

УДК 631.171: 621.311

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій
_____ д.т.н Жильцов А.В.

„_____” _____ 2021 р

Пояснювальна записка

до дипломного проекту магістра

на тему «Дослідження процесів комутаційної зносостійкості контактів в електроустановках сільського господарства»

02.02-ДП2291С19.11.19.009.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЕЕ
напряму підготовки
141 - “Електроенергетика електротехніка
та електромеханіка”

Бабак Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник:

к.т.н. Радько І.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль:

к.т.н. Коробський В.В. _____
(прізвище та ініціали)

**Національний Університет Біоресурсів і Природокористування України
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження**

Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТРЕРЖДУЮ

Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій

д.т.н., проф. _____ Жильцов А.В.
«__» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту бакалавра

Бабаку Денису Олеговичу

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Тема проекту: «Дослідження процесів комутаційної зносостійкості контактів в електроустановках сільського господарства» затверджена наказом ректора НУБіП України від 19.11.2020р. №2289 «С»

Термін подання студентом виконаного проекту на кафедру – 15.11.2021р.

Вихідні дані випускного дипломного проекту бакалавра:

- а) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2017).
- б) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- в) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- г) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- д) Правила користування електричною енергією.

Перелік питань які необхідно розробити:

- а) Аналіз перспектив і напрямків реалізації завдання.
- б) Загальні відомості про контакти.
- в) Аналіз контактних з'єднань.
- г) Результати дослідження з'єднань шин.
- д) Безпека праці та експлуатації обладнання.
- е) Висновки. Список використаних джерел.

Перелік графічних документів:

- Аркуш 1.
- Аркуш 2.
- Аркуш 3.

Дата видачі завдання: 12.03.2020р.

Керівник дипломного проекту бакалавра
Завдання прийняв до виконання

Радько І.П.
Бабак Д.О.

Розділ 4. Обслуговування та ремонт комутаційних апаратів	54 ст.
4.1 Ремонт рубильників	54 ст.
4.2 Ремонт магнітного пускача	56 ст.
4.3 Ремонт автоматичного вимикача	58 ст.
4.4 Тепловізійний контроль	59 ст.
4.4.1 Тепловізор	61 ст.
4.4.2 Пірометр	64 ст.
Розділ 5. Охорона праці	67 ст.
5.1 Електротравматизм та дія електричного струму на організм людини	67 ст.
5.2 Системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок	68 ст.
5.3 Кваліфікаційні групи з електробезпеки електротехнічного персоналу	69 ст.
5.4 Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом	71 ст.
Висновок	73 ст.
Список використаних джерел	74 ст.

										Арк.
										5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ВСТУП

Створення матеріально-технологічної бази, підвищення рівня життя населення є найважливішими соціально-економічними завданнями країни.

Вирішення цієї проблеми електрифікації відіграє провідну роль. Без них були б неможливі технічний прогрес, зростання промислового виробництва, піднесення сільського господарства, впровадження електроприладів. Тому необхідно забезпечити більш швидке вироблення електроенергії.

Держава планує будівництво ГЕС, перехід на використання місцевого палива, впровадження нових технологій та енергозберігаючих пристроїв, будівництво атомних електростанцій для досягнення значної економії палива та підвищення енергопродуктивності.

Сучасні технології забезпечують найвищий рівень якості, надійності та енергозбереження. Це найважливіші фактори зниження споживання енергії, витрат і витрат на виробництво.

Електрика ефективно використовується на промислових підприємствах, оскільки вона перевершує інші види енергії (просте перетворення в механічну енергію, теплову енергію та світлову енергію, легкість передачі на великі відстані, висока швидкість передачі тощо). Тому в електричній системі компанії використовується велика кількість різного електрообладнання. Для забезпечення нормальної та ефективної роботи промислових підприємств електроприлади необхідно не тільки належним чином обслуговувати під час експлуатації, а й своєчасно ремонтувати. Збільшення споживання електроенергії вимагає більш високої надійності електропостачання, що вимагає впровадження систем автоматичного резервування, кращого обладнання та якісного обслуговування.

Якісне обслуговування дозволяє продовжити термін служби і знизити витрати на матеріали та інструменти. Такий ремонт може виконувати відомий і добре навчений персонал, що володіє необхідними практичними навичками. Основним елементом всіх типів комутаційного обладнання є контакти. Вони

									Арк.
									6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

повинні надійно функціонувати з номінальними струмами, короткочасними перевантаженнями та струмами короткого замикання.

Майже в будь якій електро установці використовуються електричні контакти. Вони є важливою частиною електроустановок і потребують за собою належного нагляду та обслуговування, так як вони є одною з найбільш відповідальних частин електроустановки. Відомі випадки, коли несправність одного контактного з'єднання призводить до виходу з ладу всієї електроустановки.

Контактні з'єднання використовуються в таких електричних апаратах:

- Рубильниках
- Роз'єднувачах;
- Автоматичних вимикачах;
- Електромагнітних пускачах;
- Контакторах;
- Пакетних перемикачах;
- Реле;
- Тощо.

Над дослідженням контактних з'єднань працює велика кількість вчених, а все лиш для того щоб покращити їх механічну міцність, стійкість до дуги, властивості, зменшити вартість, збільшити час експлуатації, тощо.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Технічний опис

1.1 Загальні відомості

Електричний контакт — це комбінація двох провідників, що дотикаються, для передачі електричної енергії від одного провідника до іншого.

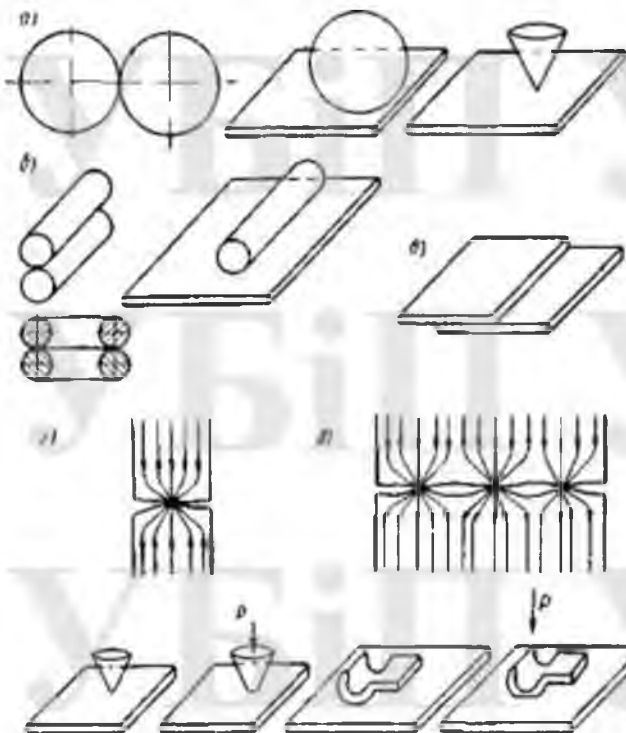
Електричний контакт умовно можна поділити на:

- **Комутуючий** – це контакти які застосовуються в комутаційних апаратах. Такі контакти застосовуються в вимикачах, роз'єднувачах, автоматичних вимикачах, рубильниках, магнітних пускачах, тощо.
- **Ковзний** – це контакт який використовується наприклад у реостатах, або в автотрансформаторі.
- **Не роз'ємний контакт** – це контакти які використовуються для з'єднання всіх електричних з'єднань які потребують надійного контакту та не повинні розмикатись під час своєї експлуатації, наприклад, вони використовуються при з'єднанні шин, провідників, кабелів, тощо.

Електричні контакти за формою, можна поділити на:

- **Точковий** – це контакт який має малу площу дотику – точку. Такі контакти використовуються в електричних апаратах в яких не потрібні великі струми, наприклад в колах керування;
- **Лінійний** – це контакт який відбувається по лінії. Такі контакти використовують в колах керування, реле, тощо;
- **Поверхневий** – це контакт який відбувається по поверхні. Такий контакт є найбільш розповсюдженим, так як використовується у всіх силових установках, так як можуть пропускати великі струми.

									Арк.
									8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Малюнок. 1.1.1

Типи контактів, умовна і фізична площі контактування.

а, г) Точковий;

б, д) Лінійний;

в) Поверхневий.

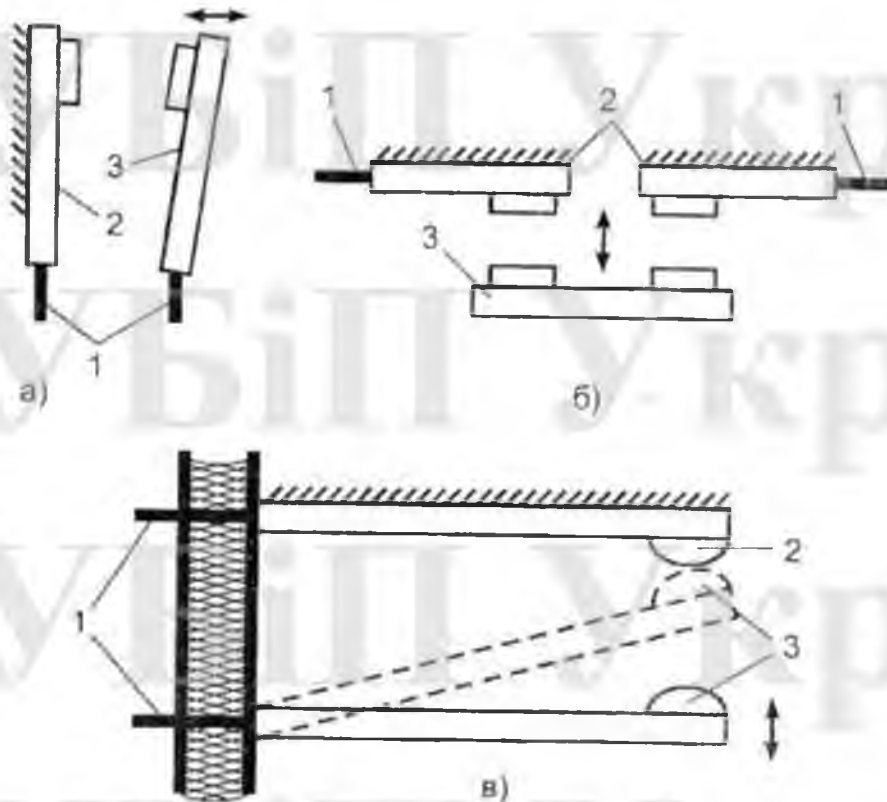
За ступенем свободи, в комутаційних апаратах електричні контакти поділяють на:

- Не рухомий – це контакт, який міцно закріплений в корпусі електроустановки. При виконанні операцій вмикання, або розмикання, такий контакт залишається на місці і не змінює своє положення. До нерухомого контакту можна віднести губки рубильника.
- Рухомий – це контакти які з'єднані з механічним або електромеханічним приводом. Під час операцій вмикання або вимикання комутаційного апарату, саме рухомий контакт змінює своє положення, та замикає або розмикає електричне коло. Наприклад то рухомого контакту можна віднести ножі рубильника.

В електрообладнанні, що використовується в електроприводах робочих машин, найчастіше використовуються наступні типи контактів:

- Важільні;
- Місткові;
- З плоскими пружинами.

Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата



Типи контактів:

- а) Важільні;
- б) Місткові;
- в) З плоскими пружинами.

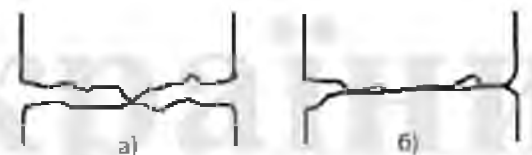
- 1 – Провідники;
- 2 – Нерухомий контакт;
- 3 – Рухомий контакт.

1.2 Перехідний опір контакту

Перехідний опір контакту – це опір який виникає в місці дотику двох струмоведучих частин. Перехідний опір являється одним із показників якісного контакту в комутаційних апаратах, чим менший опір – тим контакт якісніший.

Перехідний опір є важливим показником якості електричного контакту, на перехідний опір впливає:

- Матеріал з якого виготовлені контакти;
 - ▶ Найчастіше матеріал з якого виготовляють контакти – мідь, також можуть використовуватись різні композитні матеріали або сплави з додаванням дорогоцінних металів, таких як срібло чи золото.
- Сила стискання контактів один до одного;
 - ▶ Так як неможливо виготовити контакти з ідеально гладкою поверхнею – контакти мають шершаву поверхню і без достатнього натиску матимуть малу площу контакту і великий перехідний опір що може призвести до



Малюнок. 1.2.1
Електричний контакт:
а) до стискання;
б) після стискання.

перегріву. Перегрів контактного з'єднання призводить до підвищення перехідного опору, що в свою чергу приводить до більш сильного нагріву. Нагрів контактів після досягнення певної температури може призвести до зварювання контактного з'єднання без можливості експлуатації такого комутаційного апарату без ремонту або ж заміни.

- Стійкість контактів до навколишнього середовища;
 - ▶ Комутаційні апарати часто використовуються в агресивному середовищі наприклад на фермах і працюють в умовах підвищеної вологості та середовищі з агресивними газами такими як аміак. При експлуатації в таких умовах контакти швидко покриваються оксидною плівкою яка підвищує перехідний опір. Для боротьби з оксидною плівкою контакти можуть покривати тонким шаром благородних металів таких як золото чи срібло, також використовуються композитні матеріали особливістю яких є погане утримання оксидної плівки на поверхні контакту і яка руйнується під час удару при з'єднанні контактного з'єднання.
- Площа контакту.
 - ▶ При збільшенні площі контактного з'єднання пропорційно змінюється і його пропускні можливості, збільшується максимально допустимий струм.

1.3 Іскріння на контактах і електрична дуга

Електрична дуга – це фізичне явище, один з видів електричного розряду в газі яке виникає при розмиканні електричного кола в якому протікає струм.

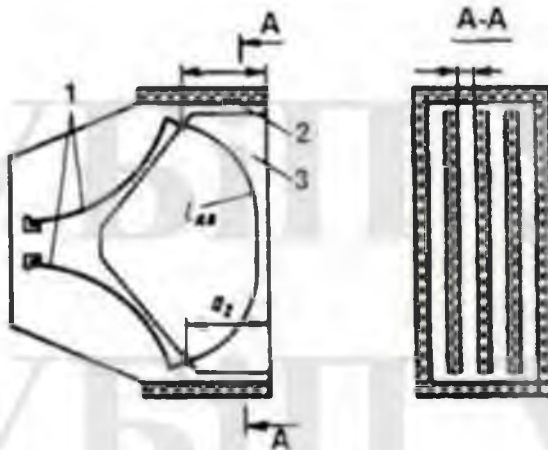
Електрична дуга негативно впливає на час експлуатації комутаційного апарату, так як викликає пошкодження контактів комутаційних апаратів. Так як при горінні електричної дуги виділяється дуже велика кількість тепла яка може підплавляти електричний контакт і руйнувати його, що призводить до зменшення площі дотику контактного з'єднання.

									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Для запобігання горінню електричної дуги винайдено багато засобів, так наприклад найрозповсюджені:

- Композитні матеріали контакту з додаванням графіту;
 - ▶ При додаванні графіту в склад електричного контакту виникає ефект під час горіння дуги вона не затримується на одному місці, а переміщується по всій площі контакту. Так під час того як дуга рухається по всій площі контактного з'єднання вона не встигає розігріти локальні ділянки контакту до критичної температури – контакт не плавиться і не руйнується.
- Використання дугогасильних камер;
 - ▶ Дугогасильна камера – це пристрій призначений для розтягування дуги для збільшення її площі та покращення її охолодження та гасіння.

Дугогасильні камери широко застосовуються в комутаційних апаратах так як автоматичні вимикачі так як є досить ефективними та не дорогими. Під час використання таких камер зменшується час горіння дуги, та пошкодження електричних контактів, що підвищує строк служби комутаційних апаратів.



Малюнок. 1.3.1 Багато щілинна дугогасильна камера:

- 1 — дуга;
- 2 — стінки камери;
- 3 — перегородка

- Використання магнітів;
 - ▶ Використання магнітів чимось схоже з використанням дугогасильних камер. Так як за допомогою магнітів дуга витягується збільшується площа охолодження та вона гасне. Такий метод можливий тому що при протіканні струму в дюзі виникає електромагнітний ефект який і використовується в такому методі, хоча і такий метод широкого застосування не набув в зв'язку складності використання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- Використання вакууму;
 - ▶ Такий спосіб є дуже ефективним, так як вакуум не підтримує горіння дуги, так електрична дуга гасне за час проходження пів періоду змінного струму, а саме коли напруга в мережі дорівнює нулю. Однак такий спосіб не позбавлений недоліків, головні з них це неможливість комутувати кола постійного струму, складність в виготовленні, неможливість обслуговування в зв'язку з герметичністю конструкції.
- Використання елегазу
 - ▶ При такому способі, дуга гасне під натиском стиснутого елегазу. Дуга здувається, розтягується, охолоджується та гасне. Такий спосіб є ефективним, та є доволі дорогий так як під час кожного гасіння дуги використовується певна цільність стиснутого елегазу і з часом потребує заміни ємності з елегазом. Тому такий спосіб є не поширеним і використовується рідко.

1.4 Вимоги до електричного контакту

Електричний контакт являється важливим елементом електроустановки, відомі випадки коли один несправний електричний контакт призводив до виходу з ладу всієї електроустановки.

Вимоги до матеріалів контактів сучасних електричних апаратів:

- Висока тепло та електропровідність;
- Висока стійкість до навколишнього середовища;
- Невелика твердість для зменшення сили стиску контактів між собою, але достатня для забезпечення механічної стійкості до зношування при частих вмиканнях чи вимиканнях;
- Висока дугостійкість;
- Мала ерозія при горінні дуги;
- Великі значення напруги та струму для утворення дуги;
- Простота механічної обробки;
- Мала вартість.

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Вибір матеріалів контактів для того чи іншого електричного апарату обумовлений тим, де цей електричний апарат застосовується, так наприклад в електромагнітних пускачах використовуються контакти виготені з міді чи її сплавів, або композитних матеріалів на основі міді. В комп'ютерній техніці зазвичай використовують мідні контакти покриті шаром золота чи срібла для покращення якості контакту та захисту від окислення.

Найбільш широко застосовують такі матеріали:

Таблиця. 1.4.1

Матеріал	Переваги	Недоліки	Застосування
Мідь	висока електро і теплопровідність, достатня твердість, простота технології	відносно низька температура плавлення, схильність до окислення на повітрі	шини, контакти апаратів
Алюміній	висока електро і теплопровідність, мала механічна міцність оксиду, малий перехідний опір, стабільність контакту	мала дугостійкість і твердість, мала механічна міцність, утворення з міддю гальванічної пари, оксидна плівка з високим питомим опором	матеріал для шин і конструкційних деталей апаратів
Срібло	висока електро і теплопровідність, мала механічна міцність оксиду, малий перехідний опір, стабільність контакту.	мала лугостійкість і твердість, ціна	реле, контактори до 20А

Золото	висока корозійна стійкість плюс малий перехідний опір	мала механічна міцність, ціна	малі струми з невеликою силою натискання
Платина	висока корозійна стійкість плюс малий перехідний опір	мала механічна міцність, ціна	малі струми з невеликою силою натискання
Вольфрам	висока дугостійкість, стійкість проти корозії, зварювання, висока твердість	мала теплопровідність, висока густина, утворення міцних оксидних і сульфідних плівок	дугостійкі і частовмикаючі контакти

1.5 Електричні апарати в сільському господарстві

Електричні апарати що використовуються в сільському господарстві найчастіше за все працюють в агресивному середовищі при високій вологості та агресивних газах таких як аміак та сірководень. Багато машин і пристроїв піддаються впливу комбінації кліматичних факторів на відкритому повітрі: температури, опадів і сонячної радіації. Електрифіковані технічні пристрої для сільськогосподарських тварин і птиці часто залишаються незахищеними дезінфікуючими розчинами та аерозолями в зоні обробки.

Через різноманітність умов навколишнього середовища сільськогосподарському виробництву практично неможливо знайти аналог в інших галузях. Крім того, тут діють разом всі негативні фактори, що значно посилює їх руйнівну дію.

Ситуацію ускладнює те, що певна частина електрообладнання, не повністю або частково відповідає умовам навколишнього середовища, також мають місце серйозні порушення технології монтажних робіт. Це значно скорочує термін

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

служби обладнання, до виходу з ладу, що призводить до значних пошкоджень обладнання та матеріальних збитків.

Вплив навколишнього середовища на пристрій можна розглядати як дію наступних груп факторів:

- Кліматичних;
- Біологічних;
- Механічних.

Кліматичні фактори ж можна поділити на дві групи:

- Природні – це умови коли електрообладнання знаходиться на відкритому повітрі чи під навісом;
- Штучні – це умови коли електрообладнання знаходиться всередині закритого приміщення.

До основних факторів навколишнього середовища можна віднести:

- Температура;
- Вологість;
- Забрудненість повітря.

Основними нормативними документами, що визначають вимоги до енергетичних пристроїв, є ПУЕ, ПТЕ, ПБЕЕС, та ряд державних стандартів.

Залежно від умов навколишнього середовища підбирається електрообладнання та обґрунтовується необхідність встановлення електробезпеки. Вимоги до електротехнічних пристроїв, які призначені для використання в сільському господарстві, також визначаються стандартами та технічними умовами.

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1.6 Комутаційні апарати в сільському господарстві

1.6.1 Автоматичний вимикач



Малюнок. 1.6.1.1
Загальний вигляд
автоматичного
вимикача

Автоматичний вимикач — це пристрій для автоматичного відключення електричних ланцюгів у разі короткого замикання або ненормальних режимів роботи (перевантаження).

Він необхідний для розриву ланцюгів живлення при коротких замиканнях або перевантаженнях мережі.

Автоматичні вимикачі бувають різних видів і призначення. Заводи виробники випускають їх одно-, дво-, три- та чотирьополюсними. По напрузі вони бувають до 660В змінної напруги та до 1000В постійної. По струму ж до ~6000А.

Сучасні автоматичні вимикачі мають тепловий та електромагнітний розчіплювач, який можна використовувати, щоб захистити обладнання від будь-якої аварійної ситуації.

У разі перевантаження спрацьовує тепловий розчіплювач, він являє собою біметалеву пластину, яка нагрівається і згинається при перевищенні номінального струму і спрацьовує механізм розчеплення, вона не реагує на короткочасні стрибки струму, щоб запобігти помилковому спрацюванню через пускові струми.

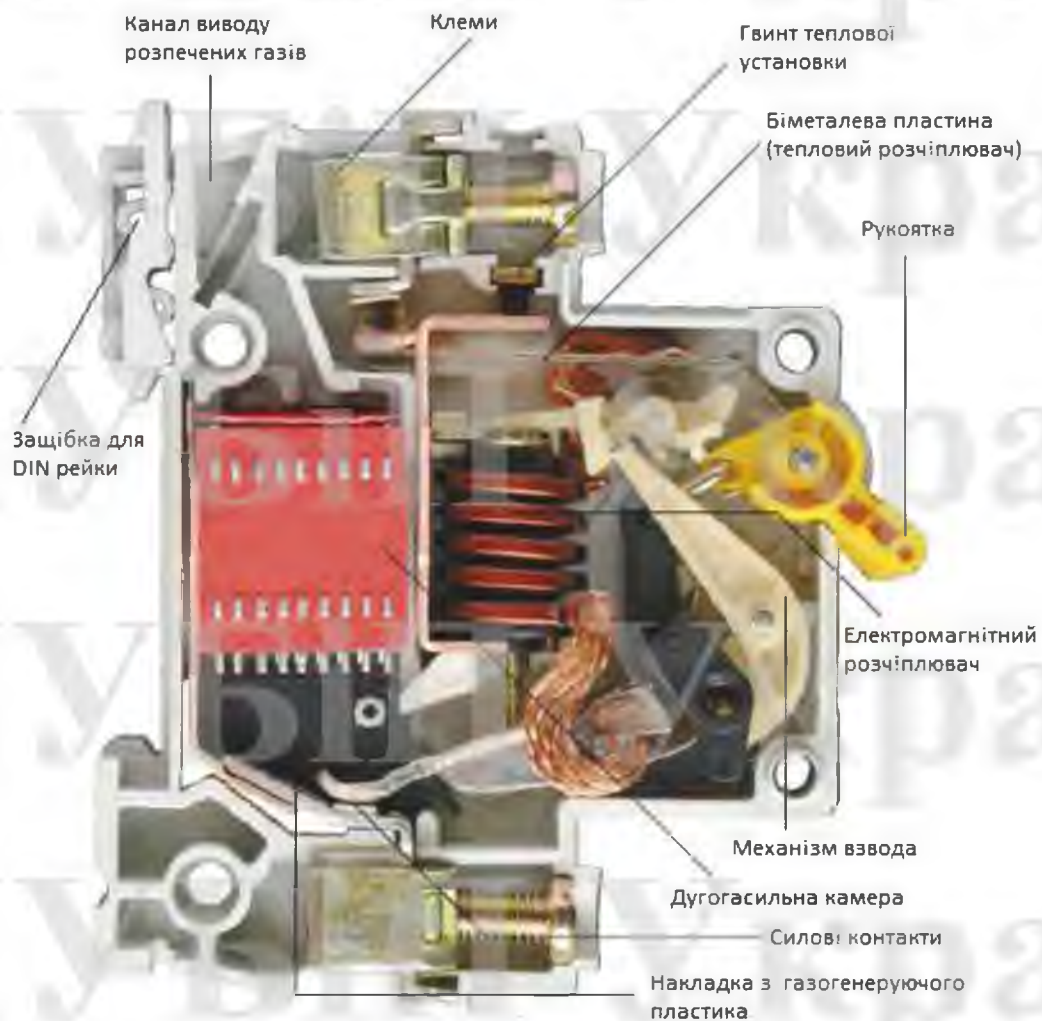
Пусковий струм – це струм, який короткочасно виникає при включенні електроприладу. Він може багаторазово перевищувати номінальний струм електроприладу.

Електромагнітний розчіплювач спрацьовує миттєво. Він складається з котушки і сердечника. Швидко зростаючий струм створює сильне магнітне поле, яке притягує сердечник і розриває ланцюг.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Технічні характеристики автоматичного вимикача:

- Номінальна напруга;
- Номінальний струм;
- Тип автоматичного вимикача (А, В, С, D, К, Z);
- Вимикаюча здатність;
- Струмообмеження.



Малюнок
1.6.1.2

Будова
автоматичного
вимикача. [1]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.6.2 Магнітний пускач



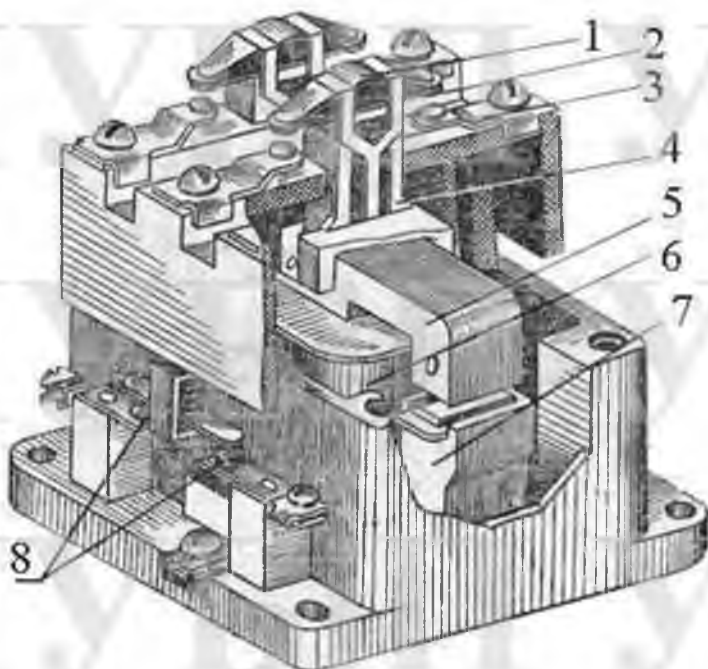
Малюнок. 1.6.2.1
Загальний вигляд магнітного пускача

Магнітний пускач - електричний пристрій для пуску, зупинки, реверсу та захисту електродвигуна. Магнітний пускач в основному використовується для дистанційного пуску, зупинки та захисту трифазних асинхронних двигунів з короткозамкнутими ротором. Контакти магнітних пускачів які комутують струми понад 20..25А забезпечують пристроями дугогасіння.

У рамках стандартизації пускачі визначаються як комбінація всіх комутаційних пристроїв із захистом від перевантаження, необхідних для запуску та зупинки двигуна.

Електромагнітний пускач — це пускач, в якому сила, необхідна для замикання головних контактів, забезпечується електромагнітом.

Крім електромагнітних, розрізняють напівпровідникові, реостатні, ручні, моторні, пневматичні та електропневматичні пускачі. Пускач, що включає розширені функції з можливостями зв'язку, називається пускачем керування двигуном.



Малюнок. 1.6.2.2

Конструкція магнітного пускача [2]

1. Контактні пружини
2. Контактні містки.
3. Контактні пластини.
4. Пластмасова траверса.
5. Якір.
6. Обмотка.
7. Ш-образна частина сердечника (нерухома)
8. Додаткові контакти.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Принцип роботи магнітного пускача простий: при включенні кнопки «Пуск» електричний струм протікає через котушку і намагнічує рухомий якір. Це притягує якір до нерухомої частини і замикає основні контакти. Струм тече по колу і двигун включається. Коли ви розмикаєте ланцюг, електричний струм втрачається з котушки, і вона розмагнічується. Цей процес запускає контактну пружину, яка повертає якір у вихідне положення. Головні контакти розмикаються і ланцюг повністю знеструмлений.

Контакти розмикаються не тільки відразу після навмисного відключення електроенергії, але і при падінні напруги в мережі більш ніж на 60% від номінального значення.

1.6.3 Електро-теплове реле



Малюнок. 1.6.3.1
Загальний вигляд теплового реле

Теплові реле - це електричні пристрої, які використовуються для захисту електродвигунів від перевантаження. Найпоширенішими типами теплових реле є ТРП, ТРН, РТЛ и РТТ.

Термін служби силового обладнання значною мірою залежить від перевантажень, яким вони піддаються під час експлуатації. Для кожного об'єкта можна знайти залежність тривалості протікання струму від його величини, при якій гарантується надійна і тривала робота пристрою.

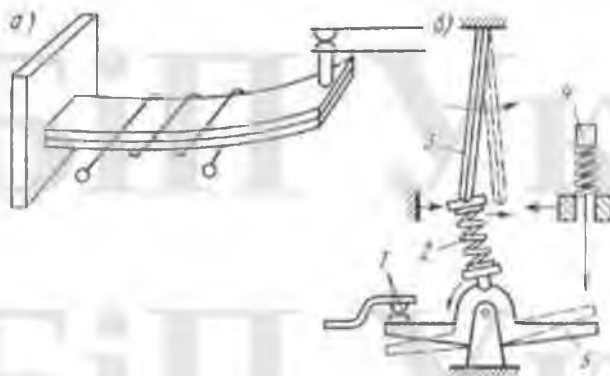
При номінальному струмі допустима тривалість його протікання нескінченна. Протікання струму, що перевищує номінальний, призводить до додаткового підвищення температури та додаткового старіння ізоляції. Чим більше перевантаження, тим на менший час воно допустиме.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Для захисту від перевантажень найбільшого поширення набули теплові реле з біметалевою пластиною. Біметалева пластина теплового реле складається з двох пластин, одна з яких має більший коефіцієнт теплового розширення, інша – менший. Ці пластини жорстко кріпляться одна до одної або прокаткою в гарячому стані, або зварюванням. Якщо закріпити і нагріти таку пластину, то пластина буде згинатися в бік матеріалу з меншим коефіцієнтом теплового розширення. Це явище використовується в теплових реле.

Нагрів біметалічного елемента теплового реле може відбуватися за рахунок тепла, що виділяється струмом навантаження в пластині. Дуже часто біметал нагрівається спеціальним нагрівачем, через який протікає струм навантаження. Найкращі властивості досягаються при комбінованому нагріванні, коли пластина нагрівається як теплом, що виділяється струмом що протікає через біметал, так і теплом виробленим спеціальним нагрівачем.

При згині біметалева пластина діє своїм вільним кінцем на контактну систему теплового реле.



Малюнок. 1.6.3.2

Пристрій теплового реле [3]: а - чутливий елемент, б - контакт,
1 - контакти, 2 - пружина, 3 - біметалічна пластина, 4 - кнопка, 5 - місток

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.6.4 Проміжне реле



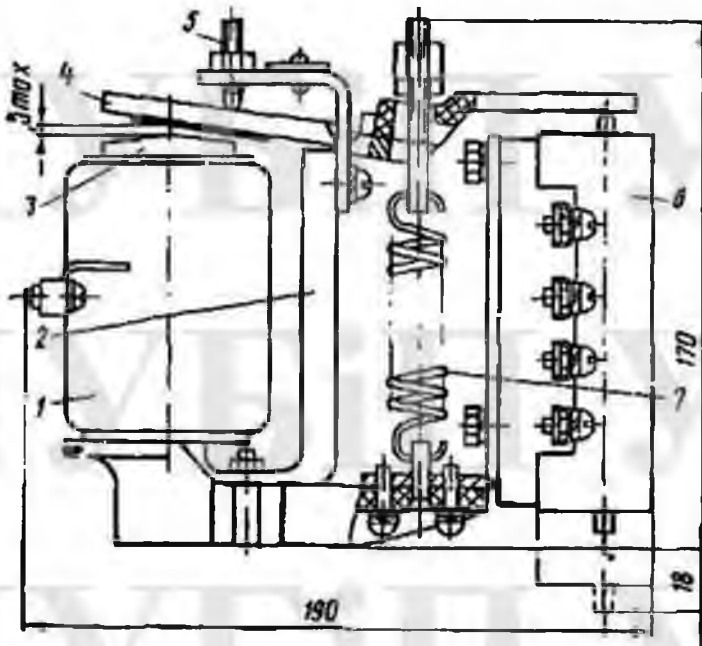
Малюнок. 1.6.4.1
Загальний вигляд
проміжного реле

В електричних мережах часто доводиться відразу замикати або розмикати ланцюги або керувати якимись потужними пристроями. Для цього використовується проміжне реле П-21, ПРГ, РЕЦ тощо, принцип дії якого дає можливість комутувати високі навантаження в електромережі.

Проміжне або допоміжне реле — це пристрій, який використовується для управління роботою різних машин, комплексів тощо, і дозволяє керувати кількома ланцюгами. Наприклад, один контакт запускає машину, інший вимикає інший електричний пристрій.

Призначення проміжного реле:

- Для замикання або розмикання окремих і незалежних контурів;
- Для уповільнення захисної реакції у разі необхідних високих навантажень;
- Для керування основним блоком в умовах високої напруги.



Малюнок. 1.6.4.2

Будова проміжного реле [4]:

- 1 – Котушка;
- 2 – Магнітопровід;
- 3 – Наконечник полюсний;
- 4 – Якір;
- 5 – Гвинт регулювальний;
- 6 – Блокіровка;
- 7 – Пружина.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Конструкція пристрою може змінюватись в залежності від його призначення та виробника

Принцип роботи: під час протікання електричного струму через обмотку котушки створюється магнітне поле. Сердечник і якір намагнічуються, створюючи електромеханічну силу, яка притягує якір до твердого сердечника, а кінець якоря стискає контактні пружини і замикає (розмикає) контакти.

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Розділ 2. Аналіз процесів що виникають при роботі електричних контактів

2.1 Особливості роботи комутаційних електричних апаратів та контактних систем

2.1.1 Низьковольтні електричні апарати

Потреби технічного прогресу призводять до збільшення асортименту електричних приладів, електроапаратів та інших подібних систем. В даний час немає жодної галузі, де не використовуються електроприлади, що виконують функції захисту, контролю та комутації електричних ланцюгів [5 – 14].

Конструкції електроприладів умовно поділяють на два великих класи:

- Контактні;
- Безконтактні.

Найпоширенішими, як в Україні, так і за кордоном, є контактні комутаційні електроприлади, такі як автоматичні вимикачі, електромагнітні контактори, тощо, які загалом приймають і розподіляють усе енергетичне навантаження енергосистем.

Враховуючи таку потребу в низьковольтному електрообладнанні, перед дослідниками постає питання його постійного оновлення. Пошук нових рішень дає змогу зменшити габаритні розміри електроприладів, покращити параметри та характеристики роботи, створюючи нові матеріали для контактних, магнітних, струмопровідних і тому подібних модульних систем.

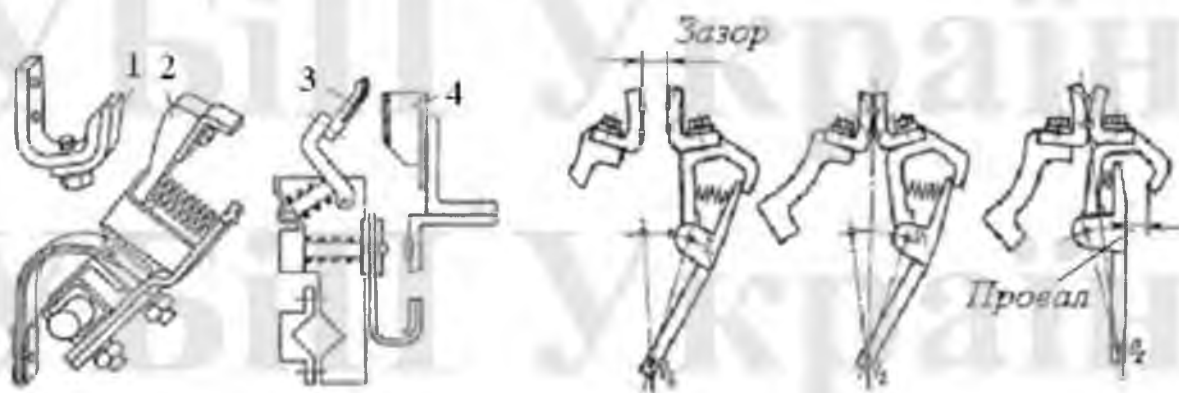
Основним вузлом електричних комутаційних пристроїв є контактна система, яка визначає надійність роботи не тільки самих електроприладів, а й електричних ланцюгів енергосистеми.

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок. 2.1.1.1

Конструкції електричних апаратів



Малюнок. 2.1.1.2 Основні типи контактних систем

1, 3 – рухомий контакт; 2, 4 – нерухомий контакт

Зазор, провал – параметри, що визначають зношування контактів.

Комутаційні електроприлади постійно працюють в напруженому режимі включення-відключення електричних навантажень [14 – 20]. Відповідно, їх контактна система повинна включати як номінальні струми, так і струми короткого замикання та перевантаження.

Робота вимикачів пов'язана з витримкою певних струмів короткого замикання (коротких замикань) або з відключенням секцій від короткого замикання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

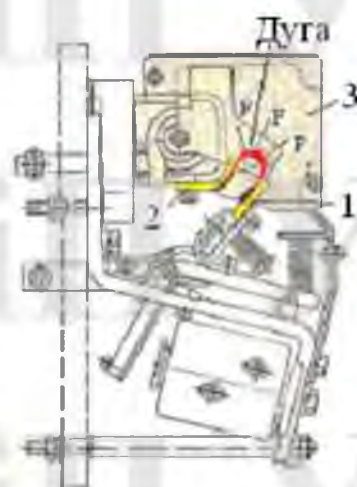
У таких режимах роботи вимикачі повинні залишатися в робочому стані. У момент проходження струмів короткого замикання через електричні контакти змінюються значення струму і напруги, а також виникають електродинамічні сили, які призводять до непостійного розмикання електричних контактів. При розмиканні електричних контактів час відключення вимикача починається з моменту початку короткого замикання до моменту розмикання електричних контактів, включаючи час наростання електричної дуги в міжконтактному інтервалі. Процес відключення досить складний і має відбутися в найкоротші терміни в аварійній ситуації [13, 20, 21]. Такий процес відключення характерний для вимикачів на струми до 1000 А і для багатоамперних вимикачів - понад 1000А. Крім того, багатоамперні вимикачі мають двоступеневий контакт, який містить основний і системний контакти.

Основне навантаження електричної ланцюга сприймається дугогасними контактами.

Електромагнітні контактори та подібні їм електричні пристрої працюють в режимі керування, при якому відбувається часте перемикання електричного кола. При такому режимі роботи цих електроприладів електричні контакти, безумовно, підтверджуються як механічним, так і електричним зносом [9, 12, 13], що супроводжується виникненням електричної дуги в міжконтактному зазорі.

Поява дуги та її розвиток викликає розмивання робочої поверхні контактів, що призводить до розвитку аварійної ситуації.

При аналізі характеристик комутаційних пристроїв, таких як автоматичні вимикачі та електромагнітні контактори, було виявлено, що надійність їх роботи залежить від контактних систем.



Малюнок. 2.1.1.3 Конструкції електромагнітних контакторів
а) Постійного струму; б) Змінного струму.

1 – рухомий контакт; 2 – нерухомий контакт; 3 – дугогасильна система; 4 – котушка магнітного дуття.

а)

б)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.1.2 Напрями дослідження контактних систем

Контактна система складається з тримача контактів і контактної кришки. Для надійної роботи електроприладів до складу контактних площадок (далі – контакти) входять дорогі, дефіцитні, токсичні елементи та з'єднання.

Наприклад, в даний час в контактах електричних апаратів використовуються: паладій, платина, срібло, мідь, нікель, вольфрам, оксид кадмію, ртуть та інші [22]. Джерелом поставки таких елементів є переважно Росія та інші зарубіжні країни. Тому в Україні дуже гостро стоїть питання їх економному розподілу та використанню.



Малюнок. 2.1.2.1
Конструкції
контактних систем
електричних апаратів

В електричних апаратах із дуговою комутації найчастіше використовуються контакти порошкового металургійного виробництва, які називають композитними сумішами [23 – 29]. Використання композиційної суміші (матеріалів) почалося з 1930-х років. З цього моменту почалося їх застосування і в електротехнічній промисловості і зокрема в побудови контактних систем для електроприладів. Такий спосіб встановлення контактів сприяє отриманню суміші, що складаються з металевих порошків, що поєднують необхідні властивості, яких неможливо досягти за допомогою сплавлення. Найпоширенішими складами електричних контактів, визначеними згідно з ГОСТ-19725 [22], є, наприклад: срібло-нікель (КМК А30м),

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

срібло-кадмієвий оксид (КМК А10м), срібло-графіт (КМК А41м) тощо (де «м» являє собою тонку структуру контактної суміші).

Контактні пари найчастіше використовуються в контактних системах комутації електроприладів: КМК А30м / КМК А10м (рухомі/ нерухомі); КМК А30м / КМК А41м, тощо.

Основними вимогами до таких складів електроконтактних сумішей, як правило, є висока температура плавлення, висока твердість, висока дугостійкість, максимальна комутаційна здатність [16, 19], комутаційна зносостійкість тощо.

Кожна з електроконтактних сумішей має свої переваги і недоліки. Це пояснюється значною кількістю параметрів, від яких залежить подальша робота контактних систем. До них належать:

- Розмір контактних площадок;
- Відсоток необхідних елементів у складі електричних контактів;
- Сумісність елементів, що входять до складу електроконтактних композицій;
- Спосіб встановлення електричних контактів;
- Особливість руху дуги по робочій поверхні електричного контакту, час її існування та швидкість переміщення точки відліку;
- Характеристика конструкції дугогасного пристрою, а також порядок і спосіб гасіння дуги;
- Температура навколишнього середовища, в зоні горіння дуги та на робочій поверхні електричних контактів.

Основним явищем, що руйнує робочу поверхню контакту, є ерозія електричних контактів. Це питання завжди було актуальним, і дослідники вирішували його по-різному [30 – 35].

Концепція ерозії робочих поверхонь контактів виникла в кінці 19 століття з розвитком методів дослідження електричних розрядів, результатами яких поділилися відомі вчені Шоттка, Фаулер, Ленгмюр та інші.

									Арк.
									28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Останнім часом для комутаційного (сильнострумового) електрообладнання одним з основних напрямків робочого циклу є вивчення ерозії та інших процесів, що відбуваються як на поверхні електричних контактів, так і в стовпі дуги, що виникає при розвалі електричних контактів:

- Визначення теплового режиму в стаціонарних, квазістаціонарних і нестаціонарних умовах розподілу температурного поля на робочій поверхні електричних контактів;
- Розвиток локального перегріву зон на робочій поверхні, які залежать від стиснення електричних контактів.

В результаті таких досліджень в основному визначається прохідний опір в зоні контакту при нагріванні робочої поверхні контактів.

Іншим напрямком роботи є визначення співвідношення між зоною плавлення робочої поверхні електричних контактів від [15]:

- Струму;
- Теплофізичних параметрів та властивостей композитних електричних контактів;
- Кінематики руху електричних контактів при розмиканні.

У будь-якому випадку всі напрямки роботи пов'язані з розвитком дугових розрядів на робочій поверхні електричних контактів і руйнуванням поверхні під дією різних процесів.

Відповідно на робочій поверхні відбуваються різноманітні фізико-механічні, фізико-хімічні, структурно-фазові зміни, за допомогою яких створюються різні типи з'єднань, що визначають подальшу роботу електричних контактів.

Постійні дослідження стійкості до ерозії електричних контактів приводять до різних рішень. На жаль, не всі рішення є ефективними. Наприклад, металокерамічні композиції електричних контактів, що складаються з Ag/CdO, сприяють утворенню парової зони, що перешкоджає проходженню струму при низьких температурах.

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Все це ускладнює рух дуги і, звичайно, вона може деякий час перебувати на поверхні контакту, але це призводить до утворення зон розплаву, які визначають і характеризують ерозією робочої поверхні електричних контактів.



Малюнок. 2.1.2.2

Процеси на робочій поверхні контактів

2.2 Процеси в міжконтактному проміжку, що визначають ерозію робочих поверхонь електричних контактів

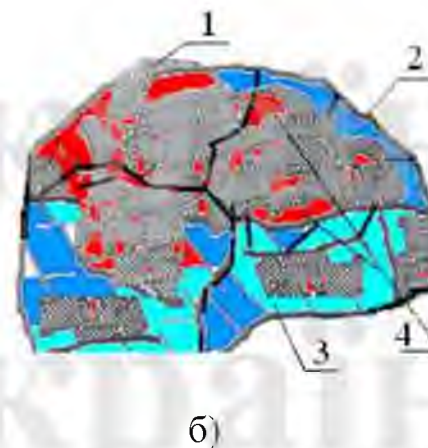
2.2.1 Причини розвитку ерозії поверхні контактів

Джерелом енергії, що викликає ерозію робочих поверхонь електричних контактів, є процеси, що відбуваються в електродних зонах. Більшість прикладних досліджень присвячено катодній області, оскільки ця область є основним постачальником заряджених частинок (електронів) в середовищі, де горить дуга і відбувається перехід від високотемпературної плазми до робочої поверхні електричних контактів.

Причини ерозії робочих поверхонь електричних контактів і, як наслідок, виникнення небажаних процесів, супроводжуються різними явищами на початку виникнення електричного дугового розряду, руху дуги та їх подальшого розвитку з урахуванням виникаючих плазмових потоків. Всі ці процеси взаємопов'язані і мають значний вплив один на одного.

Встановлено, що в міру розвитку дугового розряду на робочій поверхні катодного контакту утворюються катодні плями [13, 15, 36]. Це пов'язано з неоднорідністю складу композитних електричних контактів і нерівномірним, іноді неоднотимчасним контактуванням робочих поверхонь контактних пар, що призводить до розплавлення контактних поверхонь.

										Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Малюнок. 2.2.1.1

- а) Контактуючі робочі поверхні;
 б) Загальний вигляд робочої поверхні електричних контактів.
 1 – склад композитного електричного контакту;
 2 – адгезійні плівки; 3 – оксидні плівки; 4 – катодні плями.

Контактна поверхня має значні нерівності, тому контакт відбувається в певних точках. При цьому контактний опір контактів змінюється в місцях дотику за рахунок ліній стискання струму, що залежить від опору струмового стискання в місцях контакту та опору утворених плівок [14, 37, 38].

Утворення катодних плям на робочій поверхні електричних контактів пов'язано з тим, що елементи композитів мають різну роботу виходу через різну щільність упаковки атомів на поверхнях кристалічної структури.

Іншою характеристикою дугового розряду є утворення ділянок різних покриттів і кольорів побіжалості на робочій поверхні електричних контактів залежно від елементів, що використовуються в композитних електричних контактах.

У разі розходження електричних контактів та виникненню дуги на поверхню контакту потрапляють не тільки продукти горіння зон дуги та плазми, але й продукти горіння сусідніх поверхонь. В результаті на робочій поверхні утворюються плівки іншого походження, які також сприяють розвитку процесу ерозії або, навпаки, його уповільнення. Крім того, на робочій поверхні електричних контактів зустрічаються ділянки з втратою провідності електричного струму, що призводить до підвищення перехідного опору контактів.

У разі експлуатації електричних контактів, контактна поверхня значно змінюється аж до утворення неправильної форми або зміни площі контактних поверхонь на робочій поверхні.

При аналізі всіх показаних процесів виявлено характерні причини ерозії на робочій поверхні електричних контактів, які можна розділити на [17, 21, 39, 40]:

- по перебігу процесів, що відповідає неправильному підбору елементів для складу електричних контактів за енергетичними параметрами;
- конструкційні (провал, контактний тиск; неефективна система дугогасіння або умови гасіння дуги; зміщення робочих поверхонь рухомих та нерухомих контактів).

Цьому сприяють такі причини:

1. Збільшення перехідного опору електричних контактів;
2. Випаровування складу контактів під дією енергії, що виділяється на контактах в стовпі дуги;
3. Розпилення складу контактів прискореним плавленням, а також утворення вибухових процесів і виділення газів;
4. Утворення кратероподібних ерозійних слідів на поверхні електричних контактів внаслідок слабких і нестійких складів або інших причин, що впливають на формування цього типу ерозії;
5. Зварювання електричних контактів, що може призвести до аварійної ситуації, тощо.

Основний внесок у руйнування робочої поверхні електричних контактів вносять процеси, що протікають на їх робочій поверхні та в електродних ділянках, а саме в області, близькій до катода. Швидкість росту ерозії на поверхні катода електричного контакту тісно пов'язана з густиною струму, температурою катодної плями, що утворюється на поверхні електричного контакту, падінням катодного потенціалу, тощо.

Знос і розмивання робочої поверхні електричних контактів під дією дуги або механічних впливів у багатьох випадках обмежують термін служби контактних систем і електричних комутаційних пристроїв загалом.

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Розподіл температури по поверхні контактів

Процеси, що розвиваються на робочій поверхні електричних контактів, а також дуговий розряд, що переходить в дугу, мають тепловий характер [27, 38, 41, 42]. Тому враховуючи їх, вирішується ряд складних і важливих теплових задач, наприклад:

- Оцінка величини опорних точок дуги на контактах;
- Визначення залежності основних факторів впливу на розвиток зносу та ерозії робочих поверхонь електричних контактів;
- Визначення температури основи дуги та закону розподілу при зміні та охолодженні.

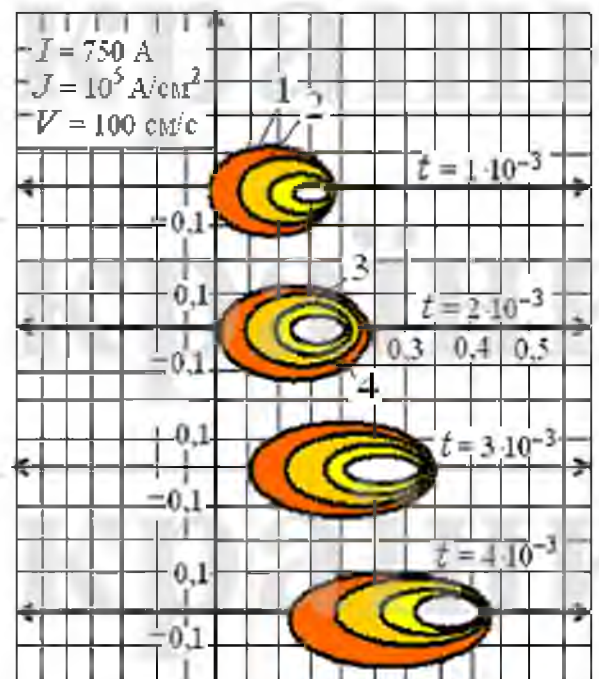
Процес утворення катодних плям і розподіл температури на поверхні електричного контакту, а також час (t) і швидкість (V) переміщення опорних точок дуги за певними електричними параметрами розглянемо на моделі.

Ізотерми мають краплеподібну форму (1 - 4), схожу на розплавлену поверхню. Об'єм розплаву (1) електричної контактної поверхні розташований за джерелом тепла (4). Такі форми ізотерм призводять до різних механізмів руйнування робочої поверхні електричних контактів навіть за наявності різних видів магнітного дуття.

Наприклад, при повітряному обдуванні зона ізотермічного стиснення знаходиться за рухомою дугою.

Максимальний об'єм ізотерми знаходиться в зоні турбулентності, що призводить до здування і розпилення складу електричних контактів з поверхні.

При наявності магнітного дуття зона турбулентності охоплює невелику кількість розплавленої площі, а зона ущільнення знаходиться перед фронтом дуги. Тому руйнування електродів електричних контактів розпиленням компонентів композиту є незначним.



Малюнок. 2.2.2.1
Ізотерми на поверхні електричних контактів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.2.3 Розвиток дугового процесу та його особливості

Дуга виникає при перемиканні електричних апаратів а саме при розходженні електричних контактів і являє собою низькотемпературну плазму з високою щільністю струму і температурою [12 – 15, 21, 39, 43, 44]. Для зменшення зносу контактних систем при перемиканні електричних апаратів застосовуються пристрої дугогасіння або різні способи гасіння дуги.

Виникнення і розвиток плазових потоків залежать від температури робочої поверхні електричних контактів, густини струму та енергії, що виділяється. Потоки плазми неоднорідні за структурою і мають велику теплову та механічну інерцію. Особливістю струмів є те, що вони за своєю інтенсивністю та яскравістю перевершують деякі ділянки дуги, а також можуть змінювати форму та стан робочої поверхні електричних контактів. Ця особливість проявляється в оплавленні складу електричних контактів. В результаті на робочій поверхні електричних контактів утворюються загострені виступи, які простягаються в напрямку потоку плазми.

Розвиток дугового процесу поділяється на три основні напрямки [13 – 15]:

- При катодний;
- При анодний;
- Дуговий стовп.

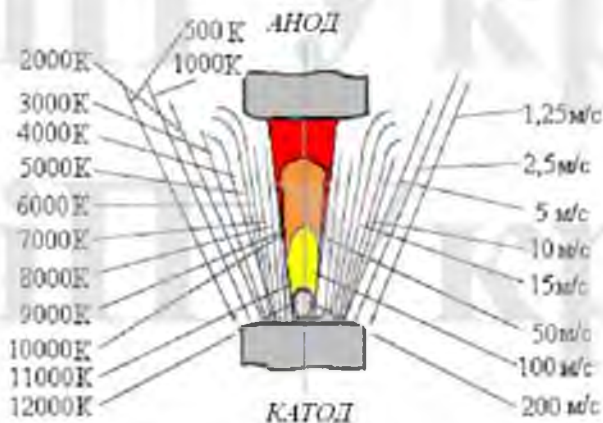
Вважається, що стовп дуги не бере участі в ерозійних процесах, оскільки відбувається рівномірний неухильний розвиток процесу. Проте процеси (іонізація, деіонізація) в стовпі дуги впливають на стабільність дугового розряду, і за допомогою цих процесів можна регулювати деякі параметри, такі як площа поверхні та утворення катодних плям різного типу.

При перемиканні електричних апаратів розподіл температури на робочій поверхні досить складний. Найвища температура на робочій поверхні в місцях звуження опорної точки дуги.

Під час розвитку дугового розряду фіксована опорна точка в точці початку розряду затримується, оскільки сили реакції ще не досягли значення певної

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

величини, з якого починається його рух. Це призводить до сильної ерозії робочої поверхні електричних контактів [13 – 15, 21, 39, 45, 46].



Малюнок. 2.2.3.1
 Модель розподілу температури та швидкості потоку в електричній дузі

Процес ерозії, пов'язаний з плазмовими потоками, протікає по-різному і залежить від складу електричних контактів. У цьому випадку потоки плазми з високою швидкістю захоплюють і несуть на своєму шляху продукти розпаду і випаровування композицій контактної суміші [16, 46 – 48].

Чим більше швидкість переміщення опорних точок дуги, тим швидше утворюються катодні плями різних типів і їх подальший розподіл на робочій поверхні електричних контактів. Залежно від елементів, що входять до складу електричних контактів і термінів існування опорної точки дуги на поверхні, виникає ерозія.

Висока температура на катодній поверхні електричного контакту визначає розподіл густини струму в місцях контакту, а також у газовому розряді під час його руху від катода до анода.

Розподіл швидкостей заряду в дуговому розряді залежить від електромагнітних сил, що намагаються стиснути дугу, і від теплових процесів, що відбуваються на робочій поверхні електричних контактів. При знятті потоку з катода електричного контакту швидкість зменшується, а перетин збільшується.

Однак, потоки плазми можуть впливати на тривалість протікання струму через дугу, форму дуги, що впливає на спосіб її руху. Наприклад, потрапляння парів композиту в потоки плазми сприяє зниженню температури, що саме відбувається з композитом оксиду кадмію та срібла.

Така поведінка плазмових потоків впливає на умови стабільності горіння або гасіння дуги, що також призводить до різних видів електричного зносу контактних систем і розвитку ерозій на робочій поверхні контактів.

Таким чином, процеси в електродних ділянках забезпечують перехід від високотемпературної плазми (стовп дуги) до робочої поверхні електричного контакту (катода) і викликають високу інтенсивність ерозії катода, при якій катод електричного контакту остаточно припиняє виконувати свої функції і руйнується.

При аналізі розвитку дугового розряду та подальшого горіння дуги було виявлено, що ці процеси сприяють розвитку ерозії та руйнування робочої поверхні електричних контактів, а також втрати працездатності інших електричних систем.

При гасінні дуги змінного струму, якщо дуги не було, можуть виникнути перенапруги. Роль дуги полягає в забезпеченні зв'язку з моменту розмикання електричних контактів до проходження струму через нуль, коли електромагнітна енергія стає нульовою. Це створює сприятливі умови для гасіння дуги.

При порівнянні всіх процесів стає зрозуміло, що, з одного боку, виникнення електричної дуги і тривалість її горіння негативно впливають на роботу як електричних контактів, так і всього електричного пристрою. З іншого боку, дуга схожа на перетворювач енергії, що обмежує перенапруги в ланцюзі, які викликають аварійну ситуацію.

Тому необхідно знайти рішення для збільшення дугового опору електричних контактів шляхом збільшення швидкості руху опорної точки дуги робочої поверхні контактів до тих пір, поки не зникне ризик перенапруги в ланцюзі.

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

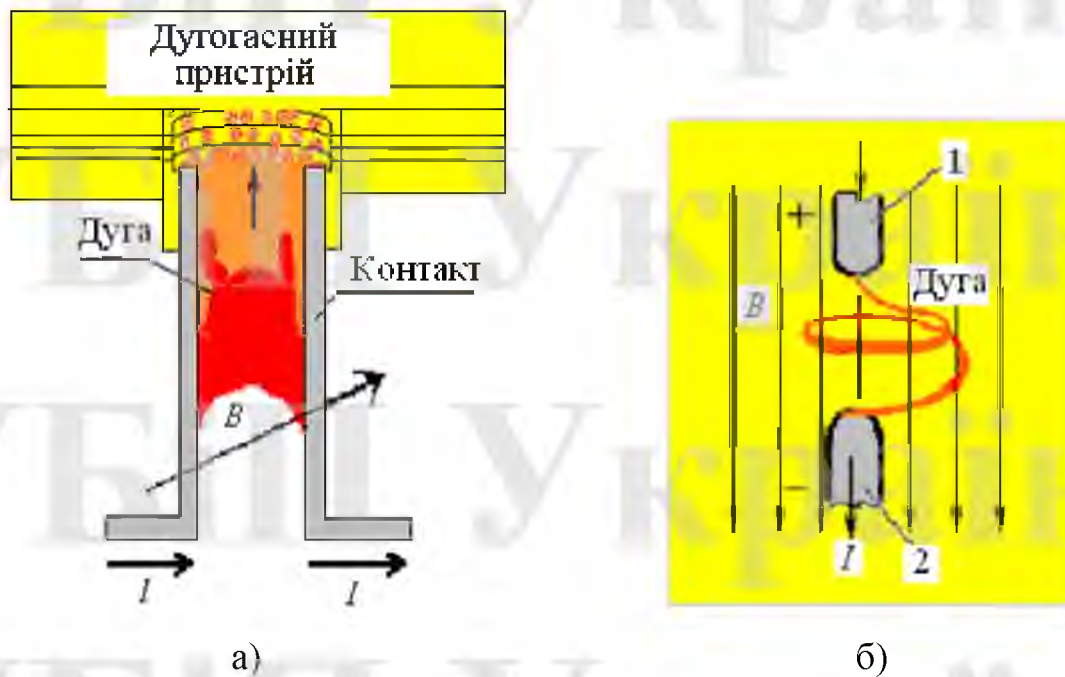
2.2.4 Вплив магнітного поля на переміщення основи електричної дуги по робочій поверхні контактів

Вплив магнітного поля змінює форму дуги і призводить до її переміщення в просторі. За цим принципом побудовані дугогасні пристрої комутаційних електроприладів.

Розрізняють чотири основні типи руху дуги в магнітному полі [44, 46 – 48]:

- Поперечне;
- Поздовжнє;
- Радіальне;
- Власне вихрове поле.

В основному на переміщення дуги вздовж електродів електричних контактів в електричних комутаційних апаратах впливає поперечне або поздовжнє магнітне поле.



Малюнок. 2.2.4.1

Рух дуги в:

- а) поперечному магнітному полі;
- б) поздовжньому магнітному полі.

1 – анод; 2 – катод.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У поперечному магнітному полі дуга рухається поступально, паралельно електродам електричних контактів під впливом магнітного поля, перпендикулярного до стовпа дуги. Потoki плазми викликають відхилення дуги під дією магнітного поля. В результаті дуга зазнає фрагментарної зміни руху і форми, що сприяє утворенню нових опорних точок на поверхні електричних контактів.

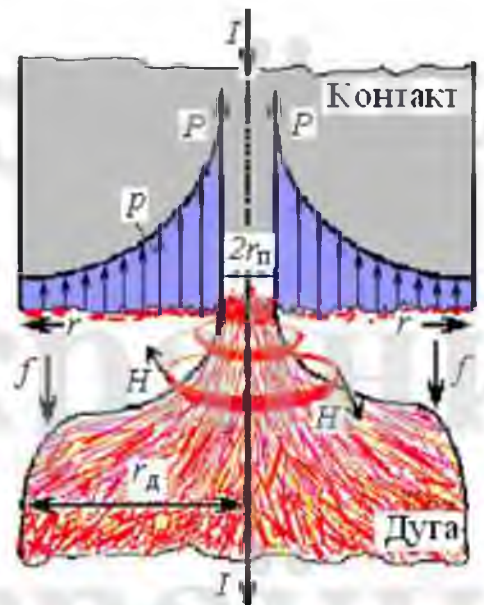
При русі дуги в поздовжньому магнітному полі напрямком струму в дузі і магнітного поля збігаються. Такий рух дуги дуже нестійкий і пов'язаний з появою двох плазмових струмів, а саме анода і катода, які обертаються навколо осі. В результаті під дією сил реакції, що утворюються в магнітному полі, поле дуги змінюється, і дуга закручується в спіраль. Утворені потоки плазми впливають на розмір катодної плями, а саме зменшуючи її діаметр і збільшуючи величину сили реакції.

Крім дії сили реакції від магнітного поля на робочу поверхню електричного контакту, створюється тиск ще й дією магнітних силових ліній, так званих базових сил зазору. Оскільки плазмові струми складаються із зарядів, їх дію на електроди електричних контактів здійснюється магнітним полем.

Крім того, що магнітне поле впливає на розподіл силових ліній і тиск на поверхню електричного контакту, воно також впливає на розвиток електродних процесів. Це змінює траєкторію заряджених частинок. Магнітне поле, яке впливає на рух частинок, обертає їх навколо силової осі і може повертати частинки до катода електричного контакту або дуги.

Найбільший вплив магнітного поля проявляється, коли воно розташоване паралельно поверхні електрода електричного контакту.

Магнітне поле впливає не тільки на розподіл магнітних силових ліній, що створюють тиск на робочу поверхню електричних контактів, а й на розвиток



Малюнок. 2.2.4.2
Опорна точка дуги та її параметри

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

електродних процесів, внаслідок чого змінюються траєкторія частинок і форма плазмових потоків.

Ці особливості магнітного поля необхідно враховувати при розробці системи контактно-дугового гасіння електроапарату з урахуванням взаємодії з електричною дугою.

Найпростіший спосіб гасити електричну дугу - механічне її розтягування. Довжина дуги і її температура зменшуються за рахунок тепловіддачі, але, на жаль, ерозія робочої поверхні контакту практично не зменшується.

Більш ефективний спосіб гасіння дуги досягається при використанні систем гасіння дуги з магнітним дуттям [10 – 17, 21, 39, 45, 46], які представляють собою сітку зі сталевих пластин, що використовуються в автоматичних вимикачах. В результаті стовп дуги під дією електромагнітних сил і теплового потоку рухається до решітки, розривається на ряд коротких дуг і гасне. При такому способі гасіння електричної дуги ступінь термічної іонізації дуги знижується, але цей спосіб збільшує розміри електроприладів і закономірно призводить до витрати елементів складу дугогасних пристроїв. І знову залишається проблема руйнування робочої поверхні контактів через ерозію.

Для гасіння електричної дуги в конструкціях дугогасних пристроїв запропоновані суміші з використанням газовиділяючих сполук, що сприяє зниженню температури і підвищенню тиску в зоні дугового розряду, що зменшує час її існування [12 – 14]. Але навіть у цьому випадку, на жаль, проблему руйнування робочої поверхні контактів вирішити неможливо.

Більшість прикладних і фундаментальних досліджень ерозії робочої поверхні контактів, а також розвитку дугового розряду, який при взаємодії з процесами в при електродних областях переходить в електричну дугу в між контактному проміжку, присвячена вивченню процесів в його при катодній області і на поверхні катода електричного контакту [49 – 54].

Це говорить про те, що вирішення проблеми, пов'язаної з причинами ерозії робочої поверхні електричних контактів, необхідно починати з теорії розвитку і взаємодії процесів, що відбуваються на робочій поверхні аж до утворення

електричної дуги при розходженні контактів. Необхідно враховувати можливий прояв властивостей елементів сумішей під час їх експлуатації.

Таким чином, очевидно, що необхідно шукати інші шляхи та рішення, які зменшують ерозію робочої поверхні електричних контактів без використання токсичних елементів у композитах та без збільшення розмірів як контактних систем, так і комутаційних електроприладів. Одним з таких рішень є активація робочої поверхні контактів.

										Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Розділ 3. Спеціальна частина

3.1 Особливості контактів комутаційних апаратів

Тепловий процес, що відбувається між контактним зазором і робочою поверхнею електричного контакту, змінює структуру складових елементів, ці структури визначаються фазовими перетворюваннями та відповідними хімічними реакціями, що керують термодинамічними процесами, що визначають функцію стану системи.

Фазова зміна складу електричного контакту відбувається відповідно до температури, яка змінюється в різних точках робочої поверхні електричного контакту.

Фазові переходи можна розділити на дві категорії:

- Під час першого типу фазового переходу ентальпія H змінюється стрибком. Характеристикою цієї зміни є прихована теплота перетворення елемента, яка визначає тепло, що виділяється новим компонентом.
- При другому типі фазового переходу ентальпія різко зростає і досягає кінцевого значення. Враховуючи, що зміна значення ентальпії ΔH може поглинати або виділяти тепло, якщо ΔH негативне, теплота виділиться в процесі, інакше вона поглинатиметься.

Зміни вільної енергії ΔF та ентальпії ΔH відбуватимуться зі збільшенням термодинамічного потенціалу.

При подальшій роботі електричних контактів в комутаційному електрообладнанні робоча поверхня рухомого та нерухомого контактів буде все частіше та частіше розплавлятися, внаслідок чого частини складу випаровуватиметься в навколишнє середовище. На цій основі можна безпосередньо вивчати і спостерігати за визначенням необхідної температури використовуваних компонентів, що входять до складу електричних контактів, з урахуванням основних параметрів, що сприяють зміні параметрів та властивостей матеріалу.

									Арк.
									41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Барій характеризується низькою температурою випаровування, тобто активуючі добавки на основі Барій добре взаємодіють з нікелевими тугоплавкими компонентами, утворюючи різні фази, що сприяє підвищенню дугостійкості робочої поверхні контакту під час роботи.

Важко визначити відсоток елементів, оскільки деякі з них мають високу гігроскопічність, а деякі добавки мають дуже активні хімічні реакції і їх важко додати до складу. Довгий час опорна точка дуги може перебувати на робочій поверхні контакту до моменту, коли компоненти на частині поверхні повністю згорять.

Беручи до уваги всі дослідження, найкращим вибором є суміш, що містить в складі активний інгредієнт, що має гідроксильну групу. [55 – 57]

3.2 Металокерамічні суміші для контактів комутаційних апаратів

Склад електричних контактів має неоднорідну структуру, з різними гранями кристалітів і полями контактної різниці потенціалів.

Для отримання всіх необхідних властивостей і параметрів, а саме твердості та щільності, у складі електроконтактної суміші на контактних зразках після пресування проводять подвійне спікання та подвійне калібрування.

Технологія отримання твердих дисперсійних структур електроконтактних контактах з активуючими добавками не є складною. Іншими словами, такий тип контакту можна виготовляти, без використання додаткового спеціального обладнання.

Для вивчення фізичних властивостей компонентів електричних контактів необхідно використовувати з використанням каталогів, ДСТУ тощо.

Для дослідження сполук і визначення хімічної сумісності використовуються аналітичні методи, але це може призвести до деяких труднощів у визначенні діючих речовин за допомогою рентгеноструктурного аналізу. Оскільки вміст активних інгредієнтів у складі дуже малий, провести дослідження сумісності властивостей елементів хімічними методами буде важко, тому необхідно збільшувати їх відсотки, але це дає неточні результати в експерименті.

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зміни хімічних властивостей елементів у складі метод визначення фазового складу є орієнтовним і основним.

Велика кількість експериментів з виготовлення електроконтактних композицій підтвердила, що хороші характеристики активності компонентів на основі Барію поєднуються з характеристиками Нікелю. Також це може бути пов'язано з активацією Нікелю, тобто накопичення активних компонентів на межі нікелю збільшується, а компоненти зміцнюються. Опорна точка дуги знаходиться в положенні активованого нікелю замість срібла, що збільшується його дугостійкість.

Підтверджено також особливий знос робочої поверхні контакту під час випробування, а також спостерігається рівномірний і дрібнозернистий знос цих поверхонь. Це можна пояснити ефектом роботи в складові електричного контакту, яка базується на особливих характеристиках тепловиділення елемента, що залежить від роботи виходу електрона та його здатності зменшувати роботу виходу всієї суміші. Але при активації та підвищенні температури кількість атомів, які перескакують з одного вузла решітки в інший вузол решітки, збільшується, збільшується енергія, і електрони потрапляють в навколишній простір, щоб долаючи потенційний бар'єр. Завдяки активації Нікелю точка відліку знаходиться в активній частині короткий час і при певній температурі (750 ... 850 С).



На цих зображеннях можна побачити зовнішній вигляд, за допомогою спеціальної установки в режимі Ivvim робоча поверхня контакту має різну зносостійкість (12 штук у 4 партіях). = 25А; Івімке. = 2,5 А; ультрафіолетове світло. / Відхід = 380 В. У порівнянні з традиційним складом промислових зразків (який має сліди безперервної глибокої ерозії та випаровування складу) знос по всій поверхні рівномірний (у складі, що містить активовані добавки).

Малюнок. 3.2.1

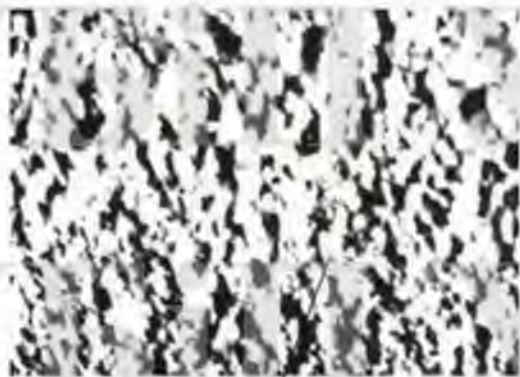
Зовнішній вигляд контактів після випробувань

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

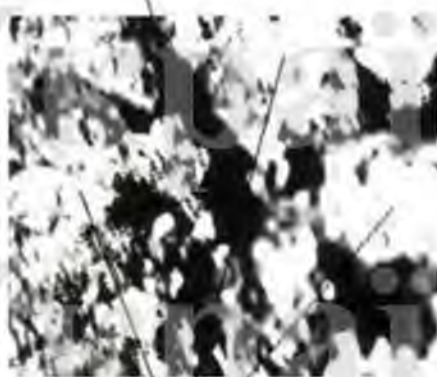
Арк.

43

Ділянки глибоких кратерів



Рівномірний дрібноточковий рельєф



Ділянки оплавлення складу

а) активований склад на основі $\text{AgNi} + \text{Ba}(\text{OH})_2$ б) неактивований склад на основі AgNi

Малюнок. 3.2.2

Макроструктура поверхні електричних контактів
(твердої дисперсності) після випробувань.

Вибраний активний компонент активує тугоплавкий елемент електроконтактної суміші в багатофазній системі, де температура активації нижче температури плавлення. Тому зношування всього складу електроконтакту знижується, зменшуючи ерозію його робочої поверхні внаслідок активації.

За період від початку виробництва контактної композиції до її повної експлуатації показаний метод дослідження дозволяє визначити оптимальну структуру електроконтактної суміші для комутаційного електрообладнання.

Склад електричного контакту має основні характеристики:

- Кожен контакт складається з трьох компонентів (срібло + нікель + активаційні добавки на основі барію), які не містить токсичних елементів;
- На макромасштабі отриманий склад є однорідною фазою, на мікромасштабі – неоднорідною, межі кожної фази розділені;
- Взаємодія компонентів змінює фізико-хімічні властивості чистого металу характерних елементів;
- Відсоткове співвідношення складових елементів електричного контакту може змінювати фізичні властивості та впливати на роботу виходу електронів з

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

поверхні, що забезпечується різницею в кристалічній решітці та нерівномірною емісійною структурою робочої поверхні електричного контакту;

- Згідно з фізико-хімічними властивостями, методами та технологічними умовами, склад отриманої електроконтактної суміші не є природним, а виробляється в процесі виробництва.

Отримані зразки складу з активованими компонентами порівнювали з існуючими композиціями, які використовували для перемикання електрообладнання за стандартами та технічними умовами. [55, 58, 59]

3.3 Перспективи прогресивних металокерамічних композицій для контактів комутаційних апаратів

Отримані зразки пройшли багато досліджень і випробувань, розроблено технологію виготовлення, визначено багато комутаційних пристроїв, які можуть використовувати отримані електричні контакти.

Основною експлуатаційною характеристикою є основний параметр - питома швидкість ерозії, тобто маса композиції, винесена за одиницю часу на одиницю заряду, кг/Кл.

Знос зразка вимірювали методом зважування зразка до і після випробування, визначались падіння напруги під час циклу перемикання ланцюга та час існування дуги на робочій поверхні електроконтакту. В якості розрахункових параметрів контактної системи - зазор, провал, контактний стиск. [58]

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Технологія виготовлення металокерамічних контактних накладок для обслуговування комутаційних пристроїв

Зразок випробуваний в найскладнішому режимі контактора АС-4 і номінального струму контактора -100А.

Зразки тестуються за такими параметрами схеми:

- Номінальний робочий струм-16 А;
- Номінальна робоча напруга-380 В;
- Струм включення/вимкнення (IN)-96 А;
- Вхідна напруга - 380 В, частота перемикачів - 1200 разів/год.

Перед тестуванням визначаються основні параметри контактора, що контролює провал, а саме: зазор, розчин і контактний тиск.

Для перевірки ефекту зразок виготовляють діаметром 7,5 мм і висотою 3,0 мм. З метою економії елементів електричних контактів та енергетичних компонентів замість промислових зразків обрано наступні розміри.




За розглянутою вище методикою була виготовлена контактна площадка з грубо подрібненого металевго порошку із збереженням техніко-механічних параметрів, а саме відповідності твердості та щільності складу. Використовували мікроскопи МІМ-8 і ФМН-2 для визначення мікроструктури та зовнішнього вигляду робочої поверхні.

Проводили експеримент, щоб визначити:

- Вплив активації на всьому об'ємові контакта;
- Знос, при виконанні невеликої кількості циклів перемикачів;
- Корозійний характер робочої поверхні електричного контакту і максимальна кількість циклів перемикачів

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати випробувань активованих зразків у контакторі КТ6023Б
(рухомий/нерухомий)

Найменування зразків	AgNi+MeO	AgNi+Me(OH) ₂	AgNi
Кількість циклів, тис.	39	39	37
Середній питомий знос, г / цикл · 10 ⁻⁵	0,20 – 0,28	0,09 – 0,23	0,28 – 0,76
Падіння напруги, мВ	1 – 3	0,05 – 1,5	2 – 8
Робоча поверхня після випробувань на комутаційний знос			

Результати показали, що специфічні властивості зносу та ерозії активованих та дезактивованих зразків у контакторі були різними. Зразки без активованих компонентів зносились до контакто-тримача і випробування було зупинено, тому результати зразків, що містять активні компоненти, були розглянуті набагато краще.

Оскільки належного розміру контактів не витримано, то ці тести не можна назвати важливими, але через наявність магнітного дуття ефект активації всього об'єму контактів ефективний.

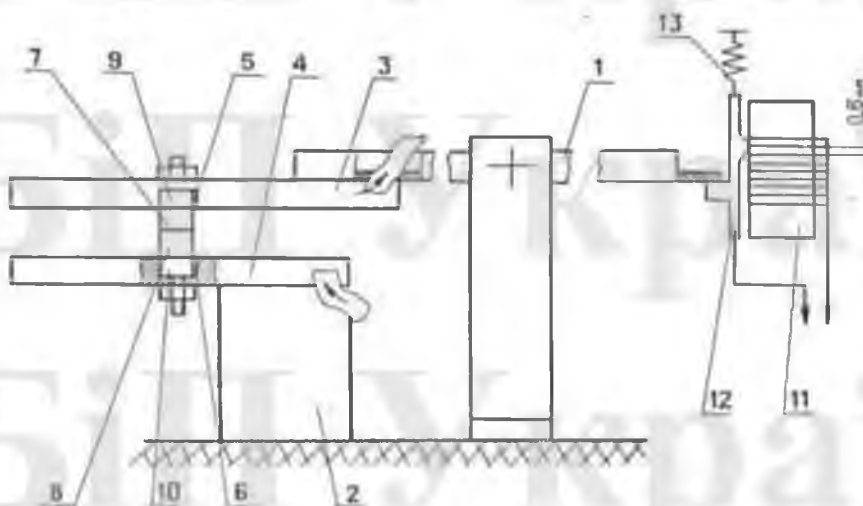
Теорія та результати роботи зразків електричних активованих контактів однакові, для цього типу контакторів можна використовувати суміш для активації електроконтактів, але вона повинна бути виготовлена за необхідними технічними характеристиками та розмірами.

Технічні параметри, що визначають працездатність електричних контактів автоматичного вимикача:

- Комутаційний знос перемикача;
- Гранична комутаційна здатність (здатність комутаційного пристрою відключати максимальне значення струму комутаційного кола при заданих умовах: напруга, кількість циклів, постійна часу тощо).

Знос вимикача та ПКС були випробувані для імітації роботи вимикача, сила струму 250-400 А, імпульс струму ПКС: 3,7; 7,3 та 10,5 кА.

Пристрій складається з поворотної частини 1 і кріпильної рамки 2, а на кріпильній рамі встановлені контактні кронштейни 3 і 4 з дугогасильними рогами. Контактотримач має пази 5 і 6, в яких змінні контакти 7 і 8 є експериментальною сумішшю електричних контактів. Контактні деталі 9 і 10 розташовані в пазах тримача контактної частини, а контактні частини приварені до контактної частини в місцях з'єднання 5 і 6 і виступають над тримачем контактної частини.



Малюнок. 3.4.1

Схема установки для випробування електричних контактів на граничну комутаційну здатність.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

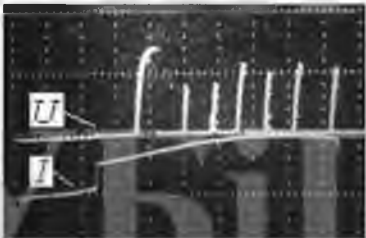

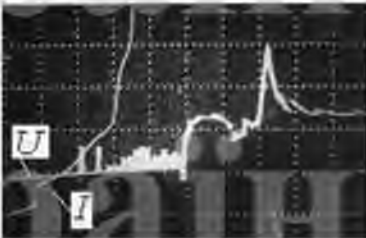



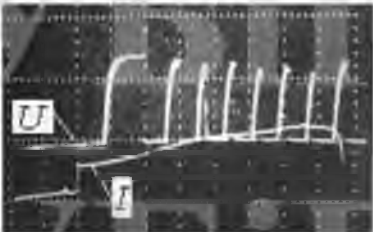




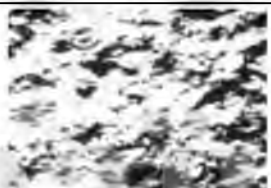
Розмикання контакту відбувається під впливом електрорушійної сили, що створюється струмом між контакто-тримачами. Для реєстрації руху під час руху контакту використовується спеціальний датчик 11. Датчик являє собою дискретний реєструючий пристрій з постійною амплітудою, який може надійно фіксувати зростання струму в ланцюзі живлення рухомого контакту при швидкості розмикання 4-10 м/с та приблизно 106-107 А/с. Повзунок 12 датчика приводиться в дію за допомогою поворотної пружини 13, яка також забезпечує контактний натиск. Період пульсу 0,6 мм. Датчик живиться від джерела живлення 4,5 В постійного струму.

Перевірка проводиться на електричних контактах з однаковим складом та різними складами. Склад суміші з активуючого компонента мають однакову назву. Контакткування контактів промислового зразка здійснюється на різних типах контактів відповідно до технічних умов і ГОСТ 19725.

Робота зразка електричного контакту в основному залежить від роботи системи дугогасіння, яка змушує хоча б незначне магнітне дуття перемістити дугу в нову точку, процес може заглибитися в контакт і закінчитися тільки тоді, коли вся суміш буде повністю зруйнована, але цей процес ще не повністю зрозумілий.

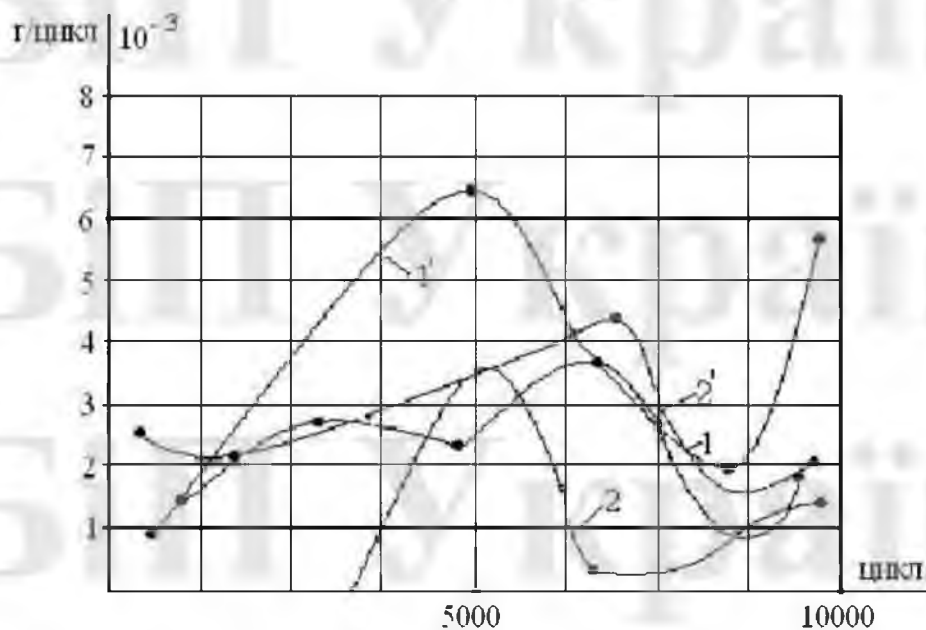
						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати випробувань електричних контактів на установці, що імітує роботу автоматичних вимикачів (Масштаби осцилограма напруги, струму, часу: $M_U = 40 \text{ В} / \text{справ}$; $M_I = 1,5 \text{ кА} / \text{справ}$; $M_t = 1 \text{ мс} / \text{справ}$); τ_d -час горіння дуги, мс; l_k відстань між контактами, мм; h_k - висота контактів, мм; γ - середня питома зносу, г / цикл)

Наявність системи дугогасіння		
Без магнітного дуття	З системою магнітного дуття	
Значення максимуму імпульсів струмів I_m , кА		
3,7	7,3	10,5
Промислова композиція контактних пар КМКА30 / КМКА10м		
 <p>$\tau_d = 7$; $l_k = 4,4$ $h_k = 3,7$; $\gamma = 0,1055$</p>	 <p>$\tau_d = 3,4$; $l_k = 4,2$ $h_k = 3,07$; $\gamma = 0,1732$</p>	 <p>$\tau_d = 2,2$; $l_k = 2,4$; $h_k = 2,85$; $\gamma = 0,1511$</p>
		
Композиція з активною складовою		
 <p>$\tau_d = 7,6$; $l_k = 5,1$; $h_k = 3,7$; $\gamma = 0,0482$</p>	 <p>$\tau_d = 4,0$; $l_k = 6,4$; $h_k = 3,6$; $\gamma = 0,1125$</p>	 <p>$\tau_d = 3,0 \text{ мс}$; $l_k = 8,2 \text{ мм}$; $h_k = 3,9$; $\gamma = 0,1237$</p>
		

Показано різні результати щодо зношування робочої поверхні. Хоча дугоподібна контрольна точка існує на робочій поверхні довше, зношування активної добавки на робочій поверхні менш чутливе, ніж без неї. За допомогою мікроскопа видно, що неактивований зразок на робочій поверхні дуже розплавлений і складається з характерних кратерів розміром 0,2-0,7 мм, зі спаленими краями, і активованого компонента на робочій поверхні. Мікро кратер має 0,045-0,09 мм, без сплавленого краю, що доведено металографічними дослідженнями. [55, 58, 59]

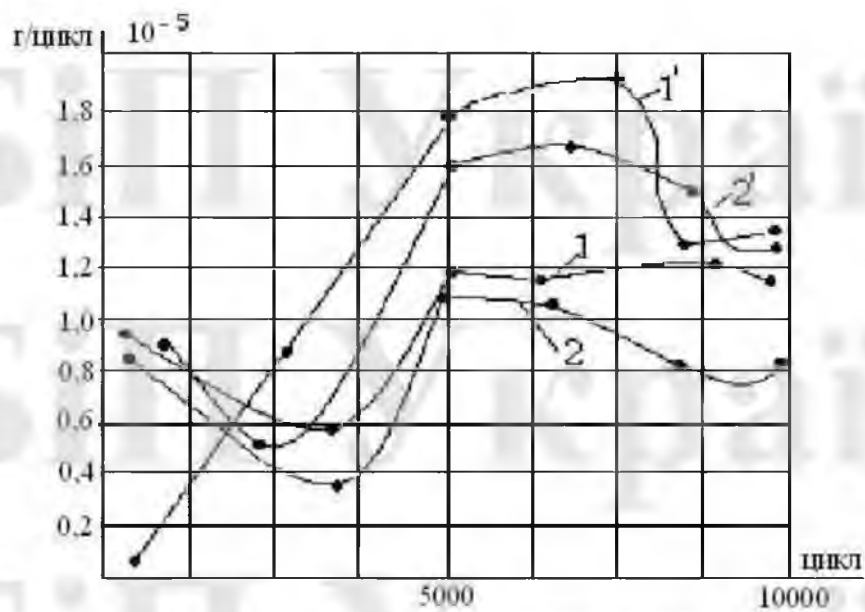
Можна помітити переваги зразків з активними інгредієнтами, а робоча поверхня має рівномірний дрібний точковий рельєф.



Малюнок 3.4.2 Дугувий знос контактів

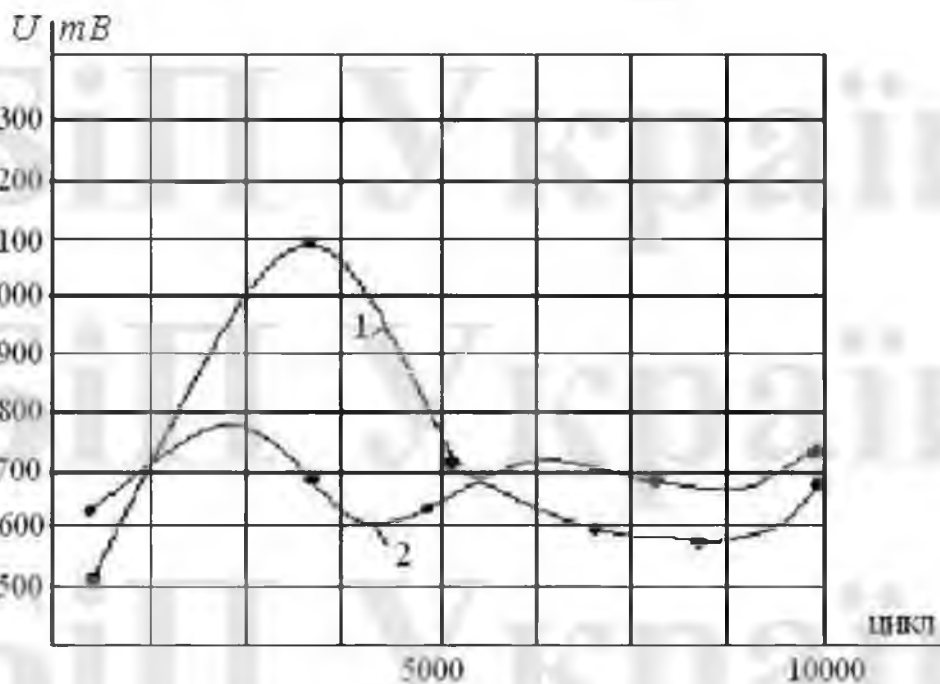
КМКА30м / КМКА10м (1' - рухомий контакт; 2' - нерухомий контакт);

Контакти * (1 - рухомий контакт; 2 - нерухомий контакт).



Малюнок 3.4.3 Дуговий знос контактів

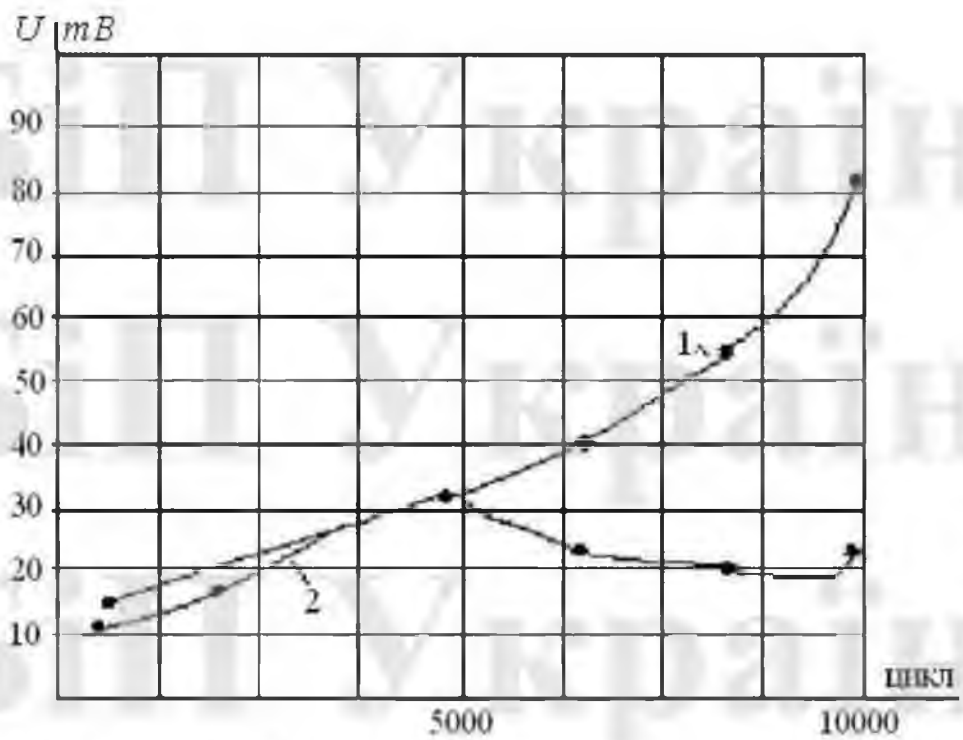
КМКА30 /КМКА10м (1' - рухомий контакт; 2' – нерухомий контакт); Контакти з різною активуючою добавкою (1 – рухомий контакт; 2 – нерухомий контакт).



Малюнок 3.4.4 Падіння напруги на контактах композицій

1 – КМКА30м/КМКА10м; 2 – контакти з різною активуючою добавкою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Малюнок 3.4.5 Падіння напруги на контактах композицій

1 – КМКА30/КМКА10м; 2 – контакти з різною активуючою добавкою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розділ 4. Обслуговування та ремонт комутаційних апаратів

4.1 Ремонт рубильників



Малюнок. 4.1.1
Рубильник РБ-1 100 А

Ремонт контактного ножа. Якщо товщина контактного ножа менше 2 мм (для вимикача 250 А) і менше 2,75 мм (для вимикача 600 А), контактний ніж необхідно замінити.

Сажу і вапняний наліт на контактному лезі потрібно видалити серветкою, змоченою в бензині. Використовуйте невеликий напилек, щоб видалити наплив і бризки металу. Після

зачистки товщина ножа повинна бути не менше зазначеного вище значення.

Прогин ножа визначають щупом, а саме кладуть ніж на вимірювальну пластину, розправляють її і вимірюють зазор між ножем і пластиною. Молотком і мідним молотком розправте зігнутий ніж вимикача, а потім виміряйте зазор між випрямленим ножем і мірною пластиною. Якщо вигин не перевищує 0,1 мм, ніж можна встановити на вимикач.

Ремонт нерухомих контактів. Металеві напливи і бризки на поверхні нерухомих контактів видаляються напилком з невеликою насічкою. Використовуйте серветку, змочену в бензині, щоб видалити сажу і вапняний наліт.

Якщо різьблення в гвинтовому отворі дугогасної камери зламано, відповідно до розміру пошкодженої різьби, свердлом діаметром 3,3; 4,2; 5,0; 6,7; 8,5 мм підбити пошкоджену різьбу; і нарізати в різьбу М4, М5, М6, М8 і М10 в отвори.

Газовим пальником з міддю заварюють отвори з обірваною різьбою під шурупи для кріплення нерухомих контактів і стійок до пластини. Зона заварювання очищається напилком і просвердлюється новий отвір, в який мітчик нарізає різьбу номінального розміру.

										Арк.
										54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Ремонт ізоляційних плит. Сліди дуги на поверхні ізоляційної пластини між полюсами вимикача зачищають скребком або шліфувальним кругом для видалення обвугленого матеріалу. Очищену поверхню продувають стисненим повітрям і знежирюють уайт-спіритом. Потім на очищену ділянку наноситься шар бакелітового лаку і сушиться в сушильній шафі 3-4 години при температурі 333-343 К (60-70 °С) або 24 години при кімнатній температурі.

При відсутності бакелітового лаку пошкоджену ділянку ізолюють клеєм БФ-2. Для цього нанесіть шар клею і просушіть при кімнатній температурі 1,5 години, потім нанесіть другий шар клею і просушіть. Встановіть панель у сушильну шафу та сушіть при 373 К (100 °С) протягом 40-60 хвилин.

У разі згоряння, деформації або руйнування нова панель виготовляється з текстоліту або гетинаксу за розміром тої яка вийшла з ладу. Поверхня виготовленої панелі покривається бакелітовим лаком, приділяючи особливу увагу ізоляції торців. Після нанесення лаку панель висушити в духовці при температурі 333-343К (60-70°С) протягом 3-4 годин або при кімнатній температурі протягом 24 годин.

Огляд та випробування вимикачів після ремонту.

Перевірити правильність входження ножів у губки нерухомих контактів. Ножі повинні проникати в губки одночасно і без нахилу. У разі несумісності послабте гвинти або болти, які кріплять нерухомі контакти та петлі до панелі керування, увімкніть перемикач, а потім затягніть гвинти чи болти, які кріплять нерухомі контакти та петлі до губок.

Перевірте якісь з'єднання контактів, між рухомими ножами вимикача і губками нерухомих контактів. Щуп товщиною 0,05 мм не повинен проходити 1/3 довжини контактної лінії. При необхідності регулюють прогин губок контактних з'єднань.

Мегомметром 500 В вимірюється опір ізоляції вимикача між усіма підключеними струмоведучими частинами та частинами, які підлягають заземленню. Також вимірюється опір ізоляції між фіксованими стійками та ножами кожної фази, коли перемикач знаходиться у положенні ВИМКНЕНО, та між полюсами, коли перемикач знаходиться у положенні ВВИМКНЕНО. Опір ізоляції повинен бути не менше 50 МОм при температурі 293 К (20 °С).

									Арк.
									55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

4.2 Ремонт магнітного пускача



Малюнок. 4.2.1
Загальний вигляд магнітного пускача

Починається ремонт магнітного пускача із зовнішнього огляду. Зовнішній огляд включає огляд корпусу та кріплення на наявність тріщин і сколів. При виникненні тріщин на кріпленнях – це впливає на шум його роботи, а також якщо пускач відламається під час роботи, а його конструкція «жаба», то є ризик, що він ввімкнеться в ланцюг.

Також варто перевірити пускач на забруднення. Якщо в корпусі присутня велика кількість пилу, масла, слідів рідини та інших агресивних елементів, слід переглянути захист стартера від агресивного впливу навколишнього середовища. Підвищити захист від пилу та вологи. Якщо цього не станеться, змійовик в стартері, описаний нижче, швидко осушить і виходить з ладу, а металеві частини покриються корозією.



Малюнок. 4.2.2 Контактні групи

В основному обслуговування і ремонт магнітного пускача зводиться до контактної групи. Щоб їх перевірити, потрібно зняти захисну кришку, і звернути увагу на контактну групу. Якщо є невеликі плями, їх слід видалити металевою щіткою (краще латунною) або шкіркою з дрібними частинками. Як видно на фото, окислення немає. Це означає, що обраний спосіб захисту пускача від корозійного впливу навколишнього середовища є правильним.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Якщо металеві деталі мають ознаки окислення, почорніння, іржі, то в цьому випадку потрібно чітко переглянути спосіб установки стартера. Точніше, встановіть його в більш захищений від пилу та вологи корпус. Потім перевірте контактну групу на наявність диму, пилу та осаду. За ступенем пошкодження контактної групи вирішується ремонт або заміна.

На фото контакти після короткого замикання. Два вийшли з ладу і потребують заміни.

Технічне обслуговування контакторів і магнітних пускачів зазвичай обмежується обслуговуванням контактних груп. Це робиться шляхом видалення нагару з контактної поверхні. Якщо при огляді виявлені раковини на поверхні, ці ділянки слід вирівняти за допомогою невеликого плоского напилка.

Це відбувається в тій же площині, що й контактні майданчики нерухомих контактів. Для досягнення найкращих результатів ви можете зачистити дві контактні поверхні на рухомому та нерухомому контакті.

У всіх цих операціях не рекомендується використовувати наждачний папір або миючі засоби, оскільки в цьому випадку буде важко зробити контактну поверхню рівною. Не дотримка рівня означає зменшення площі контакту, що в свою чергу призводить до перегріву і виходу з ладу магнітного пускача. Слід розглянути не тільки основні, а ще й допоміжні контактні групи.

Після ремонту електромагнітного пускача спробуйте вручну натиснути на якір. Якщо є закушування або повільне повернення пружини, розберіть та складіть пускач знову, або замініть пружину.



Малюнок. 4.2.3 Несправні рухомі контакти

4.3 Ремонт автоматичного вимикача

Під час поточного технічного обслуговування автомата, видаляються бруд, дим і оксидна плівка на контактах. Поверхню контакту яка була пошкоджена дугою і оплавлена очищають напилком, щоб видалити з контакту найменшу кількість міді та зберегти первісну форму. Також очищають від пилу, бруду та старого масла.

Особливу увагу слід звернути на перевірку стану дугогасного пристрою машини, оскільки при частих зупинках через безперервний вплив високої температури дуги на контакти та пластини решітки їх знос відбувається найшвидше. При огляді дугогасного пристрою м'якою дротяною щіткою видаліть кіптяв і бруд на решітці, щоб не пошкодити тонкий мідний шар на сталевій пластині, тим самим захистивши їх від корозії.

Часті цикли включень/відключень автоматичного вимикача часто порушують затягування гвинтів і регулювання автоматичного вимикача. При технічному обслуговуванні перевіряють міцність кронштейна і правильність взаємодії всіх частин механізму автоматичного вимикача, де рукоятка вручну вмикається і вимикається кілька разів, спостерігаються пружини, «ламаються» важелі закинуті за «мертву точку», та інші частини механізму. Всі частини механізму повинні функціонувати без заклинювання і чітко вмикати або вимикати автоматичний вимикач. При необхідності підтягніть кріплення і відрегулюйте механізм. Під час ремонту автоматичного вимикача забороняється підпилювати деталі регульовального механізму, знімати кришку та змінювати заводську настройку розчіплювача.

Всі деталі які труться, після регулювання змащуються тонким шаром вазеліну. Також перевіряється міцність кріплення рухомих контактів на валу та працездатність ізоляції, ослаблені кріплення підтягують, а пошкоджену ізоляцію замінюють на нову з електротехнічного картону.

При ремонті блоків управління їх демонтують і ретельно очищають від бруду і струмопровідного вугільного пилу. Контактні поверхні очищають наждачкою від шарів оксиду і сажі. Трохи оплавлені контакти підпилюють напилком, щоб не змінилася їх первісна форма і не зменшилася міцність контактів.

									Арк.
									58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

4.4 Тепловізійний контроль

Одним із найпопулярніших методів оцінки стану електроприладів, електричних апаратів, технічного обладнання, будівель і споруд є **тепловізійний контроль**.

У багатьох сферах електроенергетики спостерігається тенденція відмовитися від планового технічного обслуговування обладнання і натомість виконувати технічне обслуговування на основі реального стану. Цей перехід потребує розробки та впровадження сучасних методів діагностики технічного стану електрообладнання.

Використовуючи тепловізор для регулярних перевірок, ви зможете чітко вказати, що ваше обладнання є без проблем і працює справно. Як і будь-які збої, які виявляють та усувають на ранніх стадіях, це зазвичай може заощадити багато бюджету організації та уникнути надзвичайних ситуацій.

Результатом огляду є технічний звіт, що містить протокол (або термограму), а також рекомендації щодо усунення виявлених дефектів та подальшої експлуатації об'єкта.

Переваги тепловізійного контролю:

- Будь-яке обладнання, що належить до електричного пристрою, може бути діагностовано, незалежно від його використання, технічних умов та рівня напруги.
- Діагностика проводиться в будь-який момент, без відключення приладу (не заважає електричній системі виконувати свої основні завдання).
- Ви можете отримати більш достовірні результати порівняно з перевіркою обладнання після відключення електроенергії або навантаження.
- Раннє виявлення пошкоджень робочого обладнання – це час підготовки до налагодження несправного обладнання без відключення електроустановки, тим самим скорочуючи час технічного обслуговування.

										Арк.
										59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

При здійсненні тепловізійного контролю на електрообладнанні та повітряних лініях необхідна тепловізійна камера з роздільною здатністю не менше $0,1^{\circ}\text{C}$ і спектральним діапазоном 8-12мкм.

Відповідно до конструкції та умов роботи електрообладнання для оцінки теплового стану електрообладнання визначеними параметрами оцінки є:

- Надлишкова температура;
- Перевищення температури;
- Коефіцієнт дефектності;
- Перевірка динаміки змін температури в залежності від зміни навантаження.

Тепловізійна діагностика електрообладнання виявляє такі види дефектів:

- Стан ізоляції між листами статора генератора;
- Зварювання передньої частини обмотки;
- Перегрів контактного з'єднання;
- Несправний ізолятор;
- Порушення в роботі системи охолодження;
- Порушення внутрішньої циркуляції масла в баку трансформатора;
- Послаблення контактного з'єднання струмоведучих частин;
- Погіршення стану основної ізоляції, вхідної ізоляції та шунтуючих конденсаторів;
- Перегрів контактного з'єднання затискачів;
- Тріщини в опорно-стрижневих ізоляторах, дефекти підвісної ізоляції;
- Пошкоджений шунтуючий резистор;
- Нерівномірний розподіл напруги між елементами мережі;
- Порушення зовнішніх і внутрішніх з'єднань;
- Погіршення внутрішньої ізоляції обмотки, пов'язане з утворенням шламу та інших дефектів;
- Погіршення ізоляції клемного кабельного вводу та кабельного з'єднання;
- Дефекти кріплення.

									Арк.
									60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Дуже важливим моментом при використанні тепловізійного обладнання є фіксація контрольованої області в пам'яті. Деякі електричні системи керуються дистанційно. Це дає можливість зменшити кількість працівників або збільшити радіус зони обслуговування. Через постійний контроль та моніторинг динаміки опалювального персоналу необхідно дотримуватися місцевих інструкцій щодо особливих умов виробництва та їх коригування.

Для кожного типу та частини електрообладнання існує гранична температура, яку необхідно не допускати. Нижче наведена таблиця основних таких допустимих значень.

Але є і невеликі відхилення, тому можна визначити, що якщо температура перевищує допустиму на:

- При 5-10°C. Ступінь початкової відмови. Його необхідно постійно контролювати та ремонтувати якомога швидше.
- При 10-30°C. Розвиток дефекту. Необхідно якомога швидше усунути чергову зупинку або вжити заходів щодо усунення дефекту.
- Понад 30°C. Аварійна несправність, тут слід негайно усунути, оскільки вона може призвести до пожежі або перегорання контактного з'єднання та виходу з ладу всього електричного блоку.

4.4.1 Тепловізор

Відповідно до закону Планка, всі об'єкти, температура яких перевищує абсолютний нуль, випромінюють електромагнітне теплове випромінювання. Спектральна щільність (функція Планка) потужності випромінювання має максимальне значення, а її довжина хвилі залежить від температури в діапазоні довжин хвиль. Положення максимуму в спектрі випромінювання зміщується до менших довжин хвиль із підвищенням температури (закон зміщення Віна). Об'єкти, нагріті до температури навколишнього середовища (-50 .. + 50 градусів Цельсія), мають максимальне випромінювання в середньому інфрачервоному діапазоні (довжина хвилі 7..14 мкм). Для технічних цілей цікавий також температурний діапазон до кількох сотень градусів з діапазоном випромінювання 3..7 мкм.

										Арк.
										61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Температура від тисячі градусів і вище для спостереження не потребує тепловізора, а їх теплове світіння видно неозброєним оком.

Тепловізійний контроль використовує спеціальне обладнання, в тому числі тепловізійні камери, які надають можливості для безконтактного огляду. За допомогою цього пристрою можна отримати теплове зображення об'єкта та відобразити розподіл температури нагріву на поверхні пристрою.

До переваг тепловізора можна віднести:

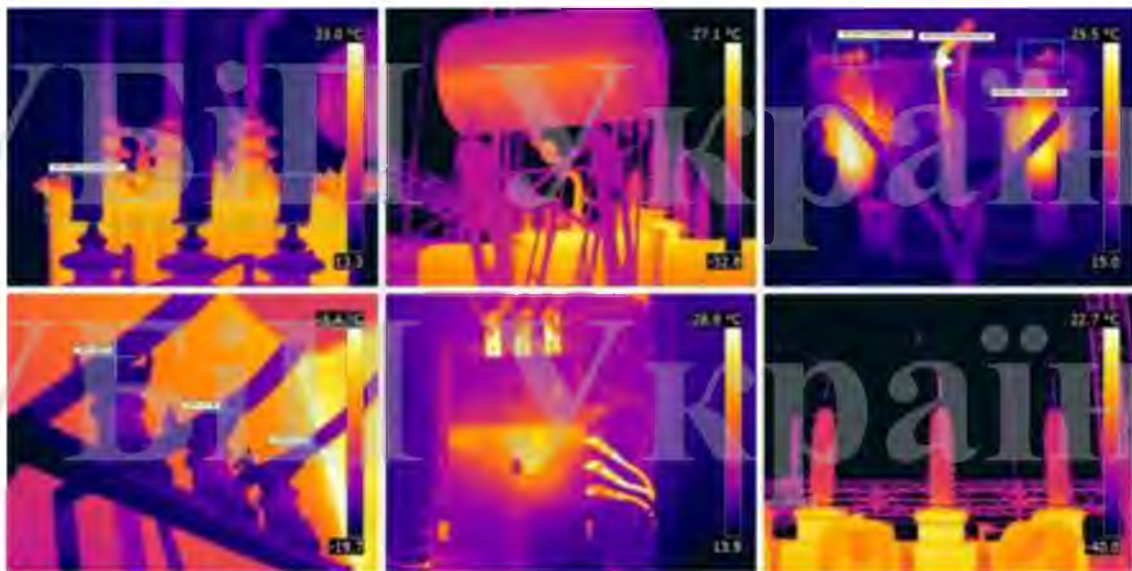
- Безконтактне вимірювання температури поверхні обладнання;
- Можливість діагностики обладнання при експлуатації що не призведе до збоїв, не завадить підприємству виконувати основні завдання та зменшить збитки підприємства через зупинки обладнання;
- Якщо пошкодження і дефекти виявлені на ранній стадії, проблему можна вирішити в найкоротші терміни і з найменшими витратами;
- Можливість створення фотозвіту для подальшого аналізу після вимірювання великої кількості приладів;
- Здатний діагностувати велику кількість електрообладнання;
- Широкий діапазон вимірювання температури.



Малюнок. 4.4.1.1
Тепловізор FLIR E6

Незважаючи на значні переваги, основним недоліком тепловізорів є висока вартість, яка обумовлена складністю виробництва і високою вартістю використовуваних в конструкції комплектуючих.

										Арк.
										62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Малюнок. 4.4.1.2. Зображення електроустаткування отримані за допомогою тепловізора

Технічні характеристики тепловізора FLIR E6:

Табл. 4.1.1.1

ІК дозвіл	160×120 пікселів
Теплова чутливість / NETD	<0,06 °C (0,11 °F)/ <60 мК
Просторове дозвіл (IFOV)	5,2 мрад
Мінімальна відстань фокусування	0,5 м (1,6 футів)
Частота зображення	9 Гц
Фокусування	фокус вільний
Тип детектора	фокальна плоска матриця (FPA), неохолоджуваних мікроболометр
Спектральний діапазон детектора	7,5-13 мкм
Дисплей	3,0 дюйма 320×240 кольоровий РК-дисплей
Картинка у картинці	ІЧ-область на візуальному зображенні
Діапазон вимірювань температур об'єкта	від -20 до + 250 °C (від -4 до +482 °F)
Точність	±2 °C (±3,6 °F) або ± 2 % від показань, температури навколишнього від 10 до 35° C (від +50 до 95 °F) і об'єкта температурі вище 0 °C (+32 °F)
Центральна точка	так
Напруга батареї	3,6 В

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

63

4.4.2 Пірометр

Пірометр - це прилад, який дозволяє безконтактно виміряти температуру точки вимірювання.

Пірометр є більш простим і дешевим пристроєм у порівнянні з тепловізором, який також може виконувати тепловізійний контроль приладів, але він надає інформацію про температуру поверхні в одній точці пристрою, коли тепловізор показує температуру в цілому. Це значно збільшує час, необхідний для перевірки теплового зображення, оскільки кожен вузол необхідно перевіряти окремо.

Пірометри можна розділити за кількома основними характеристиками:

- Оптичні. Зазвичай дозволяється візуально визначити температуру нагрівального тіла шляхом порівняння кольору нагрівального тіла з кольором еталонної електричної нитки металевого дроту в спеціальній лампі розжарювання без використання спеціального обладнання.
- Радіаційні. Використовують індекс потужності теплового випромінювання, щоб оцінити температуру. Якщо пірометр вимірює в широкому діапазоні спектру випромінювання, цей пірометр називають пірометром сумарного випромінювання.
- Кольорові. (інші назви: мультиспектральний, спектральне співвідношення)- дозволяє вимірювати температуру об'єкта на основі порівняння теплового випромінювання різних частин спектра.

За температурним діапазоном пірометри можна розділити на:

- Низькотемпературні. Він має здатність вимірювати температуру предметів при відносно низькій кімнатній температурі, наприклад, при температурі холодильника.
- Високотемпературні. Коли визначення «неозброєного ока» неможливо, оцінюється лише температура дуже гарячих предметів. Зазвичай у верхній межі вимірювання приладу є значна похибка.

									Арк.
									64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

До переваг пірометрів можна віднести:

- Невелика ціна;
- Широкий діапазон вимірювання температури;
- Безконтактне вимірювання температури поверхні.

До недоліків пірометрів можна віднести:

- Відсутність функцій моніторингу та звітності;
- Зі збільшенням відстані від вимірюваного об'єкта точність вимірювання зменшується;
- Дзеркальні поверхні вимірюються не є точно.



Малюнок. 4.4.2.1.

Пірометр Mastech MS6531A

										Арк.
										65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Технічні характеристики Mastech MS6531A:

Табл. 4.4.2.1.

Модель	MS6531A
Диапазон измерения бесконтактным способом	-60...+500 °C / -76...+932 °F
Диапазон измерения термопарой К-типа	-40...+1080 °C / -40...+1976 °F
Точность	±1,5 %
D:S (коэффициент визирования)	12:1
EMS	0,1 - 1
Время отклика	0,5 с
Спектральный диапазон	8 - 14 мкм
Рабочая температура	0...+50 °C
Рабочая влажность	10 - 90 %
Питание	9V Крона
Габариты	176x132x49 мм
Вес	223 г

										Арк.
										66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Розділ 5. Охорона праці

5.1 Електротравматизм та дія електричного струму на організм людини

Електробезпека – це система організаційно-технічних заходів і засобів захисту людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, дуги, електромагнітного поля та статичної електрики.

Аналіз нещасних випадків на виробництві показує, що кількість травм, спричинених ураженням електричним струмом, дуже мала, близько 1%. Однак у загальній кількості нещасних випадків зі смертельним наслідком частка травмованих електричним струмом становить 20-40%, що є одним із перших місць по травматизму. В Україні щороку від ураження електричним струмом гине близько 1500 людей.

Основними причинами ураження електричним струмом на виробництві є:

- Випадковий контакт з неізольованими частинами електрообладнання;
- Використання несправного ручного інструменту;
- Використання нестандартних або несправних ручних ламп напругою 220 або 127 В;
- Відсутність надійного захисту при роботі;
- Доторкнутися до незаземленого корпусу електричної системи, яка заряджена через пошкодження або збій ізоляції;
- Не дотримуватись вимог щодо конструкції, монтажу електричної системи, правил безпеки експлуатації та правил експлуатації електрозахисного обладнання тощо.

Майже все електричне обладнання, яке використовується працівниками на робочому місці, становить велику потенційну небезпеку, оскільки органи чуття людини не можуть визначити наявності напруги на відстані. У зв'язку з цим захисна реакція організму людини проявиться тільки після впливу на людину електричного струму. Струм, що протікає через тіло людини, викличе тепловий, електролітичний, механічний та біологічний вплив на організм людини.

									Арк.
									67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- **Теплова дія електричного струму** може призвести до опіку певних частин тіла, розігрівання кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які протікає електричний струм, викликаючи збої в роботі.
- **Електролітична дія електричного струму** характеризується розкладанням (електролізом) крові та інших органічних рідин, що може призвести до значних порушень їх фізико-хімічних компонентів.
- **Механічна дія електричного струму** наслідок електродинамічного ефекту може викликати пошкодження різних тканин організму (розрив, розшарування тощо).
- **Біологічна дія електричного струму** на живі тканини викликає небезпечне збудження клітин і тканин організму, що супроводжується несвідомими скороченнями м'язових скорочень. Таке збудження може призвести до серйозних захворювань і навіть привести до повної зупинки дихання і кровообігу.

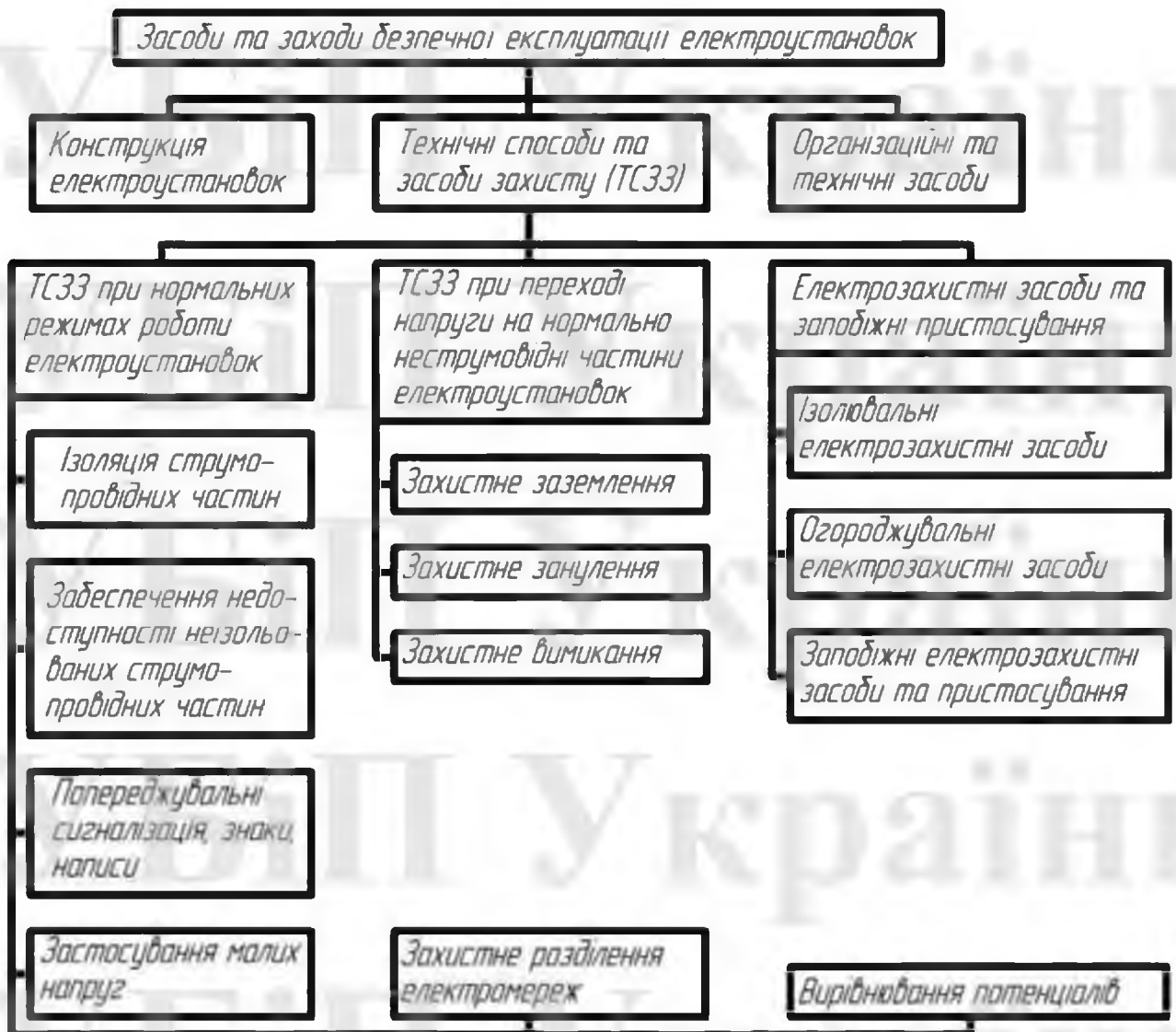
Збудження тканин організму дією електричного струму може відбуватися безпосередньо, якщо струм проходить через ці тканини, і рефлекторно (якщо тканини не знаходяться на шляху струму) через центральну нервову систему.

5.2 Системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок

Безпечна робота електричних систем гарантується:

- Конструкцією електричних систем;
- Технічними методами та засобами захисту;
- Організаційно-технічними заходами.

						<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68



Малюнок. 5.2.1

Класифікація засобів та заходів безпечної експлуатації електроустановок

5.3 Кваліфікаційні групи з електробезпеки електротехнічного персоналу

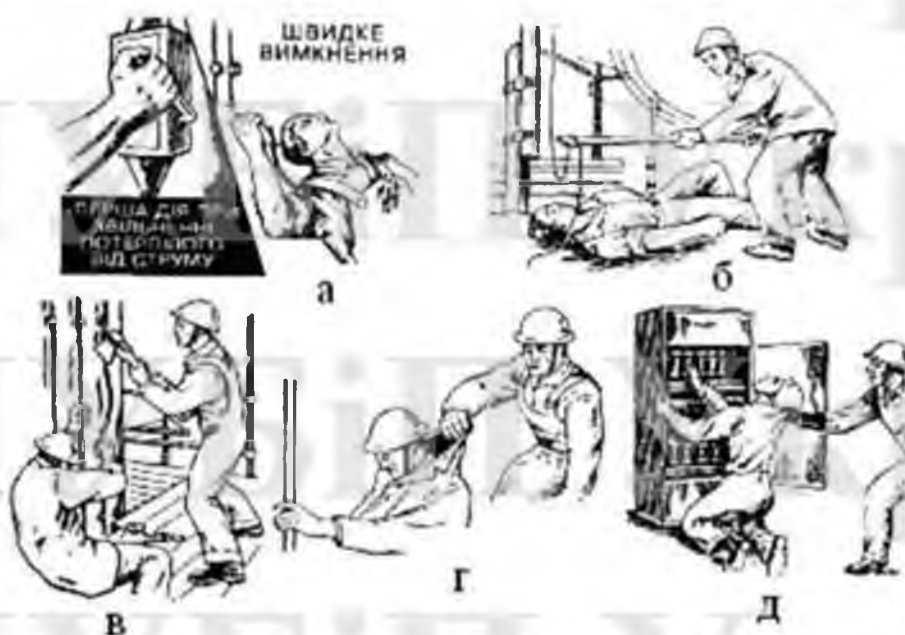
До електротехнічного персоналу належать ті, хто обслуговує та експлуатує електричні системи. Безпека при експлуатації та технічному обслуговуванні електроустановок в основному залежить від кваліфікації, знань і навичок електротехнічного персоналу. Для електротехнічного персоналу створено п'ять кваліфікаційних груп з електробезпеки:

- **I група** – для тих, хто не пройшов спеціальної електропідготовки, але має базові уявлення про ризик ураження електричним струмом та заходи електробезпеки при роботі на будівельних майданчиках та електроустановках;
- **II група** – ця група персоналу повинна бути технічно обізнаною з електричною системою, чітко усвідомлювати небезпеку ураження електричним струмом, бути ознайомлена з основними заходами безпеки при роботі з електричною системою, вміти надавати першу допомогу потерпілому;
- **Група III** – особи, що належать до цієї групи, повинні: розуміти структуру та розташування електричної системи та вміти її обслуговувати; розуміти небезпеку обслуговування електричних систем; розуміти загальні правила безпеки, правила схвалення для роботи в електричних системах з підвищеною напругою до 1000 В, спеціальні правила техніки безпеки для виконання робіт, що входять до обов'язків особи; вміти керувати тими, хто працює в електромережі та надавати першу допомогу потерпілим;
- **IV група** – персонал цієї групи має знати електротехніку професійно-технічних навчальних закладів; чітко пояснювати небезпеки при роботі на електричній системі; бути ознайомленим з правилами технічної експлуатації (ПТЕ) та правилами технічної безпеки (ПТБ) у функціонування електричної системи; зрозуміти спосіб установки, щоб ви могли вільно переглядати, які елементи потрібно закрити для забезпечення безпечної експлуатації. Перевірити, чи виконуються необхідні вимоги безпеки; вміти організувати безпечно виконання робіт та контролювати їх в електричних системах напругою до 1000 В; розуміти планування та обладнання своєї ділянки; вміти навчити потерпілих безпеці та надавати першу допомогу працівникам інших груп;
- **V група** – члени цієї групи повинні знати всі плани та обладнання, яке є на місці. ПТЕ та ПТБ загальних і спеціальних підрозділів; розуміти вимоги правил; вміти організувати безпечно виконання інженерних та контрольних електроустановок будь-якої напруги; вміти навчити правилам безпеки та надання першої допомоги постраждалим.

										Арк.
										70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

5.4 Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом

При наданні першої медичної допомоги у разі ураження електричним струмом необхідно звільнити потерпілого від впливу електричного струму, викликати лікаря, а до його прибуття потерпілому надати першу допомогу. До лікарської допомоги залежить від стану потерпілого. Щоб оцінити стан потерпілого, перевірте свідомість, дихання та частоту серцевих скорочень.



Малюнок. 5.4.1

Звільнення потерпілого від дії струму.

а – відключенням електроустановки;

б – відкиданням проводу сухою дошкою, рейкою;

в – перерубуванням дротів;

г – відтягуванням за сухий одяг; д – відтягуванням в рукавицях.

Зазвичай після ураження електричним струмом потерпілий може перебувати в одному з наступних трьох станів:

- У свідомості
- Непритомний, однак у нього є дихання та пульс;
- У стані клінічної смерті (відсутність дихання та пульсу).

Якщо потерпілий у свідомості, його необхідно покласти на тканину або килимок, дати йому свіже повітря, розстебнути одяг, який стискає і заважає диханню, розтирає і зігріває і може відпочити до приїзду лікаря. Потерпілий, який втратив свідомість, повинен відчути запах аміаку або обприскати його холодною водою. Коли потерпілий прийде до тями, дайте йому 15-20 крапель настоянки валеріани і гарячого чаю.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Серцево-легеневу реанімацію (СЛР) слід розпочинати, коли відсутні необхідні життєво важливі ознаки (дихання та пульс). Чим більше після клінічної смерті минуло часу, тим нижче ймовірність успіху. Заходи СЛР включають штучне дихання та непрямий (закритий) масаж серця. Штучне дихання проводиться рот в рот або рот в ніс. Перед цим потерпілого необхідно покласти на спину на тверду рівну поверхню, без тісного одягу (комір сорочки, розстебнутий ремінь, розстебнутий краватку) і підкласти під лопатки невеликий згорток матеріалу (можна одяг). Відхилити голову назад, наскільки це можливо.

Перш ніж почати штучне дихання, потрібно переконатися, що прохідність верхніх дихальних шляхів, яка блокується набряклим язиком, сторонніми тілами та накопиченою слизом, може бути заблокована.

У разі зупинки серця, чому можна відчувати пульс потерпілого на сонній артерії та розширення зіниць або фібриляцію, разом із штучним диханням слід робити непрямий масаж серця.

Якщо необхідний непрямий масаж серця потерпілого, спину кладуть на тверду поверхню (підлогу, стіл), оголюють грудну клітку, розстібають ремінь. Рятувальник стає ліворуч або праворуч від потерпілого, кладе руки на нижню третину грудної клітки (одна над одною) і міцно натискає (натискаючи) на неї. Натискати на вагу власного тіла необхідно з такою силою, щоб грудна клітка була зігнута на 4-5 см у напрямку до хребта. Необхідна частота - 60-65 натисків в хвилину.

Масаж серця слід поєднувати з штучним диханням. Якщо СЛР виконує людина, рятувальні операції слід проводити в такій послідовності: після двох глибоких ін'єкцій в рот або ніс 15 разів натиснути на грудну клітку, потім зробити дві ін'єкції та 15 разів натиснути на серце, повторити масаж. Якщо надають допомогу двоє рятувальників, то одному необхідно зробити штучне дихання, іншому – непрямий масаж серця, а при введенні повітря масаж серця припиняється. Після введення повітря в легені потерпілого його слід п'ять разів видавити на грудну клітку. Ефективними щодо звуження зіниць можна вважати реанімаційні заходи; шкіра стала рожевою (переважно шкіра верхньої губи); При масажних ударів можна чітко промацати пульс на сонній артерії. Дихання та непрямий масаж серця слід робити до повного відновлення дихання та роботи серця у постраждалого або до приїзду швидкої допомоги.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз роботи електричних контактів, особливості їх експлуатації, процеси які відбуваються в міжконтактному проміжку. Досліджено причини ерозії та способи боротьби з нею. Досліджені властивості як звичайних(контакти в які складаються з одного виду метала, зазвичай міді) контактів, та металокерамічних(являють собою суміш металів які перемелені в металеву пудру з певними пропорціями, пресовані та пройшли термічну обробку) сумішей.

Несправність контактів комутаційного пристрою – це зміна його характеру, що істотно знижує якість, надійність і ефективність, тобто стан ланцюга неможливо контролювати. Робота електричних контактів комутаційного пристрою пов'язана з багатьма електричними, механічними та кліматичними впливами, які призводять до фізико-хімічних змін перетворення, деформації та руйнування матеріалів поверхні контактів, що об'єднує поняття «електричний знос» в контактів.

Поняття гальванічної ерозії зазвичай пов'язують з руйнуванням контактної поверхні (електрода) під впливом електричного розряду. Що стосується контактів в умовах безперервного перемикавання.

Гальванічна ерозія - це знос струмопровідних контактів при їх замиканні і розмиканні. Механізм ерозії в цих двох випадках різний. Крім того, відповідні процеси ерозії можуть мати різні причини.

									Арк.
									73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] <https://corelamps.com/elektromontazhne-obladnannia/avtomatichnij-vimikach-cze/>
- [2] <https://bit.ly/3Di6SQD>
- [3] <http://elektrik.info/main/school/1394-vidy-i-konstrukcii-teplovyyh-rele-raschet-i-vybor.html>
- [4] <https://bit.ly/3ndnDa4>
- [5] Козирський В.В. Розробка методів підвищення надійності забезпечення споживачів електричною енергією з використанням інтелектуальної системи контролю/ Козирський В.В., Гай О.В.// Енергетика і електрифікація, 2012, – № 12/10. – С.68-71.
- [6] Загирняк М.В. Функциональная взаимосвязь массогабаритных и энергетических параметров электрических аппаратов / М.В.Загирняк , Б.И. Невзлин, Ю.Ю. Дьяченко // Известия вузов. Электромеханика, Ч.4. – 2010. – № 3.– С. 33-36.
- [7] Зиновкин В.В.Влияние параметров резкопеременных нагрузок на электромагнитные процессы в электротехническом оборудовании / В.В.Зиновкин, В.В.Карпенко, М.Ю.Залужный, С.И.Арсеньева, О.Г.Волкова
// Праці ІЕД НАНУ. - Київ:Інститут Електродинаміки НАН України. –2008. –Вип.19. – С. 85–91.
- [8] Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. / Рожкова Л.Д., Карнеев Л.К., Чиркова Т.В. – М. : Академия (изд. 2-е, стереотипн.), 2005. – 445 с.
- [9] Міліх В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.І.Міліх , О.О. Шавьолкін. – К. : Кара-вела, 2007.– 688 с.
- [10] Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 562 с.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- [11] Козирський В.В, Гай О.В. Особливості проектування сучасних розподільних електричних мереж за критерієм надійності. / Козирський В.В, Гай О.В.// «Енергетика і автоматика» Національний університет біоресурсів і природокористування (Київ), 2010. №3.
- [12] Родштейн Л.А. Электрические аппараты / Л.А Родштейн. – Л. : Энергоиздат (4-е изд. перераб. и доп.), 1989. – 304 с.
- [13] Чунихин А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. // Учебник для ву-зов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988 г. – 720 с.
- [14] Таев И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения / И.С. Таев. – М. : Энергия, 1973. – 424 с.
- [15] Намитоков К.К. "Электроэрозионные явления" / К.К. Намитоков : –М. : Энергия, 1978. – 456 с.
- [16] Брон О.Б. Проблемы контактов в силовом аппаратоостроении. / О.Б. Брон // Кн. Электрические контакты. – М.: Наука, 1975. – 97 с.
- [17] 17 Белкин Г.С.. Разрушение контактов под действием концентрированных потоков тепла / Г.С. Белкин, В.А.Киселев. // Сб.тр. Силовоточные электрические контакты. – Киев. : Наукова думка, 1972. – С. 142-146
- [18] Чалыков И.П. Исследование эрозии контактных материалов при отключении больших токов. / И.П.Чалыков //Сб. тр. Электрические контакты. – М. : Наукова думка, 1973. – С. 25-28
- [19] Буткевич Г.В. Электрическая эрозия силовоточных контактов и электродов. / Буткевич Г.В. и др. –М. : Энергия, 1978. – 256 с.
- [20] Исследование эксплуатационных характеристик металлокерамических контактов в диапазоне токов от 1 до 20 кА. // Сб. научн. тр. – Исследование, разработка и технология производства аппаратов низкого напряжения, 1989. – С. 51–65.

										Арк.
										75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- [21] Мещеряков В.П. Электрическая дуга большой мощности в выключателях / В.П. Мещеряков. – Ульяновск, 2006. – Ч. 1. – 344 с.
- [22] Аппараты электрические коммутационные. Контакты на основе серебра. ГОСТ 19725. – М. : Гос. комитет стандартов СССР, (1974) 1980. – 40с.
- [23] Цукерман С.А. Порошковые и композиционные материалы. / Цукерман С.А. – М: Наука. 1976. – 128 с.
- [24] Карпинос Д.М. Новые композиционные материалы. / Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. – К. : Вища школа, 1977. – 312 с.
- [25] Карпинос Д.М. О стабильности композиционных материалов на металлической основе / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, Л.Р. Вишняков // Порошковая металлургия. –М. – 1973. – № 3. – С. 65–70.
- [26] Материалы порошковые. Испытание на изгиб. ГОСТ 18228. – М. : Гос. комитет стандартов СССР, 1994. – 30 с.
- [27] Дульнев Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. / Г.Н Дульнев., Ю.П. Заричняк. –Л. : Энергия, 1974. – 264 с.
- [28] Соколовская В.М. Физическая химия композиционных материалов. / В.М. Соколовская, Л.С. Гузей. – М. : Моск. ун-т, 1978. – 256 с.
- [29] Карпинос Д.М. Прочность композиционных материалов. / Карпинос Д.М., Максимович Г.Г., Кадыров В.Х. – Киев. : Наукова думка, 1978. – 236 с.
- [30] Павленко Ю.П. Динамика разрушения электрода под действием импульсного разряда. / Ю.П.Павленко, А.М. Меленный // Сб. научн. тр. Исследование, разработка и технология производства аппаратов низкого напряжения. – Чебоксары. – 1984. – С. 38–41.
- [31] Намитоков К.К. О некоторых путях повышения эрозионной стойкости электродов. / К.К. Намитоков, А.М. Меленный, Ю.П. Павленко – Харьков, 1984. – 10 с.

										Арк.
										76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- [32] Постольник В.Н. Исследование металлокерамических контактов на основе серебра и вольфрама в автоматических выключателях на напряжение до 1000 В. / В.Н. Постольник, Л.Г. Середя, Ю.П. Павленко // Сб. научн. тр. Низковольтные аппараты защиты и управления. – Харьков. – 1988. –С. 89–96.
- [33] Кано Харуми. Экспериментальные исследования электрических разрядов в контактных группах. / Кано Харуми, Мано Канио. “Мэйдзе Оайгаку ра-когакуту кэнкю хококу. // Repts.Fac. Sci. and Tehnol/Meijjo Univ. ”. 1980. – № 20. – С. 41–50.
- [34] Зиновкин В.В. Методика анализа и контроля сопротивления контактов переключающих устройств в процессе многократных коммутаций / В.В. Зиновкин, О.Г.Волкова // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск « Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – Дніпродзержинськ : ДДТУ. – 2007. – С.483-484.
- [35] Игнатко В.П. Исследование эрозийных процессов в условиях сильноточной квазистационарной дуги. / В.П. Игнатко , В.А. Кухтиков // Сб. научн. тр. Сильноточные электрические контакты. – Киев : Наукова думка. –1972. –С. 25–28.
- [36] Павленко Т.П. Исследование и разработка серебрясберегающих контактных материалов для электрических аппаратов: дис. канд. техн. наук: 06.10.93 / Крыгина Татьяна Павловна. – Харьков., 1993. – 175 с.
- [37] Долинский Ю.М. Расчет сопротивления стягивания многоточечных контактов. / Ю.М. Долинский // Электромеханика. – 1978. – № 1. – С. 97–100.
- [38] Харин С.Н. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах. / С.Н.Харин. – Алма-Ата. : Наука. 1977. – 236 с.
- [39] Мещеряков В.П. Электрическая дуга большой мощности в выключателях. / В.П.Мещеряков. – Ульяновск, 2008. – Ч. 1. – 429 с.
- [40] Ким Е.И. Плавление и сваривание замкнутых электрических контактов. / Е.И. Ким, В.Т. Омельченко, С.Н. Харин // Изв. АН Каз. ССР. – 1970. – № 3. – С. 17–20.

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- [41] Мучник Г.Ф., Рубашов И.Б. Методы теории теплообмена. / Г.Ф. Мучник, И.Б. Рубашов. – М. : Высшая школа, 1976. Ч.1. – 288 с.
- [42] Куляпин В.М. Некоторые задачи теплопроводности с фазовыми превращениями. / В.М. Куляпин: // Инж. – физ. журн. – 1971. – № 3. – Т.20– С. 497–504.с.
- [43] Брон О.Б. Потoki плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. / О.Б. Брон, Л.К. Сушков. – Л. : Энергия. 1975. – 211 с.
- [44] Брон О.Б. Потoki плазмы, исходящие из опорных точек дуги. / О.Б. Брон ., Л.К. Сушков. // Электромеханика. – 1967. – № 1. – С. 7–14.
- [45] Зиновкин В.В. Влияние проводимости трансформаторного масла на электротермические процессы в контактах переключающих устройств / В.В. Зиновкин, О.Г.Волкова // Вісник Кременчукського державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. – Кременчук : КДПУ. – 2007. – Вип.3(44), Ч.1. – С.25-29.
- [46] Долинский Ю.М. Исследование износа и контактного сопротивления в процессе коммутации тока металлокерамическими контактами / Ю.М. Долинский, Н.В. Королев, В.И. Фомин, Н.Ю. Гридин // Электротехника. – М. – 1988. – № 2. – С. 82–88.
- [47] Брон О.Б. Регулирование потоков плазмы в дугогасительных низковольтных аппаратах. / О.Б. Брон, Л.К. Сушков // Электротехника. – 1970. – № 5. – С. 3–6.
- [48] Брон О. Б. Потoki плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. / О.Б. Брон, Л.К. Сушков. – Л.: Энергия. 1975. – 211 с
- [49] Дюшев Г.А. Физические процессы в дуговом полем катоде с сильноионизованной плотной плазмой. / Г.А. Дюшев, Е.А. Старцев, В.Г. Юрьев // ЖТФ. – М. – 1978. – Т.48. – С.2027–2039.
- [50] Ивановский М.Н. Испарение и конденсация металлов. / Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Субботин В.И. – М. : Атомиздат, 1979. – 205 с.
- [51] Куляпин В.М. Статистическая теория катодных процессов. / В.М. Куляпин // Сб.тр. Электрические контакты. – М. : Наука. – 1975. – С.16–23.

										Арк.
										78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- [52] Андерсон Дж. Э. Явления переноса в термодинамической плазме. / Дж. Э. Андерсон. –М. : Энергия, 1972. – 151 с.
- [53] Куляпин В.М., Галкин Н.И., Рыбаков О.Е., Печенкин А.И. Теория катодных процессов дугового разряда. // Электромеханика. – М. –1978. – № 1. – С. 82–85.
- [54] Зимин А.М. Исследование катодных процессов на основе замкнутой нестационарной модели. / А.М. Зимин, Н.П. Козлов, В.И. Хвесюк, Б.Д Цызыпов // Тез. докл. 6–я Всесоюзн. конф. по физике низкотемпературной плазмы. –Новосибирск : Изд. ИТФ. – 1978. – С. 75.
- [55] Павленко Т.П. Физические процессы на поверхности контактов с учетом потоков плазмы и термоэмиссионной активности материала // Електротехніка і Електромеханіка, № 1. – Харьков, 2009. –С. 25–28.
- [56] Павленко Т.П. Милых В.И. Электрические контакты с особыми свойствами для коммутационных электрических аппаратов. // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2011.- Вип.3/2011(68) .С. 11-13.
- [57] Павленко Т.П. Механизм перемещения заряженных частиц // Електротехніка та Електромеханіка, № 5, Харьков, 2006.– С. 39–41.
- [58] Павленко Т.П. Влияние активации на износ электрических контактов для сильноточных электрических аппаратов // Електротехніка і Електромеханіка., № 3, Харьков, 2007. –С. 44–47.
- [59] Павленко Т.П. Милых В.И. Электрические контакты с особыми свойствами для коммутационных электрических аппаратов. // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2011.- Вип.3/2011(68) .С. 11-13.
- [60] <https://ukr.thehouseofchronic.com/3902166-repair-of-magnetic-starters-and-their-maintenance>
- [61] <https://budtehnika.pp.ua/7997-remont-avtomatv-avtomatichnih-regulyatorv.html>

						Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[62] Основи охорони праці: підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. –Х. 2017.-334 с.

[63] Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломному проекті для студентів енергетичних спеціальностей за освітньокваліфікаційним рівнем «спеціаліст» / Укл.: Л. Д. Третьякова. – К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2013.– 52 с.

									Арк.
									80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					