

**V.V. Kuchanskyi**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

**Investigation of resonance overvoltages in 750 kV main power electrical networks with non-sinusoidal source of distortion by using the artificial neural network**

*Considers the possibility of using artificial neural networks for rapid decision-making in the event of prolonged overvoltages. The analysis of the specifics of the task of developing an express method for determining the characteristics of overvoltages and common methods for their solution through the use of artificial neural networks is carried out. The architecture of artificial multilayer neural networks, suitable for the realization of this task, has been applied. The resonant overvoltages arising from the connection of the autotransformer to the electrical network 750 kV are considered. The research was devoted to the actual scientific and practical task - the development of models for the analysis of resonance overvoltages. An artificial neural network of overvoltage control its debugging has been developed. The application of the developed network for the identification of factors that have the greatest influence on the appearance and multiplicity of overvoltages in electrical networks is explored. The presence of a large number of fuzzy factors that affect the accuracy of the determination of the characteristics of overvoltage data necessitated the use of an artificial neural network. The factors that influence the characteristics of abnormal overvoltages are revealed. The results of determination of overvoltage characteristics of such a class by artificial neural network are given. The results of determining the characteristics of overvoltages using an artificial neural network are given. In this paper, to solve the problem of determining the characteristics of overvoltages, neural network methods are considered that differ in their ability to establish nonlinear connections between the parameters of the extra-high voltage transmission line. To achieve this goal, the following tasks were formulated: to carry out the definitions of overvoltage characteristics by neural network methods; to build a model of the neural network, corresponding to the initial data of the transmission line; get the results of the forecast; to estimate the accuracy of the functioning of the constructed model. References 11, figures 5.*

**Key words:** resonance overvoltages, even harmonics, nonsinusoidal modes, artificial neuron network.

Надійшла 17.01.2018

Received 17.01.2018

УДК 621.316.5

**НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

**М.Ф. Сопель<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, **А.В. Панов<sup>2</sup>**, **В.І. Паньків<sup>3</sup>**, **Є.М. Танкевич<sup>4</sup>**, докт. техн. наук

1 – МПП «АНІГЕР»,

вул. Гарматна, 2, Київ, 03680, Україна

2–4 – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

e-mail: [av-panov@ukr.net](mailto:av-panov@ukr.net)

*Виконано аналіз основних вимог нормативних документів ОЕС України, стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК), Американського національного інституту стандартів (ANSI) та Інституту інженерів-електриків (ІЕЕЕ) щодо високовольтних вимикачів у частині, що стосується їх номінальних значень, експлуатаційних характеристик, вибору та застосування систем моніторингу, дослідження, аналізу і звітності про відмови. Показано актуальність та значимість оновлення і гармонізації нормативного забезпечення високовольтних вимикачів та їх моніторингу з міжнародними стандартами. Бібл. 24, таблиця.*

**Ключові слова:** нормативне забезпечення, вимикач, моніторинг, оновлення, розроблення, відмова, звітність.

Актуалізація, розроблення і оновлення нормативних документів (НД) ОЕС України та їх гармонізація з міжнародними стандартами визначені в документах Міненерговугілля України [8-10] основним напрямком реалізації технічної політики (ТП) в галузі. Там же зазначено, що впровадження НД дасть змогу підвищити надійність та ефективність експлуатації електроенергетичних об'єктів (ЕЕО) і енергосистем (ЕЕС), вдосконалити їх моніторинг і підвищити керованість ними, забезпечивши таким чином стійке функціонування і розвиток електроенергетики країни.

Розроблення, перегляд та ведення реєстру чинних у сфері електроенергетики НД, створення і ведення їх повнотекстової об'єктно-орієнтованої бази розглядаються в цих документах як основні шляхи реалізації ТП. Згідно з вказаними документами об'єктно-орієнтована система НД має складатися з системи стандартів, що містять лише вимоги та норми (НД 1-го рівня) і НД, які забезпечують виконання вимог стандартів (рекомендації, посібники, методики, методичні вказівки, інструкції, типові технічні рішення тощо) (НД 2-го рівня). Кожний об'єкт (технічна система, обладнання, технологія) має бути забезпечений наступними типами стандартів: технічні вимоги; вимоги з організації експлуатації і ТО; методи випробувань; охорона праці і техніка безпеки. Визначено, що показниками функціональної прогресивності технічних рішень у проектах будівництва, реконструкції та технічного переоснащення підстанцій є автоматизована підстанція (ПС) з телевимірюваннями і керування виробничими процесами без постійного обслуговуючого персоналу; застосування засобів автоматичного діагностування та моніторингу стану обладнання ПС в експлуатаційному режимі; застосування елегазових вимикачів у розподільних пристроях (РП) напругою 110 кВ і вище. Для високовольтних вимикачів (ВВ) у складі ПС такими показниками є наявність пружинного приводу на струм вимкнення  $I_{\text{вим}}$  до 63 кА і автоматизованої системи моніторингу та діагностики; механічний ресурс – не менше 10000 циклів увімкнення-вимкнення; комутаційний ресурс – 20-25 вимикань струму КЗ; власний час вимикання – не більше 0,02 с; автономність (відсутність необхідності стаціонарного обладнання газопідживлення); збереження номінальних параметрів за температури навколишнього повітря  $-45^{\circ}\text{C}$  з впливом вітрового навантаження; річний витік елегазу – не більше 0,1 %.

Оскільки об'єкт моніторингу є невід'ємною частиною системи моніторингу, то в складі об'єктно-орієнтованої бази НД ОЕС України мають бути нормативи, що стосуються об'єкта моніторингу, тобто самих ВВ, і нормативи щодо їх моніторингу, які повинні враховувати технічні характеристики, особливості конструкції та роботи в різних режимах цих надто важливих для надійного, якісного та безпечного функціонування електроенергетичної галузі апаратів.

**Метою роботи** є огляд існуючої нормативної бази стосовно ВВ та їх моніторингу як у нас в країні, так і за кордоном, оцінювання складу та якості національних НД і визначення на цій основі міжнародних стандартів щодо моніторингу ВВ, які першочергово потрібно впроваджувати в Україні.

**Нормативи ВВ.** На цей час нормативна база ВВ в Україні складається з НД [1-7] і в більшій своїй частині потребує поновлення, вдосконалення і гармонізації з міжнародними стандартами, що стосуються цих апаратів, відповідно до Технічної політики [8-10] щодо порядку розроблення та перегляду стандартів підприємства.

Найбільш визнані в сучасному світі та важливими щодо ВВ і комутаційної апаратури стандарти МЕК і Американського національного інституту стандартів (ANSI). Стандарти США здебільшого є продуктом спільних або окремих зусиль ANSI, Інституту інженерів – електриків (IEEE) та Національної асоціації виробників електротехнічної продукції (NEMA). Стандарти є життєво необхідними документами і тому впродовж усього часу розвитку вимикачів процес їх стандартизації розвивався і вдосконалювався, до нього прилучалися все нові й нові країни. Документи ANSI розвиваються за політики відкритої участі, тоді як в МЕК цей процес обмежений лише державами – членами цієї організації. Сьогодні фактично усі ВВ, що продаються в усьому світі, відповідають стандартам МЕК. Стандарти ANSI застосовуються в США і в країнах, в яких США має сильний вплив на розвиток їх електротехнічної промисловості. Між стандартами цих двох організацій існують певні відмінності, насамперед у форматі та технічних вимогах, але вони не є значними і відносяться скоріше до урахування місцевих особливостей, ніж до фундаментальних положень. У зв'язку зі зростаючою глобалізацією торгівлі, а також через те, що сьогодні розвиток ВВ відбувається головним чином за межами США, а усі провідні постачальники цього типу устаткування належать європейським або японським багатонаціональним корпораціям, існує проблема гармонізації цих двох систем стандартів або ж злиття їх в єдину систему стандартів [24].

Основними або первинними стандартами ANSI щодо ВВ є такі стандарти: ANSI C37.06 [11], IEEE C37.04-1999(R2006) [18], IEEE C37.12-2008 [22] і IEEE C37.09 [19]. Основними стандартами МЕК є IEC 62271-1:2007 [14] та IEC 62271-100:2008 [15].

Оглянемо коротко основні положення цих стандартів, що стосуються номінальних значень вимикачів та їх експлуатаційних характеристик. Номінальними значеннями вимикача вважаються мінімально необхідні значення параметрів, за яких вимикач задовольняє вимогам стандарту при функціонуванні в межах визначених умов. Структура номінальних значень містить основні параметри частоти, напруги і струму, а також ряд інших параметрів, що отримуються з зазначених основних. Номінальне значення промислової частоти є важливим фактором під час переривання струму, оскільки для багатьох типів вимикачів швидкість зміни струму при його проходженні через нуль є більш значимим параметром, ніж середньоквадратичне чи пікове значення струму [24]. До номінальних значень, пов'язаних з напругою, відносяться: «номінальна максимальна робоча напруга» (ANSI) та «номінальна напруга» (IEC); «номінальна електрична міцність»; «номінальна перехідна відновлювана напруга».

До структури номінальних значень і вимог, пов'язаних зі струмом, входять: «номінальний тривалий струм» і «номінальний струм короткого замикання». Перше з них використовується для встановлення максимально допустимих температурних меж нагрівання вимикача з метою запобігання виходу температури з-під контролю. Максимальні значення нагрівання, подані в стандартах [14] і [18], для вимикачів зовнішнього установа не відрізняються. Визначене обома стандартами номінальне значення струму КЗ відповідає максимальному значенню симетричного струму, який здатний відключити вимикач. Існує ряд відповідних здатностей, пов'язаних зі значенням симетричного струму, яке є основою номінальних значень. Це номінальний час відключення вимикача, що складається з часу від моменту подачі живлення на котушку відключення до моменту згасання дуги та номінальний піковий несиметричний струм увімкнення, встановлений з метою визначення механічної здатності вимикача, його контактів і механізму витримувати максимальні електромагнітні сили, які можуть виникнути, коли вимикач вмикається на КЗ.

З метою гарантування витримування струмопровідними частинами ВВ нагрівання струмом КЗ встановлена вимога у вигляді номінального значення короткотривалого струму, що є діючим значенням повного (несиметричного) струму, який вимикач має проводити в положенні «увімкнено» протягом встановленого часу. Цей час не може перевищувати допустимої затримки вимкнення і визначений ANSI для ВВ з номінальним значенням напруги нижче 100 кВ, рівним 2 с, і 1 с для ВВ з напругою вище 100 кВ. У стандартах IEC цей час складає 1 с для усіх ВВ і називається номінальною тривалістю КЗ.

Важливою вимогою, що пов'язана з номінальним струмом КЗ, є номінальний цикл робочого режиму (в ANSI), який в IEC має назву «комутаційний цикл». Стандартний режим роботи ВВ визначений ANSI як послідовність наступних операцій: вимикання – 15 с – вмикання-вимикання – 3 хв – вмикання-вимикання. Для вимикачів, призначених для автоматичного повторного вмикання (АПВ), ця послідовність виглядає так: вимикання – 0,3 с – вмикання-вимикання – 3 хв – вмикання-вимикання. В IEC додатково до зазначеного визначений комутаційний цикл з обома безструмовими паузами, рівними 3 хв.

Характерною лише для ANSI вимогою є здатність до обслуговування, що визначається мінімально прийнятною кількістю циклів вимикання ВВ номінального струму КЗ без необхідності заміни його контактів. Ця здатність встановлюється виходячи з сумарного відключеного струму і, наприклад, для сучасних елегазових і вакуумних ВВ вона складає 800 % номінального струму КЗ. Стандартами IEC ця характеристика не встановлена, однак для ВВ з номінальною напругою від 1 до 52 кВ стандартом [15] встановлено два типи ВВ, що характеризуються різним рівнем комутаційної зносостійкості:  $E_1$  і  $E_2$ . Вимикач типу  $E_2$  є такий, що не потребує ТО частин розриву силового кола впродовж очікуваного терміну служби і вимагає лише мінімального ТО інших його частин. Тобто вимикачу типу  $E_2$  властива розширена комутаційна зносостійкість. Тип  $E_1$  визначається як вимикач, який не потрапляє до типу  $E_2$ .

Стандарти обох організацій визначають також додаткові вимоги до виконання ВВ інших, відмінних від комутацій струмів КЗ, комутаційних операцій – комутацій ємностей. Серед них здатність комутації однієї батареї конденсаторів і зустрічно увімкнених батарей у вигляді номінального струму їх вимкнення, які не є обов'язковими для усіх вимикачів; вимоги щодо зарядних струмів ліній у вигляді номінального зарядного струму, які є обов'язковими для усіх ВВ зовнішнього встановлення з номінальними значеннями напруги 72,5 кВ і вище. Особливим випадком комутації ємності вважається комутація кабельної лінії, вимоги до якої встановлені у вигляді номінального значення зарядного струму і є обов'язковими для усіх ВВ з номінальними значеннями напруги не менш ніж 52 кВ. Додатковою вимогою у вигляді встановлення максимального коефіцієнта перенапруги при повторних запаленнях і пробоях під час комутації ємнісного струму гарантується, що їх дія за умов допустимого зростання напруги підтримується в безпечних межах.

Визначені в стандартах механічні вимоги стосуються числа механічних операцій (одна механічна операція складається з одного увімкнення і одного вимкнення), які можуть бути виконані ВВ. Забезпечення цих вимог гарантує витривалість конструкції і функціональні характеристики робочого механізму ВВ. Усі вимикачі зовнішнього встановлення згідно з ANSI мають загальну вимогу 2000 операцій. Стандартом [15] для ВВ типу  $E_1$  встановлено вимогу 2000 операцій, типу  $E_2$  – 10000 операцій.

**Нормативні документи з моніторингу ВВ.** Нормативно-правова база щодо створення та використання систем моніторингу електротехнічного обладнання, включно і ВВ, в Україні поки що відсутня, але незважаючи на це на високовольтних підстанціях з метою моніторингу параметрів вимикачів встановлюють певне обладнання.

Щодо нормативної бази міжнародного рівня найбільш цілеспрямованим, повним і корисним для розробників та користувачів систем моніторингу ВВ є керівництво IEEE C37.10.1-2000 [20]. У цьому досить глибоко проробленому інформативному документі подано керівні вказівки щодо вибору параметрів моніторингу та діагностики, які необхідно використовувати для високовольтних вимикачів напругою вище 1000 В різних технологій виготовлення, базовий перелік можливих характерних відмов вимикачів, їх причин і наслідків, характеристик розвитку відмов та доступних у кожному конкретному випадку опцій моніторингу. Представлені в керівництві декілька методологій вибору варіанта моніторингу враховують ризики відмов вимикачів та вигідність витрат при застосуванні моніторингу за умови найбільшого зменшення інтенсивності їх відмов. За допомогою оцінювання ризику відмов через оцінку їх ймовірності та серйозності наслідків визначається міра важливості відмов у сфері економіки, безпеки та довколишнього середовища. Для означення можливостей модернізації обслуговування (стратегії, задач та інтервалів) ВВ, яка можлива завдяки моніторингу, наведено приклади різних програм їх обслуговування за наявності та відсутності моніторингу.

У керівництві подано також ряд визначень, зокрема: неперервного і періодичного моніторингу, діагностичного контролю, характеристики і наслідку відмови, аналізу характеру наслідків і важливості відмов, ризику. Зазначено, що моніторинг може використовуватись для визначення стану ВВ, його окремих вузлів і функцій керування; оптимізації діяльності з обслуговування; зменшення інтенсивності відмов і покращення економічних показників функціонування ВВ; збільшення доступного запасу знань про ВВ з метою більш точного визначення причин відмов після їх появи. Термін «відмова» використовується в контексті цього керівництва для позначення «неуспішного виконання функції» незалежно від причини елемента чи вузла, яким вона спричинена. Відмова виконувати потрібну функцію не передбачає, що відмовив конкретний елемент, натомість передбачає, що функція елемента чи ВВ не була забезпечена. Функціональні відмови необов'язково викликаються відмовою ВВ чи його елемента. Необхідно також враховувати і зовнішні причини, включно з неправильним застосуванням.

У стандарті [20] вказується, що його необхідно використовувати в поєднанні з стандартами [12, 13, 21, 17, 16, 23] або їх затвердженими новими версіями, якщо такі є. Серед цих

стандартів найбільш значущим для розв'язання задачі вибору моніторингу ВВ, на думку авторів, є стандарт [23], який є останньою версією стандарту [21], що переглядався в 2002 та 2008 роках. У цьому керівництві подано правила та процедури проведення розслідування, аналізу та складання звітів про відмови ВВ. Слід зазначити, що статистичні дані щодо пошкодженості тих чи інших елементів ВВ за умов тривалої експлуатації дають змогу сформулювати уявлення про те, на чому необхідно концентрувати увагу і зусилля при виборі та розробці системи моніторингу для досягнення більш високих показників надійності як конструкції, так і функціонування ВВ. Отримати такі дані можливо лише від працівників експлуатації, які не завжди вважають за необхідне складання інформаційного досяє про експлуатаційні характеристики пошкодженого ВВ. Виконання вимог та рекомендацій стандарту [23] забезпечує можливість розв'язання цієї задачі шляхом складання спільно користувачем і виробником ВВ стандартизованої форми звітів про їх відмови. Метою цього нормативного документа є:

- встановлення нормативів та сприяння одноманітності в аналізі відмов вимикачів;
- надання керівних вказівок для систематичного та однакового збору даних, для того щоб не втратити або не порушити цінних доказів;
- надання методології, за допомогою якої може бути визначено найбільш ймовірну причину відмови будь-якого конкретного вимикача;
- сприяння спільним зусиллям користувачів та виробників під час аналізу відмов;
- надання керівних вказівок для підготовки звітів про відмову вимикачів.

Так, зокрема, в цьому документі вказується, що залежно від природи та початкового розуміння серйозності відмови можуть використовуватися різні рівні дослідження за окремими протоколами. Залежно від встановленої першочерговості задачі з'ясування основної причини відмови чи відновлення ВВ та повернення його в експлуатацію методи розслідування та демонтажу (розбирання) ВВ можуть бути досить відмінними.

Визначено загрози та ризики, пов'язані з оглядами ВВ (з боку електричної частини, матеріалів у ВВ або навколо місця його встановлення, збереженої енергії для забезпечення відключення та АПВ). З метою визначення дій, які необхідно виконувати при розслідуванні відмови, рекомендується починати його з визначення виду відмови, а саме необхідно визначити чи є відмова основною, експлуатаційною чи несуттєвою. Подано класифікацію відмов, перелік і рекомендований план дій при розслідуванні кожної з відмов (негайні дії, збір даних на місці експлуатації, саме розслідування, що включає огляд нормативно-технічної документації з встановлення функціонування і обслуговування вимикача та порівняння фактичних умов з наведеними в документації, підсумковий аналіз відмови).

Моніторинг різноманітних властивостей та функцій ВВ в цьому керівництві розглядається як допомога в діагностуванні його стану та прогнозуванні будь-якої відмови, що наближається. Діагностування ВВ допомагає користувачу в прогнозуванні його стану і подовженні інтервалів між обслуговуваннями. В керівництві подано перелік дій користувача, яких потребує моніторинг, включно з встановленням складних діагностичних систем чи систем моніторингу та проведення діагностичних випробувань. У представлених 14-ти таблицях перелічені властивості та характеристики різних типів вимикачів, які рекомендовані для моніторингу та випробувань (механічні, властивість проводити електричний струм, електричної ізоляції, допоміжних кіл та кіл управління, переривника, особливі властивості елегазових ВВ з подвійним тиском і одного тиску, трансформаторів струму, пов'язаних з ВВ, та ін.). У таблицях також міститься інформація щодо режиму роботи ВВ (під живленням або знеструмлений та ізольований) при виконанні випробувань та моніторингу; вимірюваних параметрів та інформації, що виводиться; оцінки стану ВВ на основі виведеної інформації. У статті, як приклад, наведена одна з цих таблиць, яка відображає особливості елегазових вимикачів з подвійним тиском, що рекомендуються для моніторингу.

Належна оцінка стану ВВ потребує запису та отримання тренду вимірних значень декількох параметрів чи характеристик. Від користувача вимагається повідомити виробника про відмову, а від них обох погодити належний підхід до оцінки відмови. Взаємодія

організацій-учасниць на всіх рівнях сприяє розслідуванню відмови та покращує точність діагностування. При цьому певному персоналу може бути надана провідна роль у певних ситуаціях відповідно до загального корпоративного плану розслідування.

Під час збирання даних про відмову користувачу необхідно повідомити виробника, особливо коли обладнання перебуває на гарантії та у випадках руйнувань і серйозних пошкоджень. Якщо можливо, то не слід видаляти чи розбирати (демонтувати) будь-які частини ВВ, поки виробник не здійснить огляд або не погодить належний упорядкований підхід до оцінювання відмови, аби не допустити втрати інформації.

У посібнику подано перелік різноманітних дій та інструментарію представників користувача і виробника, які можуть виявитися необхідними на місці події. Звертається особлива увага на важливість своєчасного огляду ВВ і збору даних у разі його відмови, а також на специфіку розслідування, коли результатом відмови є серйозні пошкодження обладнання (включно з відключенням основної електричної схеми), нещасний випадок або якщо відмова може стати причиною судового розгляду.

Пропонується досить детальний перелік основних спостережень щодо умов та подій на місці відмови фізичного та електричного стану ВВ після відмови. Зокрема, вказується, що мають бути записані дані, які стосуються функціонування таких пристроїв моніторингу та захисту, як: осцилограф, реєстратор послідовності подій, цифровий реєстратор замикань, реєстратор замикань, сигналізатор, запобіжники, лічильники кількості перемикачів, інших ВВ в системі і тиску газу. Також наведено перелік електричних випробувань, випробувань ізоляційного середовища та інших випробувань заземленого та ізольованого від енергосистеми ВВ, які пропонуються виконати під час розслідування його відмови.

| Оцінювані характеристики (за результатами випробувань та моніторингу) | Режим роботи | Виміряні значення параметрів та похідна інформація   | Оцінка властивості   |
|---|--------------|--|--|
| Рівень елегазу (низький тиск, низька щільність)                       | I            | Тиск, щільність (тиск та температура), функціонування нагрівача елегазу                      | Здатність витримувати напругу  |
| Рівень елегазу (високого тиску, високої щільності)                    | I            | Тиск, щільність (тиск та температура), функціонування нагрівача елегазу                      | Здатність переривання струму   |
| Дія переривника   | O            | Залежність змін тиску в часі протягом комутаційних операцій                                  | Дія захисного клапана, сопла переривника та контактів  |
| Вологість елегазу   | I            | Вимірювання водяної пари в елегазі (мільйонних доль (промиле))                               | Рівень води в елегазі, що може впливати на напругу витримки, переривну здатність і корозостійкість                                       |
| Опір замикання (розмикання) (якщо присутній)                          | O            | Опір в мікроомах ( $\mu\Omega$ ), опір резисторів замикання (розмикання) в омах ( $\Omega$ ) | Знаходження значення опору в допустимих межах  |
|   | O            | Час вставки в мілісекундах   | Знаходження значення часу дії основних контактів під час комутаційних операцій з урахуванням впливу додаткового опору в допустимих межах |
| Напруга зрівнювальних конденсаторів (якщо присутні)                   | O            | Ємність в пікофарадах (pF)   | Знаходження значення ємності в допустимих межах  |
| Фазні конденсатори (якщо присутні)                                    | O            | Ємність в пікофарадах (pF)   | Знаходження значення ємності в допустимих межах  |

В стовпці «Режим роботи» таблиці застосовуються наступні буквені позначення:

I – Вимикач знаходиться під живленням та в обслуговуванні;

O – Вимикач знеструмлено та ізольовано.

Аналіз відмов дає змогу дати відповідь на низку взаємопов'язаних питань, що стосуються причини відмови, недопущення її повторення, відновлення чи заміни ВВ, зменшення ризиків функціонування та безпеки, розробки стратегії ТО та ін. Зазначається, що як користувач, так і виробник, безумовно, матимуть користь від розслідування та аналізу відмови і використання відповідних звітів. Наприклад, користувач завдяки аналізу зможе краще зрозуміти сутність відмови і використати це для вдосконалення застосування і функціонування, ефективного обслуговування, розширення можливостей моніторингу, перегляду технології виробництва з метою мінімізації механізмів та причин відмови.

Звіт про відмови може бути також використаний користувачем для встановлення тенденції зміни надійності, класифікації відмов за виробником, типом і віком ВВ, передачі виробнику рекомендацій та інформації про проблеми, що потребують технічного аналізу, а також оновлення статистики відмов, оцінювання терміну служби ВВ до відмови, оцінювання допустимих інтервалів між ТО та ін.

Поглиблений аналіз основних причин відмов дає змогу встановити конструктивні вади та проблеми якості елементів чи систем ВВ, їх неправильне використання, недоліки контролю виробничого процесу, помилки оператора та ін. Урахування виробником рекомендацій користувача і визначення ним коректуючих дій у виробництві може забезпечити покращення конструкції ВВ у цілому, технічних умов, виробничого процесу, стандартів щодо ВВ, їх ТО, діагностики та моніторингу.

Наведемо бланк звіту про відмови, що є частиною цього керівництва, розроблений Комітетом з питань комутаційної апаратури ІЕЕЕ з метою підвищення надійності ВВ за допомогою уніфікованих звітів про експлуатаційну відмову.

Також зазначається, що для аналізу основної або системної відмови необхідні наступні додаткові інформація та матеріали в складі:

- однолінійної схеми підстанції з зображенням вимикачів, що розглядаються;
- часової послідовності роботи (включаючи усю сигналізацію) відповідних вимикачів з останнього часу, коли умови були нормальними;
- даних про стан ліній до, після відмови та під час неї;
- осцилограм з прикладеними поясненнями та інтерпретацією;
- опису точного положення усіх застосовуваних механічних деталей від котушки управління до контактів переривника (сфотографувати усе детально перед рухом приводів; надати копії фотознімків з доповіддю);
- опису пошкодження від дуги та розміщення продуктів дуги стосовно ущільнень клапанів (сфотографувати усе детально перед очищенням або рухом приводів після відмови; надати копії фотознімків з доповіддю).

### **Висновки**

1. Нормативне забезпечення ВВ потребує подальшого оновлення та гармонізації з міжнародними стандартами.

2. Нормативне забезпечення моніторингу ВВ, як і моніторингу в електроенергетиці в цілому, поки що відсутнє і тому його розроблення відповідно до вимог чинних галузевих документів є актуальною задачею.

3. Впровадження розглянутих міжнародних стандартів щодо вибору моніторингу для ВВ і дослідження, аналізу та звітності про їх відмови дасть змогу підвищити показники функціональної прогресивності технічних рішень у виробництві, експлуатації і технічному обслуговуванні ВВ, розробці та побудові їх систем моніторингу, а відповідно підвищити надійність, безпеку та ефективність функціонування електроенергетичних систем.

## ЗВІТ ПРО ВІДМОВИ ВИМИКАЧІВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Перевірте усі відповідні блоки та надайте вказану інформацію. Для *основної* несправності надайте додаткову необхідну інформацію на звороті цієї сторінки, за потреби продовжуючи на інших сторінках.

## ОБЛАДНАННЯ:

|  |  |
|--|--|
| Підстанція   | Познач. вимикача користувачем                              |
| Виробник _____   | Тип _____  |
| Номінальна напруга _____ кВ  | Номінальна перериваюча здатність _____ кА                  |
| Витримувана напруга грозового імпульсу _____ кВ  | Тривалий струм _____ кА                                    |
| Серійний номер _____   | Дата відвантаження _____                                   |
| Дата установки _____   | Дата модернізації _____                                    |
| Переривник повітряного дуття/ повітряно-магнітний/ масляний/ елегазовий/ вакуумний/ інші | Корпус окремо стоячий/ броньований/ з елегазовою ізоляцією |

## НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ:

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Місцезнаходження                        | Внутрішнє/зовнішнє встановлення                                     | Навколишнє середовище (найбільш відповідне)                    | Промислове/ міське/ приміське/ сільське/ узбережжя/ вище 1000 м/ високо забруднене/ інше  |
| Метеоумови                              | <input type="checkbox"/> сухо<br><input type="checkbox"/> сніг      | <input type="checkbox"/> дощ<br><input type="checkbox"/> мороз | <input type="checkbox"/> гроза<br><input type="checkbox"/> туман  |
| Тенденція (зміни) температури           | Зростає/спадає/незмінна/ надзвичайно холодно                        | _____ °C   | <input type="checkbox"/> дощ з ожеледдю<br><input type="checkbox"/> конденсація   |
| Зовнішнє механічне навантаження включає | <input type="checkbox"/> землетрус<br><input type="checkbox"/> інше | <input type="checkbox"/> вітер                                 | Рівень вітру безвітряний/ слабкий/ постійний сильний/ поривчастий сильний<br><input type="checkbox"/> ненормальні навантаження на клеми<br><input type="checkbox"/> номінальна напруга системи _____ кВ |

## НЕСПРАВНІСТЬ:

|                                      |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
| Коли виявлено                        | При установленні/ експлуатації/ обслуговуванні/ випробуванні/ інше   | Показ лічильника числа перемикань _____                               |
| Режим вимикача в момент несправності | Живлення подано/ живлення знято  | Відключення/ включення/ повторне включення/ бездіяльність             |
| Реакція вимикача                     | Не подано команду на спрацювання/ спрацював як потрібно/ незадовільна робота/ відмова функціонування   | Переривання замикання/ комутація навантаження/ комутація лінії/ жодне |
| Несправність підсистеми              | Зовнішня ізоляція по відношенню до землі/ внутрішня ізоляція по відношенню до землі/ ізоляційне середовище/ прохідний ізолятор/ переривач/ ущільнення-сальники/ повітряна система/ гідравлічна система/ елегазова система/ ТС/ комутатор або додатковий переривач резистора/ пристрої, які вирівнюють розподіл потенціалів/ лінійні виводи/ компресор/ нагрівач/ електричне управління |   |

Зазначити, що конкретно відмовило (забезпечуючи посиланнями з керівництва з експлуатації)

Чи траплялось таке раніше з вимикачами цього типу? Так/ ні Скільки разів? \_\_\_\_\_

Зазначити як було виправлено попередню несправність

## ПОПЕРЕДНІЙ АНАЛІЗ:

|   |   |  |                                     |                                       |
|---|---|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Можливі причини                         | <input type="checkbox"/> розробка/виробництво | <input type="checkbox"/> транспортування | <input type="checkbox"/> зберігання | <input type="checkbox"/> встановлення |
| <input type="checkbox"/> обслуговування | <input type="checkbox"/> зношення/старіння    | <input type="checkbox"/> тварини/птахи   | <input type="checkbox"/> інші       | <input type="checkbox"/> не очевидно  |

## Коментарі та пропозиції

## РЕЗУЛЬТАТ:

|                                |  |             |   |
|--------------------------------|--|-------------|---|
| Час простою вимикача           | Без переривання/ _____ тижнів/ днів/ _____ годин/ _____ хвилин   | Час ремонту | _____ тижнів/ _____ днів/ _____ годин/ _____ хвилин |
| Статус зупинки роботи вимикача | Негайна примусова зупинка роботи/ зупинка роботи протягом 20 хв/ Необхідна пізніша зупинка роботи/ відкладання ремонту до планового обслуговування/ без зупинки роботи на ремонт |             |   |

|   |       |      |       |
|---|-------|------|-------|
| Уповноважена користувачем особа, яка готує звіт | _____ | Дата | _____ |
| Затвердження користувачем                       | _____ | Дата | _____ |
| Контакти користувача                            | _____ | Тел. | _____ |
| Компанія користувача                            | _____ |      |       |



1. ГОСТ 12450-82 Выключатели переменного тока на номинальные напряжения от 110 до 750 кВ. Технические требования к отключению ненагруженных воздушных линий и методы испытаний. 1982. 8 с.
2. ГОСТ 18397-86 Выключатели переменного тока на номинальные напряжения 6 - 220 кВ для частых коммутационных операций. Общие технические условия. 1986. 31 с.
3. ГОСТ 4.176-85 СПКП. Аппараты электрические высоковольтные. Номенклатура показателей. 1986. 17 с.
4. ГОСТ 687-78 Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. 1980. 53 с.
5. ДСТУ 2848-94 Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. Терміни та визначення. 1994. 17 с.
6. ДСТУ EN 62271-104:2016 Пристрої контрольні розподільчі високовольтні. Частина 104. Перемикачі змінного струму для номінальної напруги понад 52 кВ (EN 62271-104:2015, IDT). 2016.
7. ДСТУ EN 62271-1:2015 Пристрої контрольні розподільчі високовольтні. Частина 1. Загальні технічні вимоги (EN 62271-1:2008, IDT). 2015. 8 с.
8. Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2012. 250 с. Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat\\_id=35016](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=35016).
9. [СОУ МЕВ ЕЕ 40.1-00100227-01:2016](#). Стандарт операційної безпеки функціонування Об'єднаної енергетичної системи України. Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика. Частина 1. Технічна політика у сфері побудови та експлуатації магістральних і міждержавних електромереж. СОУ. НТЦЕ ДП «НЕК»Укренерго». Київ, 2015. 111 с.
10. СОУ НЕК 20.261:2017. Технічна політика ДП НЕК «Укренерго» у сфері розвитку та експлуатації магістральних і міждержавних електричних мереж. ДП «НЕК»Укренерго». Київ, 2017. 84 с. Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2016/12/Tehnichna-polityka-redaktsiya-2.pdf>.
11. ANSI C37.06 Switchgear - AC High-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis – preferred ratings and related required capabilities. 2000.
12. CAN/CSA-Q634-91. Risk analysis requirements and guidelines. CSA, Toronto. 1991. 59 p.
13. IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability. Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). 2006. 93 p.
14. IEC 62271-1:2007. High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specification. 2007. 252 p.
15. IEC 62271-100:2008. High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers. 2008. 1516 p.
16. IEEE 100-2000. The authoritative dictionary of IEEE standards terms, seventh edition. 2000. 1352 p.
17. IEEE 493-2007. IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Gold Book). 2007. 426 p.
18. IEEE C37.04-1999/Cor 1-2009. IEEE Standard for rating structure for AC high-voltage circuit breakers (Corrigendum to IEEE C37.04-1999). 2009.
19. IEEE C37.09-1999. IEEE Standard test procedure for AC high-voltage circuit breaker rated on a symmetrical current basis. 1999.
20. IEEE C37.10.1-2000. IEEE Guide for the selection of monitoring for circuit breakers. 2001. 55 p.
21. IEEE C37.10-1995. IEEE Guide for diagnostics and failure investigation of power circuit breakers. 1995.
22. IEEE C37.12-2008. IEEE Guide for specifications of high-voltage circuit breaker (over 1000 Volts). 2008.
23. IEEE C37.10-2011. IEEE Guide for investigation, analysis, and reporting of power circuit breaker failures. 2011. 59 p.
24. Ruben D. Garzon, High voltage circuit breakers: design and application. 2<sup>nd</sup> edition, revised and expanded. New York, Basel: Marcel Dekker, Inc., 2002. 456 p.

УДК 621.316.5

**М.Ф. Сопель<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, **А.В. Панов<sup>2</sup>**, **В.И. Паньків<sup>3</sup>**, **Е.Н. Танкевич<sup>4</sup>**, докт. техн. наук

1 – МЧП «АНИГЕР»,

ул. Гарматная, 2, Киев, 03680, Украина

2–4 – Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

#### **Нормативное обеспечение мониторинга высоковольтных выключателей электроэнергетических систем**

*Выполнен анализ основных требований нормативных документов ОЭС Украины, стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК), Американского национального института стандартов (ANSI) и Института инженеров-электриков (IEEE), относящихся к высоковольтным выключателям в части, касающейся их номинальных значений, эксплуатационных характеристик, выбора и применения систем мониторинга, исследования, анализа и отчетности об отказах. Показаны актуальность и значимость обновления и гармонизации нормативного обеспечения высоковольтных выключателей и их мониторинга с международными стандартами. Библ. 24, таблица.*

**Ключевые слова:** нормативное обеспечение, выключатель, мониторинг, обновление, разработка, отказ, отчетность.

**M.F. Sopol<sup>1</sup>, A.V. Panov<sup>2</sup>, V.I. Pankiv<sup>3</sup>, E.M. Tankevych<sup>4</sup>**

1 – PE "ANIGER",

Harmatna, 2, Kiev, 03057, Ukraine

2–4 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

**Regulatory maintenance of power system high-voltage circuit breaker monitoring**

*The analysis of the main requirements of regulatory documentation of Ukrainian power system, standards of the International Electrotechnical Commission (IEC), American National Standards Institute (ANSI) and the Institute of Electrical Engineers (IEEE), which are related to high-voltage circuit breakers and depict their nominal values, field performance data, monitoring systems selection and application, researching, analysis and failures reporting has been made. The urgency and importance of updating and harmonization of regulatory maintenance for high-voltage circuit breakers and their monitoring with international standards has been shown. References 24, table.*

**Key words:** regulatory maintenance, circuit breaker, monitoring, development, failure, reporting.

Надійшла 09.01.2018

Received 09.01.2018