

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ ПРИ КОМУТАЦІЇ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** В роботі проведено аналіз несприятливих і небезпечних для електроустаткування процесів у мережах середніх класів напруги під час комутацій вимикачів різних виробників. Приведені технічні вимоги, які рекомендується застосовувати до вакуумних вимикачів і запропонована методика їх перевірки.

**Ключові слова:** вакуумні і масляні вимикачі, комутації, високочастотні процеси, технічні вимоги, випробування вимикачів.

**Abstract.** In the work the analysis of unfavorable and dangerous for electrical processes in networks of middle classes of voltage during switches of switches of different manufacturers. The claimed technical requirements, which are recommended for vacuum switches and the proposed method for their verification.

**Keywords:** vacuum and oil switches, switching, high-frequency processes, technical requirements, test switches.

### Вступ

Вакуумні вимикачі (ВВ) в даний час є досить затребуваним обладнанням в мережах середніх класів напруги. З самого початку використання вакуумних вимикачів спостерігалось пошкодження комутуваного ними обладнання.

Пошкодження викликаються несприятливими процесами, які супроводжують комутації вимикачів: перенапруження, викликані струмами зрізу; ескалація перенапруг в циклі високочастотних (ВЧ) повторних пробоїв; перенапруги при включенні в циклі ВЧ зустрічних пробоїв; перенапруги в результаті віртуальних струмів зрізу; ВЧ кидки струму високої амплітуди.

Перераховані процеси характерні тільки для вимикачів з жорсткими дугогасними середовищами, в число яких входить вакуум.

Високі кратності перенапруг небезпечні в першу чергу для електричних машин, рівень ізоляції яких складає близько  $2,8U_{\text{фм}}$ . Високі частоти перехідного процесу при комутаціях ВВ представляють серйозну небезпеку для виткової ізоляції високовольтного обладнання, кабельних муфт та кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену (ЗПЕ).

В даний час в повній мірі вирішити проблему виникнення ВЧ перенапруг при комутації ВВ не вдалося ні закордонним ні вітчизняним виробникам комутаційних апаратів. За результатами досліджень [1], активне впровадження ВВ в мережах 6-10 кВ гірничо-металургійних підприємств, призвело до росту однофазних замикань на землю (ОЗЗ), спровокованих комутаційними перенапругами (КП). Там же зазначено, що число аварійних відключень, пов'язаних з КП, зросла в середньому в 3,8 рази за 6 років експлуатації ВВ (2012-2018 рр.).

### Результати дослідження

Великою швидкістю замикання контактів серед ВВ характеризується вимикач ВВТЭ-М-10-20/630, що дало змогу підвищити швидкість падіння електричної міцності і зменшити тривалість зустрічних пробоїв, але негативно відбивається на параметрах вібрації контактів при включенні, під час якого множинні пробої в вакуумних дугогасних камерах (ВДК) знову мають місце, швидкість замикання контактів у вимикачі ВМП-10-20/1000 набагато більша, ніж у досліджених ВВ, тому вібрації контактів при включенні має найбільші значення, однак пробої при включенні відсутні, що пов'язано з характером дугогасного середовища.

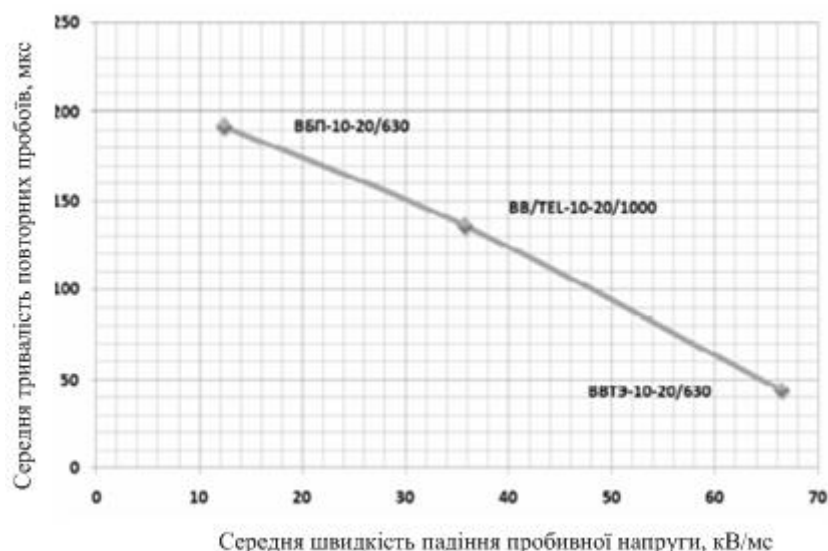


Рис. 1 – Залежність тривалості зустрічних пробів від швидкості падіння пробивної напруги, кВ/мс

Таблиця 1 - Основні характеристики вимикачів, отримані в ході досліджень (середні значення)

Характеристика/ вимикач	ВВП-10- 20/630	ВВ/TEL-10- 20/1000	ВВТЭ-М- 10-20/630	ВМП-10- 20/600
Швидкість контактів при замиканні, м/с	0,66 (червоний)	0,94 (оранжевий)	1,26 (зелений)	3,38 (зелений)
Швидкість падіння пробивної напруги, кВ / мс (тривалість зустрічних пробів, мкс)	12,4 (192,0) (червоний)	35,8 (135,7) (оранжевий)	66,5 (43,8) (зелений)	- (0) (зелений)
Швидкість контактів при розмиканні, м/с	1,05 (оранжевий)	0,6 (оранжевий)	1,17 (зелений)	3,83 (зелений)
Швидкість зростання пробивної напруги, кВ / мс	19,7 (оранжевий)	24,1 (оранжевий)	61,8 (зелений)	7,02 (оранжевий)
Вібрація	Відсутня (зелений)	Відсутня (зелений)	Присутня (червоний)	Присутня (оранжевий)
Середня кратність перенапруг при включенні	3,34Uфм (к червоний)	2,97Uфм (оранжевий)	1,89Uфм (зелений)	2,55Uфм (зелений)
Неодновременність замикання контактів, мкс	150 (зелений)	430 (зелений)	320 (зелений)	1150 (оранжевий)
Струм зрізу, А	3,3 (зелений)	2,7 (зелений)	2,9 (зелений)	2,35 (зелений)
Перехідний опір контактів, мкОм	38-44 (зелений)	37-41 (оранжевий)	35-39 (зелений)	55-185 (червоний)
Електрична міцність до 2 мм, кВ/мм	18,8 (червоний)	38,1 (зелений)	52,8 (зелений)	1,8* (зелений)

У вимикачах ВВ / TEL-10-20 / 1000 і ВВП-10-20 / 630 вібрація контактів, що призводить до обриву дуги струму, відсутня, що пов'язано з низькою швидкістю замикання контактів, але кількість зустрічних пробоїв при цьому значно збільшується.

Найбільше значення неодночасності при замиканні має вимикач ВВ / TEL-10-20/1000, але це пояснюється відсутністю механічного зв'язку між полюсами (кожен полюс вимикача приводиться в рух власним електромагнітом). Максимальна неодночасність замикання вимикача ВВП-10-20/600 більше 1 мс, що ймовірно викликано, як і високі параметри вібрації, більшим терміном експлуатації вимикача (більше 40 років).

Перенапруги при відключенні на перевищують  $1,9U_{фм}$ , що пояснюється низькими струмами зрізу. Величина струму зрізу в сучасних ВВ завдяки підбору оптимального матеріалу для виготовлення контактів не перевищує 3,5 - 5 А. Такі малі значення струмів зрізу безпосередньо не викликають перенапруг високої кратності.

Оскільки при зрізі струму підвищується напруга, зріз струму є характеристикою, яка впливає на ймовірність виникнення ескалації перенапруг при відключенні, тому необхідно прагнути до його зменшення, не погіршуючи тим самим відключаючу здатність ВВ.

### Висновок

Вакуумні вимикачі, проаналізовані в дослідженні мають задовільні характеристики, проте для підвищення безаварійної роботи електрообладнання необхідно виконати доопрацювання кожного типу вимикача. У вимикачі ВВТЕ-М-10-20/630 необхідно усунути вібрацію контактів, у ВВ/TEL-10-20/1000 і ВВП-10-20/630 необхідно збільшити швидкість руху контактів при ввімкненні і вимкненні, крім того в ВВП-10-20/630 необхідно поліпшити характеристики ВДК.

Використавши порівняльну характеристику вимикачів різних типів, виявлено, що при комутації масляного вимикача зустрічних ВЧ пробоїв не з'являлося - це пов'язано з тим що масло м'якше дугогасне середовище в зв'язку з чим при переході через нуль струм високої частоти не гаситься і дуга продовжує горіти до повного замикання контактів. При відключенні ж дуга до переходу через нуль горить тривалий час і відбувається випаровування масла з утворенням газів під високим тиском, які тепер вже є жорстким дугогасним середовищем, в зв'язку з чим спостерігається деяка кількість повторних пробоїв при відключенні. Повторні пробої в масляному вимикачі мають тривалість і не викликають ескалацію оскільки. Це пов'язано з тим, що під час повторних пробоїв газу вистигають, так як немає постійного впливу струму промислової частоти і їх тиску, а відповідно і дугогасна здатність зменшується.

Необхідно розробляти вимоги до різних типів вимикачів, визначати область їх застосування і враховувати можливість використання в майбутньому в якості дугогасного середовища рідкі синтетичні матеріали.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудрявцев А.А. Исследование аварийности в сетях 6-10 кВ горно-металлургических предприятий.// Новости ЭлектроТехники. – 2009. – №6(60).
2. Назарычев А.Н. Анализ основных преимуществ применения вакуумных выключателей.// Энергоэксперт. - 2007. - №4-5.
3. Дягтерев И.Л. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов, сопровождающих коммутации вакуумных выключателей. – Автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.14.12 / И.Л. Дегтярев – Новосибирск, 2006. – 21 с.
4. Евдокунин Г. А. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения / Г. Тиллер. – СПб.: издательство Сизова М.П., 2000. – 114 с.
5. Беляков Н.Н. Защита от перенапряжений установок с вакуумными выключателями // Электрические станции. 1994. № 9. С. 65-71.

**Юлія Володимирівна Малогулко** — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net);

**Онищук Ольга Олегівна** — студентка групи 2ЕСМ-17м, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Juliya V. Malogulko** —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net);

**Olha O. Onyshchuk** - student of 2ЕСМ-17m group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.