженими.

Перші підземні кабелі мали паперову ізоляцію, просочену оливою, і вимагали складного обслуговування, що обмежувало їх потужність та довжину. Перше використання кабелів, що прокладались в траншеях, відноситься на кінець XIX століття. Перші низьковольтні свинцеві кабелі з гумовою ізоляцією почала прокладати компанія *Edison Electric* (США) у 1880-х роках. У 1900-х роках з'явилися кабелі з паперовою ізоляцією просоченою оливою з напругою до 20–35 кВ. В середині 1950-х років такі кабелі стали стандартом у містах Європи. Це були складні конструкції, які потребували постійного контролю тиску оливи в кабельній системі, щоб уникнути утворення повітряних порожнин, витіку оливи. Крім того, значною проблемою таких кабельних систем була низька електрична міцності ізоляції та обмеженість температурного діапазону використання, тобто обмеженість передаваної потужності, рис. 1. Максимальної була температура 70–80°C. При їх перевищенні ізоляція старіла, утворювались тріщини, а потім відбувався пробій. У 1960-х роках максимальна робоча напруга таких кабелів становила



Рис. 3 – Кабель з паперовою ізоляцією в аварійному стані

вже 220 кВ, але прокласти довгі лінії без проміжних станцій закачування оливи було неможливо. Олива циркулювала в зовнішній оболонці кабелю, одночасно виконуючи функцію охолодження та ізоляції, що забезпечувало високу надійність. У сучасних варіантах ці системи модернізовані: застосовуються автоматизовані станції з сенсорами тиску та температури, які дистанційно контролюють стан оливи, попереджають про втрату герметичності. Хоча сьогодні оливо-наповнені кабелі поступово витісняються, вони ще залишаються важливим елементом енергетичної інфраструктури, особливо в старих кабельних мережах великих міст.

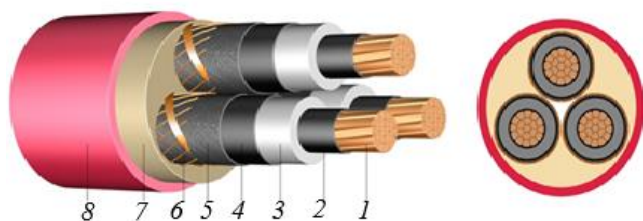


Рис. 4 – Кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену:

- 1 - багатожильний мідний провід;
- 2 - внутрішній шар з напівпровідникового матеріалу;
- 3 - ізоляція жил із зшитого поліетилену;
- 4 - зовнішній шар з напівпровідникового матеріалу;
- 5 - напівпровідна стрічка;
- 6 - екран з мідних провідників;
- 7 - внутрішнє покриття поверх покладених жил;
- 8 - зовнішня оболонка з полівінілхлориду (ПВХ)

червоного кольору

Справжній прорив відбувся з появою кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену (XLPE), рис. 2. Його головна перевага – стабільність структури при високих температурах і відсутність потреби у оливному просоченні. У 1979 р. в Японії та Німеччині були прокладені перші високовольтні кабельні лінії з ізоляцією XLPE на 110 кВ. У 1990-х роках такі кабелі вже масово почали використовувати для напруги 220–400 кВ. Сьогодні лінії на 525 кВ з XLPE-ізоляцією — це промисловий стандарт у Європі. Такі кабелі мають на 30–40% меншу вагу в порівнянні з оливними, не містять токсичних речовин, екологічно безпечні, практично не потребують обслуговування. У 2000-х роках розвиток отримали нано-композитні ізоляційні матеріали, що підвищили надійність XLPE-кабелів. Для зовнішніх екранів і броні почали застосовувати алюмінієві стрічки та полімери з металізованим покриттям, що зменшило масу і покращило гнучкість. Особлива увага приділяється системам терморегулювання кабелів в траншеях – використання теплопровідних наповнювачів або спеціальних охолоджувальних елементів, які дозволяють уникнути перегріву навіть при високих навантаженнях, [1].

Одночасно з типом ізоляції змінилися і методи прокладання високовольтних кабелів. Якщо раніше це вимагало великих земляних робіт і широких траншей, то сьогодні активно впроваджуються технології безтраншейного прокладання, які дозволяють прокладати кабелі під дорогами, річками, під забудованими територіями, мінімізуючи втручання в ландшафт та скорочуючи час робіт. Методи монтажу: 1) траншейний спосіб, але з новими матеріалами оболонки та дренажу; 2) безтраншейний спосіб – горизонтально-спрямоване буріння (ГСБ), рис. 3,а; 3) прокладання кабелів по модульним кабельним каналам (метод мікро-тунелювання, рис. 3,б. Особливо поширені методи ГСБ та мікро-тунелювання, які дають змогу створювати підземні канали для кабелів без відкритих розкопок. Це не лише знижує вартість монтажу, а й підвищує безпеку в умовах міської інфраструктури.



а



б

Рис. 3 – Сучасні методи монтажу високовольтних кабельних мереж:  
а – метод ГСБ; б – прокладання кабелів по модульним кабельним каналам

Тестування та діагностика кабелів включають зовнішній огляд, перевірку цілісності провідників (обриви, КЗ) за допомогою мультиметрів або спеціальних тестерів, а також оцінку стану ізоляції за допомогою мегаомметра. Для мережних кабелів застосовують тестери, що перевіряють правильність розведення, довжину та якість сигналу. До основних завдань діагностики кабельних мереж, що забезпечують надійності електропостачання, слід віднести оцінку технічного стану ізоляції; виявлення пошкоджень та локалізація місця дефекту; прогнозування ресурсу та залишкового терміну служби. Для діагностики мережі та пошуку дефекту використовують неруйнівні методи діагностики: вимірювання опору ізоляції; випробування підвищеною напругою змінного та постійного струму; випробування напругою дуже низької частоти. Обов'язково для контролю вологості та рівня деградації (старіння) ізоляції вимірюють ємність кабелю та тангенс кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ), бажано – в режимі онлайн. А також для виявлення локальних дефектів ізоляції виконують діагностику часткових розрядів.

#### Список літератури:

1. Laying High Voltage Cables. [Electronic resource]. URL: <https://surl.li/pqzvjs> – Назва з титул. екрану.