

Відділення "Укрпошта" за каталогом ДП "Преса"
Періодичність – 4 номери на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію:
серія КВ, № 2079 від 16.07.1996 р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК, № 5613 від 25.09.2017 р.



ВИДАВЕЦЬ ТОВ "ЕТІН"

ДИРЕКТОР

Любич Мар'ян Орестович

РЕДАКТОР

Козенко Олександр Миколайович
Директор ТОВ "ТПФ Донтехпром"

НАУКОВИЙ РЕДАКТОР

Буткевич Олександр Федотович, д.т.н.
Професор. Головний науковий співробітник
Інститут електродинаміки НАН України

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Денисюк Сергій Петрович, д.т.н.
Директор Інституту енергозбереження
та енергоменеджменту

Професор. Кафедра електропостачання
НТУУ "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"

ВИПУСКАЮЧИЙ РЕДАКТОР

Облакевич Сергій Вікторович
Директор ТОВ "Альтіс-Енерго"
Корпорація Альтіс холдинг

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

Чижик Павліна Андріївна

ФОТОКОРЕСПОНДЕНТ

Зубова Ольга В'ячеславівна

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

ТОВ "ЕТІН"
03190, м. Київ, а/с № 15
www.promelektro.com.ua
promelektro.etin@gmx.de
promelektro.etin@gmail.com
+380 44 228 82 68

КОР. ПУНКТ м. ЗАПОРІЖЖА

ТОВ "ТПФ Донтехпром"
69118, м. Запоріжжя,
вул. Автозаводська, 50, оф. 147
kozenko@3g.ua
+380 50 470 18 38

ОРИГІНАЛ-МАКЕТ ТОВ "ДІА"

03022, м. Київ, вул. Васильківська, 45
dia_1997@ukr.net
+380 44 257 16 15

Рекомендовано до друку редакційною колегією,
протокол № 2 від 10.01.2023 р.

Підписано до друку 11.01.2023 р.
Дата виходу номеру 12.01.2023 р.

Формат 60 × 84 1/8. Ум. друк. арк. – 8,37.
Обл. вид. арк. – 8,54.

2022

№ 3-6
И 3-е

ЗМІСТ

6 НОВИНИ

6 i3 Engineering презентувала систему розумного дому на CES 2023 у Лас-Вегасі

8 ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

8 Михайлов В.П.
Кондуктивні перешкоди в електромережах у діапазоні 2–150 кГц — супергармоніки

14 Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О.
Щодо показників надійності елементів електричних мереж

18 Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О.
Про обґрунтування переліку схем розподільних установок підстанцій напруження 35–750 кВ і сферу їх застосування

24 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ АСУ ТП

24 Панов А.В., Сподинський О.В.
Використання сучасного обладнання та приладів Центру колективного користування для вирішення проблем комплексної автоматизації об'єктів енергетики

32 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

32 Красножон А.В., Манілов А.М., Товстюк С.О.
Оцінювання величини магнітного поля кабельного обігріву житлових та промислових приміщень з точки зору його безпеки для людини

38 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

38 Програма виконання проєктів, передбачених „Спільною заявою США та Німеччини від 21 липня 2021 року про підтримку України в рамках європейської енергетичної безпеки“

46 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА

46 Облакевич С.В.
Нова редакція ДБН В.2.5-23:2022 „Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення“

48 НЕКРОЛОГ

48 Віктор Іванович ШЕВЛЯКОВ

УДК 621.316

ЩОДО ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

ВСТУП

Розрахунок надійності розподільних установок (РУ) підстанцій (ПС) ґрунтується на питомих показниках надійності елементів, які входять до РУ (роз'єднувачі, вимикачі потужності, силові трансформатори, вимірювальні трансформатори струму та напруги тощо), та питомих показників надійності повітряних (ПЛ) або кабельних ліній (КЛ) електропередавання, які можуть забезпечувати живленням РУ ПС від зовнішніх центрів живлення. Якість показників надійності елементів електричних мереж об'єктів буде впливати на використовувані схеми та очікувані показники надійності РУ ПС (або фрагментів електричної мережі) і подальші шляхи вирішення задач, пов'язаних із підвищенням надійності.

В даній роботі систематизовано питомі показники надійності елементів електричних мереж.

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ретроспективним дослідженням показників надійності функціонування елементів електричних мереж присвячено багато робіт, з яких найбільш систематизованими та всеохоплюючими є [1–3].

Дослідження вітчизняних та іноземних науковців вказують на те, що суттєвий вплив на надійність транзиту та видачі потужності в енергосистемі має не тільки надійність елементів, а і схема їх з'єднання. Саме тому, при вирішенні задач підвищення надійності необхідною умовою є об'єктивна та коректна оцінка параметрів надійності основного та допоміжного енергетичного обладнання. Під час оцінки надійності транзиту та видачі потужності в енергосистемі важливу роль відіграє надійність РУ ПС як цілісного об'єкта, що виконує важливу функцію. Надійність РУ ПС визначається надійністю елементів, з яких вона складається, та схемою з'єднання цих елементів у певну структуру.

На початку 1970-х років в країнах СРСР та ряді Європейських країн під егідою Дослідницького Комітету 13 СІГРЕ почалися роботи з вивчення надійності елементів РУ шляхом збору, зіставлення та аналізу статистичної інформації щодо відмов [4]. До теперішнього часу було проведено велику кількість досліджень відмов різних видів енергетичного обладнання, що дозволило прогнозувати відмови та планувати періодичність обслуговування енергетичного обладнання. Такі дослідження дозволили класифікувати види відмов та встановити причино-наслідковий зв'язок між факторами, що зумовлюють розвиток відмов та зв'язок між самими відмовами [5].

Результати досліджень свідчать про те, що більшість відмов РУ ПС пов'язана із вимикачами потужності, оскільки вихід з ладу вимикача може призвести до розриву транзиту чи припинення видачі потужності в енергосистемі. Вимикач є основним та найбільш критичним елементом РУ ПС напругою 10 (6) – 750 кВ [6–12]. Під час обробки статистичних даних враховували не тільки сам факт відмови елемента схеми ПС, а й причину відмови. Так, наприклад, в роботі [13] було розглянуто 607 відмов високовольтних вимикачів за період з 1989 по 2010 роки, які були розділені на три основні групи:

- відмови струмовідних частин;
- відмови ізоляції;
- відмови механічної частини.

Для кожної групи було визначено частоту відмов та середнє напрацювання до відмови.

Високовольтні вимикачі потужності використовуються на всіх класах напруги для відключення робочих та аварійних струмів. Вони є досить надійним елементом, проте відключення струмів в аварійних режимах приводить до значного зношування їх контактної системи. До недавніх часів конструкція високовольтних вимикачів (повітряних і оливних) вимагала частого їх обслуговування, періодичних оглядів та капітальних ремонтів, що, в свою чергу, висувало підвищені вимоги до надійності та ступеня резервування схеми РУ ПС під час виведення з роботи таких вимикачів. Натомість сучасні високовольтні вимикачі (елегазові та вакуумні) є високонадій-



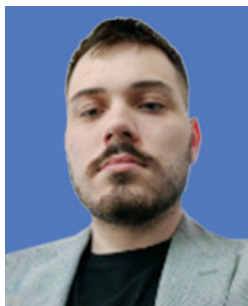
Р.О. Буйний,
к.т.н., доцент



О.В. Гай,
к.т.н., доцент



І.В. Діхтярук,
к.т.н.



А.О. Ворушило,
інженер
НЕК "Укренерго"



ними комутаційними апаратами, які практично не потребують обслуговування протягом всього терміну експлуатації [14], що дозволяє спростити вимоги до виконання схем РУ ПС. Саме така тенденція спостерігається у провідних країнах ЄС та США [14–18].

Роз'єднувачі призначені для створення видимого розриву і, здебільшого, використовуються просто неба, де піддаються впливу зовнішнього середовища протягом багатьох років. Це та особливості конструкції роз'єднувачів традиційних типів привели до пошкодження та механічного руйнуван-

ня їх елементів. Зважаючи на те, що в схемах РУ ПС різних класів напруг присутня велика кількість роз'єднувачів, вона значно знижують надійність схеми РУ як елемента електричної мережі. Сучасні роз'єднувачі, які мають покращену кінематику, полімерну ізоляцію та використовують антикорозійні та протизносні покриття металевих елементів, дозволяють підвищити надійність РУ напругою 10 (6) – 750 кВ. Проте, через значну їх кількість в схемах РУ більш високих класів напруги, значного підвищення надійності схем РУ напругою 10 (6) – 750 кВ не спостерігається (див. **табл.**).

Показники надійності елементів електричних мереж напругою 10 (6) – 750 кВ

Назва елемента	Значення статистичного показника надійності			
	Частота відмов, рік ⁻¹	Середня тривалість відновлення, годин	Частота профілактичних відключень, рік ⁻¹	Середня тривалість профілактичного відключення, годин
Вимикач потужності:				
– вакуумний 6–10 кВ	0,009	12	0,1	8
– вакуумний 35 кВ	0,006	18	0,1	14
– вакуумний 110 кВ	0,003	28	0,1	24
– оливний 6–10 кВ	0,045	8	2,2	7
– оливний 35 кВ	0,043	11	2,2	9
– оливний 110 кВ	0,042	24	2,2	28
– оливний 220 кВ	0,03	42	2,2	55
– повітряний 110 кВ	0,043	35	2,2	45
– повітряний 220 кВ	0,031	55	2,2	90
– повітряний 330–750 кВ	0,13	60	2,2	180
– елегазовий 110кВ	0,003	44	0,31	41
– елегазовий 220кВ	0,003	45	0,25	45
– елегазовий 330кВ	0,003	40	0,25	44
– елегазовий 500кВ	0,003	50	0,43	92
– елегазовий 750кВ	0,003	60	0,5	105
Роз'єднувач традиційний:				
– 6–10 кВ		4		4
– 35 кВ		6		6
– 110 кВ	0,01	8	0,17	8
– 220 кВ		9		13
– 330 кВ		10		18
– 500 кВ		12		31
– 750 кВ		14		81
Роз'єднувач сучасний:				
– 6–10 кВ		5		5
– 35 кВ		7		10
– 110 кВ	0,005	10	0,14	14
– 220 кВ		11		17
– 330 кВ		12		24
– 500 кВ		16		62
– 750 кВ		18		70
Розрядник	0,08	3,5	—	—
Обмежувач перенапруги	0	0	—	—
Шини РУ (на 1 приєднання):				
– ЗРУ 6–10 кВ		2,5		
– ВРУ 35 кВ		2,0		
– ЗРУ 35 кВ		2,5		
– ВРУ 110 кВ	0,001	2,0	0,17	5
– ВРУ 220 кВ		3,0		
– ВРУ 330 кВ		4,0		
– ВРУ 500 кВ		6,0		
– ВРУ 750 кВ		7,0		

Назва елемента	Значення статистичного показника надійності			
	Частота відмов, рік ⁻¹	Середня тривалість відновлення, годин	Частота профілактичних відключень, рік ⁻¹	Середня тривалість профілактичного відключення, годин
Трансформатори і автотрансформатори з вищою напругою:				
– 6–10 кВ	0,15	8	2,5	4,5
– 35 кВ	0,008	21	6,3	8,5
– 110 кВ	0,009	55	6,3	10,5
– 220 кВ	0,014	70	6,3	12
– 330 кВ	0,034	120	6,3	12,8
– 500 кВ	0,025	180	6,3	14
– 750 кВ	0,035	220	6,3	14
Вимірювальні ТН та ТС:				
– 6–10 кВ	0,05	8		
– 35 кВ	0,004	15		
– 110 кВ	0,002	17		
– 220 кВ	0,002	25	–	–
– 330 кВ	0,003	36		
– 500 кВ	0,004	48		
– 750 кВ	0,005	64		
Повітряні лінії:				
– 10 кВ	3,50*	7,5	2,0*	4,5
– 35 кВ	1,00*	7,2	9,0*	5,5
– 110 кВ	0,81*	4,4	14,6*	4,2
– 220 кВ	0,56*	5,9	13,2*	5,9
– 330 кВ	0,45*	7,1	12,0*	7,8
– 500 кВ	0,37*	8,6	10,0*	12,0
– 750 кВ	0,30*	9,5	8,0*	14,0

* Частота відмов ПЛ на 100 км.

Аналіз статистичних даних [1–19] та власні дослідження авторів [20–23] (які знайшли застосування у нормативних документах [24–25]) свідчать, що показники надійності елементів електричних мереж коливаються в широких межах залежно від рівня експлуатаційного обслуговування, географічного району проходження та багатьох інших факторів. Шляхом співставлення результатів досліджень [1–3, 13, 19–23] з умовами експлуатації електричних мереж в Україні складено і запропоновано до використання систематизовану таблицю із усередненими показниками надійності її окремих елементів напругою 10 (6) – 750 кВ (табл.). У якості вихідних показників в розрахунках надійності передбачено використовувати:

- частоту та середню тривалість відмов (аварійних відключень);
- частоту та середню тривалість профілактичних відключень.

Слід зазначити, що більшість результатів ретроспективного аналізу показників надійності елементів РУ ПС, які знаходяться у вільному доступі відносяться до застарілого обладнання, яке вичерпало свій життєвий ресурс [1]. Для новітнього обладнання дуже важно отримати показники надійності, оскільки сучасна елегазова та вакуумна техніка є високонадійною, і, до моменту першої відмови, проходить дуже багато часу. Відмови сучасного обладнання, яке використовується в РУ ПС середньої та високої напруги, практично не відбуваються протягом

всього розрахункового терміну експлуатації, що вказує на високу надійність. У багатьох випадках це не дозволяє отримати однозначну достовірну інформацію про показники надійності електротехнічного обладнання, яку виробники і користувачі відносять до комерційної таємниці.

Варто зазначити, що РУ ПС об'єднаної енергосистеми України зазнають суттєвих руйнувань унаслідок збройної агресії російської федерації, а їх відновлення до первісного стану буде потребувати значних інвестицій. Враховуючи, що більшість пошкодженого електрообладнання не виробляється, а сучасне електрообладнання має кращі показники надійності, доцільним вважається перегляд принципів побудови схем РУ ПС, регламентованих до застосування в Україні. На думку авторів існує можливість спрощення (і відповідного здешевлення) схем РУ ПС в умовах обмежених інвестицій без погіршення характеристик надійності у разі застосування новітнього обладнання з характеристиками, наведеними в таблиці.

ВИСНОВКИ

1. Результати аналізу літературних джерел [1–23] свідчать про те, що більшість відмов РУ ПС пов'язана із вимикачами потужності.

2. За результатами досліджень визначено показники надійності найбільш поширених в Україні традиційних і новітніх елементів електричних мереж напругою (6) 10 – 750 кВ, які наведено в таблиці.

3. Встановлено, що показники надійності новітнього електрообладнання значно кращі, ніж електрообладнання, що тривалий час знаходиться в експлуатації та вичерпало свій життєвий ресурс. Це створює передумови до перегляду принципів побудови схем електричних принципів РУ ПС

напругою 6–750 кВ, які регламентовані чинними нормативними документами, у разі застосування новітніх комутаційних апаратів.

4. Наведені в **таблиці** показники надійності можуть бути використані під час аналізу структурної надійності діючих електромережових об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Показатели надежности работы основного Электрооборудования, сборных шин РУ, воздушных и кабельных линий за 1976 г. 1972–1976 гг. Для служебного пользования. Экз. 010778. Служба передового опыта и информации союзтехенерго. Москва, 1978.
2. *Непомнящий В.А.* Надежность оборудования энергосистем. — М.: “Электроэнергия. Передача и распределение”, 2013. — 196 с.
3. *Bollen, MhJ Math.* Literature search for reliability data of components in electric distribution networks. Technische Universiteit Eindhoven, 1993. — 161 p.
4. *Mazza G., Michaca R.* The first international enquiry on circuit-breaker failures and in service // *Electra*. — 1981. — № 79. — P. 21–91.
5. Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: в 4-х т. / Под общ. ред. Ю.Н. Руденко. Т. 2. Надежность электро-энергетических систем. Справочник / Под ред. М.Н. Розанова — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 568 с.
6. *Choonhapran P., Balzer G.* Study of stresses of circuit-breakers: combined statistical method, in: 9th Int. Conf. on Probabilistic Methods Applied to Power Systems KTH, Stockholm, Sweden, 11–15 June, 2006.
7. *Mazza G., Michaca R.* The first international enquiry on circuit breaker failures & defects in service // *ELECTRA*. — 1985. — Vol. 79. — P. 21–91.
8. *Michaca R., Heising C.R., Koppf G.* Summary of Cigré Working Group 13-06 studies on the test and control methods intended to assure the reliability of high voltage circuit breakers // *ELECTRA*, — 1985. —Vol. 102. — P. 133–175.
9. *Bargigia A., Heising C.R., Janssen A.L.J., Maaskola J., Michaca R.* Interim report on the second international enquiry of the reliability of high voltage single pressure SF6 circuit breakers, CIGRÉ, No. 23–107, Paris, 27 August –1 September, 1990.
10. *Bargigia A., Degen W., Heising C.R., Ishikawa M., Janssen A.L.J., Maaskola J.E., Michaca R., Tudrej M.* High voltage circuit breaker reliability data for use in system reliability studies-interim report, Cigré 13-06 Working Group, CIGRÉ, No. 2-01, Montreal, Canada, 16–18 September, 1991.
11. Cigré WG 13-06. Final report on high voltage circuit breaker reliability data for use in substation and system studies, CIGRÉ, No. 13-201, Paris, 28 August-3 September, 1994.
12. Cigré WG 13.06. Final report of the second international enquiry on high voltage circuit-breaker failures and defects in service, CIGRÉ, Technical Brochure, No. 83, Paris, 1994.
13. Failure Rate Analysis of Power Circuit Breaker in High Voltage Substation / T. Suwanasri, M. T. Hlaing and C. Suwanasri // *GMSARN International Journal*. — 2014. — Vol. 8. — P. 1–6.
14. ABB Switchgear Manual, Cornelsen Verlag, Berlin, 10th revised edition, 2004, 903 p.
15. Standardowa Specyfikacja Funkcjonalna Stacje elektroenergetyczne najwyższych napięć PSE — SF.STACJE/2015.
16. Standard techniczny nr 4/2014 — konfiguracje rozdzielnic 110 kV w sieci dystrybucyjnej 110 kV. TAURON Dystrybucja S.A. (wersja druga). Kraków, październik 2020 r.
17. Załącznik nr 1 do Standardu technicznego nr 4/2014 — konfiguracje rozdzielnic 110 kV w sieci dystrybucyjnej 110 kV TAURON Dystrybucja S.A. (wersja druga). “Katalog standardowych konfiguracji pól rozdzielnic 110 kV”. Kraków, październik 2020 r.
18. *Electric Power Substations Engineering, Second Edition / Edited by John D. McDonald.* 2006 by Taylor & Francis Group, LLC.
19. Reliability Analysis of Breaker Arrangements in High Voltage Stations: A Fault Tree Approach. Thesis for the Degree of Master of Science. Zongyu Liu Department of Energy and Environment Division of Electric Power Engineering CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Göteborg, Sweden, 2008.
20. *Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О., Ключко В.П.* Обґрунтування переліку схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з використанням елегазових вимикачів і КРУЕ // *Енергетика та електрифікація*. — 2012. — № 2. — С. 36–44.
21. *Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О.* Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з елегазовими вимикачами і КРУЕ за економічними критеріями // *Енергетика та електрифікація*. — 2012. — № 6. — С.13–21.
22. *Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О.* Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок напругою 330–750 кВ системних підстанцій з елегазовими вимикачами і КРУЕ // *Енергетика та електрифікація*. — 2012. — № 11. — С. 33–36.
23. *Буйний Р.О., Діхтярук І.В., Зорін В.В.* Автоматичне секціонування розподільних електричних мереж напругою 6–10 кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління // *Технічна електродинаміка*. — 2014. — № 3. — С. 70–75.
24. СОУ-Н МЕВ 40.1-00100227-70:2012 Правила проектування підстанцій комплектними розподільними установками елегазовими (КРУЕ) напругою 110 кВ і вище.
25. 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, 2.

“ТПФ ДонТехПром”

Монтаж та будівництво. Проектування електрозабезпечення промислових, житлових та громадських об'єктів від 0,4 до 330 кВ.

+380 50 470 18 38 • www.dontechprom.ua