

## КООРДИНАЦІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Обґрунтовується необхідність вдосконалення методів та засобів технічного діагностування високовольтних вимикачів для підвищення їх надійності в умовах експлуатації.

Ключові слова: високовольтний вимикач, надійність, діагностування, технічні характеристики.

The need to improve the methods and means of fault detection circuit for high-voltage increase their reliability in operation.

Keywords: high voltage switch, reliability, diagnostics, specifications.

**Вступ.** Надійність електроенергетичних систем (ЕЕС) в значній мірі залежить від методів та засобів локалізації та ліквідації аварій, відновлення нормального режиму роботи. До таких засобів, поряд з іншими видами обладнання, відносяться і високовольтні вимикачі, одним з призначень яких, є відключення пошкодженого обладнання та локалізація струмів коротких замикань.

В енергосистемах України в експлуатації знаходиться значна кількість вимикачів які пропрацювали понад 25 років, що перевищує їх паспортний ресурс. В наш час перед підприємствами енергетичної галузі стоїть завдання забезпечити надійну експлуатацію такого застарілого обладнання. Виконання цього завдання передбачає декілька шляхів, наприклад, відомий шлях планових та позапланових ремонтів застарілого обладнання (з точки зору витрачення невеликих витрат з залученням підрядних організацій які надають гарантійні зобов'язання на певний період). Інший шлях – це заміна застарілого обладнання – новим.

Проте, задача при виборі нового вимикача є досить не простою. Існує велика кількість різних типів, конструкцій та виробників вимикачів (рис. 1), що ускладнює їх вибір, особливо в умовах відсутності досвіду експлуатації. Наприклад, в наш час виготовляються елегазові вимикачі на напругу 35 кВ, а вакуумні на напругу 110 кВ, але досвід експлуатації таких вимикачів значно менший ніж оливних та повітряних, або елегазових на клас напруги 110 кВ, а вакуумних на клас напруги 35 кВ.

**Особливості вибору високовольтних вимикачів.** Також при прийнятті виваженого рішення щодо типу та виробника нового ВВ, що встановлюються замість застарілого, потрібно враховувати не лише основні характеристики застарілого та нового вимикачів (наприклад, номінальну напругу, найбільшу робочу напругу, номінальний струм, номінальний струм вимкнення, вимоги до електричної міцності та комутаційної здатності, наскрізний струм короткого замикання, ресурс по механічній стійкості циклів при В-т-О, вимоги до конструкції, виготовленню та матеріалів, технічні характеристики приводів, кількість електромагнітів вмикання та вимкнення, комплектність поставки, вимоги до надійності, [1]), а й особливості їх використання за місцем експлуатації (наприклад, можливість вимкнення струму збудження, враховуючи пусковий струм з малою обмежуючою напругою без формування небезпечних перенапруг, сейсмостійкість району встановлення, значення кліматичних факторів та інші).

Також варто враховувати періодичність та інтенсивність виконання операцій вмикання та вимкнення, що важливо при виборі генераторного чи лінійного вимикачів, тому, що ресурс по механічній стійкості у вакуумного вимикача більший ніж у елегазового. На класи напруги 6-35 кВ на прийняття рішення при виборі ВВ впливають вартісні показники, тому, що споживачами таких вимикачів є невеликі компанії в яких на вищезгадані класи напруги встановлена набагато більша кількість вимикачів ніж на високі (110 кВ).

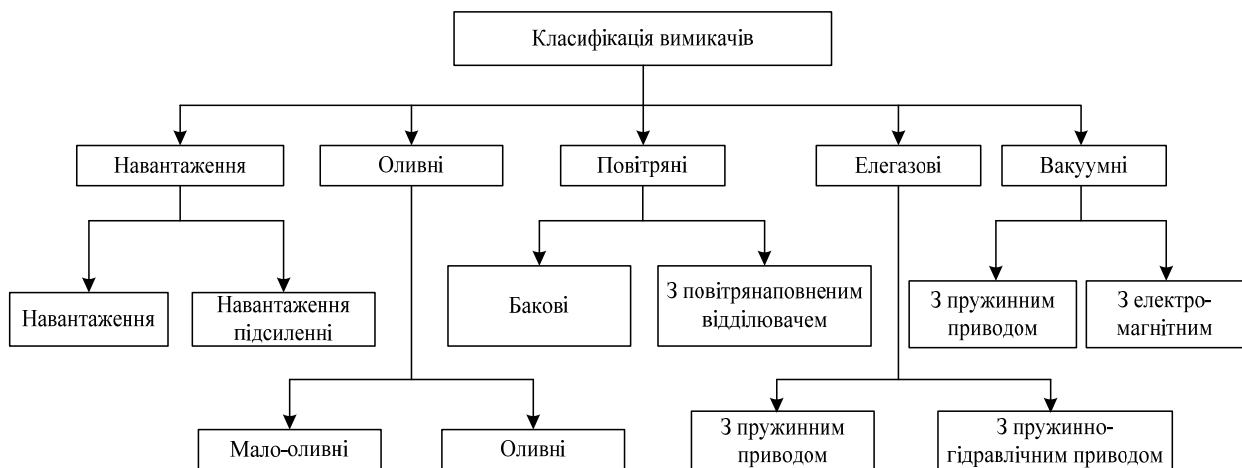


Рис. 1 Класифікація вимикачів

**Дослідження зміни вартості вимикачів з урахування ремонтів під час експлуатації.** Проведені дослідження (табл. 1) дозволили побудувати (рис. 2, криві 1 та 3) залежності вартості (В) нових повітряних та елегазових високовольтних вимикачів, впроваджених в ПЗЕС, від року виготовлення (Т), а також залежності витрат на проведення їх ремонтів під час експлуатації (рис. 2, криві 2 та 4) від року експлуатації. Для зменшення впливу інфляційних процесів на вартості вимикачів і ремонтів продовж досліджуваного періоду, ці вартості визначаються по відношенню до вартості електроенергії, яку продають обласні енергопостачальні компанії для споживачів I категорії. Початок координат відповідає 1986 року.

Таблиця 1

**Результати досліджень вартості вимикачів (по роках)**

Рік	2008	2009	2010	2011	2012
Вартість елегазового вимикача 110 кВ, грн	181546	212850	232306	275104	326505
Вартість електроенергії, грн	0,4046	0,5231	0,5678	0,6896	0,8377
Відносна вартість елегазового вимикача 110 кВ	$4,4 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^6$

Крива 1 та 3 показує залежність зміни відносних вартостей нового повітряного та елегазового вимикача (ЕВ) від року виготовлення. Ці залежності описуються виразами

$$V_{в.о.} = \frac{V_{в.}}{V_{ел.}}, \quad (1)$$

де  $V_{в.}$  – вартість вимикача,

$V_{ел.}$  – вартість електроенергії для споживачів першої категорії.

Крива 2 показує тенденцію зміни відносної вартості повітряного вимикача (ПВ) під час експлуатації з урахуванням витрат на проведення поточних та капітальних ремонтів, як самих вимикачів так і обладнання для підготовки стислого повітря. Крива 4 показує залежність зростання вартості елегазового вимикача під час експлуатації з урахуванням зростання сумарних витрат на проведення технічного обслуговування та витрат на закупівлі обладнання для роботи з елегазом.

Таблиця 2

**Результати досліджень вартості проведення капітальних та поточних ремонтів (по роках).**

Рік	2008	2009	2010	2011	2012
Вартість виконання КР В-110 кВ, грн	19000	26200	22400	26200	27300
Вартість виконання КР обладнання для підготовки стислого повітря, грн	36000	37000	38000	41000	42400

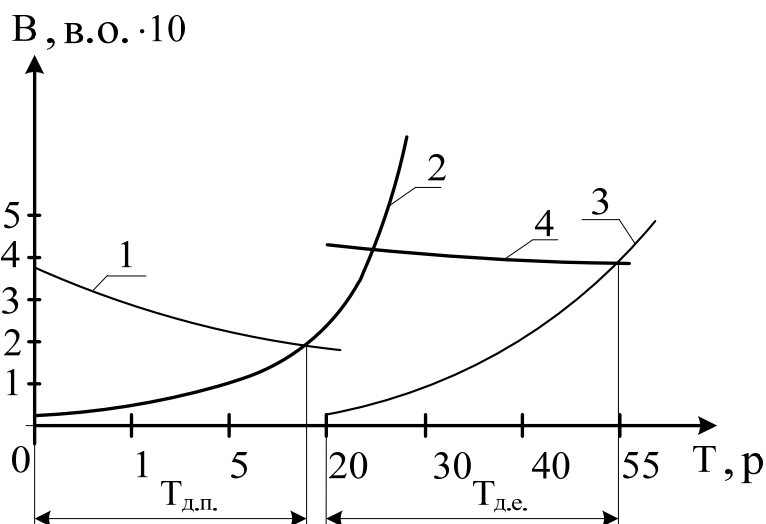


Рис. 2 Залежність зміни вартості повітряних та елегазових вимикачів під час експлуатації.

Аналіз отриманих залежностей дозволив виявити тенденції зростання відносної вартості ремонтів та спадання відносної вартості нових вимикачів. Точки перетину кривих 1 і 2, 3 і 4 свідчать про недоцільність продовження експлуатації повітряного та елегазового вимикача відповідно, якщо кошти, які витрачаються на виконання капітальних та поточних ремонтів перевищують вартість нового вимикача, що зумовлено зменшенням вартості вимикачів за рахунок вдосконалення виробництва раніше розроблених конструкцій. З рис. 2 видно, що прогнозований доцільний термін експлуатації елегазових вимикачів ( $T_{д.е.}$ ) перевищує цей показник для повітряних вимикачів  $T_{д.п.}$  і тому виправдано встановлювати нові елегазові вимикачі.

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку високовольтних вимикачів є елегазові, у яких дуга гаситься більш ефективно у порівнянні зі стисненим повітрям чи оливою. З огляду на проблеми з продовженням терміну експлуатації оливних та повітряних вимикачів, останніми роками інтенсивно ведеться робота по їх заміні на елегазові. В наш час парк елегазових вимикачів значно поповнився великою кількістю закордонних вимикачів різних конструкцій і виробників.

Динаміка заміни оливних та повітряних вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові в Південно-Західній електроенергетичній системі зображена на рис. 3.

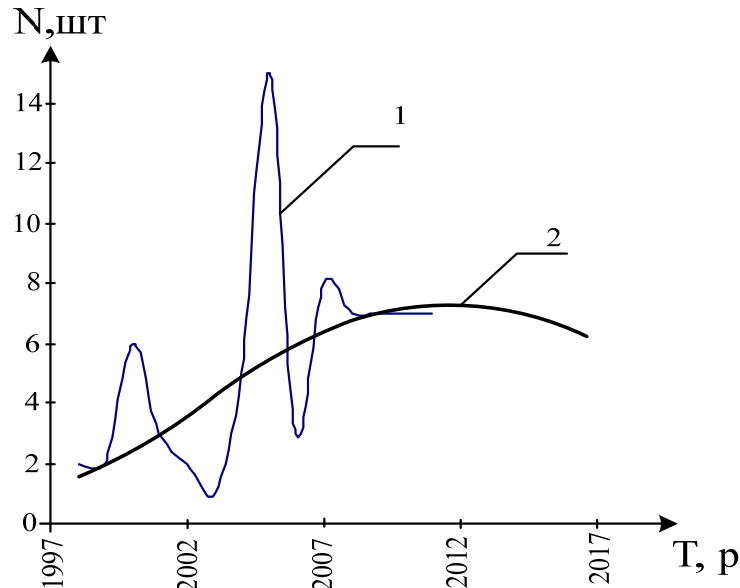


Рис. 3 Залежність кількості встановлених вимикачів від року монтажу чи введення в експлуатацію в ПЗ ЕС.

На рисунку 3 показані: 1 – залежність кількості замінюваних повітряних та оливних вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові від року заміни з 1998 року по 2011 рік включно, 2- залежність прогнозованої кількості замінюваних повітряних та мало-оливних вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові від року заміни з 1998 року по 2017 рік включно з урахуванням контракту компанії АВВ та ДП НЕК Укренерго, побудована за математичною моделлю процесу впровадження високовольтних вимикачів в ПЗ ЕС (2), яка була отримана за допомогою програмного забезпечення «Curve Expert».

$$N = \frac{k}{a_1 + a_2 \cdot k + a_3 \cdot k^\alpha} = \frac{k}{47977475 + 23878,229 \cdot k - 2140663,7 \cdot \sqrt{k}}, \quad (2)$$

де  $N$  – кількість вимикачів,  $k$  – рік встановлення, коефіцієнти:  $a_1=47977475$  (рік),  $a_2=23878,229$  (в.о.),  $a_3=2149663,7$  (рік).

На даний момент, на підстанціях ПЗЕС встановлено 54 елегазових вимикачів таких типів, як: АВВ, Areva, Siemens, Alstom. Процес заміни застарілих вимикачів на нові, елегазові розпочався в 1998 р., тому проаналізуємо результати їх впровадження в ПЗЕС. У деяких з цих ЕВ закінчується паспортний термін експлуатації до проведення поточних ремонтів. Також в ПЗЕС є ЕВ, які введені в експлуатацію менше року назад. Досвіду експлуатації як тих елегазових вимикачів, які відпрацювали свій паспортний ресурс до першого капітального ремонту, так і вимикачів нових конструкцій, щойно введених в експлуатацію – не багато. Тому актуальною є задача оцінки технічного стану елегазових вимикачів в процесі їх експлуатації.

**Вдосконалення методів та засобів діагностування.** Проте, накопичений досвід експлуатації оливних, повітряних, елегазових і вакуумних вимикачів свідчить про їх відмови [2], які в більшості випадків пов'язані з пошкодженням приводів та дугогасильних камер. Тому потрібно вдосконалювати існуючі (рис. 4.) засоби технічного діагностування для виявлення, на ранній стадії, пошкоджень для різних типів вимикачів [3].

В ОАО «НТЦ Электроэнергетики» був проведений аналіз причин відмов високовольтних вимикачів [1]. Так в період з 1997-2007 роки було зафіксовано 62 відмови елегазових вимикачів (по Росії). Найбільша кількість відмов пов'язана з несправністю блоків відключення. Серед цих пошкоджень мали місце 7 відмов обігрівача пристрою вимикачів типу Siemens, 3 відмови вимикачів АВВ LTV з причини пошкодження пристроїв сигналізації тиску, замикання вторинних кіл привода РЛК-222, несправності обігрівальних пристроїв, 1 раз по причині деформації латунних штовхачів супроводжуючих блок-контактів (СБК) та інші види пошкоджень. Також було зафіксовано обрив скло епоксидної тяги на вимикачі 110 кВ, спалення електромагнітів вимкнення.

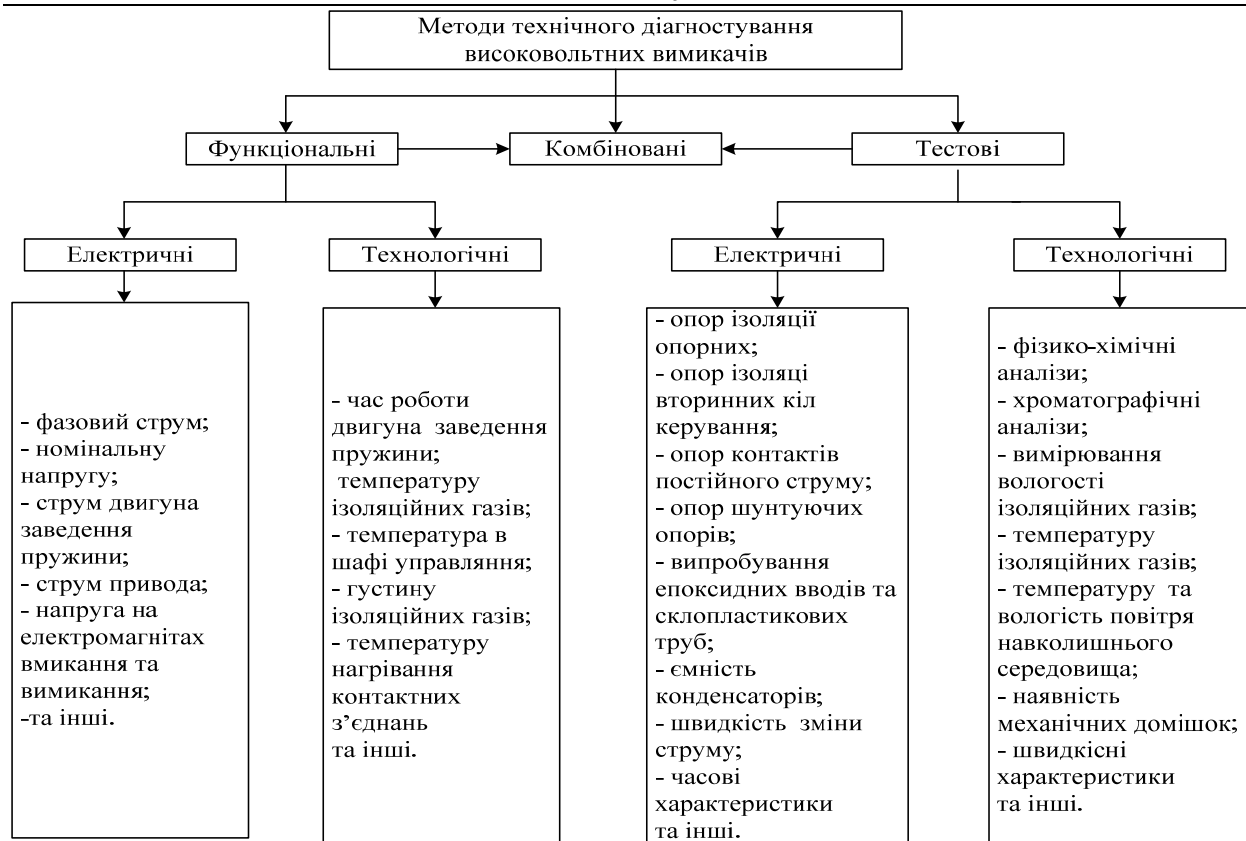


Рис. 4 Методи технічного діагностування високовольтних вимикачів

Так наприклад в 2006 році було зафіксовано відмови (блокування кіл управління) елегазових баквих вимикачів 110-500 кВ виробництва ABB і AREVA по причині недостатньої потужності і низької надійності обігрівачих приладів баків, недостатків системи контролю тиску (густини) елегазу при температурі навколишнього середовища мінус 41 °С і нижче.

Одним з шляхів підвищення якості діагностування ВВ є вдосконалення існуючих методів та, реалізуючих ці методи, засобів діагностування, які широко використовують можливості мікропроцесорних елементів, систем та комплексів. Позитивною властивістю таких пристроїв та систем є зручна та інформативна графічна форма представлення результатів контролю діагностичних параметрів ВВ. Якщо співставити графіки двох процесів, то легко виявити відмінності в протіканні процесів погіршення технічного стану обладнання. Сучасні методи аналізу ВВ дозволяють виявити їх приховані дефекти, скоротити терміни проведення ремонтів і підвищити їх якість, це забезпечує підвищення надійності роботи вимикачів.

Наприклад, досить інформативним параметром ВВ, який контролюється сучасними мікропроцесорними системами діагностування є швидкісні характеристики.

На елегазових вимикачах швидкісні характеристики можна визначити, наприклад, за допомогою сенсорів кутового ДП21 та лінійного ДП11 переміщення. Проте визначення швидкісних характеристик для елегазових вимикачів різних підприємств-виробників обмежено конструктивними особливостями місць розташування цих, або подібних до них, сенсорів.

Тому актуальною постає задача вдосконалення методів та засобів контролю швидкісних характеристик для елегазових вимикачів в умовах експлуатації.

Як один із шляхів її вирішення, запропоновано контролювати струм тестового сигналу високої частоти, який протікає між контактами вимикача (3). Врахування величини цього струму на різних частотах дозволяє підвищити точність контролю стану приводу вимикача та дугогасильної камери [4].

$$i(t) = \frac{U}{\frac{A \cdot B}{C} + R_1}, \quad (3)$$

де  $U$  – напруга джерела тестового сигналу,

$$A = \left( \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 - i \cdot \omega \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot (C_2 + C_3)} + \frac{R_5}{1 - i \cdot \omega \cdot R_5 \cdot C_5} \right), \quad B = \left( \frac{R_4}{1 - i \cdot \omega \cdot R_4 \cdot C_4} \right),$$

$$\tilde{N} = \left( \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 - i \cdot \omega \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot (C_2 + C_3)} + \frac{R_5}{1 - i \cdot \omega \cdot R_5 \cdot C_5} \right) + \left( \frac{R_4}{1 - i \cdot \omega \cdot R_4 \cdot C_4} \right),$$

де  $R_1$  – активний опір сенсора, приєднаний послідовно до джерела тестового сигналу,  $Z_2$  – повний опір між контактами дугогасильної камери, який складається з ємнісного  $X_2$  (опір ємності  $C_2$ ) та активного  $R_2$  (опір ізоляції між контактами) опорів,  $Z_3$  – повний опір контактів відносно фарфорової ізоляції для повітряного та елегазового вимикачів, який складається з ємнісного  $X_3$  (опір ємності  $C_3$ ) та активного  $R_3$  (послідовно з'єднані два активних опори та послідовно з'єднані два ємнісні опори) опорів,  $Z_4$  та  $Z_5$  – повні опори рухомого та нерухомого контактів відносно заземлених частин вимикача, які складаються з ємнісних  $X_4, X_5$  (опір ємностей  $C_4, C_5$ ) та активних  $R_4, R_5$  ( $R_4, C_4$  – опір та ємність ізоляції рухомого контакту відносно заземлених частин вимикача;  $R_5, C_5$  – опір та ємність ізоляції нерухомого контакту відносно заземлених частин вимикача) опорів.

### Висновки.

В наш час в експлуатації знаходяться багато ВВ як відпрацювали понад 25 років і потребують заміни. Підприємства виробники пропонують велику кількість нових моделей ВВ, по яким в Україні малий досвід експлуатації. Це ускладнює їх вибір під час заміни.

З метою підвищення надійності експлуатації нових моделей вимикачів потрібно вдосконалювати існуючі методи та засоби їх діагностування. Перспективним є вдосконалення методу контролю швидкісних характеристик шляхом контролю струму тестового сигналу, що проходить між контактами вимикача під час його вмикання або вимикання.

### Література

1. Норми випробовувань електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302: 2007. – К. : ГРІФРЕ, М-во палива та енергетики України. Об'єднання енергетичних підприємств, ДП МОУ «Воєнне видавництво України «Варта», 2007. – 262 с. (Нормативний документ мінпаливенерго України. Норми).
2. Тимашова Л.В. Анализ повреждаемости выключателей 110-750 кВ / Л.В. Тимашова, И.Л. Шлейфман, И.А. Назаров / Материалы V международной научно-технической конференции «Высоковольтное коммутационное оборудование». Москва. – 2009. – 8 с. Електронний ресурс: [http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv\\_21/file21.pdf](http://gendocs.ru/docs/13/12153/conv_21/file21.pdf).
3. Кутин В.М. Диагностирование электрооборудования электрических систем: Учеб. Пособие / В.М. Кутин, В.И. Брейтбурд. – К.: УМК ВО, 1991. – 104 с.
4. Кутін В.М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / Кутін В.М., Рубаненко О.С., Мисенко С.В // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. № 1 С.109-113.

Надійшла 16.1.2013 р.  
Рецензент: д.т.н. Грабко В.В.