

О. С. Рубаненко¹
В. О. Лесько¹
А. В. Поліщук¹
Д. О. Мельничук¹

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Зазначено, що на сьогодні в експлуатації знаходиться багато високовольтних вимикачів різних виробників та конструкцій. На основі аналізу статистики пошкоджень високовольтних вимикачів доведено, що мають місце не лише пошкодження застарілих масляних чи повітряних вимикачів, а і нових елегазових вимикачів. Звертається увага на необхідність використовувати сучасні методи та засоби діагностування. Висновки за результатами діагностування вимикачів мають враховувати визначення ризиків під час експлуатації діагностованих вимикачів. Розглянуто такі ризики для вимикача та обладнання розподільного пристрою: компонент ризику нанесення шкоди живим істотам внаслідок їх ураження електричним струмом або напругою кроку в результаті замикань в обладнанні розподільного пристрою, неспрацювання або руйнування вимикача; компонент ризику фізичного пошкодження суміжного з вимикачем високовольтного обладнання; компонент ризику відмови внутрішніх систем вимикача, спричиненої погіршенням його технічного стану під час увімкнення/вимкнення номінальних струмів; компоненти ризику для електрообладнання розподільного пристрою у разі короткого замикання поблизу розподільного пристрою; компонент ризику відмови внутрішніх систем вимикача, викликані відключенням струмів коротких замикань в циклі неуспішного АПВ; компонент ризику фізичного пошкодження обладнання розподільного пристрою (пожежа або вибух через замикання та перевантаження електричного обладнання розподільних пристроїв та не спрацювання відповідних вимикачів з причини незадовільного технічного стану вимикача); компонент ризику відмови вимикача, викликані пошкодженнями джерела живлення котушок увімкнення та вимкнення вимикача.

Ключові слова: високовольтний вимикач, повітряний вимикач, елегазовий вимикач, пошкодження вимикачів, ризики, діагностування, експлуатація.

Вступ

В наш час в експлуатації знаходиться багато високовольтних вимикачів (ВВ), які поділяються за напругою електроустаткування, за призначенням, за дугогасним середовищем, за конструкцією та за іншими ознаками. Експлуатація вимикачів передбачає їх технічне обслуговування, поточні, розширені та капітальні ремонти, огляди, випробовування, on-line та off-line діагностування і т.п. Одним з призначень ВВ є увімкнення та вимкнення високовольтного обладнання, відключення великих струмів під час коротких замикань, струмів перевантажень і т.п. Отже, відмова ВВ під час експлуатації спричиняє зростання ризиків, пов'язаних з небезпекою, з пошкодженням відповідального обладнання, пов'язаних з порушенням оптимальних та економічних режимів експлуатації електроенергетичних систем, технологічних процесів різних галузей в промисловості та в агропереробному комплексі України. Пошкоджене високовольтне обладнання має бути швидко відключене найближчим вимикачем. Однак, навіть сучасні елегазові ВВ можуть пошкоджуватись. Неякісне діагностування елегазових ВВ викликає зростання ризиків пов'язаних з їх відмовою під час експлуатації. Отже, тема «Особливості експлуатації високовольтних електричних вимикачів», їх діагностування та визначення ризиків експлуатації несправних ВВ, внаслідок неякісного їх діагностування є актуальними.

Метою статті є аналіз особливостей експлуатації високовольтних електричних вимикачів (ВВ).

Відповідно до вказаної мети в роботі розглядаються задачі:

1. Визначення відсоткової частки пошкоджень вимикачів різних конструкцій шляхом аналізу літературних джерел;
2. Визначення компонентів ризиків, які виникають під час експлуатації вимикачів з невідомим технічним станом.

Результати досліджень

Результати аналізу пошкоджуваності ВВ показані на рис. 1.

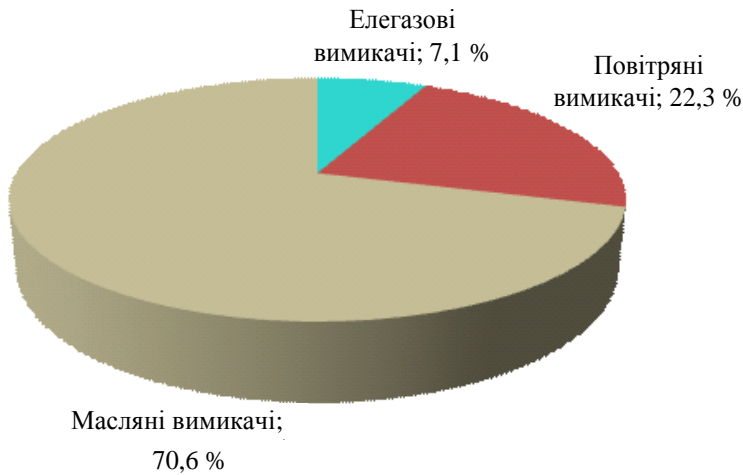


Рис. 1. Пошкоджуваність високовольтних вимикачів

З рис. 1 випливає, що пошкоджуваність елегазових вимикачів складає лише 7,1 %, від загальної кількості пошкоджень ВВ, однак кількість елегазових вимикачів, які в наш час знаходяться в експлуатації, значно менша ніж масляних або вакуумних. Дослідження літературних джерел свідчать про те, що кількість пошкоджених елегазових вимикачів в загальній кількості пошкоджених високовольтних вимикачів складає 7,1 %, в той час як повітряних вимикачів — 22,3 %, а масляних вимикачів — 70,6 % (рис. 1). В [1] зазначається, що під час експлу-

атації мали місце пошкодження елегазових вимикачів з таких причин: пошкодження котушок електромагнітів увімкнення та вимкнення; пошкодження електричного двигуна заведення пружини; помилкова робота релейного захисту та автоматики; втрата тиску елегазу пов'язана з неякісним проведенням пуско-налагоджувальних робіт та з ущільненнями в картері дугогасильної камери; пошкодження обігрівуючих пристроїв; несправності пристроїв сигналізації тиску елегазу.

Під час проведення пуско-налагоджувальних робіт, які виконував шеф-інженер на вимикачі класу напруги 750 кВ, було зафіксовано нестабільну роботу приводу. Під час подання сигналу на увімкнення вимикач не при кожній операції фіксувався в увімкненому положенні. Причиною нестабільної роботи був дисбаланс між пружинами увімкнення та вимкнення [2]. Під час налагодження вимикачів на ПС-330 кВ «Хмельницька» виявлено нестабільну роботу приводу. Після подачі команди на увімкнення привод не фіксувався в увімкненому положенні і самовільно вимикався. Причиною цього був недостатній натяг пружинки для фіксації заціпки вимкнення. Під час виконання операції увімкнення короткочасно з'являлась «земля» в колах постійного струму. Причиною цього був малий зазор між захисним металевим кожухом та проводом резистора для динамічного гальмування двигуна. Встановлено витік елегазу зі зворотного клапана газорозподільної системи. Під час планового технічного обслуговування та перевірки захистів вимикачів через рік після введення в експлуатацію виникли дефекти при увімкненні вимикачів. Вимикачі не фіксувалися в увімкненому положенні і самовільно вимикалися. За вказівкою представника заводу-виробника виконано регулювання приводу, а саме вкручування болта розщеплювача приводу [3]. В табл. 1 показані кількості відмов ВВ в залежності від видів ВВ (голубим кольором позначено вимикачі застарілих типів).

Таблиця 1

Кількості відмов ВВ

Вид вимикача	Клас напруги, кВ					Всього відмов за типами вимикачів	
	110	220	330	500	750		
1	Повітряні	112	83	87	183	15	480/2977
2	Масляні	1760	674	—	—	—	2434/2977
3	Елегазові	27	28	1	6	1	63/2977

Проаналізувавши експлуатацію елегазових вимикачів, введених в роботу на підприємствах України, встановлено такі причини відмов:

- обрив склопоксидних тяг в дугогасильній камері;
- вибух дугогасильних камер під час виконання неуспішного АПВ на елегазовому вимикачі LTV800E/4 через неможливість вимкнення вимикачем струму майже 500 А (холостий струм лінії);
- втрата тиску дугогасильного середовища; спалення котушок електромагнітів вмикання та вимкнення; порушення кріплення ковзних контактів до циліндру дуття, що в свою чергу призведе до пробоя ізоляційного проміжку між рухомим та нерухомим контактами вимикача, який виконав 6718 циклів;
- відмови бакових елегазових вимикачів через блокування кіл керування, які спричинила мала потужність і низька надійність приладів обігріву баків [3]—[5].

Діаграма розподілу відмов для елегазових вимикачів зображена на рис. 2.

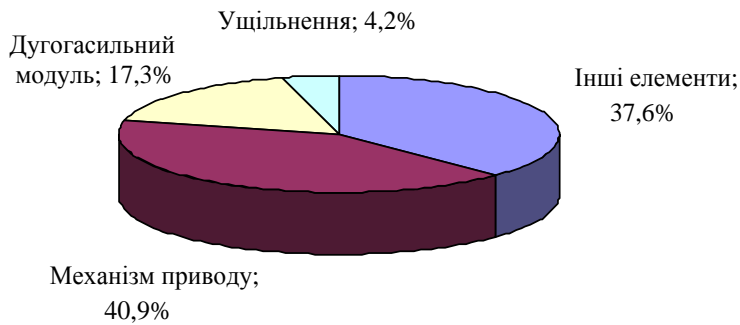


Рис. 2. Діаграма відмов елегазових вимикачів

На рис. 2 показані відсоткові частки відмов таких вузлів та деталей: механізм приводу — 40,9 %; дугогасильний модуль — 17,3 %; ущільнення — 4,2 %.

Тому актуальним є вдосконалення, розробка та впровадження сучасних, інформативних систем визначення та прогнозування (погодних умов, режимів електроенергетичних систем, технічного стану ВВ тощо) [6], [7]. Суть розрахунку ризиків зводиться до визначення сумарного ризику з урахуванням

всіх факторів та порівняння його з прийнятним ризиком. Під час експлуатації на відкритих розподільних пристроях трапляються пошкодження сучасних елегазових вимикачів (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Пошкоджені елегазові вимикачі

Частіше ніж елегазові пошкоджуються повітряні вимикачі (рис. 4).



Рис. 4. Пошкодження високовольтних повітряних вимикачів та суміжного обладнання (трансформатора струму)

Загальні формули для визначення ризиків, залежних від компонентів ризиків, які виникають під час експлуатації вимикачів з невідомим технічним станом, або з погіршеним технічним станом такі:

$$R_1 = RA_1 + RB_1 + RC_1 + RM_1 + RU_1 + RV_1 + RW_1 + RZ_1; \quad (1)$$

$$R_2 = RB_2 + RC_2 + RM_2 + RV_2 + RW_2 + RZ_2; \quad (2)$$

$$R_3 = RB_3 + RV_3; \quad (3)$$

$$R_4 = RA_4 + RB_4 + RC_4 + RM_4 + RU_4 + RV_4 + RW_4 + RZ_4. \quad (4)$$

У формулах (1)—(4) використовуються: компоненти ризику для вимикача під час відключення вмикачем значних струмів коротких замикань (КЗ), а саме: RA — компонент ризику нанесення шкоди живим істотам в результаті ураження електричним струмом в результаті неспрацювання вимикача або руйнування вимикача, RB — компонент ризику фізичного пошкодження суміжного з вимикачем високовольтного обладнання (рис. 4), викликаного неспрацюванням ВВ, яке може привести до вибуху або пожежі, до витоку елєгазу і наразити на небезпеку навколишнє середовище, RC — компонент ризику відмови внутрішніх систем ВВ, викликаного погіршенням його технічного стану (наприклад зношування головних контактів, зменшення тиску елєгазу і т.п.) під час увімкнення/вимкнення номінальних струмів; компоненти ризику для електрообладнання розподільного пристрою при короткому замиканні поблизу розподільного пристрою, RM — компонент ризику відмови внутрішніх систем ВВ, викликаного відключенням струмів коротких замикань в циклі неуспішного АПВ; компоненти ризику для вимикача та обладнання розподільного пристрою при короткому замиканні в обладнанні розподільного пристрою або поблизу, а саме: RU — компонент ризику нанесення шкоди живим істотам внаслідок ураження їх електричним струмом або напругою кроку під час замикань в обладнанні розподільного пристрою і неспрацюванні вимикача, RV — компонент ризику фізичного пошкодження обладнання розподільного пристрою (пожежа або вибух, викликані замиканнями та перевантаженнями електричного обладнання розподільних пристроїв та неспрацюваннями відповідних ВВ викликаних незадовільним технічним станом ВВ), RW — компонент ризику відмови ВВ, викликані пошкодженнями джерела живлення котушок увімкнення та вимкнення ВВ; компоненти ризику для ВВ при короткому замиканні в лінії оперативного постійного струму, а саме: RZ — компонент ризику відмови внутрішніх систем ВВ, викликаний обривом або замиканнями в лініях оперативного постійного струму або напруги.

Обговорення отриманих результатів

Вказане вище підтверджує необхідність покращення якості ремонтів масляних та повітряних вимикачів, термін експлуатації яких перевищує паспортний ресурс 25 років, а також тих вимикачів, у яких закінчився комутаційний ресурс.

Також необхідно використовувати сучасні мікропроцесорні прилади та системи діагностування ВВ як вітчизняного (Регіна, Рекон і т. п.), так і закордонного виробництва (Omicron, система аналізу характеристик вимикачів ТМ 1800 та ін.).

Висновки

1. В наш час в експлуатації знаходиться багато високовольтних вимикачів різних виробників та конструкцій, які відрізняються дугогасним середовищем та принципом дії. Це ускладнює їх експлуатацію.

2. Проведений аналіз пошкоджень високовольтних вимикачів свідчить про пошкодження не лише застарілих масляних чи повітряних вимикачів, а й нових елєгазових вимикачів.

3. Під час експлуатації високовольтних вимикачів потрібно враховувати їх технічний стан, який визначається шляхом використання сучасних методів та засобів діагностування.

4. Висновки за результатами діагностування високовольтних вимикачів мають враховувати визначення ризиків під час експлуатації діагностованих високовольтних вимикачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. Є. Рубаненко, і С. В. Мисенко, «Координація впровадження та забезпечення надійності елєгазових вимикачів в умовах експлуатації», *Вісник Хмельницького національного університету*, № 1, с. 135-139, 2013.
- [2] Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, і О. Є. Рубаненко, «Досвід та перспективи експлуатації елєгазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі», *Енергетика та електрифікація*, № 3, с. 34-37, 2014.
- [3] В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, і С. В. Мисенко, «Досвід впровадження та забезпечення надійності елєгазових вимикачів в умовах експлуатації», *Наукові праці ВНТУ*, № 1, с. 1-7, 2013.
- [4] П. Тарасевич, «Перспективи розвитку засобів виявлення високовольтних вимикачів напругою 110 –750, що відмовили», *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, *Електроенергетичні та електромеханічні системи*, № 637, с. 91-96, 2009.

[5] С. Мисенко, «Вдосконалення методів і засобів діагностування елегазових вимикачів.» дис. канд. техн. наук. 05.14.02, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2015.

[6] П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, і Є. С. Дідіченко, «Аналіз метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед,» *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*, № 1, с. 27-31, 2017.

[7] О. В. Дідушок, «Мікропроцесорний пристрій для діагностування електромагнітного приводу вакуумного вимикача,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 31-36, 2019.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.2021

Рубаненко Олександр Євгенійович — канд. техн. наук, професор, професор кафедри електричних станцій та систем, e-mail: rubanenkae@ukr.net ;

Лесько Владислав Олександрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: leskovlad@ukr.net ;

Поліщук Андрій Володимирович — студент факультету електроенергетики та електромеханіки, e-mail: andrey.polishchuk2000@gmail.com ;

Мельничук Дмитро Олександрович — студент факультету електроенергетики та електромеханіки, e-mail: studgor@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. Ye. Rubanenko¹

V. O. Lesko¹

A. V. Polishchuk¹

D. O. Melnychuk¹

Features of Operation of High-Voltage Electric Switches

¹Vinnitsia National Technical University

The paper draws attention to the fact that nowadays there are many high-voltage switches in operation of different manufacturers and designs, which differ in arc-quenching environment, principle of operation, features of operation. This requires from the maintenance and repair staff additional knowledge and skills agreed with the representatives of enterprises - manufacturers of switches of new designs. Based on the analysis of the statistics of damage to high-altitude switches, it is proved that there is not only damage to obsolete oil or air switches, but also new SF6 switches. the number of damaged SF6 circuit breakers in the total number of damaged high-voltage circuit breakers is 7.1%, while air circuit breakers - 22.3%, and oil circuit breakers - 70.6%. In order to improve the quality of operation of high-voltage switchgear equipment, it is necessary to have information about the technical, preferably current, condition of high-voltage switches. After all, these switches, by disconnecting damaged electrical equipment, significantly reduce the time of leakage of short-circuit overcurrents, and therefore reduce the likelihood of spreading damage to adjacent to the damaged equipment. To reduce errors of the first and second kind when forming conclusions about the technical condition of the diagnosed switch, it is desirable to use modern methods and tools of diagnosis. Conclusions based on the results of diagnosing circuit breakers should take into account the determination of risks during operation of the diagnosed circuit breakers. The following risk components are considered in the article: risk component of damage to living beings as a result of electric shock as a result of non-operation or destruction of the switch; component of the risk of physical damage to high-voltage equipment adjacent to the switch caused by failure of the switch, which could lead to explosion or fire, leakage of SF6 and endanger the environment, component of the risk of failure of internal switch systems due to deterioration main contacts, reduction of SF6 pressure, etc.) during switching on / off of rated currents; components of risk for electrical equipment of the switchgear in case of short circuit near the switchgear, component of risk of failure of internal circuit breaker systems caused by disconnection of short-circuit currents in the cycle of unsuccessful APV; Risk components for switchgear and switchgear equipment in the event of a short circuit in or near switchgear equipment, namely: component of risk of damage to living beings due to electric shock or step voltage during short circuits in switchgear equipment and switch failure, component of risk of physical damage to switchgear equipment (fire or explosion caused by short circuits and overloads of electrical equipment of switchgear and failure of appropriate switches due to unsatisfactory technical condition of the switch; component of risk of failure of the switch caused by damage to the source coil on and off coils, risk components for the circuit breaker during a short circuit in the operating DC line, namely the component of the risk of failure of internal circuit breaker systems caused by breakage or short circuit in the operating DC or voltage lines.

Keywords: high-voltage switch, air switch, SF6 switch, switch damage, risks, diagnosis, operation.

Rubanenko Oleksandr Ye. — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Power Plants and Systems, e-mail: rubanenkae@ukr.net ;

Lesko Vladyslav O. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Power Plants and Systems, e-mail: leskovlad@ukr.net ;

Polishchuk Andrii V. — Student of the Department of Power Engineering and Electromechanics, e-mail: andrey.polishchuk2000@gmail.com ;

Melnychuk Dmytro O. — Student of the Department of Power Engineering and Electromechanics, e-mail: studgor@gmail.com

А. Е. Рубаненко¹
В. А. Лесько¹
А. В. Полищук¹
Д. А. Мельничук¹

Особенности эксплуатации высоковольтных электрических выключателей

¹Вінницький національний технічний університет

Отмечено, что на сегодняшний день в эксплуатации находится много высоковольтных выключателей различных производителей и конструкций. На основе анализа статистики поврежденных высоковольтных выключателей доказано, что имеют место не только повреждения устаревших масляных или воздушных выключателей, но и новых элегазовых выключателей. Обращается внимание на необходимость использования современных методов и средств диагностирования. Выводы по результатам диагностики выключателей должны учитывать определение рисков при эксплуатации диагностированных выключателей. Рассмотрены следующие риски для выключателя и оборудования распределительного устройства: компонент риска причинения вреда живым существам вследствие их поражения электрическим током или шаговым напряжением в результате замыканий в оборудовании распределительного устройства, несрабатывания или разрушения выключателя; компонент риска физического повреждения смежного с выключателем высоковольтного оборудования; компонент риска отказа внутренних систем выключателя, вызванного ухудшением его технического состояния при включении/выключении номинальных токов; компоненты риска для электрооборудования распределительного устройства при коротком замыкании вблизи распределительного устройства; компонент риска отказа внутренних систем выключателя, вызванного отключением токов коротких замыканий в цикле неуспешного АПВ; компонент риска физического повреждения оборудования распределительного устройства (пожар или взрыв, вызванные замыканиями и перегрузками электрического оборудования распределительных устройств и не срабатыванием соответствующих выключателей по причине неудовлетворительного технического состояния выключателя; компонент риска отказа выключателя, вызванного повреждениями источника питания катушек включения и выключения.

Ключевые слова: высоковольтный выключатель, воздушный выключатель, элегазовый выключатель, повреждение выключателей, риски, диагностирование, эксплуатация.

Рубаненко Александр Евгеньевич — канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры электрических станций и систем, e-mail: rubanenkae@ukr.net ;

Лесько Владислав Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электрических станций и систем, e-mail: leskovlad@ukr.net ;

Полищук Андрей Владимирович — студент факультета электроэнергетики и электромеханики, e-mail: andrey.polishchuk2000@gmail.com ;

Мельничук Дмитрий Александрович — студент факультета электроэнергетики и электромеханики, e-mail: studgor@gmail.com