

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-116-119>

УДК 621.3.022

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ РІЗНИХ ТИПІВ

Романченко Ю.А.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF HIGH VOLTAGE SWITCHES OF DIFFERENT TYPES

Romanchenko J.A.

*У статті наведено порівняльний аналіз характеристик повітряних, масляних, вакуумних та елегазових високовольтних вимикачів, що використовуються на електричних підстанціях. Дані вимикачі є досить складною конструкцією, керованою електромагнітними, пружинними, гідравлічними або пневматичними приводами та розділяються на кілька типів залежно від середовища, у якому здійснюють гасіння дуги.*

*Аналіз літературних джерел показав, що повітряні вимикачі, як найменш ефективні, великі за габаритними розмірами та дорогі в обслуговуванні, у наш час практично не використовуються, всі старі повітряні вимикачі поступово замінюють ефективнішими та надійнішими вимикачами. Тому в статті проаналізовано характеристики масляних, вакуумних та елегазових високовольтних вимикачів, розглянуто їх переваги та недоліки в різних умовах, які враховують при виборі вимикачів. Виконано порівняння найважливіших характеристик високовольтних вимикачів, таких як механічна міцність, електрична міцність дугогасного середовища, комутаційний ресурс вимикача – кількість циклів роботи вимикача, вага вимикача. Показано, що дуже важливим питанням є експлуатація високовольтних вимикачів, їх обслуговування – проведення періодичних капітальних та поточних ремонтів, а також позапланових (аварійних) ремонтів. Розглянуто питання впливу обладнання електроустановок на навколишнє середовище. Для захисту навколишнього середовища необхідно мінімізувати кількість шкідливих речовин, що потрапляє до навколишнього середовища. Порівняльний аналіз високовольтних вимикачів показав, що найбільш ефективними, якісними, надійними є елегазові та вакуумні високовольтні вимикачі. Провідні виробники комутаційних апаратів даного типу з кожним роком дедалі більше удосконалюють продукцію, роблячи її надійнішою та ефективнішою. Тому в наш час масляні вимикачі практично не випускаються. При будівництві нових об'єктів та технічному переоснащенні старих, віддається перевага виключно елегазовим та вакуумним високовольтним вимикачам. Тільки такі вимикачі здатні забезпечити високу надійність електропостачання споживачів та повною мірою забезпечити свої експлуатаційні характеристики, при цьому вони повністю відповідають нормам безпеки обслуговування, пожежної безпеки та екологічності.*

**Ключові слова:** високовольтний вимикач, механічна міцність, електрична міцність, дугогасне середовище, вакуум, елегаз.

**Вступ.** Сучасний рівень розвитку електроенергетики пред'являє все більш високі вимоги до надійності і ресурсу електроенергетичного обладнання і перш за все до високовольтних вимикачів змінної напруги. Високовольтні вимикачі – ключова ланка енергетичної системи. Від них залежить надійність енергопостачання споживачів, і функціональна безпека роботи енергосистеми. Від якості та безвідмовності їхньої роботи залежить надійність електропостачання споживачів, а також збереження цілісності обладнання у разі виникнення аварійних ситуацій [1]. Отже, питання вибору високовольтних вимикачів одне із найважливіших.

**Мета статті.** Метою роботи є порівняльний аналіз характеристик повітряних, масляних, вакуумних та елегазових високовольтних вимикачів.

**Результати дослідження.** Вимикачі, що використовуються на електричних підстанціях, повинні мати дуже велику номінальну напругу (6-1150 кВ) і дуже великий струм відключення (до 50 кА). Дані вимикачі є досить складною конструкцією, керованою електромагнітними, пружинними, гідравлічними або пневматичними приводами [2]. Залежно від середовища, у якому здійснюють гасіння дуги, розрізняють кілька типів вимикачів: повітряні, масляні, вакуумні та елегазові [3].

Дослідження, розробка та впровадження в експлуатацію вимикачів високої напруги як силового комутаційного обладнання почалися з масляних і маломасляних вимикачів (1920-1950-ті рр.). Далі в експлуатації з'явилися досконаліші повітряні вимикачі (1940-1960-ті рр.), потім – вакуумні і елегазові вимикачі [1].

Аналіз літературних джерел показав, що повітряні вимикачі (рис. 1,а), як найменш ефективні, великі за габаритними розмірами та дорогі в обслуговуванні, у наш час практично не використовуються, всі старі повітряні вимикачі поступово замінюють ефективнішими та надійнішими вимикачами. Тому проаналізуємо характеристики масляних (рис. 1,б), вакуумних (рис. 1,в) та елегазових (рис. 1,г) високовольтних вимикачів, розглянувши їх переваги та не-

доліки в різних умовах, які враховують при виборі вимикачів [4]

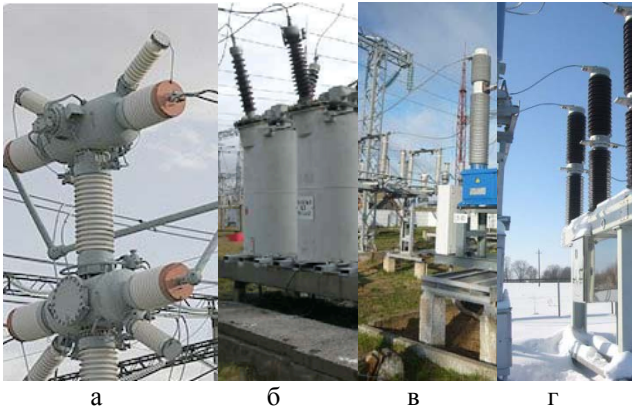


Рис. 1. Високовольтні вимикачі різних типів:  
а – повітряні вимикачі, б – масляні вимикачі,  
в – вакуумні вимикачі, г – елегазові вимикачі

Однією з найважливіших характеристик є механічна міцність вимикачів. У цьому випадку, чим простіше конструкція, тим вища механічна міцність вимикача. Якщо розглядати три типи комутаційних апаратів, то найпростішу конструкцію і, відповідно, більш високу механічну міцність має вакуумний вимикач, найменшу міцність – масляний вимикач.

Електрична міцність дугогасного середовища – одна з найважливіших характеристик вимикачів. В даному випадку елегаз має найвищу діелектричну міцність, особливо на напрузі 110 кВ та вище. Дугогасне середовище вакуумних вимикачів на напругу до 110 кВ включно не поступається електричною міцністю елегазовим. Масляні вимикачі характеризуються нижчою електричною міцністю дугогасного проміжку.

Не менш важливою характеристикою є комутаційний ресурс вимикача – кількість циклів роботи вимикача. Кількість циклів включень та відключень вимикача залежить від величини комутуваних струмів. У цьому разі, що більше струм, то швидше вимикач вичерпує свій комутаційний ресурс. Вакуумний вимикач, після вичерпання комутаційного ресурсу підлягає заміні. Елегазовий вимикач після вичерпання ресурсу підлягає капітальному ремонту, у процесі якого оцінюється стан вимикача, встановлюється можливість подальшої експлуатації комутаційного апарату [5]. Масляний вимикач має значно менший міжремонтний ресурс. Як правило, після семи автоматичних відключень струмів короткого замикання необхідно виконувати капітальний ремонт комутаційного апарату. Це обумовлено в першу чергу тим, що дугогасне середовище – трансформаторне масло підлягає заміні, так як воно втрачає свої ізоляційні і дугогасні властивості.

Ще одна важлива характеристика – це вага вимикачів. Якщо розглядати, наприклад, різні типи вимикачів на напругу 110 кВ, то елегазовий і вакуумний навіть при більш покращених експлуатаційних характеристиках мають у кілька разів менший габаритний розмір, ніж масляні. Наприклад, масляний

вимикач МКП-110 має вагу майже 17 т, у той час як елегазовий вимикач ЗАРІДТ-126 фірми Siemens має вагу всього 3,6 т, при цьому габаритні розміри елегазового [6] вимикача в кілька разів менші масляного.

Дуже важливим питанням є експлуатація високовольтних вимикачів, їх обслуговування – проведення періодичних капітальних та поточних ремонтів, а також позапланових (аварійних) ремонтів. Вакуумний вимикач не вимагає обслуговування дугогасної та контактної частини, в цілому він має більш просту конструкцію, порівняно з іншими вимикачами, тому його обслуговування досить легко і для цього не потрібне застосування спеціалізованого обладнання та інструменту. Елегазовий вимикач має складнішу конструкцію, але проведення періодичних технічних обслуговувань не викликає труднощів, обсяг роботи не перевищує обсяг робіт із вакуумним вимикачем. При зниженні тиску елегазу, необхідно зробити його докачування. Ремонт масляного вимикача передбачає значно більший обсяг робіт. Капітальний ремонт необхідно проводити кожні сім відключень струмів короткого замикання.

В електроустановках питанню пожежної безпеки приділяється чимало уваги. Що стосується високовольтних вимикачів, то масляні є найнебезпечнішими з точки зору пожежної безпеки, тому що в них міститься деяка кількість трансформаторного масла – легкозаймистої рідини. У розподільних пристроях з масляними вимикачами висувальні підвищені вимоги пожежної безпеки. Елегазові та вакуумні вимикачі абсолютно безпечні, оскільки конструктивно вони не мають легкозаймистих рідин та матеріалів.

Питання впливу обладнання електроустановок на навколишнє середовище також дуже актуальне. Для захисту навколишнього середовища необхідно мінімізувати кількість шкідливих речовин, що потрапляє до навколишнього середовища. В даному випадку масляні вимикачі мають найбільш згубний вплив на навколишнє середовище. Трансформаторна олія, що міститься в баках цих вимикачів, нерідко потрапляє в ґрунт через порушення герметичності баків, а також у разі виникнення аварійної ситуації, що супроводжується викидом олії з бака. Елегазові вимикачі відносно нешкідливі для навколишнього середовища, оскільки в процесі експлуатації вони не виділяють шкідливі речовини в навколишнє середовище. Єдине, на що слід звернути увагу – це елегаз (ізолює і дугогасне середовище вимикача). Цей газ є небезпечним для навколишнього середовища. Але у зв'язку з тим, що технічно справний елегазовий вимикач, що періодично обслуговується, має малий відсоток витоків елегазу, можна вважати, що такий вимикач шкоди навколишньому середовищу не завдає. Виняток становлять випадки, коли через пошкодження бака вимикача елегаз повністю виходить із бака в атмосферу [5, 6]. Вакуумний вимикач з точки зору екології, є найбезпечнішим, тому що він не містить жодних шкідливих речовин, його робоче дугогасильне середовище – вакуум, тобто відсутність будь-яких газів або рідин.

Таблиця

## Порівняльна характеристика повітряного, масляного, вакуумного та елегазового вимикачів

Тип вимикача	Безпека при експлуатації	Безпека щодо навколишнього середовища	Обслуговування	Чутливість до впливу навколишнього середовища	Зносостійкість	Розміри
Повітряний	Вибухонебезпечний	Безпечний	Часта заміна дугогасних контактів, періодичне технічне обслуговування механізму управління	Вплив температури навколишнього середовища, необхідність у додаткових установках	Середня	Установка, що вимагає великих відстаней
Масляний	Ризик виникнення пожежі або вибуху	Екологічно небезпечний	Періодична заміна олії (необоротна деградація олії при кожному відключенні)	Властивості середовища відключення можуть погіршуватися під впливом факторів навколишнього середовища (вологість, пил тощо)	Посередня	Відносно великі розміри пристрою
Вакуумний	Немає ризику виникнення вибуху або зовнішніх проявів	Відсутність забруднення навколишнього середовища	Масило механізмів керування в мінімальному обсязі	Нечутливі: повністю запаяна герметична камера	Висока	Не габаритні
Елегазовий	Немає ризику виникнення вибуху або зовнішніх проявів	При утилізації або витоку екологічно небезпечний	Змащення механізмів керування в мінімальному обсязі	Нечутливі: повністю запаяна герметична камера	Висока	Невеликі

В таблиці наведена порівняльна характеристика різних типів вимикачів.

**Висновки.** Порівняльний аналіз високовольтних вимикачів показав, що найбільш ефективними, якісними, надійними є елегазові та вакуумні високовольтні вимикачі. Провідні виробники комутаційних апаратів даного типу з кожним роком дедалі більше удосконалюють продукцію, роблячи її надійнішою та ефективнішою. Тому в наш час масляні вимикачі практично не випускаються. При будівництві нових об'єктів та технічному переоснащенні старих, віддається перевага виключно елегазовим та вакуумним високовольтним вимикачам. Тільки такі вимикачі здатні забезпечити високу надійність електропостачання споживачів та повною мірою забезпечити свої експлуатаційні характеристики, при цьому вони повністю відповідають нормам безпеки обслуговування, пожежної безпеки та екологічності.

## Література

- Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Х. : Точка, 2012. – 340 с. – ISBN 978-617-669-015-3.
- Журахівський А. В., Казанський С. В., Матеєнко Ю. П. Надійність електроенергетичних систем і

електричних мереж – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 457 с.

- Тарасевич П. Й. Перспективи розвитку засобів виявлення високовольтних вимикачів напругою 110–750 кВ, що відмовили. Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Л. : Вид-во Нац. університету «Львівська політехніка» – 2009. – С. 91–96.
- Романченко Ю. А., Петухов О. Г., Резнік І. О. Порівняльний аналіз різних типів високовольтних вимикачів. Майбутній науковець – 2021 : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2021. – С. 160-162.
- Михайлюк Р. І., Мисенко С. В., Кутін В. М., Рубаненко О. Є. Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі. Енергетика та електрифікація. – 2014. – № 3. – С. 34–37.
- Кутін В. М., Рубаненко О. Є., Мисенко С. В. Досвід впровадження та забезпечення надійності елегазових вимикачів в умовах експлуатації. Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 1. – С. 1–7.

## References

- Klymenko B. V. Elektrichni aparaty. Elektromehanichna aparatura komutacii, keruvannya ta zahystu. Zagal'nyj kurs : navchal'nyj posibnyk. – H. : Tochka, 2012. – 340 s. – ISBN 978-617-669-015-3.
- Zhurahiv's'kyj A. V., Kazans'kyj S. V., Matejenko Ju. P. Nadijnist' elektroenergetychnyh system i elektrichnyh

- merz – Kyiv : KPI im. Igorja Sikors'kogo, 2017. – 457 s.
3. Tarasevych P. J. Perspektyvy rozvytku zasobiv vyjavlennja vysokovol'nyh vymkachiv napругoju 110–750 kV, shho vidmovyly. Elektroenergetychni ta elektromehanichni systemy. – L. : Vyd-vo Nac. universytetu «L'vivs'ka politehnika» – 2009. – S. 91–96.
  4. Romanchenko Ju.A., Petuhov O. G., Rjezник I. O. Porivnjal'nyj analiz riznyh typiv vysokovol'nyh vymkachiv. Majbutnij naukovec' – 2021 : materialy vseukr. nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastju. Sjevjerodonec'k: SNU im. V. Dalja, 2021. – S. 160-162.
  5. Myhajljuk R. I., Mysenko S. V., Kutin V. M., Rubanenko O. Je. Dosvid ta perspektyvy ekspluatacij' elegazovyh vymkachiv u Pivdenno-Zahidnij energetychnij systemi. Energetyka ta elektryfikacija. – 2014. – № 3. – S. 34–37.
  6. Kutin V. M., Rubanenko O. Je., Mysenko S. V. Dosvid vprovadzhennja ta zabezpechennja nadijnosti elegazovyh vymkachiv v umovah ekspluatacij'. Naukovi praci VNTU. – 2013. – № 1. – S. 1–7.

#### **Romanchenko J. Comparative analysis of high voltage switches of different types**

*The article presents a comparative analysis of the characteristics of air, oil, vacuum and sulfur hexafluoride high-voltage circuit breakers used on electrical substations. These high-voltage circuit breakers have rather complex structure controlled by electromagnetic, spring, hydraulic or pneumatic drives and they are divided into several types depending on the environment in which the arc is extinguished. The literature analysis has shown that air circuit breakers, as the least efficient, large in size and expensive to maintain, are practically not used at present, all old air circuit breakers are gradually being replaced by more efficient and reliable circuit breakers. Therefore, the article analyzes the characteristics of oil, vacuum and sulfur hexafluoride high-voltage circuit breakers. The advantages and disadvantages of work in various conditions of high-voltage circuit breakers are consid-*

*ered. The most important characteristics of high-voltage circuit breakers such as mechanical strength, electrical strength of the arc extinguishing medium, switching life of the circuit breaker – the number of cycles of the circuit breaker, the mass of the circuit breaker are compared. It is shown that an important issue is the operation of high-voltage circuit breakers, their maintenance - carrying out periodic capital and current repairs, as well as unscheduled (emergency) repairs. The issues of the impact of electrical equipment on the environment are considered. To protect the environment, it is necessary to minimize the amount of harmful substances released into the environment. A comparative analysis of high-voltage circuit breakers showed that the most efficient, high-quality, and reliable are sulfur hexafluoride and vacuum high-voltage circuit breakers. Leading manufacturers of switching devices of this type every year improve their products more and more, making them more reliable and efficient. Therefore, at present, oil circuit breakers are practically not produced. During the construction of new facilities and the technical re-equipment of old ones, only sulfur hexafluoride and vacuum high-voltage circuit breakers are preferred. Only such circuit breakers are able to provide high reliability of power supply to consumers and fully ensure their performance, fully complying with the standards of service safety, fire and environmental safety.*

**Key words:** high-voltage circuit breaker, mechanical strength, electrical strength, arc extinguishing medium, vacuum, sulfur hexafluoride.

**Романченко Юлія Андріївна** – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), [romanchenko\\_ja@snu.edu.ua](mailto:romanchenko_ja@snu.edu.ua)

Стаття подана 28.01.2022 р.