

Вінницький національний технічний університет

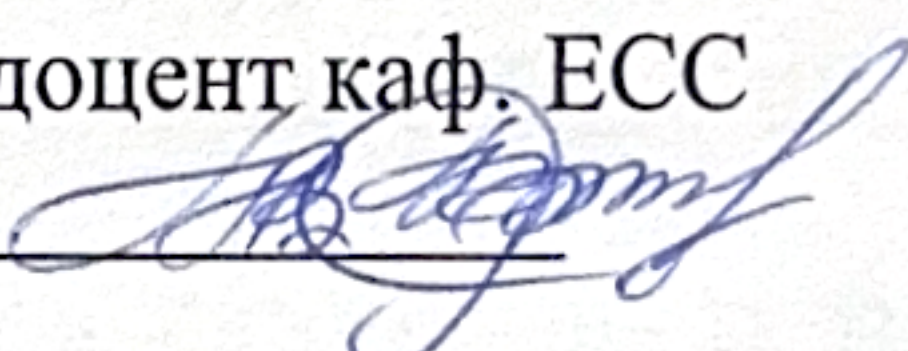
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

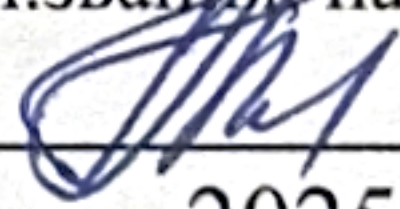
Аналіз особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕС-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні станції»,
Яценко А. І. 

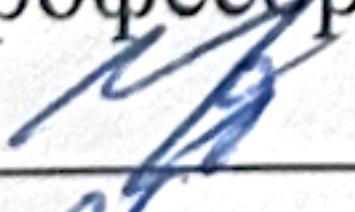
Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС
Остра Н. В. 

« 03 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент кафедри ЕССЕМ
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Бабенко О. В. 
« 03 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.


« 03 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

«20» 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Яценку Андрію Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Аналіз особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів»

Керівник роботи к.т.н., доцент., доц. каф. ЕСС Остра Н. В.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025р № 97

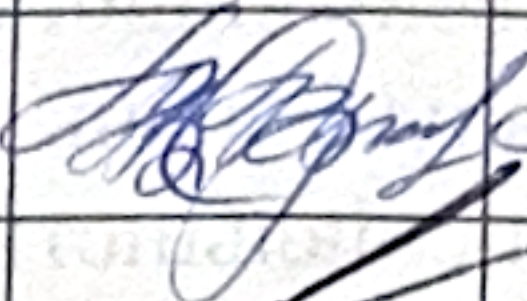
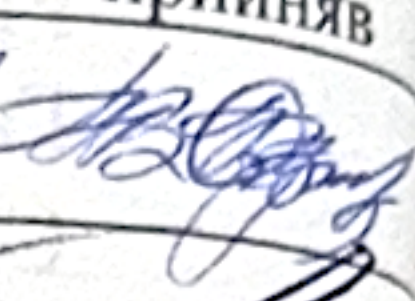
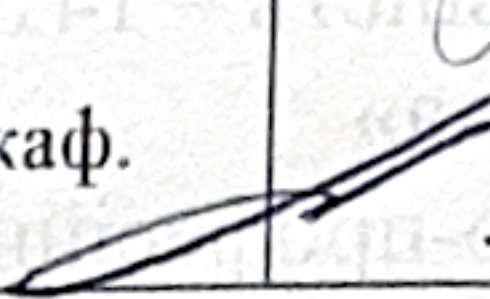
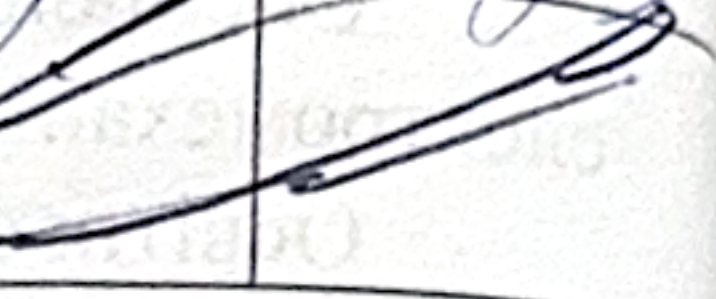
2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи: 1. М.Т. Лут. Електричні апарати. Навчальний посібник. / М.Т. Лут., А.М.Мрачковський. За ред. А.М.Мрачковського. – К.: ЦП «Компринт», 2017.- 564 с. 2. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій. Навчальний посібник. / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с. 3. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х.: Видавництво «Форт», 2017. - 760 с. 4. Лежнюк П.Д. Комутаційні електричні апарати. Навчальний посібник. / П.Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л.Н. Добровольська – М.: Луцьк: ЛНТУ, 2010. – 321 с.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Аналіз конструктивних особливостей будови вакуумних вимикачів та принцип їх роботи 2. Дослідження різновидів вакуумних вимикачів 3. Аналіз умов експлуатації, технічного обслуговування та ремонту вакуумних вимикачів. 4. Умови вибору комутаційного обладнання при проектуванні електричних станцій 5. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Мета та основні задачі роботи; 2. Загальна будова вакуумної дугогасильної камери; 3. Конструкція полюса та привода вакуумного вимикача серії ВР1; 4. Вимикач вакуумний фірми «Сіменс»; 4. Будова полюса вимикача ВВ/TEL; 5. Порівняльна характеристика.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження завдання БКР	20.03.2025	21.03.2025	Вик.
2	Вступ. Огляд літературних джерел	22.03.2025	30.03.2025	Вик.
3	Аналіз конструктивних особливостей будови вакуумних вимикачів та принцип їх роботи (розділ 1 БКР)	31.03.2025	10.04.2025	Вик.
4	Дослідження різновидів вакуумних вимикачів (розділ 2 БКР)	11.04.2025	20.04.2025	Вик.
5	Аналіз умов експлуатації, технічного обслуговування та ремонту вакуумних вимикачів (розділ 3 БКР)	21.04.2025	05.05.2025	Вик.
6	Умови вибору комутаційного обладнання при проєктуванні електричних станцій (розділ 4 БКР)	06.05.2025	12.05.2025	Вик.
7	Охорона праці (розділ 5 БКР)	12.05.2025	18.05.2025	Вик.
8	Формування висновків по роботі	19.05.2025	25.05.2025	Вик.
9	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2025	26.05.2025	Вик.
10	Виконання графічної частини та оформлення презентації	27.05.2025	29.05.2025	Вик.
11	Перевірка БКР на плагіат	30.05.2025	31.05.2025	Вик.
12	Захист БКР	За графіком		Вик.

Студент

(підпис)

Яценко А. І.

Керівник роботи

(підпис)

Остра Н. В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Яценко Андрій Іванович «Аналіз особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 76 с. Бібліогр.: 31. Рис. : 18. Табл. : 15

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена аналізу особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів у контексті модернізації електроенергетичних систем. У першому розділі роботи досліджено конструктивні особливості вакуумних вимикачів, принципи гасіння електричної дуги у вакуумі, а також їхні технічні характеристики на прикладі серій ВР, ВРС, ВБУ, ВБНК, ВВСТ, ВБЕК. Проведено порівняльний аналіз вакуумних вимикачів із масляними, повітряними та елегазовими, оцінено їхні переваги (компактність, екологічність, мінімальне обслуговування) та обмеження. Особливу увагу приділено експлуатаційним умовам, зокрема періодичному контролю перехідного опору, ізоляції та захисту персоналу від рентгенівського випромінювання. Досліджено перспективи застосування вакуумних вимикачів для заміни застарілого обладнання в розподільчих мережах середньої напруги (6–35 кВ). Результати роботи можуть бути використані для проектування, модернізації та підвищення надійності електромереж, а також для вдосконалення експлуатаційних процесів.

Ключові слова: вакуумний вимикач, дугогасильна камера, електрична дуга, розподільча мережа, надійність, екологічність.

ANNOTATION

Yatsenko Andrii Ivanovych “Analysis of the structural features and operating conditions of vacuum circuit breakers”. Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 76 p. Bibliography: 31. Fig. : 18. Tab. : 15

The bachelor's qualification work is devoted to the analysis of the structural features and operating conditions of vacuum circuit breakers in the context of the modernization of electric power systems. The work investigates the structural features of vacuum circuit breakers, the principles of extinguishing an electric arc in a vacuum, as well as their technical characteristics using the example of the VR, VRS, VBU, VBNK, VVST, VBEK series. A comparative analysis of vacuum circuit breakers with oil, air and SF₆ circuit breakers was carried out, their advantages (compactness, environmental friendliness, minimal maintenance) and limitations were assessed. Special attention is paid to operating conditions, in particular, periodic monitoring of transition resistance, insulation and protection of personnel from X-ray radiation. The prospects for the use of vacuum circuit breakers to replace outdated equipment in medium voltage distribution networks (6–35 kV) are investigated. The results of the work can be used for the design, modernization and improvement of the reliability of electrical networks, as well as for the improvement of operational processes.

Keywords: vacuum circuit breaker, arc extinguishing chamber, electric arc, distribution network, reliability, environmental friendliness.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ ТА ПРИНЦИП ЇХ РОБОТИ.....	7
1.1 Особливості будови вакуумних дугогасильних камер	9
1.2 Принцип роботи вакуумного вимикача.....	13
1.3 Будова й особливості головних різновидів вакуумних вимикачів	20
1.4 Вакуумні вимикачі серії ВР, створені компанією «Високовольтний союз» ..	25
1.5 Основні характеристики вакуумних вимикачів серій ВРС.....	28
1.6 Особливості конструкції вакуумних вимикачів ВВ/TEL	30
2 ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОВИДІВ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ	35
2.1 Триполюсні вакуумні вимикача ВБУ	35
2.2 Однополюсні вакуумні вимикачі напругою 27,5 кВ	36
2.3 Триполюсні вакуумні вимикачі зовнішньої установки серії ВБНК напругою 35 кВ	37
2.4 Триполюсні вимикачі внутрішньої установки серії ВВСТ.....	39
2.5 Триполюсні вимикачі внутрішньої установки серії ВБЕК напругою 35 кВ .	41
3 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ	45
3.1 Особливості обслуговування та аналіз умов експлуатації вакуумних вимикачів.....	45
3.2 Аналіз застосування вакуумних вимикачів	49
4 УМОВИ ВИБОРУ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	51
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
5.1 Технічні рішення з безпечної організації обслуговування електрообладнання	53

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час виконання робіт	53
5.1.2 Електробезпека	56
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	58
5.2.1 Мікроклімат	58
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	59
5.2.3 Виробниче освітлення.....	59
5.2.4 Виробничий шум.....	60
5.3 Пожежна безпека	61
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	68
ДОДАТОК А ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ.....	69
ДОДАТОК Б ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	70

ВСТУП

Актуальність теми. На нинішньому етапі технічний стан електроенергетики України залишається незадовільним. Причина цього полягає в тому, що протягом багатьох років модернізація енергетичного сектору майже не проводилось. Як наслідок, понад 20% обладнання в енергетиці повністю вичерпало свій ресурс, а 70% уже відпрацювало встановлений термін. Саме тому їхній стан визначається як критичний. Застарілі методи спалювання вугілля та газу, а також значна зношеність техніки спричиняють надмірне споживання палива й суттєві викиди шкідливих сполук в атмосферу [1-2].

Частка електрообладнання, яке найбільше потребує ремонту чи заміни в мережах із напругою 6-10 кВ, сягає 60-70%. Світові тенденції в розвитку електротехнічного обладнання показують, що оливні та малооливні вимикачі на напругу 6-10 кВ поступово витісняються вакуумними аналогами. В Україні також спостерігається подібний рух. Наразі кількість вакуумних вимикачів у державі становить приблизно 40% від загальної кількості інших типів. Вакуумні апарати для комутації демонструють найвищу динаміку прогресу та вважаються найперспективнішими для розподільчих систем середньої напруги.

Зусилля розробників вакуумних вимикачів зосереджені на зменшенні загального часу відключення пристрою та обмеженні перенапруг під час комутації, на покращенні характеристик апаратів за напругою, номінальним струмом і здатністю до комутації, а також на підвищенні надійності й удосконаленні техніко-економічних параметрів. Різноманітність конструктивних підходів при розробці вимикачів високої напруги надзвичайно велика [3].

Серед провідних виробників електрообладнання можна виділити: Запорізький завод високовольної апаратури, Рівненський завод високовольної апаратури «РЗВА–Електрик», Запорізький трансформаторний завод, підприємство «Укрелектроапарат» (м. Хмельницький), компанію «Ампер» (м. Кременчук) та низку інших виробників.

Вакуумні вимикачі відкривають значні можливості для оновлення комплектних розподільчих установок (КРУ) із напругою 6-10 кВ. Розподільчі системи середньої напруги раніше проектувалися з використанням шаф типу КСО, КРУ-10, К-III тощо, а також КРУН у різних модифікаціях. У свій час оптимальними вважалися малооливні вимикачі, такі як ВМП, ВМПП, ВМПЕ, ВКЕ, оснащені різноманітними приводами та схемами релейного захисту й автоматики. За 30-50 років роботи ці електроустановки, безперечно, дійшли до критичного рівня зносу. Це призводить до зростання аварійності та перебоїв у постачанні електроенергії споживачам. Дослідження стану шаф КРУ показує, що в більшості випадків заміна самих шаф не є необхідною, адже це вимагало б перебудови будівельної частини. Натомість у таких ситуаціях проводять заміну застарілих малооливних вимикачів на сучасні вакуумні аналоги.

Отже, аналіз особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів в даний час є **актуальною задачею** в умовах сьогодення.

Метою даної бакалаврської кваліфікаційної **роботи** є аналіз сучасного вакуумного обладнання та оцінка перспектив розвитку в Україні, а також дослідження особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів.

У відповідності із поставленою метою, в роботі в роботі розв'язуються наступні **основні задачі**:

1. Проаналізувати конструктивні особливості будови вакуумних вимикачів та принцип їх роботи.
2. Дослідити різновиди вакуумних вимикачів.
3. Проаналізувати умови експлуатації технічного обслуговування та ремонту вакуумних вимикачів.
4. Розглянути умови вибору комутаційного обладнання.
5. Проаналізувати питання охорони праці.

Об'єктом дослідження даної роботи є електричні станції та підстанції України, а предметом дослідження є вакуумні вимикачі.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ ТА ПРИНЦИП ЇХ РОБОТИ

На сьогодні у світі налагоджено промислове виробництво високонадійних швидкодіючих вакуумних вимикачів, які здатні переривати значні струми в електромережах середньої (6, 10, 35 кВ) та високої напруги (аж до 220 кВ).

Використання комутаційного обладнання в Західній Європі, на відміну від Східної, уже давно визначило ключові напрямки розвитку таких пристроїв для мереж середнього рівня напруги [3]. З огляду на високу надійність, екологічність, легкість в обслуговуванні й експлуатації, широкий діапазон номінальних характеристик та економічність для всіх комутаційних дій, найдоцільнішим є застосування:

- у мережах високої напруги - елегазових вимикачів,
- у мережах середньої напруги – вакуумних вимикачів.

Аналіз ринку електротехнічного обладнання свідчить, що частка попиту на вакуумні вимикачі на світовому ринку сягає 64-65%. Прогнозований попит на вакуумну комутаційну техніку до 2030 року становитиме 85% усього сегменту комутаційних пристроїв середньої напруги.

Серед основних переваг вакуумних вимикачів над іншими типами пристроїв для середнього класу напруги можна виділити такі:

Надійність. До показників надійності елементів електричних схем належать частота відмов, час на відновлення, а також частота й тривалість капітальних і поточних ремонтів. За однакових умов, навіть якщо припустити, що частота відмов і час відновлення після аварії однакові для вакуумних і традиційних вимикачів, частота та тривалість ремонтів останніх значно вищі [3].

Наприклад, для малооливного вимикача ВК-10 заміна оливи потрібна після 10 відключень струму 20 кА. Після 2000 циклів операцій увімкнення-вимкнення (У-В) необхідно проводити технічне обслуговування приводу. Після 3000 циклів У-В вимикач потребує капітального ремонту. Середній ремонт такого пристрою має відбуватися не рідше ніж раз на 4 роки..

Вакуумні вимикачі практично не потребують регулярного обслуговування. Рекомендується проводити огляди та періодичні перевірки раз на 3-5 років. Під час таких перевірок слід виконати високовольтні випробування вакуумної дугогасильної камери та ізоляції вимикача, а також оцінити перехідний опір контактів.

Експлуатаційні витрати. Цей аспект безпосередньо пов'язаний із попереднім. Низькі витрати на експлуатацію зумовлені відсутністю потреби в оливному (як для масляних вимикачів) чи компресорному (як для повітряних вимикачів) господарстві. До того ж вакуумна дугогасильна камера (ВДК) не вимагає відновлення дугогасильного середовища. Висока комутаційна зносостійкість дозволяє суттєво зменшити витрати на обслуговування та скоротити перерви в електропостачанні, пов'язані з регламентними роботами.

Комутаційний і механічний ресурс. Кількість відключень номінальних струмів без необхідності ревізії чи ремонту ВДК може сягати 50 тисяч, а відключень струмів короткого замикання – від 20 до 200, залежно від типу ВДК і величини струму. Натомість для малооливних вимикачів ревізія потрібна після 1000-2000 відключень номінального струму або 3-12 відключень струмів вимкнення. Високий механічний ресурс вакуумних вимикачів пояснюється насамперед малим ходом контактів ВДК – від 6 до 12 мм для напруги 6-10 кВ. У масляних та електромагнітних вимикачах на цю ж напругу хід контактів становить 100-200 мм, що зумовлює складнішу конструкцію приводу. Це, у свою чергу, вимагає більшого споживання енергії для вмикання та вимикання, а також регулярного контролю стану деталей приводу, що підвищує експлуатаційні витрати на утримання вимикача.

Завдяки високому комутаційному та механічному ресурсу вакуумні вимикачі ефективно застосовуються в системах із частими перемиканнями – наприклад, для трансформаторів сталеплавильних печей, насосів, компресорів тощо.

Безпека. Вакуумні вимикачі вирізняються низькою енергією приводу, меншою масою та компактнішими розмірами порівняно з традиційними

вимикачами за однакових номінальних значень струму й напруги. Це сприяє безшумній роботі та запобігає забрудненню навколишнього середовища.

Герметичність конструкції ВДК і відсутність середовища, що підтримує горіння, гарантують високий рівень пожежо- та вибухобезпеки, а також дозволяють використовувати вимикачі в агресивних умовах.

1.1 Особливості будови вакуумних дугогасильних камер

Основним і найбільш відповідальним компонентом вакуумного вимикача є вакуумна дугогасильна камера. Її конструкція має певні особливості, що залежать від напруги, струмів відключення та типу вимикача. Водночас усі камери базуються на спільних принципах гасіння електричної дуги у вакуумному середовищі.

Загальний вигляд і розріз дугогасильного пристрою вакуумної камери зображено на рис. 1.1. У циліндричному корпусі 1, виготовленому з ізоляційного матеріалу, розміщено нерухомий контакт 2, закріплений на металевому фланці 3, який герметично з'єднаний із циліндром.

Там же розташований рухомий контакт 4, з'єднаний із фланцем 5 через сильфон 6. Сильфон – це циліндрична гофрована деталь із нержавіючої сталі, що забезпечує герметичність камери. Конструкція камери вирізняється достатньою механічною міцністю та дозволяє рухомому контакту переміщатися на відстань до 20 мм.

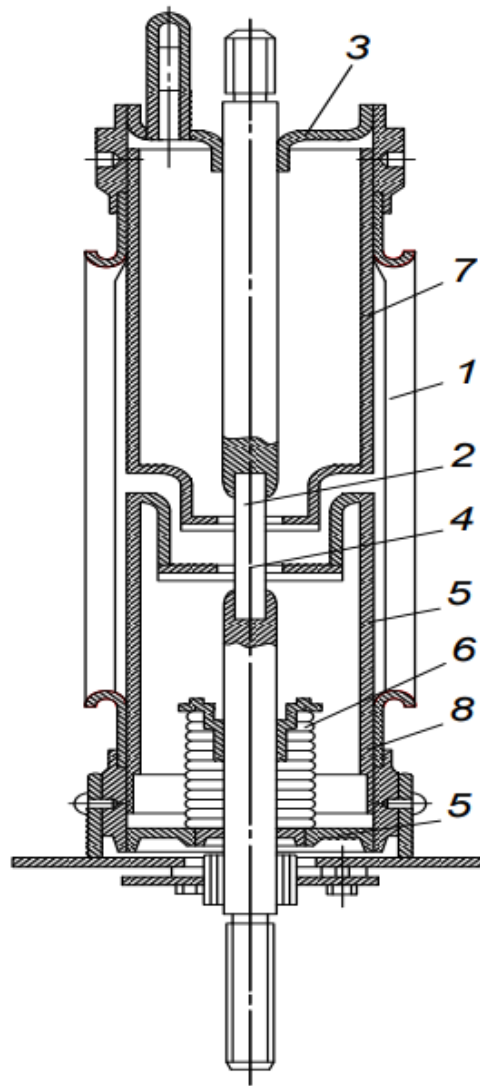


Рисунок 1.1 – Загальна будова вакуумної дугогасильної камери

Для захисту стінок ізоляційного корпусу 1 (рис. 1.1) від парів металу електродів використовуються екрани 7 і 8. Без цих екранів пари металу осідали б на поверхні циліндра, що з часом призвело б до порушення ізоляції між контактами 2 і 4. Крім того, екрани сприяють вирівнюванню електричного поля між контактами, підвищуючи тим самим надійність роботи вимикача.

У сучасних вимикачах тиск усередині дугогасильної камери становить 10^{-4} – 10^{-6} Па. Притискання рухомого контакту до нерухомого забезпечується атмосферним тиском. При великих номінальних струмах додатково встановлюють контактну пружину. Під час розмикання контактів у момент виникнення дуги спочатку формується рідкий металевий місток із матеріалу електродів. Цей місток швидко нагрівається до високої температури через значну

густину струму та різке зростання питомого опору розплавленого матеріалу. Згодом місток випаровується, і виникає дуга, що горить у середовищі парів металу електродів. Таку дугу називають вакуумною. Її особливістю є низька напруга – 20–40 В. Лише при великих струмах (10–100 кА) напруга зростає до 50–200 В. Коли струм проходить через нульове значення, дуга згасає. Низька густина газу в дугогасильній камері забезпечує надзвичайно високу швидкість дифузії зарядів завдяки значній різниці в густині частинок між дугою, що гасне, та навколишнім вакуумом.

Після проходження струму через нуль за 10 мкс між контактами відновлюється електрична міцність вакууму, яка в рівномірному полі сягає 10^5 В/мм. На рис. 1.2 зображена контактна система вимикачів для напруги до 13,8 кВ, номінального струму до 3 кА та струму відключення до 100 кА. Струм від стержня 1 спочатку рухається в радіальному напрямку, а потім по провіднику 2 у вигляді дуги кола (точки 1–4). При цьому утворюється поздовжнє (осьове) магнітне поле, позначене хрестиками й крапками. У кінці дуги кола 2 розташований торцевий контакт 3, через який струм передається від нижнього контакту до верхнього. Контакт має лише чотири точки переходу. Загальна сила притискання контакту досягає 12 000 Н. Конструкція багатоточкового торцевого контакту вакуумної дугогасильної камери також представлена на рис. 1.2.

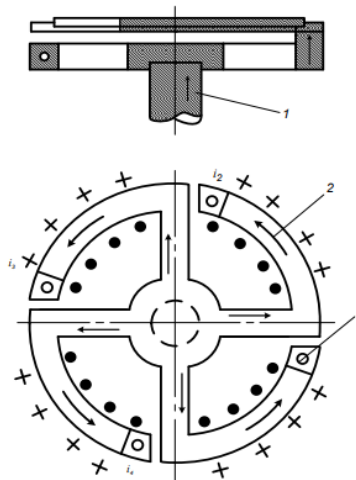


Рисунок 1.2 - Система контактів вакуумної камери для гасіння дуги з поздовжнім магнітним полем

Завдяки такій будові камери, у порівнянні з електромагнітними й масляними вимикачами, вакуумний вирізняється значно меншими розмірами та вагою, а порівняно з повітряним вимикачем із такими ж характеристиками має масу, зменшену на 47%, і об'єм, скорочений на 46%. При цьому об'єм шафи КРУ зменшується на 42%, а її площа – аж до 70%.

Наразі в Україні проводяться масштабні заходи зі створення нових вакуумних камер для гасіння дуги та вимикачів. Основний акцент робиться на виробництві вакуумних вимикачів для розподільних систем напругою 6–10 кВ, призначених для промислових об'єктів, напругою 27,5 кВ для залізничного транспорту, а також напругою 35–110 кВ для розподільних установок електростанцій і підстанцій. Водночас активно тривають роботи з модернізації вакуумних вимикачів та їхніх камер у діапазоні напруги 6–110 кВ, а також розроблення нових моделей із напругою 220 кВ.

Виробляються й застосовуються камери для гасіння дуги напругою 10 кВ із номінальним струмом від 400 до 3200 А та номінальним струмом відключення від 4 до 31,5 кА.

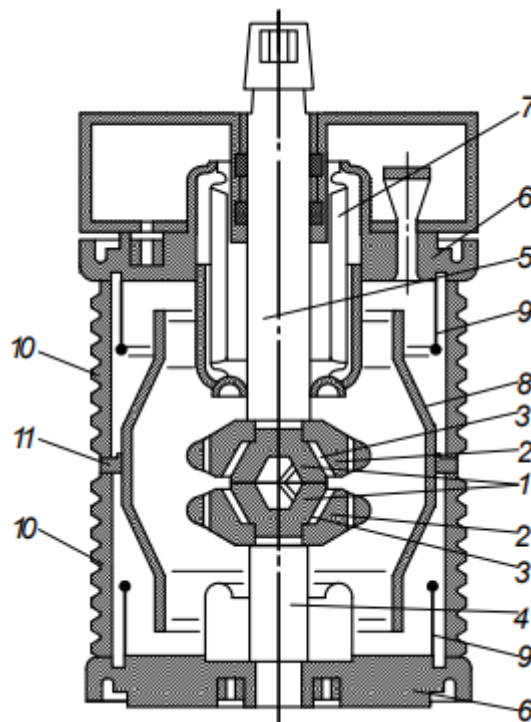


Рисунок 1.3 – Вакуумна дугогасильна камера серії КДВ

На малюнку 1.3 зображена будова вакуумної камери для гасіння дуги моделі КДВ-10-1600-20, яка застосовувалася у вимикачах серії ВВТЄ. Зовні камера має вигляд циліндра з кераміки. Фланці 6 з'єднані з міцним ребристим керамічним циліндром 10, стійким до вакууму. До струмопроводу 4 прикріплено нерухомі контакти 1 і 2, виконані у формі торцевої розетки із шістьма точками контактування. Рухомий контакт закріплено на струмопроводі 5, який сполучений із сильфоном 7. Завдяки цьому забезпечується вертикальне переміщення рухомого контакту. Між контактними частинами розташований зазор 3. Зовнішні струмопроводи під'єднуються до фланця 6 (через жорстку шину) та до струмопроводу 5 (за допомогою гнучких шин). Для вирівнювання електричного поля й захисту циліндра 10 від осідання металевих парів використовуються екрани 8 і 9. Екран 8 фіксується до ізолятора за допомогою кільця 11. Далі, у таблиці 1.1, подано ключові технічні параметри дугогасильної камери типу КДВ.

1.2 Принцип роботи вакуумного вимикача

Конструкція ВДК складається з ізоляційної оболонки, виготовленої зі скла або газощільної кераміки, металевих фланців на кінцях і двох контактів — рухомого і нерухомого. Нерухомий контакт жорстко закріплений до одного з фланців, тоді як рухомий з'єднаний з іншим фланцем через сильфон із нержавіючої сталі. Цей сильфон дозволяє контакту переміщатися, зберігаючи герметичність камери. Всередині також розташовані електростатичні екрани, які захищають оболонку від металевих парів, що утворюються при горінні дуги, і вирівнюють розподіл електричного поля (Рисунок 1.4). Така конструкція забезпечує стабільність роботи вимикача навіть при високих струмах.

Процес гасіння дуги у вакуумі є центральним у принципі роботи вакуумного вимикача. Коли контакти розмикаються, між ними виникає електрична дуга через іонізацію парів металу, що випаровуються з поверхні контактів під дією високої температури. У вакуумі, де практично відсутні

молекули газу, дуга не може довго існувати: плазма швидко розсіюється, а іони втрачають енергію.

Таблиця 1.1– Основні технічні характеристики камери КДВ

Номинальна напруга, кВ	10
Номинальний струм, А	1600
Опір струмоведучого кола при додатковому натисканні 1600 Н, мкОм	16
Номинальний відносний вміст аперіодичної складової, %	0,35
Тривалість дуги, с, не більше	0,02
Граничний струм увімкнення, - амплітудне значення, кА - початкове значення періодичної складової, кА	51 20
Струм термічної стійкості (4 с), кА	20
Амплітуда граничного наскрізного струму, кА	70
Середній струм зрізу, А, не більш	10
Електрична зносостійкість в циклі увімкнення - вимкнення: - при $I_{ном} = 1600$ А - при $I_{вимк. ном} = 20$ кА	100 25
Механічна зносостійкість, операцій	$2 \cdot 10^4$
Хід рухомого контакту, мм	12
Допустиме зношування контактів, мм	4
Швидкість рухомого контакту, м/с: - при вимкненні при увімкненні	1,7 – 2,3 0,6 – 0,9
Мінімальна безструмова пауза, с	0,3
Середній термін служби камери, років	25

Тривалість горіння дуги зазвичай не перевищує 0,02 секунди, що значно швидше, ніж у газових чи масляних вимикачах. Висока діелектрична міцність вакууму (до 20–30 кВ/мм) дозволяє швидко відновити ізоляцію між контактами після гасіння дуги, що робить вимикач надзвичайно ефективним (рисунк 1.5).

Залежність пробивної напруги від відстані між контактами показує, що навіть при малих проміжках вакуум зберігає свої ізоляційні властивості.

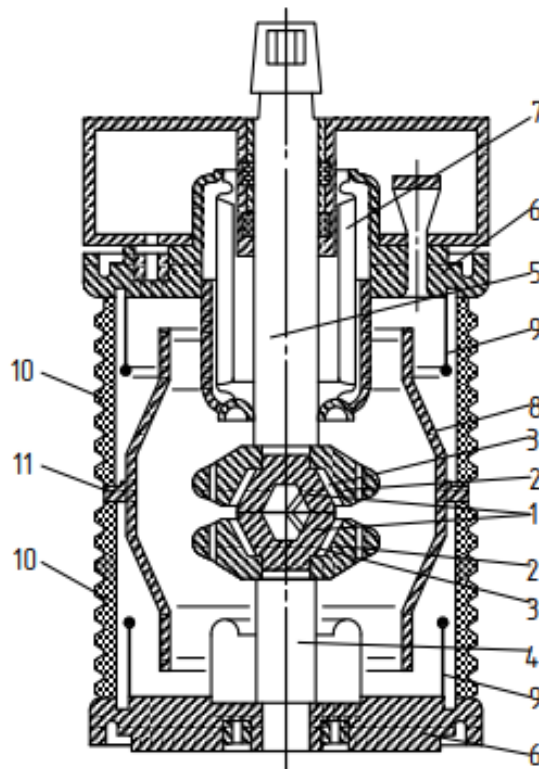


Рисунок 1.4 – Конструкція ВДК

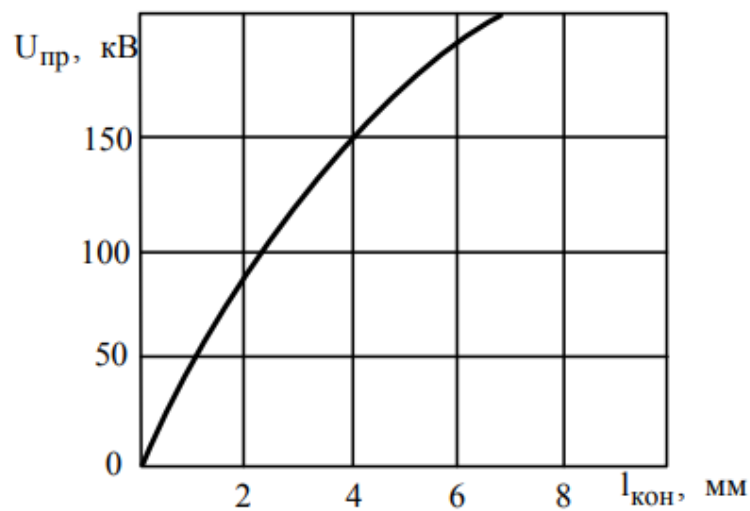


Рисунок 1.5 – Залежність пробивної напруги від довжини

Матеріали контактів відіграють важливу роль у роботі ВДК. Вони повинні мати низький питомий опір, стійкість до зносу і мінімальну схильність до зварювання у вакуумі. Для цього використовуються багатокомпонентні сплави на основі міді, такі як CuCr або CuBi, які виготовляються шляхом спікання. Ці матеріали забезпечують стабільність контактів при комутації струмів до 20 кА і

зменшують ерозію поверхні. При струмах до 10 кА застосовуються прості дискові контакти, але при більших значеннях дуга може викликати значне сплавлення. Щоб цього уникнути, контакти мають спіральні прорізи або створюють поздовжнє магнітне поле, яке змушує дугу обертатися і розподіляти тепло більш рівномірно. Порівняння відмикаючої здатності показує, що камери з поздовжнім магнітним полем мають кращі характеристики, ніж ті, що зі спіральними прорізами.

Характер дуги залежить від величини струму. При малих струмах (до 10 кА) дуга має дифузну форму з численними катодними плямами, розсіяними по поверхні катода, а напруга дуги не перевищує 30 В. При великих струмах дуга стає стислою, з'являються анодні плями, а напруга може зростати до 100–200 В із значними сплесками (Рисунок 1.6). Це призводить до посиленого зносу контактів і збільшення кількості металевих парів у проміжку, що може ускладнити гасіння. Однак поздовжнє магнітне поле допомагає стабілізувати процес, зменшуючи концентрацію плазми і зберігаючи ефективність вимикача.

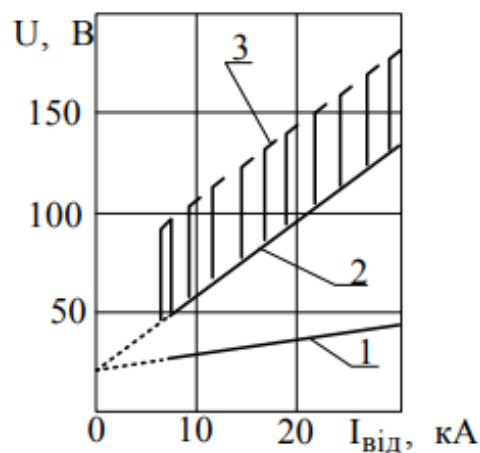


Рисунок 1.6 – Вольтамперні характеристики ВДК:

1 – контакти з поздовжнім магнітним полем; 2 – контакти зі спіральними прорізами; 3 – флуктуації напруги

Одним із ключових аспектів роботи вакуумного вимикача є механізм вмикання та вимикання, який залежить від конструкції привода та енергії,

накопиченої в рухомих частинах. У вимикачах серії ВР, наприклад ВР1, використовується електромагнітний привод, який розміщений у корпусі пристрою. При вмиканні струм від блока управління проходить через котушку вмикання, створюючи магнітне поле, яке втягує осердя. Це осердя через проміжний вал і тягу повертає основний вал вимикача, піднімаючи ізоляційну тягу з рухомим контактом ВДК. Контакти замикаються, а пружини підтискання забезпечують необхідний тиск (1000–4000 Н), що гарантує надійний контакт і запобігає зварюванню (Рисунок 1.7). Після цього осердя фіксується за допомогою постійного магніту, утворюючи так звану "магнітну защіпку", яка утримує контакти у ввімкненому стані без додаткового живлення котушки.

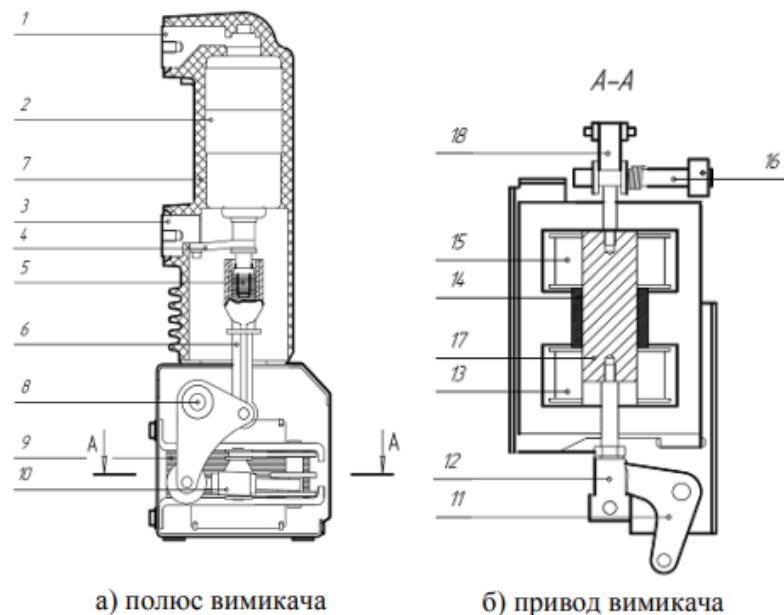


Рисунок 1.7 – Конструкція полюса та привода вимикача ВР1:

1 – верхній контакт; 2 – вакуумна дугогасильна камера (ВДК); 3 – нижній контакт; 5 – пружини підтискання; 6 – ізоляційна тяга; 7 – ізоляційний каркас полюса; 8 – основний вал; 9 – електромагніт; 10 – регульовальна тяга; 11 – проміжний вал; 12 – вставка увімкнення; 13 – котушка увімкнення; 14 – постійний магніт; 15 – котушка вимкнення; 16 – вал ручного вимкнення; 17 – осердя; 18 – вставка вимкнення

Вимикання відбувається за схожим принципом, але у зворотному

напрямку. За командою "ВІДКЛ" струм проходить через котушку вимикання, створюючи сильніше магнітне поле, яке долає утримуючу силу постійного магніту. Осердя рухається вниз, тягнучи за собою вал і ізоляційну тягу. Енергія, накопичена в пружинах підтискання під час вмикання, сприяє швидкому розмиканню контактів зі швидкістю 1,7–2,3 м/с. Цей процес забезпечує миттєве гасіння дуги у вакуумі та повернення привода в початкове положення. Така конструкція дозволяє вимикачу витримувати значні механічні навантаження і забезпечує високу швидкодію, що критично важливо для аварійних режимів у мережах.

Важливим моментом у роботі вакуумного вимикача є явище перенапруг, які можуть виникати при вимиканні. Однією з причин є ефект струму зрізу, коли вимикач розриває коло до природного переходу струму через нуль. У вакуумі це явище менш виражене, ніж у масляних вимикачах, завдяки швидкому гасінню дуги, але все ж може призводити до підвищення напруги на навантаженні в 2,2–3 рази вище номінального значення. Особливо небезпечні такі перенапруги для малопотужних електродвигунів, підключених через довгі кабелі, де ізоляція обмоток може бути пробита. Інший тип перенапруг виникає при багаторазових повторних запалюваннях дуги внаслідок недостатньої електричної міцності міжконтактного проміжку. У таких випадках струм в індуктивності зростає, поступово підвищуючи напругу, що вимагає додаткових захисних заходів, таких як установка розрядників чи конденсаторів.

Ще одним фактором, що впливає на роботу ВДК, є поведінка контактів у вакуумі. У відсутності кисню поверхні контактів не окислюються, що продовжує їхній термін служби, але підвищена схильність до зварювання вимагає ретельного підбору матеріалів і конструктивних рішень. Наприклад, торцеві контакти з шістьма точками дотику, як у камері КДВ-10-1600-20, зменшують ймовірність зварювання і рівномірно розподіляють струм (Рисунок 1.4). Допустимий знос контактів становить до 4 мм, а їхній хід — 12 мм, що забезпечує достатній запас для тривалої експлуатації. Механічна зносостійкість ВДК досягає 20 000 операцій, а електрична — до 100 циклів при номінальному

струмі 1,6 кА або 25 циклів при 20 кА, що підтверджує високу надійність пристрою.

Фізичні принципи роботи вакуумного вимикача тісно пов'язані з його практичними перевагами. Завдяки відсутності дугогасильного середовища, яке потребує заміни (як олива чи SF_6), вимикач не потребує складного обслуговування. Швидке відновлення електричної міцності між контактами (до 50 кВ/мкс) дозволяє йому ефективно працювати в умовах частих комутацій і аварійних коротких замикань. Крім того, компактність ВДК і мала маса вимикача дають змогу встановлювати його в стандартних шафах КРУ в кілька ярусів, що економить простір на підстанціях.

Технічні параметри вакуумних вимикачів, зокрема серії ВР, підкреслюють їхню ефективність і адаптивність до сучасних електромереж. Наприклад, вимикач ВР1-10-20/630 розрахований на номінальну напругу 10 кВ, номінальний струм 630 А та струм відключення 20 кА. Амплітуда граничного наскрізного струму може досягати 70 кА, а струм термічної стійкості (за 4 секунди) становить 20 кА, що дозволяє пристрою витримувати значні перевантаження. Середній струм зрізу не перевищує 10 А, що мінімізує ризик перенапруг. Електромагнітний привод працює на випрямленому струмі 220 В, а діапазон робочих температур — від -25°C до $+50^{\circ}\text{C}$ (для кліматичного виконання У2), що робить вимикач придатним для різних умов експлуатації. Механічний ресурс досягає 100 000 циклів, а термін служби — 25 років без необхідності обслуговування, що значно перевищує показники масляних аналогів.

Порівняння з іншими типами вимикачів, наприклад малооб'ємними масляними, показує суттєві переваги вакуумної технології. Масляні вимикачі потребують регулярної заміни масла, мають більші габарити і масу, а також становлять ризик вибуху чи пожежі через використання горючих матеріалів. У вакуумних вимикачах таких недоліків немає: відсутність дугогасильного середовища виключає потребу в компресорах чи масляному господарстві, а вибухобезпечність і екологічність роблять їх ідеальними для густонаселених районів чи промислових об'єктів. Хоча початкова вартість вакуумних вимикачів

на 10–15% вища, ніж у малооб’ємних, їхні експлуатаційні витрати за 25 років удвічі менші, а перерви в електропостачанні через ремонти скорочуються в 20 разів. Це пояснює, чому до 1990 року частка вакуумних вимикачів у світі перевищила 55%, а в Японії — 70%.

Практичне застосування вакуумних вимикачів охоплює широкий спектр задач: від комутації нормальних струмів до захисту мереж у аварійних режимах. Серія ВР, наприклад, розроблена для мереж трифазного змінного струму частотою 50–60 Гц із напругою 6–10 кВ і використовується як у нових КРУ, так і для модернізації існуючих шаф. Їхня висока швидкодія (час відключення — частки секунди) і стійкість до ударних навантажень дозволяють застосовувати ці пристрої навіть у складних умовах, таких як теплові чи атомні станції. Водночас розробка ВДК пов’язана з певними труднощами, зокрема створенням спеціальних контактних матеріалів і складністю вакуумного виробництва, що вимагає значних початкових інвестицій. Проте ці недоліки компенсуються довгостроковими перевагами.

Принцип роботи вакуумного вимикача також впливає на його здатність протистояти зовнішнім факторам. Широкий діапазон робочих температур (від -70°C до $+200^{\circ}\text{C}$ для ВДК) і можливість монтажу в будь-якому положенні роблять його універсальним рішенням. Наприклад, конструкція ВР1 включає три полюси з ВДК, залитими на спільній основі, що зменшує габарити до висоти 960–1160 мм. Це дозволяє розміщувати вимикачі в компактних шафах КРУ в 2–4 яруси, оптимізуючи простір і знижуючи динамічні навантаження на фундамент.

1.3 Будова й особливості головних різновидів вакуумних вимикачів

На базі описаної раніше вакуумної камери для гасіння дуги типу КДВ розроблялися вимикачі напругою 10 кВ із номінальним струмом до 3200 А й струмом відключення до 31,5 кА, а також напругою до 35 кВ із номінальним струмом 1600 А та струмом відключення до 20 кА. На малюнку 1.8 зображено вакуумний вимикач ВВТЕ-10-10/630У2, призначений для перемикання

електричних кіл напругою 10 кВ у штатних та аварійних умовах, який монтується в осередки КРУ. На рамі 8 за допомогою ізоляційних опор 11 закріплено три вакуумні дугогасильні камери 6. Вивід рухомого контакту 5 сполучений через гнучку зв'язку 4 із верхнім контактним ножем 1, який фіксується на ізоляційній балці 2. Нерухомий контакт камери з'єднаний із нижнім ножем 7. Електромагнітний привід 13 через систему тяг та ізоляційну плиту 14 пов'язаний із рухомими контактами. Кінцевий тиск контактів забезпечується пружинами 3. Сталева перегородка 10 слугує для захисту постійних магнітів у приводі від впливу електромагнітних полів основних ланцюгів вимикача.

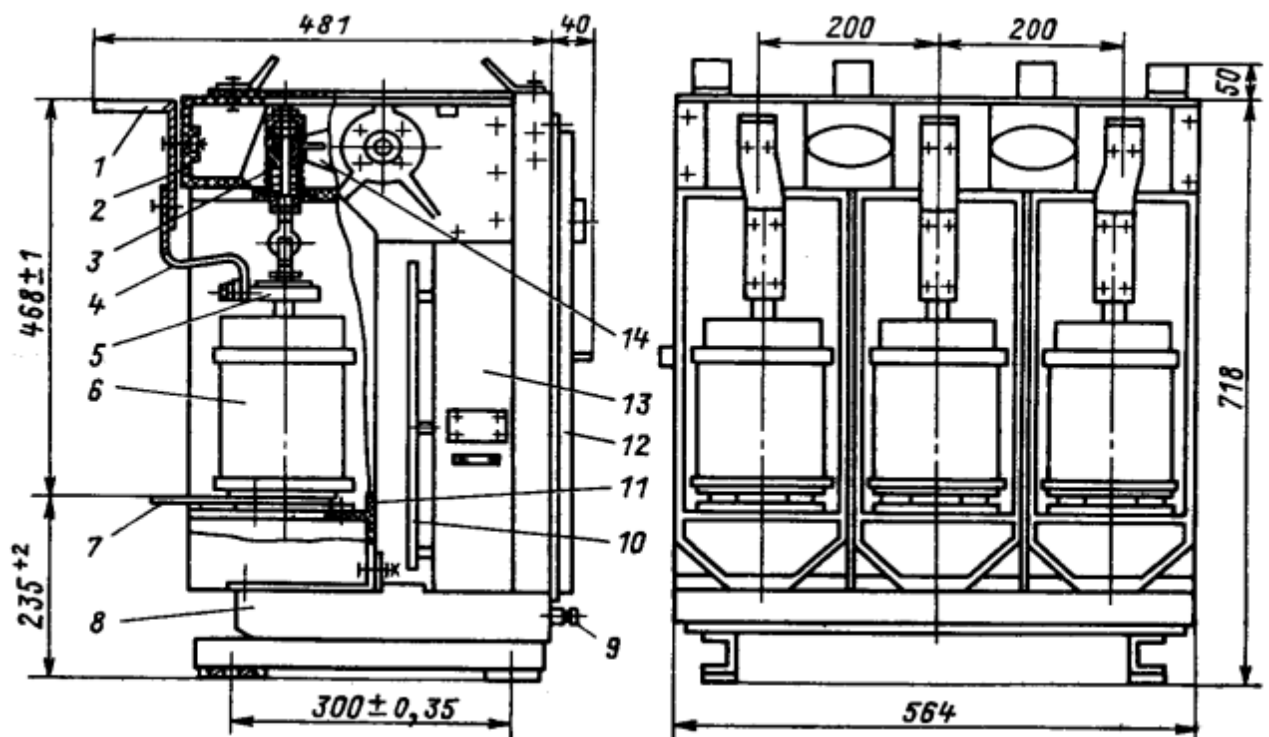


Рисунок 1.8 - Вакуумний вимикач BVTE-10-10/630Y2

Вимикач оснащений передньою кришкою 12 із отворами, через які видно механічний індикатор положень увімкнення та вимкнення, а також лічильник циклів УВ. Заземлення виконується гвинтами 9. Цей вимикач призначений для 2000 циклів УВ за номінального струму й 50 циклів при струмі короткого замикання 10 кА. Час повного відключення становить 0,05 секунди. Подібну конструкцію мають вимикачі на 1000 та 1600 А. На відміну від згаданого BVTE,

вимикачі ВВТП оснащені пружинним механізмом приводу.

На малюнку 1.9 зображено загальний вигляд дугогасильної камери виробництва компанії «Сіменс» (Німеччина), розрахований на напругу 12 кВ, номінальний струм 1250 А та струм відключення 25 кА. Пізніше номінальний струм підвищили до 2500 А, а напругу – до 24 кВ при струмі відключення 16 кА.

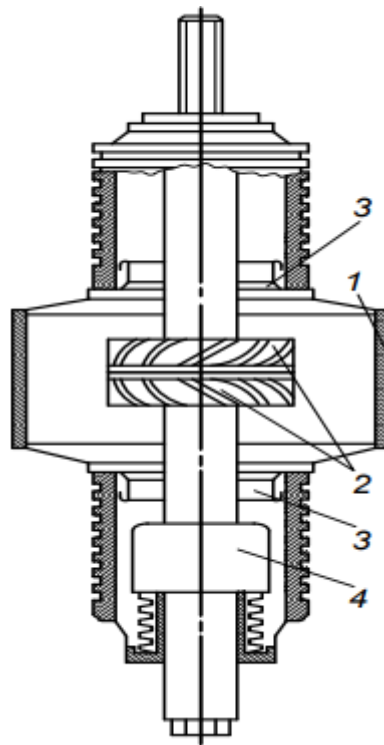


Рисунок 1.9 - Вакуумна камера для гасіння дуги виробництва компанії «Сіменс»

$U_{\text{ном}}$ – до 24 кВ, $I_{\text{ном}}$ – до 2500 А, $I_{\text{о.ном}}$ – до 25кА

Відмінною рисою дугогасильної камери є відсутність суцільного ізоляційного кожуха. Основна частина вимикача – це металева камера гасіння 1. У ній розміщені контакти 2 із спіральними насічками для подовження дуги, екрани 3 та сильфон 4. Металеві пари, що осідають на внутрішніх стінках камери, не знижують її ізоляційних якостей. Завдяки спіральним шліцям на контактах 2 зменшується зношення, а струм відключення зростає. Електричне поле в камері стабілізується двома екранами 3, з'єднаними з камерою гасіння, та двома екранами, прикріпленими до фланців дугогасильної камери.

На малюнку 1.10 зображено вимикач із вакуумною дугогасильною

камерою виробництва «Сіменс». Камера кріпиться до опорних ізоляторів тримачами 7. Підключення здійснюється через виводи 2 й 6. Вивід 6 з'єднаний із рухомим контактом 4 гнучким з'єднанням, тоді як нерухомий контакт 3 сполучений із виводом 2. Ізоляція контактів – нерухомого 3 та рухомого 4 – від металевого корпусу 1 (див. рис. 1.1) забезпечується порцеляновими ізоляторами 5. Рух рухомого контакту відбувається завдяки ланкам 8 та 9. Пружина 10 підсилює контактний тиск. Керування механізмом здійснюється через клямку 11. У вимикачі застосовується двигунний привід (drive). Вимикач розрахований на напругу 7,2–24 кВ, номінальний струм 630–2500 А та струм відключення 8–25 кА. Швидкість відновлення електричної міцності камери досягає μ до $5 \cdot 10^4$ В/мкс. Максимальна тривалість горіння дуги становить 11 мс. Вимикач здатен витримати 20 000 операцій. У розподільчих системах на 35 кВ використовуються колонкові вакуумні вимикачі серії ВВК, а також сучасніші моделі від вітчизняних виробників, наприклад, ВР35 від Рівненського заводу високовольтної апаратури «РЗВА – Електрик», та зарубіжних – ABB, Siemens, Ahlstrom.

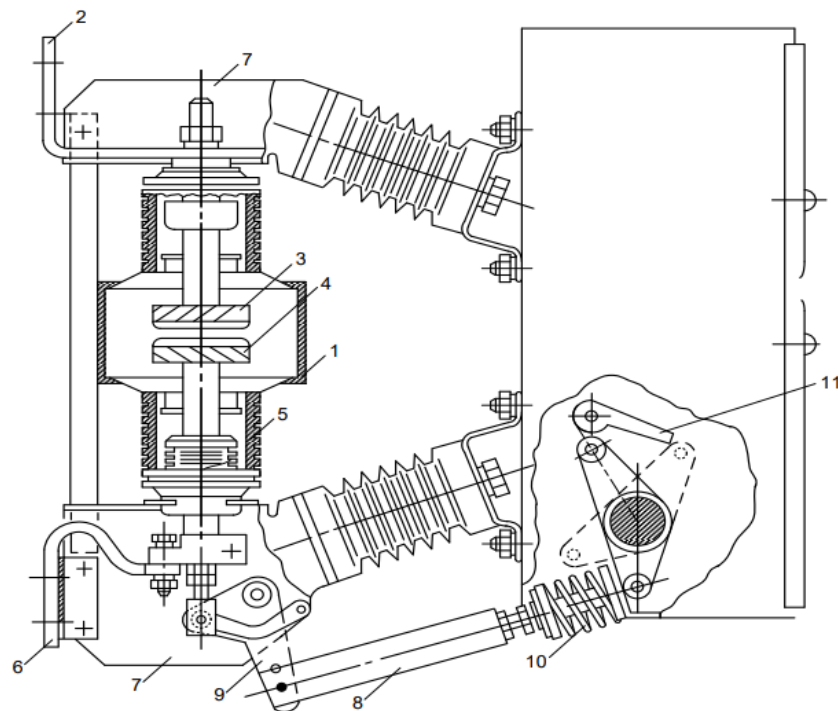


Рисунок 1.10 - Вимикач вакуумний фірми «Сіменс»

На малюнку 1.11 зображено загальний вигляд вакуумного вимикача ВВК-35Б-20/1000У1, який розроблений для частих перемикачів у нормальних та аварійних умовах. Цей вимикач призначений для монтажу на відкритому просторі. На єдиній рамі (carriage) за допомогою порцелянових ізоляторів закріплено три полюси (pole). У кожному полюсі (див. рис. 1.11) всередині фарфорового ізолятора 3, укріпленого фланцями 2 та 6, розташована дугогасильна камера 5. Для забезпечення надійної ізоляції полюси заливаються оливою, а на кришці 1 розміщений оливовказівник. Механізм приводу полюса 8 з'єднаний із рухомим контактом через тяги 7 й 4. Гасіння дуги відбувається у вакуумній камері 5.

Сучасніший вакуумний вимикач для внутрішньої установки ВВЕЛ-35, розрахований на напругу 35 кВ, струми відключення 31,5 кА та 40 кА, із номінальними струмами до 2500 А, оснащений електромагнітним приводом. Він призначений для перемикачів електричних кіл у нормальних та аварійних режимах у мережах трифазного змінного струму з частотою 50 Гц. Вимикач вирізняється зручністю й надійністю в роботі завдяки новій конструкції електромагнітного приводу, який не потребує технічного обслуговування. Блокова компоновка забезпечує доступ до ключових елементів полюсів та приводу, що спрощує контроль основних робочих параметрів вимикача. [3]

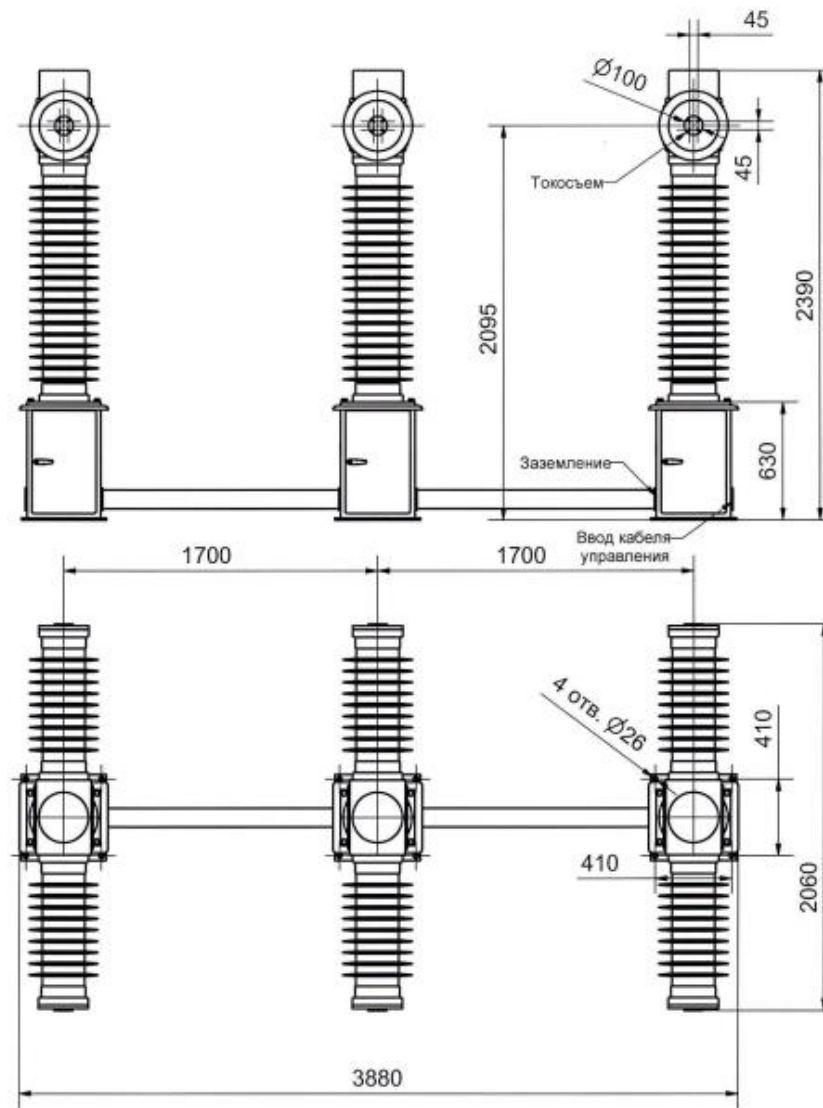


Рисунок 1.11 – Розміри габаритів вакуумного вимикача зовнішньої установки ВВЕЛ-110 -У1

1.4 Вакуумні вимикачі серії ВР, створені компанією «Високовольтний союз»

Вакуумні вимикачі від компанії «Високовольтний союз», виготовлені на Рівненському заводі високовольтної апаратури «РЗВА – Електрик», зокрема серії ВР (ВР1, ВР2, ВР3, ВР6, ВР6В, ВР6К), розроблені для перемикання електричних ланцюгів у стандартних та аварійних умовах у мережах трифазного змінного струму з частотою 50 (60) Гц й номінальною напругою від 6 до 10 кВ у системах із ізольованою або частково заземленою нейтраллю. Такі вимикачі

застосовуються як для новостворених комплектних розподільчих установок (КРУ), так і для модернізації вже наявних шаф КРУ, що експлуатуються. У будь-якому разі монтаж вимикачів серії ВР дозволяється лише після погодження з підприємством, яке їх виробляє.



Рисунок 1.12 – Вимикач типу ВР1

Вимикачі ВР6В переважно застосовуються для заміни електромагнітних вимикачів ВЕС-6 у шафах КГ-6С на теплових та атомних електростанціях. Вимикачі ВР6К, у свою чергу, здебільшого використовуються для заміни електромагнітних вимикачів ВЕМ-6 у шафах К-Х й К-ХХV на теплових та атомних станціях. Різновиди вимикачів серії ВР на 6–10 кВ, залежно від номінального струму та струму відключення, можна зобразити у формі діаграми. [2]

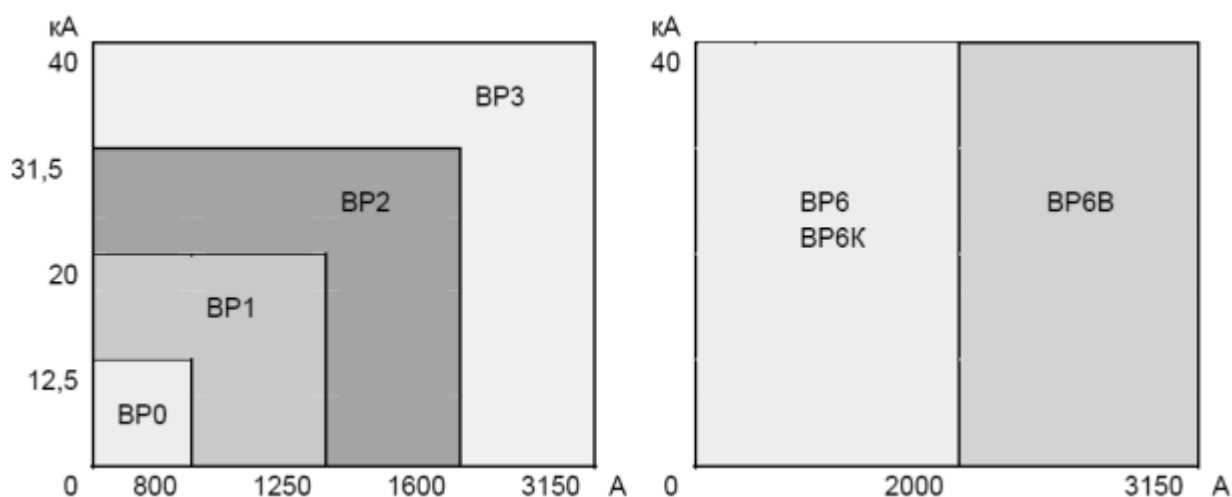


Рисунок 1.13 - Варіанти виконання вимикачів серії ВР залежно від номінального струму та струму відключення

Ключові переваги вакуумних вимикачів серії ВР полягають у такому: механічна витривалість до 100 000 циклів відключення; гарантійний період служби – 4 роки; відсутність потреби в технічному обслуговуванні; придатність для роботи в схемах із постійною та змінною оперативною напругою.

Спеціально для залізничної галузі розроблено вакуумний вимикач ВБНК-27,5, який вирізняється компактними розмірами. Незвичайним для сприйняття є дизайн полюса – його покрито ізоляцією з кремнієорганічної гуми. У конструкції полюса не використовується трансформаторна олива, що відповідає сучасним стандартам вимикачів на 35 кВ.

Компанія «Високовольтний союз» пропонує два підходи до комутації мереж 35 кВ: вимикач для зовнішнього монтажу серії ВР35НТ та для внутрішнього встановлення серії ВР35. Обидва пристрої є новітніми розробками. ВР35, який нещодавно з'явився на ринку й уже зарекомендував себе як надійний на металургійних підприємствах, пройшов певне вдосконалення. Найсуттєвіша зміна – оновлення ізоляції полюсів. Тепер замість полімерних «кожухів» полюси виготовляють методом лиття з епоксидного компаунду. Це стало можливим завдяки прогресу в технології епоксидного литва на підприємстві. Завдяки спільним зусиллям пристрій удосконалили, застосувавши універсальний електромагнітний привід, створений спеціалістами з Рівного. Технічні

параметри ВР35: номінальний струм – 630, 1000, 1250 А; номінальний струм відключення – 20 кА; струм електродинамічної витривалості – 52 кА; комутаційна стійкість – 30 000 циклів та 50 операцій.

1.5 Основні характеристики вакуумних вимикачів серій ВРС

Вакуумні вимикачі серії ВРС, зовнішній вигляд яких зображено на рис. 1.14, розроблені для перемикання електричних ланцюгів змінного струму з частотою 50 або 60 Гц та номінальною напругою 6 і 10 кВ у стандартних та аварійних умовах у системах із ізольованою чи частково заземленою нейтраллю.



Рисунок 1.14 - Вимикач типу ВРС-10

Вимикачі ВРС-6 створені для функціонування в осередках комплектних розподільних установок (КРУ) внутрішнього монтажу з номінальною напругою 6 кВ, зокрема в КРУ, призначених для власних потреб теплових та атомних електростанцій. Вимикачі ВРС-10 розроблені для роботи при номінальній напрузі 10 кВ у нововстановлених комплектних розподільних установках (КРУ) загальнопромислового призначення.

Таблиця 1.2 -Технічні характеристики вимикачів серії ВРС

Номінальна напруга	кВ	6	10
Найбільша робоча напруга	кВ	7,2	12
Номінальний струм	А	1250-3150	630-3150
Номінальний струм вимкнення	кА	40	20; 31,5; 40
Струм електродинамічної стійкості	кА	102; 128	52; 80; 102
Струм термічної стійкості, 3с	кА	40	20; 31,5; 40
Повний час вимкнення, не більше	с	0,065	0,057; 0,065
Власний час увімкнення, не більше	с	0,12	0,09; 0,12
Власний час вимкнення, не більше	с	0,035-0,05	0,028-0,042; 0,035-0,05
Механічний ресурс, циклів		30 000	30 000; 100 000
Комутаційний ресурс, циклів:			
- при номінальних струмах		30 000	30 000; 50 000
- при номінальних струмах вимкнення		40; 50	40; 50; 100
Міжконтактна відстань	мм	310	275; 310
Міжполюсна відстань	мм	200; 230	200; 210; 230
Габаритні розміри:	мм		
- ширина		560; 620	560; 588; 620
- глибина		435	430; 435; 445;
- висота		611; 674	564; 552; 611
Маса, не більше	кг	166-196	104-178

Серія вакуумних вимикачів ВРС, залежно від номінальних характеристик, включає понад три десятки різновидів, які відрізняються:

- габаритними розмірами рами (для міжполюсних відстаней 200, 210 та 230 мм);
- типом полюса (залежить від параметрів застосованої вакуумної камери з міжконтактними відстанями 275 або 310 мм);
- наявністю опор полюсів (для вимикачів, розрахованих на струм електродинамічної стійкості 128 кА);
- типом і потужністю уніфікованого електромагнітного приводу.

До переваг вимикачів серії ВРС належать: висока надійність, значний механічний ресурс, великий комутаційний ресурс при номінальних струмах і струмах відключення, відсутність потреби в обслуговуванні полюсів та приводу протягом усього періоду служби, а також подовжений гарантійний термін експлуатації. Порівняльні характеристики вимикачів ВРС подано в таблиці 1.2. [6]

1.6 Особливості конструкції вакуумних вимикачів ВВ/TEL

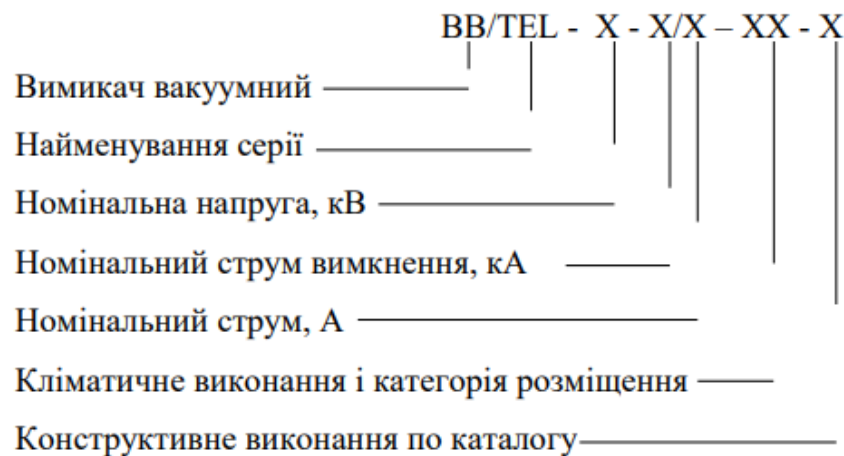
За стійкістю до дії зовнішніх механічних чинників вимикачі ВВ/TEL відповідають групі М7 механічного виконання згідно з ДЕСТ 17516.1-90. Водночас пристрій зберігає працездатність під впливом синусоїдальної вібрації у частотному діапазоні (0,5–100) Гц із граничною амплітудою прискорення 10 м/с^2 (1g) й багаторазових ударів із прискоренням 30 м/с^2 (3g).

- Кліматичний тип виконання та категорія розміщення – У2 за ДЕСТ 1550. Умови використання вимикачів ВВ/TEL такі:
 - максимальна висота над рівнем моря сягає 3000 м;
 - верхня межа робочої температури повітря в КРУ (КСО) становить $+55^\circ\text{C}$, а ефективна температура довкілля в КРУ та КСО – $+40^\circ\text{C}$;
 - нижня межа температури повітря для роботи – мінус 40°C ;
 - максимальна відносна вологість повітря досягає 100% при $+25^\circ\text{C}$;

- середовище, що оточує, не є вибухонебезпечним, без вмісту газів чи парів, які шкодять ізоляції, та не перенасичене струмопровідним пилом у концентраціях, що погіршують характеристики вимикача;
- положення в просторі під час роботи – довільне.

Вимикачі розроблені для функціонування в операціях «В» та «У», а також у циклах: В – 0,3 с – УВ – 15 с – УВ; В – 0,3 с – УВ – 180 с – УВ.

Структура умовного маркування вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL має такий вигляд:



Приклад позначення вимикача з напругою 10 кВ, номінальним струмом відключення 12,5 кА, номінальним струмом 630 А й кліматичним виконанням У2 виглядає так:

ВВ/TEL -10-12,5/630-У2

Вимикач ВВ/TEL включає три полюси, оснащені вбудованими електромагнітними приводами з магнітною фіксацією, які розташовані на спільній базі. Для управління пристроєм використовуються блоки серії ВU/TEL. Зовнішній вигляд вимикача та розріз полюса зображено на рисунках 1.15.

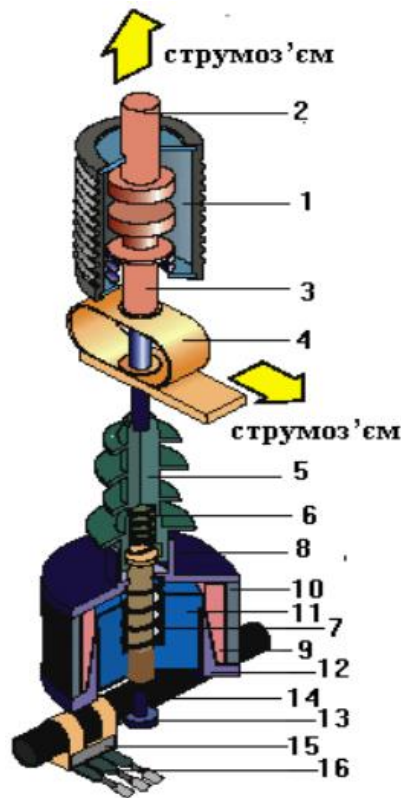


Рисунок 1.15 – Будова полюса вимикача BB/TEL: 1 – вакуумна камера для гасіння дуги; 2 – стаціонарний контакт; 3 – рухливий контакт; 4 – гнучкий струмоприймач; 5 – ізолятор тягового типу; 6 – пружина для відтискання; 7 – пружина відключення; 8 – кришка верхня; 9 – електромагнітна котушка; 10 – магніт кільцевого типу; 11 – якірний елемент; 12 – кришка нижня; 13 – гвинтовий елемент.

Контакти для зовнішніх допоміжних кіл розміщені на двох монтажних платах, які знаходяться між полюсами вимикача. Кожна з плат обладнана двома дублюючими клемними колодками від компанії WAGO, що виходять на різні боки основи пристрою. Конструкція вимикачів забезпечує можливість заміни оливових вимикачів у комірках КРУ з мінімальними затратами.

Будову полюса вимикача показано на рисунку 1.15. Під час увімкнення контакти вакуумної дугогасильної камери залишаються розімкненими завдяки дії пружини 7, що передається через тяговий ізолятор 5. При поданні на контактну систему напруги з позитивною полярністю до котушки 9 електромагніта в зазорі магнітної системи збільшується магнітний потік. Коли

сила притягання якоря, створена цим потоком, перевищує опір пружини відключення 7, якір 11 електромагніта разом із тяговим ізолятором 5 та рухомим контактом 3 вакуумної камери починає рухатися вгору, стискаючи пружину 7. У цей момент у котушці виникає проти-ЕРС, яка гальмує подальше наростання струму й навіть дещо знижує його.

Під час замикання контактів вакуумної камери в магнітній системі зберігається зазор для додаткового підтискання, який становить 2 мм. Швидкість переміщення якоря різко знижується, оскільки йому доводиться долати ще й опір пружини 6, що забезпечує додатковий контактний тиск. Проте під дією сили магнітного потоку та інерції якір 11 продовжує рухатися вгору, стискаючи як пружину відключення 7, так і пружину 6 додаткового тиску. У момент з'єднання магнітної системи якір торкається верхньої кришки приводу 8 і зупиняється. Рухова ЕРС падає до нуля, а в котушці 9 струм знову починає зростати. Після завершення процесу ввімкнення струм у котушці приводу припиняється.

Вимикач залишається в активному положенні завдяки залишковій індукції, яку генерує кільцевий постійний магніт 10. Цей магніт утримує якір 11 у притягнутому до верхньої кришки 8 стані без необхідності додаткового живлення електричним струмом. У такому вигляді якір здатен перебувати необмежений час, поки магніт не розмагнітиться імпульсом струму з протилежною полярністю або магнітна система не буде роз'єднана механічно (наприклад, вручну). Привід із магнітною зачіпкою вимагає мінімальних затрат енергії для розблокування. Під час відключення від джерела постійної напруги тривалість подачі напруги зазвичай не перевищує 10 мс. При цьому сила струму в ланцюзі відключення не перевищує 1,5 А за напруги 220 В.

Якори електромагнітів усіх трьох полюсів вимикача пов'язані між собою спільним валом 14 (див. рис. 1.15). Під час руху якоря гвинт 13, що входить у паз вала 14, обертає вал, а разом із ним і прикріплений магніт 15, який управляє герметизованими контактами зовнішніх допоміжних ланцюгів 16.

Виконання команд керування забезпечується спеціальними блоками, призначеними для монтажу в релейному відсіку КРУ. Такі блоки типу BU/TEL

оснащені власними джерелами живлення, що створюють вихідну напругу 230 В постійного струму (в межах вхідної напруги від 187 В до 242 В), яка надходить на котушки електромагнітних приводів. Вхідна напруга для цих джерел становить 220 В постійного чи змінного струму. Спроба увімкнення вимикача вручну через вплив на вал або інший спосіб може призвести до його поломки. Для першого запуску вимикача (коли на підстанції відсутнє живлення оперативних кіл) створено й виготовляється інвенторний блок автономного вмикання. Вимкнення вручну здійснюється механічним натисканням на кнопку відключення, що через вал приводу впливає на якір електромагнітів й розриває магнітну систему. Під час тестування ізоляції між контактами полюса вимикача можливі пробої внутрішньої ізоляції, які з часом самолікуються.

Вакуумний вимикач не несе загрози для життя, здоров'я людей чи довкілля після завершення строку експлуатації. Порушення герметичності корпусів вакуумних дугогасильних камер, яке може статися під час утилізації, не становить небезпеки для людини.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОВИДІВ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

2.1 Триполюсні вакуумні вимикача ВБУ

Вакуумний вимикач ВБУ з напругою 10 кВ розроблений для перемикання електричних ланцюгів у нормальних та аварійних умовах роботи при частоті 50 Гц і напрузі від 6 до 10 кВ у трифазних мережах змінного струму.

Відмінною рисою конструкції уніфікованої серії вакуумних вимикачів ВБУ-10 є здатність:

– схеми розміщення вимикачів із традиційним фронтальним компонованням полюсів, вибудовуванням трьох полюсів та приводу в одну лінію, а також роздільним розташуванням вимикача й приводу на різних висотах, наприклад, у КСО. Головні технічні параметри вакуумного вимикача серії ВБУ-10 наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 -Основні технічні характеристики вакуумного вимикача серії ВБУ-10

Номінальна напруга, кВ	10
1	2
Номінальний струм, А	1000; 1600
Номінальний струм вимкнення, кА	20 (31,5)
- ефективне значення періодичної складової	20
- амплітудне значення	52
Власний час увімкнення, мс, не більше	100
Власний час вимкнення, мс, не більше	30
Струми споживання електромагнітів увімкнення і вимкнення (з пружинно-моторним приводом), А, не більше:	
- при номінальній напрузі ~220В	1,5
- при номінальній напрузі ~127В	3
- при номінальній напрузі =220В	1
- при номінальній напрузі =110В	2
Струм споживання електромагніту увімкнення (з електромагнітним приводом) при ~220В, А, не більше	

Номінальна напруга, кВ	10
1	2
- ВБУЕ-10-20	20
- ВБУЕ-10-31,5	30
Струм споживання двигуна зведення пружини увімкнення, А	1,5
Час зведення пружини увімкнення при мінімальній напрузі, с	14
Ресурс по механічній стійкості, циклів УВ	50 000
Ресурс по комутаційній стійкості, при номінальному струмі, циклів УВ	50 000
Ресурс по комутаційній стійкості, при номінальному струмі вимкнення, циклів УВ	100
Кліматичне виконання	У
Кліматичне розміщення по ГОСТ 15150-69	2
Габарити вимикача, мм: висота х ширина х глибина	601(670*) x 540 x 461
Маса вимикача, кг	
- ВБУЕ(П) - 10-20/1000	70 (73)
- ВБУЕ(П) - 10-20(31,5) /1600	80 (83)

2.2 Однополюсні вакуумні вимикачі напругою 27,5 кВ

Вакуумні вимикачі моделей ВБНК-27,5 та ВБЗО-27,5 (для зовнішнього монтажу) й ВБЦО-27,5 (для внутрішнього встановлення) із електромагнітним механізмом розроблені для перемикання однофазних електричних ланцюгів із номінальною напругою 27,5 кВ та частотою змінного струму 50 або 60 Гц, а також для автоматичного роз'єднання цих ланцюгів у разі коротких замикань чи перевантажень. Зовнішній вигляд вимикачів показано на мал. 2.1.

Однополюсні вакуумні вимикачі ВБНК-27,5, ВБЗО-27,5 та ВБЦО-27,5 застосовуються для оснащення блоків фідерів тягових підстанцій змінного струму, секційних постів і точок паралельного з'єднання контактної мережі на залізничних ділянках.

Таблиця 2.2 – Параметри технічних особливостей однополюсних вакуумних вимикачів серії ВБК на 27,5 кВ

Тип вимикача		ВБНК-27,5	ВБЗО-27,5	ВБЦО-27,5
Номінальна напруга	кВ	27,5	27,5	27,5
Найбільша робоча напруга	кВ	30	30,5	29
Номінальний струм	А	1600	1000	1250; 1600
Номінальний струм вимкнення	кА	25	20	25
Струм електродинамічної стійкості	кА	64	52	63
Струм термічної стійкості, 3с	кА	25	20	25
Повний час вимкнення, не більше	с	0,07	0,07	0,07
Власний час увімкнення, не більше	с	0,1	0,2	0,2
Власний час вимкнення, не більше	с	0,050	0,052	0,060
Механічний ресурс, циклів		25 000	10 000	20 000
Комутаційний ресурс, циклів:				
- при номінальних струмах		25 000	10 000	20 000
- при номінальних струмах вимкнення		30	50	30
Габаритні розміри:	мм			
- ширина		416	1180	842
- глибина		411	920	460
- висота		1313	2592	1560

2.3 Триполюсні вакуумні вимикачі зовнішньої установки серії ВБНК напругою 35 кВ

Вакуумний вимикач типу ВБНК-35 "ТУРА" для зовнішнього монтажу розроблений для перемикання електричних ланцюгів трифазного змінного

струму частотою 50 чи 60 Гц у стандартних й аварійних умовах у мережах із ізольованою нейтраллю. Ці пристрої придатні для встановлення як у відкритих, так і в закритих розподільних системах на 35 кВ, а їхня експлуатація можлива за температур від -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Зовнішній вигляд вимикача зображено на рисунку 2.2.

У конструкції застосовуються передові вакуумні камери. Ізоляція полюсів виготовлена з кремнійорганічної гуми. Вимикач оснащений вбудованим приводом електромагнітного типу та має нагрівальні елементи. Керуючий блок розміщено всередині корпусу пристрою. Поставка вимикачів може здійснюватися разом із вимірювальними трансформаторами струму, встановленими прямо на рамі конструкції. Відмінними рисами вимикача є невеликі габарити й тривалий ресурс комутації.

Серед переваг вакуумних вимикачів серії ВБНК можна виділити такі:

- у полюсах відсутнє трансформаторне масло;
- ізоляція полюсів виконана з кремнійорганічного матеріалу;
- значний механічний та комутаційний ресурс;
- компактні розміри;
- опція комплектації вбудованими трансформаторами струму для вимірювання.

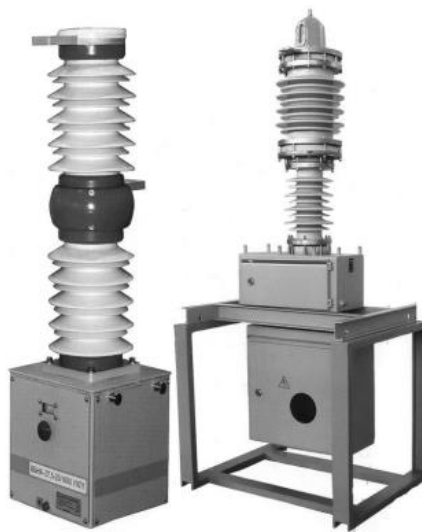


Рисунок 2.1 - Вимикач вакуумний зовнішньої установки типу ВБНК- 35 "ТУРА"

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вимикача ВБНК-35

Тип вимикача		ВБНК-35
Номінальна напруга	кВ	35
Найбільша робоча напруга	кВ	40,5
Номінальний струм	А	1600
Номінальний струм вимкнення	кА	25
Струм електродинамічної стійкості	кА	64
Струм термічної стійкості, 3с	кА	25
Повний час вимкнення, не більше	с	0,07
Власний час увімкнення, не більше	с	0,1
Власний час вимкнення, не більше	с	0,050
Механічний ресурс, циклів		25 000
Комутаційний ресурс, циклів:		
- при номінальних струмах		25 000
- при номінальних струмах вимкнення		50
Габаритні розміри:	мм	
- ширина		1410
- глибина		330
- висота		1400
Маса, не більше	кг	400

2.4 Триполюсні вимикачі внутрішньої установки серії ВВСТ

Вакуумний вимикач ВВСТ слугує аналогом пристроїв фірми SIEMENS серії 3AH5 й виготовляється на Самарському заводі трансформаторів. Це триполюсний пристрій для внутрішньої установки, оснащений вбудованим приводом пружинно-моторного типу. Він призначений для перемикання електричних ланцюгів у нормальних та аварійних умовах у мережах трифазного струму змінної частоти 50 Гц із номінальною напругою 10 кВ.

Пристрій монтується в комплектні розподільчі системи (КРУ) та інші

установки, що відповідають умовам експлуатації вакуумних вимикачів. Конструкція передбачає наявність дугогасильних камер, розрахованих на номінальні струми 800, 1250 і 2500 А, а також струми відключення в межах від 13,1 до 31,5 кА.

Вимикач розроблений для роботи в кліматичному виконанні У, категорія розміщення 3 згідно з ГОСТ 15150. Зовнішній вигляд вимикача ВВСТ у стаціонарному виконанні для комплектних розподільних систем показано на рис. 2.3, а ключові технічні параметри наведено в таблиці 2.4.



Рисунок 2.2 – Вимикач вакуумний внутрішньої установки серії ВВСТ

Таблиця 2.4- Технічні параметри вакуумного вимикача ВВСТ

Найменування параметра		Значення
Номінальна напруга	кВ	10
Найбільша робоча напруга	кВ	12
Номінальний струм	А	800; 1250; 2500
Номінальний струм вимкнення	кА	13,1-31,5
Відсотковий вміст аперіодичної складової, не більше	%	36
Струм увімкнення:	кА	
- найбільший пік		51
Початкове діюче значення періодичної складової	кА	20
Наскрізний струм короткого замикання:		
- струм електродинамічної стійкості	кА	51
- початкове діюче значення періодичної складової	кА	20
- струм термічної стійкості	кА	20
Час протікання струму (час короткого замикання)	с	3
Комутаційна здатність:		
- мінімальна безструмова пауза при АПУ	с	0,30
- власний час вимкнення, не більше	с	0,03
- повний час вимкнення, не більше	с	0,03
- власний час увімкнення, не більше	с	0,10
Ресурс по механічній стійкості, циклів У-тз-В, не менше		10000
Ресурс по комутаційній стійкості при номінальному струмі вимкнення, циклів У, не менше		50
Номінальна напруга Електромагніту	В	110 - 220
Струм споживання електромагніту	А	1,6 - 3

2.5 Триполюсні вимикачі внутрішньої установки серії ВБЕК напругою 35 кВ

Вимикачі серії ВБЕК розроблені для перемикання електричних ланцюгів у нормальних та аварійних умовах у комірках комплектних розподільчих систем в електромережах трифазного струму змінної частоти 50 Гц із напругою 35 кВ, що

мають ізолювану або заземлену нейтраль. Вони також застосовуються для заміни застарілих малоолійних та елегазових вимикачів у таких комірках.

Пристрій відповідає стандартам ГОСТ 687-78 та ГОСТ 18397-86. У вимикачах ВБЕК використовується вакуумна дугогасильна камера типу КДВ2–35–25/1600 УХЛ2 або КДВ3-35-31,5/1600 УХЛ2.

Процес відключення здійснюється завдяки енергії, накопиченій під час увімкнення вимикача, за допомогою пружин механізму відключення та додаткових пружин, що забезпечують притискання рухомих контактів дугогасильних камер.

Для виконання відключення потрібно подати сигнал на електромагніт приводу, що відповідає за розмикання. Також можливе ручне відключення шляхом натискання на червону рукоятку.



Рисунок 2.3 – Вакуумний вимикач ВБЕК-35-25(31,5)/630÷1600 УХЛ2

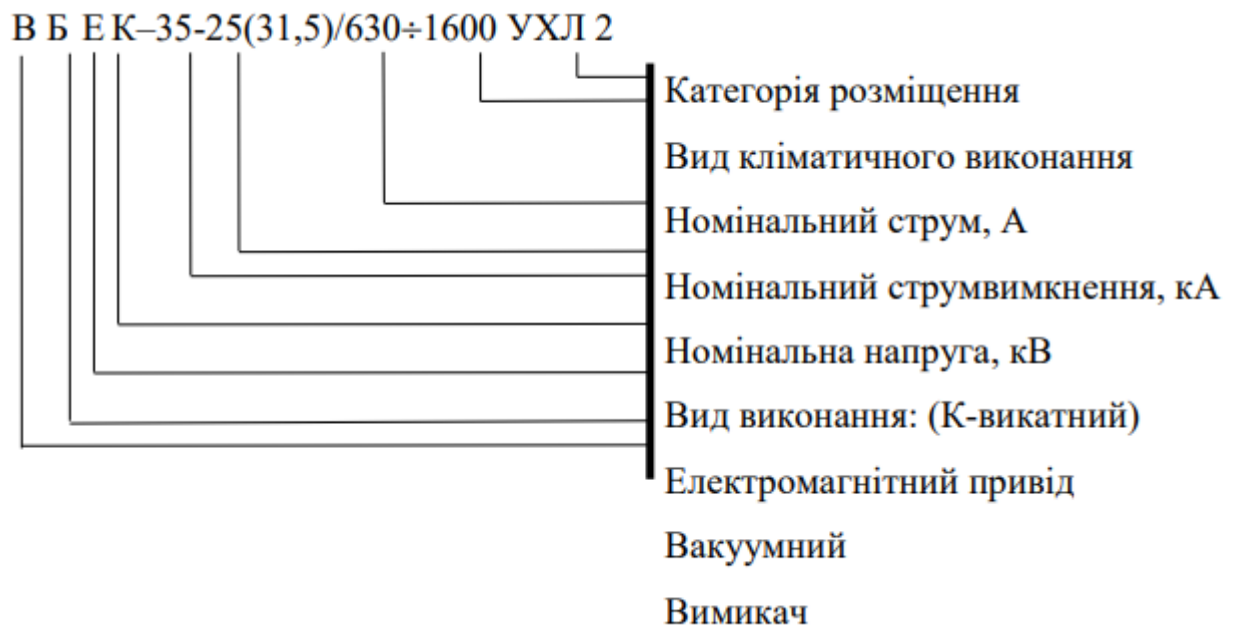
Основні умови експлуатації вимикачів серії ВБЕК - 35 такі:

-для роботи в районах помірного, помірно-холодного (УХЛ) клімату, категорії розміщення 2 по ГОСТ 15150-69;

- висота над рівнем моря не перевищує 1000 м;

- максимальна температура навколишнього середовища під час експлуатації становить $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - мінімальна температура навколишнього повітря при роботі – $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Ресурс вимикачів серії ВБЕК становить:
- за механічною витривалістю – щонайменше 20 000 циклів «Увімкнення – тз – Вимкнення»;
 - за комутаційною стійкістю при номінальному струмі 1600 А – не менш як 20 000 циклів «Увімкнення – тз – Вимкнення»;
 - за комутаційною витривалістю при номінальному струмі відключення 25 (31,5) кА – щонайменше 100 операцій «Вимкнення», з них 30 операцій «Увімкнення – Вимкнення»;
 - термін експлуатації до списання – 30 років.

Структура умовного позначення вимикача ВБЕК:



Приклад запису позначення вимикача:

ВБЕК–35–25/1600 УХЛ 2.

Це умовне позначення вакуумного вимикача викатного типу, розрахованого на номінальний струм 1600 А, номінальний струм відключення 25 кА, номінальну напругу 35 кВ, із кліматичним виконанням УХЛ та категорією

розміщення 2.

Габаритні параметри вимикача ВБЕК–35 показано на рис. 2.4, а ключові технічні дані подано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5- Технічні характеристики вимикача ВБЕК – 35

Номінальна напруга	кВ	35
Найбільша робоча напруга	кВ	40,5
Номінальний струм	А	630, 1250,
Номінальний струм вимкнення	кА	1600
Наскрізний струм короткого замикання:		25 (31,5)
- Струм електродинамічної стійкості	кА	63(80) 25(31,5) 3
- Струм термічної стійкості	кА	
- Час протікання струму термічної стійкості	с	
Повний час увімкнення, не більше	мс	150
Повний час вимкнення, не більше	мс	80
Електричний опір постійного струму головного кола полюса, не більше	мкОм	60 (50)
Хід рухомого контакта	мм	16,5-0,5
Маса вимикача , не більше	кг	500

3 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

Основні цілі технічного обслуговування високовольних вимикачів полягають у: регулярному контролі їхнього технічного стану, зокрема стану приводів, підтриманні їхньої роботи з номінальними показниками; оперативному усуненні несправностей, що можуть спричинити аварійні ситуації; своєчасному проведенні ремонтів та профілактичних тестувань компонентів вимикачів і їхніх приводів.

3.1 Особливості обслуговування та аналіз умов експлуатації вакуумних вимикачів

Профілактичну перевірку технічного стану вимикачів рекомендовано проводити за таким графіком: перше обстеження – через 1-2 роки після початку експлуатації, наступні – кожні 10 років. У разі використання вимикачів у ланцюгах із частими перемиканнями, наприклад, на сталеплавильних печах із 50-60 операціями «Вимкнення-Увімкнення» за добу, контроль стану слід виконувати щороку. До обсягу профілактичного контролю входять: зовнішній огляд для оцінки загального стану, перевірка функціональності вимикача, вимірювання перехідного опору основного ланцюга та тестування електричної міцності ізоляції змінною напругою промислової частоти тривалістю одна хвилина.

Вакуумні вимикачі, що постійно перебувають у ввімкненому чи вимкненому стані, повинні 1-2 рази на рік проходити перевірку працездатності шляхом випробувань відповідно до Правил технічної експлуатації або місцевих інструкцій із обслуговування високовольного обладнання розподільних систем.

Під час контролю струмоведучих ланцюгів вимикача шляхом вимірювання перехідного опору постійному струму необхідно враховувати результати попередніх вимірювань, зокрема ті, що були зафіксовані при введенні пристрою

в експлуатацію.

За відсутності пошкоджень контактних з'єднань збільшення значення перехідного опору може бути спричинене підвищенням опору між контактами ВДК. Це відбувається під впливом електричної дуги, що утворюється при розмиканні ланцюга під час вимкнення струмів навантаження та короткого замикання. Як свідчать результати випробувань, у вакуумних вимикачах серії ВВ/TEL перехідний опір головного ланцюга зростає не більше ніж на 10 мкОм навіть після багаторазових відключень струму короткого замикання.

При проведенні вимірювань в умовах експлуатації слід звертати увагу на відносні відмінності значень опору у різних полюсах вимикача. Якщо різниця перевищує 25-30%, це може вказувати на порушення контактного з'єднання у полюсі з підвищеним опором. У разі перевищення перехідного опору нормованого значення більш ніж удвічі вимикач не повинен вводитися в експлуатацію. Його подальше використання допускається лише за наявності дозволу виробника. Значне зростання опору може виникати через втрату вакууму в одному з ВДК та комутацію навантажувальних струмів. Подібні ситуації найчастіше трапляються на приєднаннях із частими комутаціями, наприклад, у ланцюгах плавильних печей.

Щоб підтвердити втрату вакууму, необхідно провести випробування поздовжньої ізоляції вакуумного вимикача змінною напругою. У разі виходу вимикача з ладу з вини заводу-виробника до завершення гарантійного періоду ремонт або заміна пристрою здійснюється безкоштовно. Якщо ж комутаційний ресурс вичерпано або термін експлуатації завершився, вимикач підлягає заміні. Пристрій, що виробив механічний ресурс, слід оглянути відповідно до встановлених норм.

Якщо комутаційний ресурс ще не вичерпано, а значення перехідного опору залишається в допустимих межах, варто звернутися до сервісної служби для заміни приводу вимикача. У ході експлуатації пристрою необхідно виконувати періодичний огляд та технічне обслуговування.

Безпека експлуатації є важливим фактором при виборі вимикача, особливо в умовах щільних міських мереж або промислових об'єктів. Вакуумні вимикачі вважаються одними з надійніших, оскільки вони не використовують горючих або токсичних речовин. Відсутність масла чи газу виключає ризик вибухів або витоків, що робить їх ідеальними для екологічно чутливих зон. Повітряні вимикачі також є безпечними для персоналу та навколишнього середовища, оскільки використовують лише повітря, але їхня робота може супроводжуватися шумом і викидами стисненого повітря.

У таблиці 3.1 вакуумні вимикачі отримують найвищу оцінку за безпекою експлуатації та екологічністю, що підкреслює їхню перевагу в сучасних умовах, коли екологічні стандарти стають дедалі жорсткішими.

Експлуатація високовольтних вимикачів передбачає регулярне технічне обслуговування, яке залежить від їхньої конструкції та типу дугогасного середовища. Вакуумні вимикачі вирізняються мінімальними вимогами до обслуговування. Завдяки герметичній конструкції дугогасної камери та відсутності рухомих частин у дугогасному середовищі, вони не потребують регулярної заміни чи очищення ізоляційного матеріалу. Це суттєво знижує витрати на їхню експлуатацію та підвищує їхню привабливість для систем, де важлива безперебійність роботи. Вакуумні вимикачі є найбільш простими в обслуговуванні серед розглянутих типів, що робить їх оптимальними для віддалених або важкодоступних об'єктів [4].

Таблиця 3.1 – 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
1	2	3	4	5	6	7
Повітряний	Вибухо- та пожежобезпечний	Безпечний	Часта заміна дугогасних контактів, періодичне технічне обслуговування механізму управління	Вплив температур і 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	Масло механізму керування в мінімальному обсязі	Нечутливі: повністю запаена герметична камера	Висока	Негабаритні
Елегазовий	Немає ризику виникнення вибуху або зовнішніх проявів	При утилізації або витоку екологічно небезпечний	Змащення механізму в мінімальному обсязі	Нечутливі: повністю запаена герметична камера	Висока	Невеликі

Повітряні вимикачі, навпаки, потребують періодичного контролю системи подачі стисненого повітря, включаючи компресори та трубопроводи, що

підвищує складність і вартість їхнього обслуговування. Елегазові вимикачі вимагають регулярного моніторингу рівня SF₆ та герметичності резервуарів, оскільки навіть незначний витік газу може призвести до зниження ефективності та екологічних проблем. Масляні вимикачі є найбільш трудомісткими в обслуговуванні: масло з часом деградує, накопичуючи вологу та продукти розпаду, що потребує його регулярної заміни та утилізації. У довгостроковій перспективі це робить масляні вимикачі менш економічно вигідними порівняно з вакуумними чи елегазовими аналогами.

Вакуумні вимикачі мають найнижчу частоту відмов серед усіх типів завдяки стабільності їхньої конструкції та відсутності деградації дугогасного середовища. Це особливо важливо для мереж середньої напруги, де висока надійність і мінімальні витрати на обслуговування є ключовими вимогами [1].

3.2 Аналіз застосування вакуумних вимикачів

Вакуумні вимикачі є оптимальним вибором для мереж середньої напруги (6–35 кВ), особливо в розподільчих системах, промислових установках і міських підстанціях. Їхня компактність і низькі експлуатаційні витрати роблять їх ідеальними для модернізації застарілих мереж, де раніше використовувалися масляні вимикачі. Висока зносостійкість і стійкість до зовнішніх умов дозволяють застосовувати їх у віддалених регіонах із суворими кліматичними умовами. Крім того, екологічність вакуумних вимикачів відповідає сучасним стандартам сталого розвитку, що робить їх привабливими для країн із жорсткими екологічними нормами.

Для мереж із напругою 110 кВ і вище вакуумні вимикачі поступаються елегазовим за електричною міцністю, тому в таких випадках доцільно комбінувати технології: вакуумні вимикачі для середньої напруги та елегазові для високої. У перспективі, з удосконаленням матеріалів і технологій, вакуумні вимикачі можуть розширити свій діапазон застосування, витісняючи менш екологічні альтернативи. Порівняльний аналіз високовольтних вимикачів

показав, що вакуумні вимикачі займають провідну позицію в сегменті середньої напруги завдяки своїм технічним і експлуатаційним перевагам. Їхня простота, надійність і екологічність роблять їх ключовим елементом сучасних електромереж, а постійний розвиток технологій вакуумної комутації обіцяє ще ширше застосування в майбутньому. Таким чином, вакуумні вимикачі є не лише ефективним рішенням для сьогодення, але й перспективною технологією для електроенергетики завтрашнього дня.

4 УМОВИ ВИБОРУ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

При проєктуванні електричних станцій та підстанцій вибирається комутаційне обладнання за наступними умовами:

- за напругою установки;
- за тривалим струмом;
- перевіркою на симетричний струм відключення;
- перевіркою на відключення аперіодичної складової струму КЗ;
- перевіркою на електродинамічну стійкість;
- за термічною стійкістю;

Для прикладу розглянемо вибір комутаційного обладнання по максимальному робочому струму приєднання [3].

Проведемо вибір вимикачів для ВРУ 330 кВ. Вибираємо високовольтний вимикач типу 362PMI40.

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (4.1)$$

$$330 \text{ кВ} \leq 330 \text{ кВ}.$$

$$I_{роб.мах} \leq I_{ном}; \quad (4.2)$$

$$0.99 \text{ кА} \leq 1.3 \text{ кА}.$$

Проводимо перевірку:

а) на відключаючу здатність вимикача:

- перевірка на симетричний струм відключення:

$$I_{п.т} \leq I_{відк.ном}; \quad (4.3)$$

$$16.100 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}.$$

- перевірка на відключення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{відк.ном}; \quad (4.4)$$

$$20.290 \leq \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 0.45 = 27.5.$$

де β_n – нормативне значення наявності аперіодичної складової у струмі, що відключає,

б) на електродинамічну стійкість:

$$I_{n.0} \leq I_{дин}; \quad (4.5)$$

$$19.527 \text{ кА} \leq 64 \text{ кА};$$

$$i_y \leq i_{дин}; \quad (4.6)$$

$$47.416 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА}.$$

в) на термічну стійкість:

$$\beta_k \leq I_m^2 \cdot t_m; \quad (4.7)$$

$$137.27 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ бакалаврської кваліфікаційної роботи присвячений визначенню заходів і засобів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час обслуговування електричного обладнання мережі з повітряними вимикачами. На оперативно-ремонтний персонал, що здійснює експлуатацію електричного обладнання п/ст, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [17, 18]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної організації обслуговування електрообладнання

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час виконання робіт

Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

- вимкнути допоміжні кола (керування, сигналізації, підігрівання та ін.) і

силові кола приводу;

- зачинити засувки на трубопроводі подавання повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи та випустити в атмосферу повітря, яке в них містилось; у цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому положенні;

- привести в неробоче положення вмикальний вантаж або вмикальні пружини;

- вивісити плакати "Не вмикати! Працюють люди" - на ключах дистанційного керування і "Не відкривати! Працюють люди" - на закритих засувках.

Для пробних вмикань і вимикань комутаційного апарата без подавання робочої напруги під час його налагоджування та регулювання допускається тимчасове вмикання допоміжних і силових кіл приводу, а також подавання повітря в привод та на вимикач. У цьому разі слід зняти плакати "Не вмикати! Працюють люди" та "Не відкривати! Працюють люди". Дистанційно вмикати та вимикати комутаційний апарат під час його випробовування дозволяється оперативним та оперативно-виробничим працівникам, якщо це обумовлено нарядом в "Окремих вказівках. Після випробування, у разі необхідності продовження роботи на комутаційному апараті, черговий або з його дозволу керівник робіт повинен виконувати вимоги цих Правил.

Підніматись на повітряний вимикач, що перебуває під робочим тиском, дозволяється тільки під час випробування та виконання налагоджувальних робіт (регулювання демпферів, знімання віброграм, під'єднання провідників до вимірювальних приладів або їх від'єднання, визначення місць витікання повітря тощо). Забороняється підніматись на вимкнений повітряний вимикач з повітрянаповненим віддільником, якщо віддільник перебуває під робочим тиском.

Перед підніманням на повітряний вимикач для проведення випробувань та налагодження необхідно:

- вимкнути кола керування;

- заблокувати кнопку місцевого керування та пускові клапани (наприклад, від'єднати повітровідні трубки, замкнути шафи тощо) або поставити біля вимикача проінструктованого члена бригади, який допуслав би до оперування вимикачем (після вмикання кіл керування) за вказівкою керівника робіт тільки одного працівника. У разі перебування працівників на повітряному вимикачі, що знаходиться під тиском, слід припинити усі роботи в шафах керування і розподільчих.

Забороняється перебування працівників біля повітряних вимикачів під час їх вмикання і вимикання, налагодження та випробування. Команду на виконання операцій повітряним вимикачем у разі проведення випробних і налагоджувальних робіт керівник робіт (або уповноважений ним член бригади) повинен подавати тільки після того, як всі члени бригади будуть відведені від вимикача на безпечну відстань або в укриття.

У разі допуску до роботи, пов'язаної з перебуванням працівників всередині повітрозбірників, необхідно:

- закрити засувки повітропроводів, по яких може бути подано повітря, зачинити їх на замок, вивісити на засувках плакати "Не відкривати! Працюють люди";

- випустити в атмосферу повітря, що перебуває під тиском в повітрозбірнику, залишивши відкритим спускний клапан;

- від'єднати від повітрозбірника повітропровід подавання повітря і встановити на ньому заглушки.

Нульовий показ манометрів на баках вимикачів та повітрозбірниках не може бути вірогідною ознакою відсутності в них стисненого повітря. Для того, щоб зняти кришки лазів, безпосередньо перед відгвинчуванням болтів та гайок необхідно відкрити спускні клапани або засувки і переконатись у відсутності стисненого повітря. Спускні клапани або засувки дозволяється закривати тільки після загвинчування всіх болтів та гайок, що кріплять кришку лазу.

У разі виконання роботи у відсіку комірки КРУ необхідно:

- викотити візок з обладнанням;

- зачинити на замок шторку відсіку, в якому струмовідні частини залишилися під напругою та вивісити плакат "Стій! Напруга";
- вивісити плакат "Працювати тут" у відсіку, де треба буде працювати.

Встановлювати в контрольне положення візок з вимикачем для випробування та роботи в колах керування і захисту дозволяється в тих випадках, коли роботи поза КРУ на ПЛ і КЛ, що відходять, або на підімкненому до них обладнанні, враховуючи механізми, з'єднані з електродвигунами, не проводяться або встановлено заземлення в комірці КРУ.

Приміщення РУ з електричним обладнанням слід обладнати примусовою вентиляцією. Забороняється виконувати будь-яку роботу доти, доки не буде забезпечено п'ятикратний обмін повітря в цьому приміщенні протягом однієї години. Наявність електрики можна перевірити за допомогою викритого вогню (сірник, свічка тощо) на рівні підлоги.

Розкривання полюсів електричного вимикача необхідно проводити на відкритому повітрі. Якщо розкривання полюсів виконується в приміщенні, слід застосовувати спеціальну установку з вакуумним пристроєм, що забезпечує відсмоктування електрики з робочого місця.

Якщо в процесі розкривання полюсів електричного вимикача будуть виявлені продукти розпаду електрики (білий порошок), їх необхідно зібрати пилососом, застосовуючи змінні фільтри.

5.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання

помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;

- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огорожувати;

- приєднати до "землі" переносні заземлення;

- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;

- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;

- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми),

переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту. Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [19], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [22]. Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	ІІб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	ІІб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається [23]:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання приміщень.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [22] наведено в таблиці 5.2. Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [23]: провітрювання приміщень; встановлення пиловловлюючих засобів.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

5.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці працівника. Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [24] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення виробничих приміщень

Харак-ка зорової роботи	Найменши й або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природнє Ен пр	Сумісне Е сум
						всьог о	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [25]. Норми звукового тиску на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі (ширми, екрани тощо).

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Основні виробничі приміщення п/ст за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини). Будівлі, в яких розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 5.6.

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В виробничому приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 5.7.

Таблиця 5.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Таблиця 5.7 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного виходу(дверей)
0,126	Д	II	100

На території виробничої будівлі встановлено 5 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено комплексний аналіз особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів, що є актуальним у контексті модернізації електроенергетичного сектору України.

В першому розділі роботи проаналізовано конструктивні особливості будови вакуумних вимикачів та розглянуто принцип їх роботи. Також, в роботі розглянуто будову та особливості головних різновидів вакуумних вимикачів. Крім того, досліджено вакуумні вимикачі серії ВР та основні характеристики вакуумних вимикачів серій ВРС і ВВ/TEL. Триполюсні вакуумні вимикачі зовнішньої установки серії ВБНК напругою 35 кВ Триполюсні вакуумні вимикачі зовнішньої установки серії ВБНК напругою 35 кВ

В другому розділі було досліджено різновиди вакуумних вимикачів такі як: триполюсні вакуумні вимикачі ВБУ, однополюсні вакуумні вимикачі напругою 27,5 кВ, триполюсні вакуумні вимикачі зовнішньої установки серії ВБНК напругою 35 кВ, триполюсні вимикачі внутрішньої установки серії ВВСТ.

В третьому розділі було досліджено особливості обслуговування та аналіз умов експлуатації високовольтних вакуумних вимикачів.

В четвертому розділі було вибрано комутаційне обладнання для проектування електричних станцій та підстанцій.

В п'ятому розділі було розглянуто питання охорони праці, а саме: технічні рішення з безпечної організації обслуговування електрообладнання, електробезпеку, мікроклімат, склад повітря робочої зони, пожежну безпеку, та виробниче освітлення.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз економічної ефективності масового впровадження вакуумних вимикачів, розробку нових конструктивних рішень для високовольтних мереж і підвищення їхньої інтеграції з цифровими технологіями в енергетиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.А. Романченко Порівняльний аналіз високовольтних вимикачів різних типів Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2022р.–3с.URL:
<https://journals.snu.edu.ua/index.php/VisnikSNU/article/view/428/424>
2. Яценко, А.І., Остра Н.В. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТКП ВНТУ), Вінниця, 24-27 березня 2025р.Електрон.текст.дані.2025.URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2025/paper/view/24438>
3. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій. Навчальний посібник. / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
4. Електричні апарати: Навч. посібник / М.Т.Лут., А.М.Мрачковський. За ред. А.М. Мрачковського. – К.: ЦП «Компринт», 2017.- 564 с.
5. . А. А. Федоров «Довідник з електропостачання та електрообладнання» (у двох томах, М .: Вища школа, 1987р.).
6. Ю.Г Барибін. «Довідник з проектування електропостачання.», (М .: Вища, 1990 г., - 576 с.
7. П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. «Проектування електричної частини електричних станцій». Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
8. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х.: Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.
9. Лежнюк П. Д. Регулювання напруги в електричних системах. Навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 171 с
10. Електрична частина станцій та підстанцій : лабораторний практикум / В. В. Нетребський, Ю. В. Малогулко. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 99 с.

11. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Київ, 2017. URL: <http://195.78.68.67/minugol/doccatalog/document?id=245234103>.

12. <http://disted.edu.vn.ua/courses/learn/2200>

13. Норми випробовувань електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – К. ГРІФРЕ, М-во палива та енергетики України Об'єднання енергетичних підприємств, ДП МОУ «Воєнне видавництво України «Варта», 2007 – 262 с. – (Нормативний документ мінпаливенерго України. Норми).

14. Лежнюк П.Д. Комутаційні електричні апарати. / П.Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л.Н. Добровольська – М.: Луцьк: ЛНТУ, 2010. – 321 с.

15. Буряк В.М., Дейнеко Н.А Експлуатація високовольтних вимикачів. / В.М. Буряк, Н.А. Дейнеко. – Харків: ХНУМГ, 2016. –51 с

16. Лесько В. О., Кравчук С.В., Сікорська О.В. Електричні апарати: Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 145 с.

17. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

18. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

19. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

20. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

21. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

22. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

23. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

26. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

27. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

28. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

29. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

30. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

31. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Аналіз особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Остра Н. В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	79,3
Загальна схожість	20,7

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____
(підпис)

Яценко А. І.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку _____ Вишневський С. Я.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт _____
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

***АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ВАКУУМНИХ***

Мета та основні задачі роботи

2

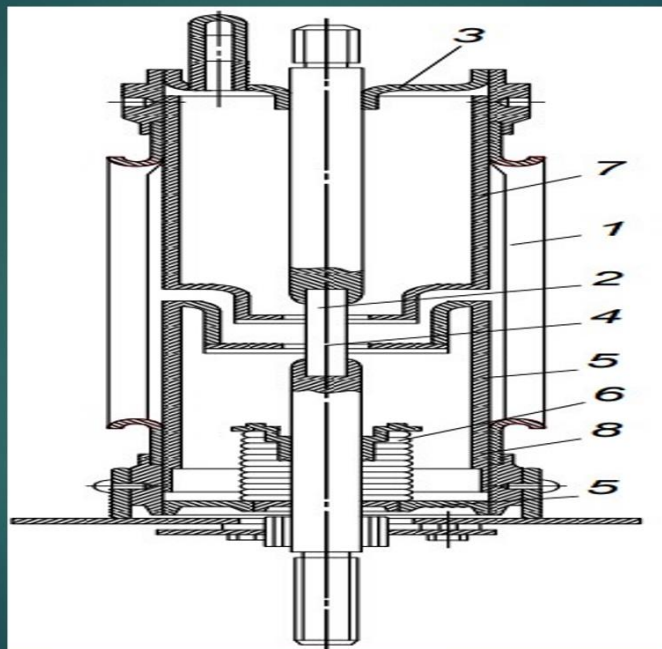
Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є аналіз сучасного вакуумного обладнання та оцінка перспектив розвитку в Україні, а також дослідження особливостей будови та умов експлуатації вакуумних вимикачів.

У відповідності із поставленою метою, в роботі розв'язуються наступні **основні задачі**:

1. Проаналізувати конструктивні особливості будови вакуумних вимикачів та принцип їх роботи.
2. Дослідити різновиди вакуумних вимикачів.
3. Проаналізувати умови експлуатації технічного обслуговування та ремонту вакуумних вимикачів.
4. Розглянути умови вибору комутаційного обладнання.
5. Проаналізувати питання охорони праці.

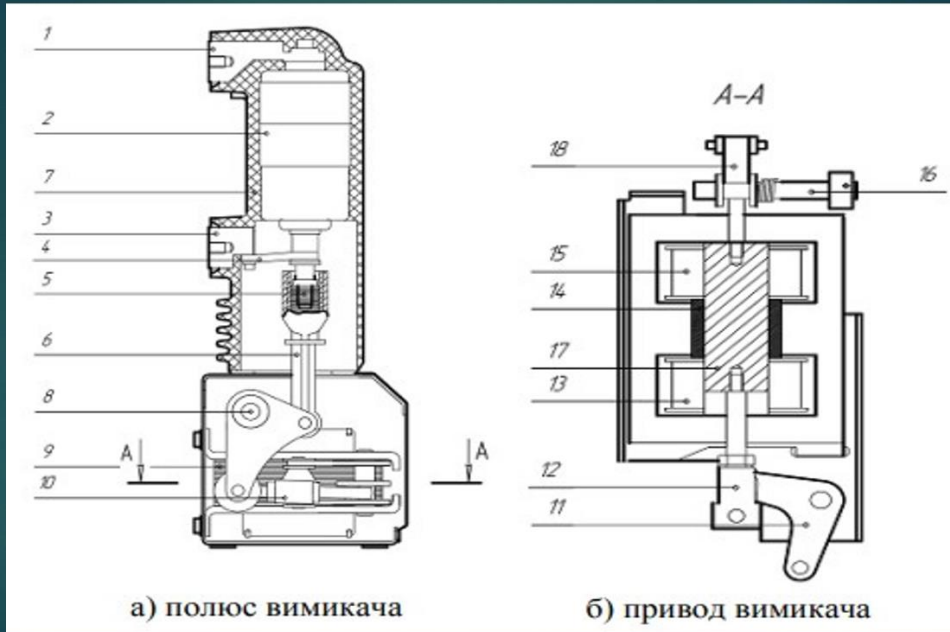
Загальна будова вакуумної дугогасильної камери

3



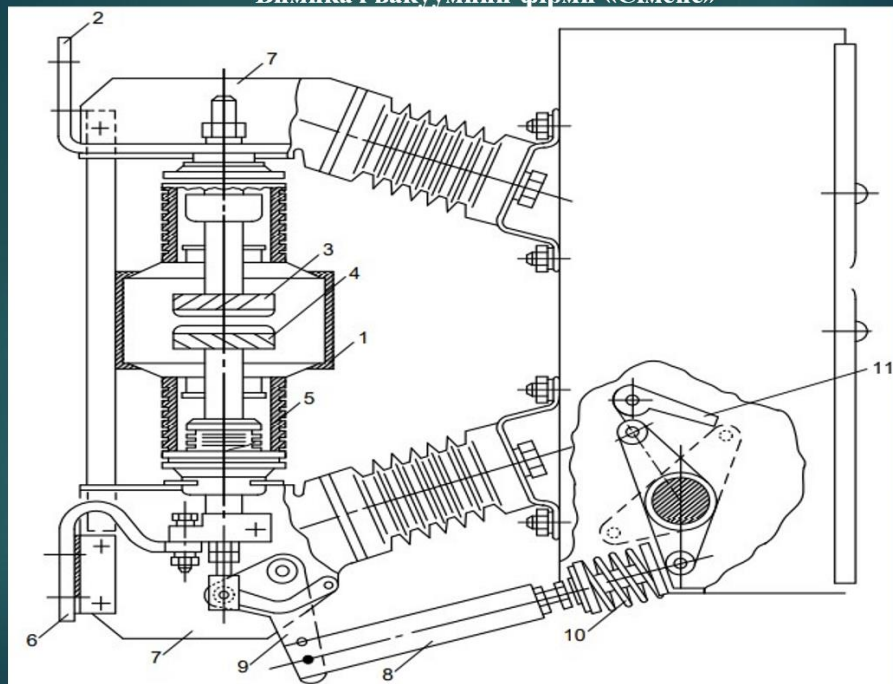
Конструкція полюса та привода вакуумного вимикача серії ВР1

4



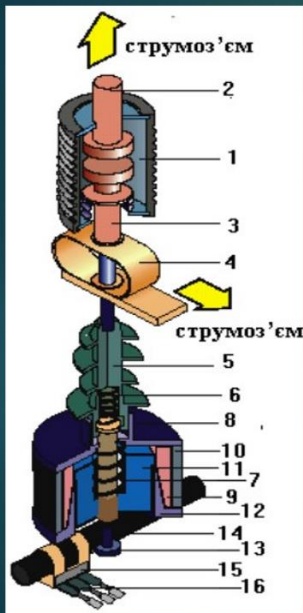
Вимикач вакуумний фірми «Сіменс»

5



Будова полюса вимикача ВВ/TEL

6



- 1 – вакуумна камера для гасіння дуги;
- 2 – стаціонарний контакт;
- 3 – рухливий контакт;
- 4 – гнучкий струмоприймач;
- 5 – ізолятор тягового типу;
- 6 – пружина для відтискання;
- 7 – пружина відключення;
- 8 – кришка верхня;
- 9 – електромагнітна котушка;
- 10 – магніт кільцевого типу;
- 11 – якорний елемент;
- 12 – кришка нижня;
- 13 – гвинтовий елемент.

ВВ/TEL - X - X/X - XX - X

Вимикач вакуумний _____

Найменування серії _____

Номинальна напруга, кВ _____

Номинальний струм вимкнення, кА _____

Номинальний струм, А _____

Кліматичне виконання і категорія розміщення _____

Конструктивне виконання по каталогу _____

Порівняльна характеристика

7

Тип вимикача	Безпека при експлуатації	Безпека щодо навколишнього середовища	Обслуговування	Чутливість до впливу навколишнього середовища	Зносостійкість	Розміри
Повітряний	Вибухо- та пожежобезпечний	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	Масло механізму керування в мінімальному обсязі	Нечутливі: повністю запаяна герметична камера	Висока	Не габаритні