

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

” ” 2024 р.
число місяць рік

” ” 2024 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
НАДІЙНОСТІ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ З ВИКОРИСТАННЯМ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ»**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва)
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Коробський В.В.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Чорноволенко О.О.
(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент /ОКУШКО О.В./
науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ
„ ” 2024 року
число місяць рік

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Чорноволенку Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Розробка заходів підвищення експлуатаційної надійності апаратів керування і захисту з використанням експериментальної установки»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “26” 09 2024 р. № 1666 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024.11.15
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ.
- Публікації співробітників кафедри ЕЕЕ.
- Результати навчально-дослідницької практики.
- Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.
- Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- Аналітична частина. Стан експлуатації електротехнічного обладнання ТОВ «ВАП-БУД» Броварського району.
- Проектування ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної (електротехнічної) служби
- Технологічна частина. Експлуатація енергетичного обладнання.
- Електротехнічна частина. Розрахунки та вибір електрообладнання, електропроводок та електричного освітлення.
- Розробка питань електропостачання та енергозбереження.
- Дослідницька частина. Дослідження характеристик електричної дуги та перехідного опору контактів в умовах комутації електричного кола.
- Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “18” грудня 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

Коробський В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

Чорноволенко О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 88 с., 22рис., 26 табл., 32 джерела.

Об'єкт дослідження: технологічне обладнання станції ТО і ПР, експериментальна установка для дослідження перехідного опору контактних систем апаратів, контактний матеріал.

Предметом дослідження: фізико-хімічні процеси, що протікають в електричній дузі при комутації електричного кола; залежності, які описують перехідний опір контактів.

Методи дослідження та апаратура: розрахунково-аналітичний з виробничою перевіркою; дослідження перехідного опору контактів проводилось за допомогою метода факторних експериментів при варіації циклів напрацювання (або часу тривалості виробничих спостережень). Експериментальні дані оброблялись з використанням методів математичної статистики та теорії ймовірностей при використанні програми «MathCAD 7 Professional».

Мета досліджень - проведення досліджень показників надійності електромагнітних пускачів та перехідного опору дослідних контактів для розробки обґрунтованих заходів підвищення експлуатаційної надійності пускачів за рахунок застосування нових композиційних контактних матеріалів при використанні експериментальної установки.

В магістерській роботі проведено випробування по визначенню перехідного опору серійних контактних частин пускачів ПМЛ-1100.04 (виконання А, В і С; матеріал контакту СrН-90, СrМ-0,2+М1 відповідно) і пускачів ПМЛ-1100.04 з експериментальними мідним контакт-деталлями, проведено вибір силового електрообладнання, пускозахисної апаратури, а також проведено дослідження показників надійності (перехідного опору контактів) в умовах комутації електричного кола з визначення глибини проплавлення контактів.

Ключові слова: електромагнітний пускач, перехідний опір, контактна частина, контактний матеріал, кліматичні випробування, комутаційні випробування, корозійна тривкість, електричний апарат, надійність, експериментальна установка.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ.....	6
ВСТУП.....	7
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	11
РОЗДІЛ 1. СТАН ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТОВ «ВАП-БУД» БРОВАРСЬКОГО РАЙОНУ.....	11
1.1 Технічна характеристика та показники виробничо–господарської діяльності ТОВ «ВАП-БУД».....	11
1.2 Стан електрифікації господарства.....	14
.3 Характеристика об’єкту проектування і вихідні дані для проектування.....	16
РОЗДІЛ 2.....	19
ПРОЕКТУВАННЯ ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СЛУЖБИ.....	19
2.1 Аналіз існуючої обслуговуючої бази енергетичної служби.....	19
2.2 Обґрунтування і вибір станції технічного обслуговування і поточного ремонту енергетичного обладнання.....	19
2.3 Визначення складу ділянок станції і розрахунків площі ділянок.....	21
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	25
РОЗДІЛ 3. ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	25
3.1 Технологічні процеси на станції з обслуговування силового електрообладнання.....	25
3.2 Вибір технологічного обладнання.....	26
3.3 Порядок організації монтажу, налагодження та здачі в експлуатацію.....	28
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	31
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПРОВОДОК.....	31
4.1 Вибір електродвигунів приводу технологічного обладнання та їх	

перевірка.....	31
4.2 Вибір пускозахисних апаратів та низьковольтних комплектних пристроїв керування.....	38
ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	39
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ.....	42
5.1 Аналіз показників експлуатаційної надійності електричних апаратів (електромагнітних пускачів).....	42
5.2 Завдання та програма досліджень.....	46
5.3 Методики досліджень.....	47
5.4 Результати досліджень та їх аналіз.....	53
5.5 Висновки до розділу 5.....	60
РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	61
6.1 Експериментальна установка для дослідження контактних матеріалів.....	61
6.2 Дослідження перехідного контактного опору контактів пускачів з серійними і дослідними контактами.....	65
6.3 Експлуатаційні виробничі випробування пускачів з дослідними контактами	67
6.4 Розрахунок глибини проплавлення контактів пускачів.....	70
6.5 Висновки до розділу 6.....	73
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	74
7.1 Аналіз стану безпеки праці в господарстві.....	74
7.1.1 Організація роботи з безпеки праці та аналіз рівня і причин травматизму.....	74
7.1.2 Аналіз умов праці в ремонтній майстерні.....	75
7.2 Розробка заходів по усуненню небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	75

7.2.1 Перелік технічних та організаційних заходів для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	75
7.2.2 Вибір індивідуальних засобів захисту.....	76
7.3 Розрахунок заземлювального пристрою споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.....	77
7.4 Захист від перенапруг.....	82
7.5 Пожежна безпека.....	83
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ.....	85

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ**

Скорочення:

ПН – показник надійності;

ЕМП – електромагнітний пускач;

КМ – контактний матеріал;

Система ПЗР і ТО - система планово-запобіжного ремонту і технічного обслуговування електрообладнання;

НТД – нормативно-технічна документація;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ум. од. – умовні одиниці з обслуговування і ремонту електрообладнання;

ТО і Р – технічне обслуговування і ремонт;

ПТОРЕ - пункт технічного обслуговування і ремонту електрообладнання;

УР - умовний ремонт;

ТО – технічне обслуговування;

ПР – поточний ремонт;

ПЛ – повітряна лінія;

РП – розподільчий пристрій;

КЗ – коротке замикання.

Символи:

% - відсотки;

Одиниці:

°С; В; А; Вт; квар; мм; км.

ВСТУП

В період становлення ринкової системи господарювання питання зниження виробничих витрат, економії трудових і матеріальних ресурсів, розширення обсягу виконуваних робіт і виробництва в цілому набирають життєво важливого значення як для окремих працівників, так і для підприємств.

Ефективність роботи сільськогосподарських підприємств в основному визначається безвідмовною роботою обладнання енергогосподарства.

Тому, необхідний постійний контроль і підтримка технічних та енергетичних показників, що обумовлюється належною організацією робіт з технічного обслуговування і ремонту машин та обладнання.

На практиці використовують в основному систему планово-запобіжного ремонту і технічного обслуговування (ПЗР і ТО), яка передбачає періодичне проведення технічного обслуговування і ремонтів через певні, наперед встановлені строки. Недоліком системи ПЗР є порівняно велика трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів електрообладнання, бо багато робіт є регламентованими (наприклад, розбирання електрообладнання для визначення технічного стану тощо). Крім того реальні умови роботи електрообладнання (змінний характер навантаження, нерівномірність використання протягом доби чи року, мінливість середовища з різними змінами температури, вологи, шкідливих домішок тощо) та зростання кількості деталей і електромагнітних навантажень на активні матеріали затрудняють застосування системи ПЗР, тому що обсяги робіт під час міжремонтного обслуговування технічних доглядів і ремонтів залежать від кількості годин роботи обладнання.

Для збільшення строку експлуатації обладнання розумно і економічно вигідно проводити діагностування, технічне обслуговування та своєчасну заміну складових одиниць і окремих деталей, що в подальшій експлуатації можуть вийти з ладу. Досвід експлуатації електрообладнання у високорентабельних господарствах показує, що основним заходом, який

забезпечує високу експлуатаційну надійність електрообладнання, є введення в дію системи технічного обслуговування і ремонту електрообладнання. Вона включає в себе організаційні і організаційно-технічні заходи з планування, підготовки, проведення і обліку необхідних видів робіт з технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) та здійснення діагностування із застосування сучасних приладів та діагностичних лабораторій.

Сучасні електромагнітні пускачі мають суттєві недоліки при їх використанні в умовах сільськогосподарського виробництва. Термін служби апаратів, значно нижче їх технічного ресурсу. Більшість пускачів комплектується контакт-деталлями, що виготовлені на основі срібла з домішками і, які відзначаються серйозними недоліками - відносно високою вартістю та низькою корозійною тривкістю при взаємодії з оточуючим середовищем, яке містить агресивні компоненти. Це впливає на показники надійності, зокрема перехідний опір. Тому, виникає гостра потреба заміни срібних і срібловмістких контакт-деталей на контакти і контактні пари, які виготовлені з менш дефіцитних і більш технологічних матеріалів (наприклад, міді). Для проведення науково обґрунтованих досліджень (що можуть надати реальну картину придатності нових контактних матеріалів) незамінним є дослідження електричної дуги, що виникає при комутації струму контактами.

Мета досліджень - проведення досліджень показників надійності електромагнітних пускачів та перехідного опору дослідних контактів для розробки обґрунтованих заходів підвищення експлуатаційної надійності пускачів за рахунок застосування нових композиційних контактних матеріалів при використанні експериментальної установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити *наступні завдання*:

1. Обґрунтувати вибір технологічного обладнання станції ТО і ПР електрообладнання ТОВ «ВАП-БУД».
2. Здійснити розрахунки з вдосконалення електрифікації виробничо-технологічних процесів із застосуванням сучасного електрообладнання.
3. Провести дослідження показників надійності пускачів з серійним і дослідними контактами.

4. Дослідити перехідний опір пускачів з дослідним контактами на основі міді при використанні експериментальної установки.

Об'єкт дослідження: технологічне обладнання станції ТО і ПР, експериментальна установка для дослідження перехідного опору контактних систем апаратів, контактний матеріал.

Предметом дослідження: фізико-хімічні процеси, що протікають в електричній дузі при комутації електричного кола; залежності, які описують перехідний опір контактів.

Методи дослідження та апаратура: розрахунково-аналітичний з виробничою перевіркою; дослідження перехідного опору контактів проводилось за допомогою метода факторних експериментів при варіації циклів напрацювання (або часу тривалості виробничих спостережень). Експериментальні дані оброблялись з використанням методів математичної статистики та теорії ймовірностей при використанні програми «MathCAD 7 Professional».

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в обґрунтуванні характеристик електричної дуги (часу горіння дуги, струму навантаження) для визначення мінімальної глибини проплавлення контактів; у створенні математичної моделі прогнозування перехідного опору $R_{\text{пер}}$ серійних і дослідних контактів пускачів залежно від циклів напрацювання.

Практична цінність отриманих результатів полягає в підтвердженні розробки нових контактних матеріалів на основі міді для підвищення показників експлуатаційної надійності (комутаційної зносостійкості, надійності контактування) електромагнітних пускачів I-II величин у виробничих умовах.

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

РОЗДІЛ 1

СТАН ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТОВ «ВАП-БУД» БРОВАРСЬКОГО РАЙОНУ

1.1 Технічна характеристика та показники виробничо–господарської діяльності ТОВ «ВАП-БУД»

Товариство з обмеженою відповідальністю «ВАП-БУД» — енергетична компанія, що спеціалізується на виконанні проектів по внутрішнім і зовнішнім мережам електропостачання, управлінні і супроводі проектів, розвитку електричних мереж, проектування схем зовнішнього електропостачання, а також електромонтажних, ремонтних і пусконаладжувальних робіт. Штат компанії складає від 50 до 150 працівників. Очолює компанію директор Буряк Петро Васильович. Головний офіс компанії знаходиться в м. Києві, а основні виробничі потужності розміщуються в с. Княжичі Броварського району Київської області.

Клімат Броварського району, на території якого розташоване підприємство, помірно континентальний, м'який, з достатнім зволоженням. За рік на території компанії випадає 500...600 мм опадів, головним чином влітку, тобто на червень – липень. Середньорічна температура $+7,2^{\circ}\text{C}$. Температура самого теплого місяця (липня) - $+22,5^{\circ}\text{C}$, самого холодного місяця (січня) - -6°C . Осінь часто буває тепла, суха. Перші ранні заморозки – 16 вересня, пізні перші заморозки – 27 жовтня. Тривалість безморозного періоду складає в середньому 185 днів. Літо характеризується великою кількістю сонячних днів. Тип ґрунту - підзолистий, суглинисто-супісковий.

На території ТОВ «ВАП-БУД» розміщуються наступні виробничі приміщення: один гараж оснащений кран-балкою для проведення технічного обслуговування і ремонту, козловий кран, три складські приміщення, виробниче приміщення «нового цеху», адміністративно-виробниче приміщення, цех, будівля ТЕС, водонапірна башта, будівля КПП тощо. Наявний склад рухомого автопарку, що знаходиться на підприємстві та енергетичні потужності наведено в табл. 1.1.

Енергетичні потужності ТОВ «ВАП-БУД»

№	Назва	Одиниця виміру	Кількість	Потужність, кВт
1	Автомобілі в тому числі:			
	- вантажні	шт.	5	710
	- легкові (також мікроавтобуси)	шт.	6	450
	- спеціальні (вишки, опоровози тощо)	шт.	4	1000
2	Трактори колісні	шт.	6	480

Види діяльності компанії «ВАП-БУД»:

- компанія ВАП-БУД виконує роботи для ПАТ «Київенерго», а також пройшла акредитацію як виробник і постачальник щитового обладнання в ПАТ «Київенерго»;

- допомога в оформленні дозвільної документації, приєднання об'єктів, узгодження їх з НЕК «Укренерго», ПАТ «Київенерго» та іншими регіональними енергопостачальними компаніями (обленерго);

- розробка техніко-економічних обґрунтувань щодо приєднання об'єктів до електричних мереж, погодження їх з НЕК «Укренерго», ПАТ «Київенерго» та іншими регіональними енергопостачальними компаніями (обленерго);

- комплексний підхід до комплектації об'єктів електричної продукції;
- проектний сервіс.

Безпосередньо до переліку послуг компанії входить:

1. Проектування зовнішніх і внутрішніх мереж електропостачання 0,4 кВ, 10 кВ, 35 кВ ТП, РП.

2. Організація погоджень проектів електропостачання у відповідних організаціях.

3. Оформлення дозвільної документації, оформлення вихідних даних на технічний супровід проекту.

4. Влаштування і будівництво трансформаторних підстанцій.

5. Часткова модернізація трансформаторних підстанцій.

У разі необхідності часткової модернізації розподільчих пристроїв низької напруги трансформаторної підстанції, пропонується заміна існуючої панелі ЩО на нову панель з використанням, в якості комутуючих апаратів, блок-рубильників типу ARS, RBK, (APATOR). Це дозволить модернізувати трансформаторну підстанцію, збільшити кількість фідерних ліній без повної заміни існуючого розподільного пристрою.

7. Реконструкція трансформаторних підстанцій (на базі шафів силових розподільних типу СКУ) (рис.1.1).



Рис. 1.1. Вигляд РП НН трансформаторної підстанції після реконструкція (на базі шафів силових розподільних типу СКУ).

Шафи силові розподільчі типу СКУ призначені для прийому і розподілу електроенергії напругою до 660 В трифазного змінного струму частоти 50 Гц

систем з глухозаземленою нейтраллю, а також для захисту фідерних ліній від перевантажень і струмів короткого замикання (рис. 1.2). Шафи СКУ виготовляються в корпусах ВІД і ОТС - це універсальні корпусу з шинною системою або монтажною платою, призначені для внутрішньої і зовнішньої установки. Широко використовуються на підприємствах з підвищеною агресивністю середовища. Корпуси виконані з поліефіру, армованого скловолокном, методом лиття під тиском в підігріваються формах. Цей матеріал стійкий до ультрафіолетових променів, має високу ступінь вогнестійкості і стійкий до зовнішніх механічних впливів. Шафи силові СКУ виготовляються як з вступним апаратом, так і без нього, згідно однолінійної схемою. Комплектуються вертикальними блок-рубильниками із запобіжниками на фідерних лініях серії ARS. У шафі встановлена PEN шина для приєднання нульових жил додатних і фідерних ліній.



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд шафів силових розподільних типу СКУ

8. Введення закінченого об'єкта в експлуатацію, в тому числі по окремих етапах.

В «новому»цеху організовано виробництво електротехнічної продукції компанії, а саме:

- розподільних щитів низької напруги (РЩНН);
- шафів розподільних силових (типу СКУ);

- щитків низьковольтних ввідно-розподільних (ВРП);
- пристроїв автоматичного вводу-резерва (АВР);
- пристроїв компенсації реактивної потужності (УК РМ);
- пристроїв розподільних (ЩР, ЩС);
- щитків поверхів будинків (ЩП);
- щитків квартирних (ЩК).

За вимогами нормативних актів та інспектуючих органів потрібно періодично проводити вимірювання опору ізоляції обладнання електричних мереж, а також заземлюючих пристроїв, і електровимірювання параметрів електрообладнання. Працівники налагоджувально-вимірювальної електролабораторії компанії «Вап-Буд» (рис. 1.3) проводять тестування електричних систем, виявлення несправностей в електричних колах і обладнанні, складають технічні звіти про стан електромереж і відповідність їх вимогам ПУЕ і ПТБ. Електротехнічна лабораторія атестована на відповідність критеріям атестації вимірювальних лабораторій відповідно до Правил уповноваження та атестації у державній метрологічній системі України. (свідоцтво про атестацію № ПТ / 118/15, видане 10.04.2015 р «Укрметртестстандарт»).

Після проведення робіт, організація «Вап-Буд» надає реальні дані проведених електровимірювань, інформує про стан електроустановок, щоб своєчасно запобігти виникненню аварійних ситуацій на об'єкті замовника. Співробітники підготують технічний звіт по електровимірювання, в якому буде відображено реальний стан електроустановок та електрообладнання, випробування яких були проведені, відповідність параметрів електроустановок приміщення наявного проекту і встановленим компетентними організаціями нормам і вимогам.

Електролабораторія здійснює вимірювання показників об'єктів відповідно до галузі застосування (електроустановки та апарати напругою до 1000 В; силові трансформатори; силові кабельні лінії; силові вимикачі, вимикачі навантаження, роз'єднувачі, короткозамикачі; комплектні розподільчі пристрої; заземлення тощо):

- вимірювання опору ізоляції;

- замір опору заземлення;
- вимір петлі «фаза-нуль» (фаза-нуль);
- вимір металозв'язку.



Рис. 1.3. Електролабораторія компанії «ВАП-БУД».

1.2 Стан електрифікації господарства

Внутрішня освітлювальна проводка зазначених вище приміщень виконана проводом АППВ на тросу. Силова проводка виконана кабелем АВРГ та проводом АППВ в трубах. Внутрішня проводка адміністративно-виробничого приміщення компанії виконані проводами марок АПВ, АППВ та кабелем марки АВРГ різних перерізів. Зовнішнє освітлення території підприємства виконане світильниками з лампами ДРЛ.

Район електрозабезпечення характеризується наступними кліматичними умовами при повторенні 1 раз у 10 років:

- за товщиною стінки ожеледиці – II-й район;
- за швидкістю вітру – II-й район;
- грозових годин в рік – 80...100.

Для виконання всіх видів технологічних процесів споживачі компанії отримують живлення від Броварського РП ПрАТ «Київобленерго». Електрозабезпечення компанії здійснюється від ТП №693 10/0,4 кВ потужністю 400 кВА (рис. 4.4). Електрогосподарство компанії знаходиться в задовільному стані. Основні кабельні лінії виконані кабелем АВВГ 1(4х240) та АВВГ 1(4х150). Повітряні лінії 0,38 кВ виконані проводом СПП 1(4х35) і змонтовані

на залізобетонних опорах. Зовнішнє освітлення виконане світильниками ДРЛ. Споживання і втрати електроенергії в компанії «ВАП-БУД» за 2017 рік наведено в табл. 1.2.

По відповідним даним компанії за 2023 рік була спожита кількість електроенергії, показники якої наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Споживання електроенергії за 2023 р

Галузь використання електроенергії	Кількість електроенергії, тис. кВт·год.
Виробничі потреби цехів	2020
Підсобні приміщення і будівлі	890
Складські приміщення	320
Зовнішнє освітлення та побутове споживання	60
Всього	3290

1.3 Характеристика об'єкту проектування і вихідні дані для проектування

Об'єктом магістерської роботи є ремонтна майстерня з обслуговування та ремонту силового електрообладнання.

Для проведення поточного ремонту і технічного обслуговування електрообладнання ТОВ «ВАП-БУД» існує стара майстерня-цех. Стан електрифікації виробничо-технологічних процесів в майстерні-цеху знаходиться на невисокому рівні.

Пускову і захисну апаратуру складають електромагнітні пускачі типу ПМА, ПМЕ ПАЕ, ПМЛ, електротеплові реле типів ТРН, РТТ, РТЛ, автоматичні вимикачі типів АП -50, АЕ2000, ВА51, ВА 2000 (виробництва «АСКО УкрЕМ»). На балансі електрогосподарств району знаходиться асинхронні електродвигуни типу АО, АО2, 4А, АИР тощо.

В майстерні відсутня дільниця діагностування електрообладнання (особливо сучасного вітчизняного та закордонного), що заважає своєчасному

проведенню технічного огляду та обслуговуванню. Роботи з поточного ремонту здійснюються на застарілому технічному обладнанні. Роботи по поточному ремонту проводяться на тупикових постах, обладнаних застарілими пристроями. Відсутнє блокування технологічного обладнання з витяжними системами.

В цілому, рівень електрифікації виробничо-технологічних процесів в майстерні не досить високий, але в цехах ремонтної майстерні електрифіковані і автоматизовані наступні технологічні процеси: освітлення, вентиляція, сушіння, водопостачання, забезпечення теплом в холодну пору року. Тому, в магістерській роботі передбачена комплексна електрифікація виробничо-технологічних процесів на базі реконструкції ремонтної майстерні.

Лінія 0,38 кВ від КТП, що живить майстерню-цех на території ТОВ «ВАП-БУД» виконана кабелем АВВГ 1(4x25). Допустиме струмове навантаження даного кабелю складає 155 А, в дійсності струмове навантаження майстерні складає 42 А. Таким чином, існує реальна можливість передачі по лініям більших потужностей. При виконанні роботи будуть враховані кліматичні умови, характерні для даного району, а також умови навколишнього середовища та умови всередині кожного приміщення майстерні. Ці умови впливають на вибір електрообладнання, спосіб виконання електропроводок тощо.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ (ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ) СЛУЖБИ

2.1 Аналіз існуючої обслуговуючої бази енергетичної служби

На підприємстві створена і існує енергетична служба. До її недоліків слід віднести :

- відсутність сучасної ремонтно-обслуговуючої бази;
- недостатню забезпеченість запасними частинами і ремонтним фондом;
- недостатню чисельність та низьку дисципліну персоналу.

Ці недоліки призводять до того, що серійне електрообладнання має фактичний термін служби нижчий, ніж той, що гарантує завод-виробник.

Врешті-решт, недоліки в організації енергетичної служби призводять до збільшення собівартості продукції, що виробляється в господарстві.

Метою даного розділу є розробка пропозицій щодо вибору технологічного обладнання для ремонтно-обслуговуючої бази станції.

2.2 Обґрунтування і вибір проекту станції технічного обслуговування і поточного ремонту енергетичного обладнання

Існує декілька проектів баз і станцій технічного обслуговування енергообладнання, окремі з яких затверджені, як типові проекти.

Найбільш широке розповсюдження набули проекти пунктів технічного обслуговування і ремонту енергообладнання на 4200 умовних ремонтів на рік (18060 люд.-год/рік) і на 2100 умовних ремонтів на рік (9030 люд.-год/рік).

Річні затрати праці на підприємстві на виконання ТО і ПР енергообладнання складають 9083,74 люд.-год/рік. Тому, вибирається проект "Станція технічного обслуговування і ремонту енергообладнання на 2100 умовних ремонтів на рік" з річними затратами праці 9030 люд.-год/рік.

Вказаний проект станції ТО і РЕО призначений для проведення технічного обслуговування, поточного ремонту електричного, теплового, теплосилового, холодильного обладнання, усунення раптово виникаючих пошкоджень і несправностей, сушіння, просочування і фарбування, підготовчо-монтажних, налагоджувальних і зварювальних робіт.

Поточному ремонту підлягають малогабаритні електроустановки, а також окремі деталі і збірні одиниці різноманітних видів енергообладнання.

Окрім СТО і РЕО передбачається розміщення на відділках постів електрика.

До складу СТО і РЕО входять наступні виробничі і допоміжні приміщення:

1. Бокс для стоянки спецавтомобіля «Lanos». В боксі передбачено ТО і дрібний ремонт спецавтомобіля. Є оглядова яма, слюсарний верстат, секції стелажа для збереження запасних частин і слюсарних інструментів, підйомних гідравлічний з ручним приводом.

2. Дільниця фарбування. Призначена для можливості фарбування електрообладнання після виконання ТО і ПР (якщо необхідно). В приміщенні розташована камера для фарбування, шафа для малярних інструментів, фарборозпилувач тощо.

3. Дільниця просочування і сушіння. Вона призначена для виконання робіт з просочування і сушіння обмоток асинхронних електродвигунів, трансформаторів, автотрансформаторів та інших виробів. Є стелаж, сушильна шафа, ванна для миття, витяжна шафа тощо.

4. Приміщення складу. Призначений для зберігання інструменту, монтажних засобів, запасних частин, обладнання яке пройшло ТО або ПР, або демонтовано для проходження ТО або ПР.

5. Ремонтно-монтажна дільниця. Є основним виробничим приміщенням. В ній проводиться основний об'єм робіт з розбирання, дефектування, миття та очищення обладнання. Проектом передбачається встановлення стендів для ремонту і регулювання ПРА, освітлювальних

установок, електродвигунів, пароводозабірної арматури, перевірки приладів автоматики, установки для миття, консольного підвісного крану та іншого підвісного обладнання.

6. Дільниця заготовлення конструкцій. Проводяться нескладні роботи з ремонту ремонтнопридатних деталей та вузлів, а також свердлильні та шліфувальні, зварювальні та інші роботи.

7. Побутові приміщення.

8. Кабінет майстра.

9. Венткамера. В ній встановлено витяжний вентилятор для відсмоктування пилю та шкідливих парів із приміщень майстерні.

10. Електрощитова, в ній встановлені електросилові розподільчі пункти та освітлювальні щитки.

Характеристика основних і допоміжних приміщень СТО і РЕО наведена в табл. 2.1.

2.3 Визначення складу дільниць станції і розрахунок площі дільниць

Станція технічного обслуговування повинна забезпечувати:

- проведення ПР електрообладнання згідно переліку робіт передбачених інтелектуальною системою обслуговування;
- зберігання матеріалів і запасних частин в об'ємах, необхідних для безперебійного забезпечення ТО або робіт з поточному ремонту;
- зберігання технічної документації, захисних засобів, інструментів і пристосувань.

Для проведення робіт з ТО необхідно передбачити наступні дільниці:

- ремонтно-монтажна;
- заготівлі конструкцій;
- фарбування;
- просочування і сушіння;
- витратний склад

Таблиця 2.1

Характеристика основних і допоміжних приміщень СТО і РЕО

Найменування	Площа, м ²	Категорія приміщень			
		за умовами оточуючого середовища	за ступенем враження електричним струмом	за ступенем вогнестійкості	за надійністю електропостачання
Бокс для стоянки автомобіля «Lanos»	54,1	сухе	без підвищеної безпеки	В	ІІІ
Дільниця фарбування	11,5	сухе	без підвищеної безпеки	А	ІІ
Дільниця просочування і сушіння	17,6	сухе	з підвищеною небезпекою	А	ІІ
Склад	34,7	сухе	без підвищеної безпеки	В	ІІ
Ремонтно - монтажна дільниця	67,3	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ
Дільниця заготівлі конструкцій	35,5	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ
Кабінет майстра	9,3	сухе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
Побутові приміщення:					
- кімнати спецодягу	18,0	сухе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
- душова	5,25	особливо вологе	з підвищеною небезпекою	Д	ІІІ
- тамбур	10,4	сухе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
- санвузол	9,0	вологе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
Венткамера	56,0	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ
Електрощитова	10,0	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ

Загальна виробнича площа кожної дільниці визначається за формулою:

$$F_{уч} = P \cdot f_p + F_{об}, \quad (2.1)$$

де P – кількість робочих місць чи стандартних приладів на одне робоче місце;

f_p – питома площа на одне робоче місце, m^2 ; $f_p=17 m^2$;

$F_{об}$ - сумарна площа контуру, що займає технологічне і допоміжне обладнання, m^2 .

Визначаються необхідні площі виробничих дільниць.

1. Ремонтно-монтажна дільниця:

$$P=3, f_p=17 m^2, F_{об}=13,25 m^2;$$

$$F_{д1}=3 \cdot 17 + 13,25 = 64,3 m^2.$$

2. Дільниця заготівлі конструкцій:

$$P=2, f_p=17 m^2, F_{об}=5,3 m^2;$$

$$F_{д2}=2 \cdot 17 + 5,3 = 39,3 m^2.$$

3. Дільниця просочування і сушіння:

$$P=1, f_p=17 m^2, F_{об}=4,3 m^2;$$

$$F_{д3}=1 \cdot 17 + 4,3 = 21,3 m^2.$$

4. Дільниця фарбування:

$$P=1, f_p=9 m^2, F_{об}=2,7 m^2;$$

$$F_{д4}=1 \cdot 9 + 2,7 = 11,7 m^2.$$

5. Склад:

$$F_{д5}=34,7 m^2.$$

6. Кабінет інженера – електрика:

$$F_{об}=9,3 m^2.$$

7. Венткамера. $F_{д7}=56 m^2$, вентилятори встановлені в двох приміщеннях площею $35 m^2$ і $21 m^2$.

8. Кімната спецодягу:

$$P=11, f_p=1 m^2, F_{об}=7 m^2;$$

$$F_{д8}=11 \cdot 1 + 7 = 18 m^2.$$

9. Душова:

$$F_{д9}=9 m^2.$$

10. Санвузол:

$$F_{д10}=5,25 m^2.$$

11. Електрощитові:

$$F_{\partial 11} = 10 \text{ м}^2.$$

12. Тамбур:

$$F_{\partial 12} = 10,4 \text{ м}^2.$$

Експлікація приміщень наведена в матеріалах презентації та в графічній частині роботи.

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Технологічні процеси на станції з обслуговування силового електрообладнання

Станція з обслуговування та ремонту електрообладнання з пунктом діагностування призначена для проведення технічного обслуговування, поточного капітального ремонту силового електрообладнання.

Технологічний процес ремонту включає в себе наступні технологічні операції:

- доставка в цех;
- розбирання;
- очищення і мийка вузлів та агрегатів;
- дефектування;
- ремонт зношених деталей і збірних одиниць;
- комплектування;
- збирання;
- настроювання та післяремонтні випробовування;
- фарбування та сушіння;
- направлення на склад ремонтного фонду або на місце монтажу.

Процес ремонту розпочинається з миття. В технологічному процесі ремонту, миття і очистка виконується в декілька станів: зовнішнє миття; миття збірних одиниць; очистка окремих деталей в спеціальних машинах.

Починаючи ремонт, обладнання частково розбирають на агрегати для повторного миття, потім по конвеєру подають в камеру повторного миття, після чого його розбирають повністю.

З ділянки розбирання агрегатів і миття деталей контейнери з деталями надходять на ділянку дефектування.

Мета дефектування - встановити істинний технічний стан деталей і вузлів, прийняти правильне рішення про можливість їх подальшого використання. З дільниці дефектування контейнери надходять на дільницю комплектації. Мета цих робіт - підготувати комплекти деталей для збирання агрегатів. Зібрані і перевірені вузли і агрегати фарбують і подають на лінію збирання.

Деякі вузли перед заключним встановленням збирають і випробовують в зібраному вигляді на окремих дільницях станції. На дільниці фарбування проводяться роботи по підготовці поверхні до фарбування і відбувається сам процес фарбування.

3.2 Вибір технологічного обладнання

Для комплектації станції передбачається сучасне технологічне обладнання, яке забезпечує виконання широкого комплексу технологічних операцій з технологічного обслуговування і поточного ремонту електрообладнання.

Технологічне обладнання ремонтно-монтажної дільниці повинно забезпечувати можливість продуктивного і якісного виконання розбірних робіт, миття вузлів і деталей, дефектування і транспортування агрегатів, вузлів на відповідні ремонтні дільниці.

Розміщення обладнання на окремих дільницях проводиться з урахуванням послідовності ремонту і механізації передавальних операцій. Ремонтно-монтажні роботи виконуються на спеціалізованих місцях.

Для налагодження електрообладнання, контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації застосовують пересувну електролабораторію ЕНЛ – на базі автомобіля «Lanos-Пікап». Джерелом живлення є зовнішня мережа 220В/380В; кількість персоналу - 2 працюючих.

Лабораторія комплектується інструментами та приладами, за допомогою яких виконуються вимірювання опору ізоляції обмоток електричних машин та

іншого обладнання, випробування силових кабелів напругою до 10 кВ, вимірювання опору на постійному струмі, контурів заземлення і заземлюючих пристроїв, визначення групи з'єднання обмоток трансформаторів, полярності обмоток електричних машин тощо.

Для розбирання двигунів, трансформаторів, інших вузлів з великою вагою використовують підвісні крани (кран-балки).

Для виконання контрольно-дефектних робіт і комплектування використовуються контрольно-вимірювальні стенди, столи, шафи, вимірювальний інструмент та пристосування для дефектування і сортування деталей.

На слюсарно-механічній ділянці виконуються роботи по механічній обробці деталей і деякі слюсарні роботи по ремонту деталей, виготовлення нестандартного обладнання, технологічної оснастки і інструменту.

Технологічне обладнання ділянці включає токарно-гвинтовий верстат, універсально-фрезерувальний верстат, вертикально-свердлильний верстат.

Зварювання і наварювання металів бувають найбільш поширеними технологічними процесами при виконанні механічних ремонтних робіт. Для цих робіт в основному використовують електродугове зварювання. Додатково на ковальсько-зварювальній ділянці станції виконуються роботи по відновленню деталей тиском, виготовлення нових деталей і окремих їх частин.

Для різноманітних ковальських робіт, що виконані методом зварного кування на плоских і фасонних бабках використовуються пневматичні ковальські молоти. Для нагрівання деталей використовуються ковальські горни і нагрівні печі.

На збиральній ділянці виконуються ремонтно-монтажні роботи, пов'язані із збиранням, регулюванням електрообладнання. Діляниця обладнана стендами для збирання вузлів електрообладнання і різним випробувальним обладнанням.

До обладнання пункту діагностування електрообладнання відноситься спеціалізовані стенди, що використовується для перевірки і регулювання електрообладнання (установка КИУ-5), універсальний випробувальний стенд сільського електрика (УВССЕ) тощо.

Розміщення технологічного обладнання на станції наведено в додатку А, специфікація основного технологічного обладнання, встановленого на дільницях та в приміщеннях станції, приводяться в табл. 3.1.

3.3 Порядок організації монтажу, налагодження та здачі в експлуатацію

Організацію і проведення робіт по монтажу електрообладнання слід виконувати згідно затвердженого проекту з додержанням ПУЕ, ПТЕ і ПТБ, ДБН, ДСТУ та інших нормативних документів.

Силове електрообладнання, проводи, кабелі, кріплення виробів повинно передаватися монтажною організацією після перевірки повної доставки і відповідності комплектним відомостям підприємства-виробника. Проектно-кошторисна документація і технічна документація підприємств-виробників повинна передаватися електромонтажною організацією в порядку і в терміни встановленими нормативними документами.

Сучасна технологія електромонтажних робіт передбачає виконання їх у дві стадії. На першій виконуються роботи по встановленню закладних деталей в будівельних конструкціях, підготовка траси електропроводок і заземлення, а також встановлення і укріплення поза монтажною зоною вузлів і блоків по прокладанні мереж готовими трасами.

На другій стадії виконуються роботи по складанню попередньо доставлених вузлів і блоків, світильників і підключення проводів та кабелів до електрообладнання. Після закінчення монтажу, по мірі виконання робіт, електрообладнання передається електромонтажній організації під наладку замовнику і організації по виконанню пусконаладжувальних робіт по акту.

Повідомлення про готовність електрообладнання до приймання робочою комісією повинно передаватися генеральному підрядчику електромонтажною і пусконаладжувальною організаціями спільно. При цьому повинна бути надана документація:

- комплект робочих креслень електротехнічної частини;
- акти і протоколи по електромонтажним і налагоджувальним роботам;
- комплект заводської документації.

Порядок прийняття і здачі електрообладнання в експлуатацію визначений інструкціями.

Таблиця 3.1

Електрообладнання та пристрої пункту, які застосовуються для проведення ПР і ТО енергообладнання

№ з/п	Найменування обладнання	Тип, ГОСТ	Габарити, мм	Кількість, шт.	Встановлена потужність, кВт
1	2	3	4	5	6
1	Камера для фарбування	К0.00.000.ЦИТЕПр. в-ва	1832x920x1726	1	
2	Фарборозпилювач	СО-71А		1	
3	Шафа сушильна	СНОЛ-3,5Х3,5 35/343	1400x350	1	40
4	Шафа сушильна	ЦЕП-282А		1	7,5
5	Ванна для миття (рухома)	ОМ-1316	1250x620x960	2	
6	Шафа витяжна для сушильного бака	ШВ.00.000.ЦИТЕП	1530x1270x2560	1	
7.	Таль рухома черв'якова	ГОСТ 1106-74		1	
8	Ванна для нагрівання підшипників	ОКС-1513	1360x500x850	1	30
9	Пристрій для миття заглибних насосів	ОРГ-4990	1200x500x1000	1	3,5
10	Установка для миття		1000x500x1000		3,72
11	Стенд для ремонту ПРА		1540x900x1270	1	4,5
12	Стенд для ремонту і перевірки опромінювальних і освітлювальних установок	Э37Н.000.ВНИИПЭ М с.г.	1600x900x1300	1	2,2
14	Компресор гаражний рухомий	Модель 1136В2		1	1,5

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
15	Верстат станда для ремонту асинхронних двигунів	Э36ИВНИИПЭМ с.г.		1	
16	Силовий пункт станду	Э40Н ВНИИПЭМ с.г.	510x260x600	1	30
17	Верстат слюсарний	5105.000.ГОСНИТИ	1500x600x600	6	
18	Верстат настільний свердлильний	НС-12А		1	0,6
19	Прес гідравлічний	2153 Ми		1	0,8
20	Стіл монтажний металічний	ОРФ 1468-01 ГОСНИТИ	1200x800x600	1	
21	Кран підвісний	0,5-51-4,5-6-2201.380 ГОСТ 7890-76		1	1,23
22	Кран консольно-поворотний	ОПТ-1153		1	0,87
23	Трансформатор пайки мідних проводів	ОС3-3105	400x500x500	1	3,0
24	Стіл для електрозварювальних робіт	ОКС-7523	1100x750x715	1	
25	Трансформатор зварювальний рухомий	ТД-300-2У2 5157.000	640x490x715	1	19,4
26	Верстат обдирувально-шліфувальний	ЗБ534	1000x665x1230	1	4,6
27	Установка пиловловлююча	ЗИЛ-900М		1	1,5
28	Гідравлічна установка для згинання труб	РТГ-2		1	

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКИ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОПРОВОДОК ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

4.1 Вибір електродвигунів приводу технологічного обладнання та їх перевірка

Оскільки електричні апарати, які розглядаються в магістерській роботі призначені для керування асинхронними електродвигунами, то необхідно здійснити вибір електроприводів. Він виконується згідно з діючими нормами технологічного проектування ДБН (СНиП), ДСТУ тощо.

Для перевірки параметрів електродвигуна приймається вентиляційне обладнання, а саме електродвигун приводу витяжного вентилятора Ц4-70 №5, який розміщений на ділянці фарбування.

Технічні дані вентилятора :

- подача $L = 4055,2 \text{ м}^3/\text{год}$;
- тиск $p = 58,5 \text{ кг/м}^2$;
- частота обертання 1420 об/хв .

Оскільки частота обертання вентилятора $n = 1420 \text{ об/хв}$, то необхідно вибрати двигун з синхронною частотою обертання $n_c = 1500 \text{ об/хв}$. Ступінь захисту електродвигуна від впливу навколишнього середовища - IP54.

Навантаження на електродвигун стале, режим роботи електродвигуна тривалий - S1. Конструктивне виконання електродвигуна згідно з ГОСТ 2479-79; приймається IM1001 - двигун на лапах з двома підшипниками, з одним циліндричним кінцем валу, положення в просторі будь-яке.

Встановлена потужність електродвигуна вентилятора з урахуванням коефіцієнту запасу дорівнює:

$$P_u = (K_s \cdot L \cdot P \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}) / (3600 \cdot \eta_e \cdot \eta_n); \quad (4.1)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу потужності на пуск для електродвигунів потужністю до 2 кВт; $K_3 = 1,2$ [15];

P – приведений тиск, $P = 58,2$ мм вод. ст.;

L_0 – номінальна продуктивність вентилятора, $L_0 = 4055,2$ м³/с;

η_e - коефіцієнт корисної дії (ККД) вентилятора, $\eta_e = 0,6$ [15];

η_n – ККД передачі, $\eta_n = 1$, оскільки вентилятор знаходиться на валу двигуна.

Отже,

$$P_{ц} = (1,2 \cdot 4055,2 \cdot 58,5 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}) / 3600 \cdot 0,6 \cdot 1 = 1,29 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність вибирається з умови: $P_{ном} \geq P_{ц}$.

Живлення двигуна здійснюється від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц. За частотою обертання двигун вибирається, виходячи з частоти обертання, яка повинна бути 930...1420 об/хв., щоб забезпечити необхідний тиск і подачу.

Вибирається електродвигун загальнопромислового виконання з найближчою більшою номінальною потужністю - АИР80В4 У3.

Паспортні дані електродвигуна: $P_{н.ов.} = 1,5$ кВт; $I_n = 3,6$ А; $\eta = 77\%$; $\cos \varphi = 0,83$; $N_n = 1395$ об/хв.

Отже, для двигуна потужністю $P_n = 1,5$ кВт маємо:

- кратність пускового моменту $M_{пуск} / M_n = 2,0$;
- кратність мінімального моменту $M_{min} / M_n = 1,6$;
- кратність максимального моменту $M_{max} / M_n = 2,2$;
- кратність пускового моменту $I_{пуск} / I_n = 5$;
- момент інерції ротора двигуна $J_{об} = 0,0033$ кгм².

Виконується перевірка вибраного електродвигуна на відповідність робочій машині, тобто відцентровому вентилятору Ц4-70 №5.

Вибраний електродвигун перевіряється за умовами пуску при зниженій напрузі на $-7,5\%$ і розкиду його параметрів згідно ГОСТ 123-73.

Визначається час пуску електродвигуна графоаналітичним способом і здійснюється перевірка електродвигуна на нагрівання його під час пуску.

Механічна характеристика вентилятора отримується розрахунковим шляхом за формулою:

$$M_c = M_{co} + (M_{сн} - M_{co}) \cdot (\omega / \omega_n)^x \quad (4.2)$$

де M_{co} – момент тертя, котрий не залежить від зміни швидкості, $Нм$;

$M_{сн}$ – момент статичного опору вентилятора при номінальній швидкості, $Нм$;

ω - поточне значення кутової швидкості, $1/с$;

ω_n – номінальне значення кутової швидкості, $1/с$;

x – коефіцієнт, котрий характеризує ступінь залежності моменту статичного опору від швидкості, для вентиляторів $x=2$ [15].

$$M_{сн} = 9550 \cdot P_n / n_n = 9550 \cdot 1,32 / 1395 = 9,0 \text{ Нм}; \quad (4.3)$$

$$\omega_n = (2\pi n) / 60 = (3,14 \cdot 1395) / 60 = 146 \text{ 1/с}; \quad (4.4)$$

$$M_c = 0,15 \cdot M_{сн} = 0,15 \cdot 9,0 = 1,35 \text{ Нм}; \quad (4.5)$$

Результати розрахунку заносяться до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Розрахунок механічної характеристики вентилятора

ω , 1/с	0	3,14	62,8	94,2	125,6	148,7	157
M_c , Нм	1,34	1,68	2,7	4,37	6,73	8,9	9,8

Для побудови механічної характеристики двигуна, визначається критичне ковзання за формулою:

$$s_{кр} = \frac{s + \sqrt{s_n \frac{\mu_{кр} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_n \frac{\mu_{кр} - 1}{\mu_1 - 1}}}, \quad (4.6)$$

де $\mu_{кр}$ - кратність максимального моменту, $\mu_{кр}=2,2$;

μ_1 – відношення кратності максимального моменту до кратності пускового моменту: $\mu_1 = \mu_{кр} / \mu_n = 2,2 / 2,0 = 1,1$;

s_n – номінальне значення ковзання, $s_n = 0,08$.

Тоді значення критичного ковзання:

$$s_{кр} = \frac{0,08 + \sqrt{0,08 \frac{2,2-1}{1,1-1}}}{1 + \sqrt{0,08 \frac{2,2-1}{1,1-1}}} = 0,45.$$

Використовуючи каталожні дані електродвигуна [12], будується природна механічна характеристика $M_{\text{дв.}} = f(n)$ за п'ятьма характерними точками (рис. 3.1):

1 точка - неробочий хід: $M_1 = 0$; $s_1 = 0$;

2 точка - номінальний режим роботи $M_2 = M_n$; $s_2 = s_n$;

$$M_n = 9550 \cdot P_{\text{н.дв.}} / n_n, \quad (4.7)$$

де M_n - номінальний обертовий момент електродвигуна, *Нм*;

$P_{\text{н.дв.}}$ - номінальна потужність електродвигуна, *кВт*;

n_n - номінальна частота обертання електродвигуна, *об/хв*.

$$s_n = (n_c - n_n) / n_c, \quad (4.8)$$

де s_n - номінальне ковзання двигуна;

n_c - синхронна частота обертання, *об/хв*.

Підставивши дані в формули (4.7) і (4.8), отримаємо:

$$M_n = 9550 \cdot 1,5 / 1395 = 10,1 \text{ Нм};$$

$$s_n = (1500 - 1395) / 1500 = 0,08.$$

3 точка - точка максимального моменту: $M_3 = M_{\text{max}}$; $s_3 = s_{\text{max}} = s_{кр}$;

$$M_{\text{max}} = \mu_k \cdot M_n = 2,2 \cdot 1,92 = 4,22 \text{ Нм}; \quad (4.9)$$

$$M_{\text{max}} = 4,22 \text{ Нм}; \quad s_{кр} = 0,45.$$

4 точка - точка мінімального моменту; $M_4 = M_{\text{min}}$; $s_4 = 0,7$:

$$M_{\text{min}} = \mu_{\text{min}} \cdot M_n = 1,6 \cdot 10,1 = 16,16 \text{ Нм}; \quad (4.10)$$

5 точка - точка пускового моменту: $M_5 = M_{\text{пуск}}; s_5 = 1$:

$$M_{\text{пуск}} = 2 \cdot 10,1 = 20,2 \text{ Нм.}$$

Визначаються дані для побудови штучної механічної характеристики $M'_{\text{дв}} = f(\omega)$ при зниженні напруги на затискачах споживача на $-7,5\%U_{\text{ном}}$ згідно зі стандартом. При цьому використовується формула:

$$M' = (0,925)^2 \cdot M, \quad (4.11)$$

де M - відповідні значення моментів електродвигуна, Нм .

Одержимо :

$$M'_{\text{ном}} = (0,925)^2 \cdot 10,1 = 8,7 \text{ Нм};$$

$$M'_{\text{max}} = (0,925)^2 \cdot 22,22 = 19,1 \text{ Нм};$$

$$M'_{\text{min}} = (0,925)^2 \cdot 16,16 = 13,9 \text{ Нм};$$

$$M'_{\text{пуск}} = (0,925)^2 \cdot 20,2 = 17,3 \text{ Нм.}$$

Друга штучна механічна характеристика $M''_{\text{дв}} = f(\omega)$ визначається відхилення моментів. Згідно ГОСТ 183-74:

$$\Delta M_{\text{кр(max)}} = -10\%; \Delta M_{\text{min}} = -20\%; \Delta M_{\text{пуск}} = -15\%.$$

Тоді:

$$M''_{\text{max}} = 0,9 \cdot M_{\text{max}} = 0,9 \cdot 22,22 = 17,2 \text{ Нм};$$

$$M''_{\text{min}} = 0,8 \cdot M_{\text{min}} = 0,8 \cdot 16,16 = 11,12 \text{ Нм};$$

$$M''_{\text{пуск}} = 0,85 \cdot M_{\text{пуск}} = 0,85 \cdot 20,2 = 14,7 \text{ Нм};$$

$$M''_{\text{н}} = M_{\text{н}} = 10,1 \text{ Нм.}$$

Розрахункові дані для побудови механічних характеристик електродвигуна АИР80В4У3 наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Розрахункові дані для побудови механічних характеристик електродвигуна

$\omega, \text{с}^{-1}$	78,5	72,2	43,1	23,5	0	Найменування характеристики
s	0	0,08	0,45	0,7	1	
$M, \text{Нм}$	0	10,1	22,22	16,16	20,2	природна $M = f(\omega)$
$M', \text{Нм}$	0	8,7	19,1	13,9	17,3	штучна, при $\Delta U = -7,5\%$
$M'', \text{Нм}$	0	6,3	17,2	11,12	14,7	штучна, при відхиленні моментів ΔM

На основі цих характеристик будується динамічна характеристика $M_{дин} = f(\omega)$;

$$M_{дин} = M_{дв} - M_c. \quad (4.12)$$

Використовуючи динамічну характеристику $M_{дин} = f(\omega)$ (рис. 4.1.) визначається тривалість пуску електродвигуна t_n .

Для цього розбивається характеристика по осі ординат на рівні ділянки і для кожної ділянки графічно визначається середнє значення динамічного моменту.

Тривалість пуску електродвигуна в цьому випадку :

$$t_i = \sum_{i=1}^n \Delta t_i, \quad (4.13)$$

де Δt_i - час пуску двигуна на i -тій ділянці, с.

$$\Delta t_i = j_{i \delta} \frac{\Delta \omega_i}{\Delta M_{i \delta}}, \quad (4.14)$$

де j_{np} - приведений момент інерції до валу електродвигуна, $кгм^2$;

$\Delta \omega_i$ - частота обертання на i -тій ділянці, $рад/с$;

$\Delta M_{i \delta}$ - середній динамічний момент на i -тій ділянці, $Нм$ (рис. 4.1).

Момент інерції приведений до валу двигуна визначається за формулою:

$$J_{np} = J_{дв} + J_{вент}, \quad (4.15)$$

де $J_{дв}$ - момент інерції двигуна, $кгм^2$; для двигуна АИР80В4УЗ - $J_{дв} = 0,0033$ $кгм^2$;

$J_{вент}$ - момент інерції вентилятора, $кгм^2$; $J_{вент} = 0,009$ $кгм^2$.

$$J_{np} = 0,0033 + 0,009 = 0,0123 \text{ кгм}^2 = 0,123 \text{ Нм}^2.$$

Результати розрахунків заносяться до табл. 4.3. Час пуску електродвигуна складає: $t_n = \sum \Delta t_i = 1,12$ с.

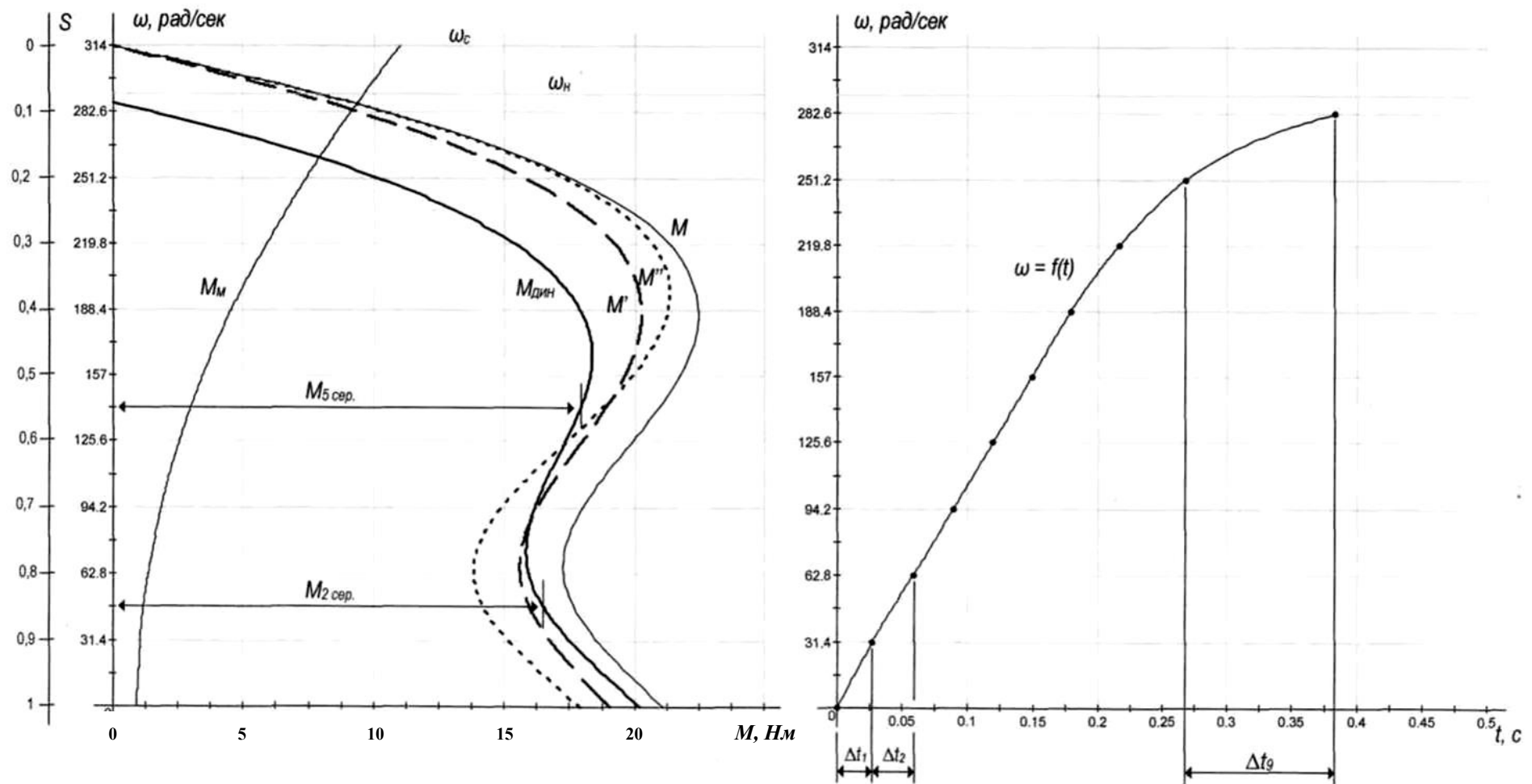


Рис. 4.1. Механічні характеристики електродвигуна АІР 80В4С1У3 та вентилятора.
Визначення тривалості пуску електропривода графо-аналітичним способом.

Розрахунок тривалості пуску електродвигуна

$J, \text{Нм}$	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123
$\Delta\omega, 1/\text{с}$	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
$M_{\text{дин}}, \text{Нм}$	11,1	9,9	11,3	10,9	4,5
$\Delta t, \text{с}$	0,16	0,18	0,16	0,16	0,46

Клас нагрівостійкості ізоляції двигуна В [12], що відповідає допустимій температурі нагрівання обмотки статора 130°C . Нагрівання двигуна за час пуску визначимо за формулою:

$$Q = Q_{\text{навк}} + V_t \cdot t_n, \quad (4.16)$$

де $Q_{\text{навк}}$ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

V_t – швидкість росту температури, $V_t = 5,9^{\circ}\text{C}$.

$$Q = 25 + 5,9 \cdot 2,323 = 38,7^{\circ}\text{C}.$$

Виходячи з цього значення, нагрівання електродвигуна за час пуску для ізоляції небезпеки не становить.

4.2 Вибір пускозахисних апаратів та низьковольтних комплектних пристроїв керування

При проектуванні вибрані апарати керування захисту електрообладнання мають відповідати вимогам ПУЕ і ПТЕ [1, 2]. Проводиться перевірка і вибір пускозахисної апаратури для одного з електроприводів - приводу витяжного вентилятора, встановленого в ремонтно-монтажній дільниці.

Паспортні дані електродвигуна АИР80В4У3: $P_{\text{н.дв.}} = 1,5 \text{кВт}$; $I_{\text{н.}} = 3,6 \text{ А}$; $\eta = 77\%$; $\cos \varphi = 0,83$; $n_{\text{н}} = 1395 \text{ об/хв}$.

Умови вибору автоматичного вимикача в колі живлення двигуна:

$$1) U_{\text{авт}} \geq U_{\text{мережі}};$$

$$2) I_{н.авт.вим} \geq I_{н.дв};$$

$$3) I_{т.р.} \geq I_{н.дв};$$

$$4) I_{ел.м.розр(відсічки)} \geq I_{неспр};$$

У наведених нерівностях:

$U_{авт}, U_{мер}$ - відповідно номінальні напруги автоматичного вимикача і мережі, B ;

$I_{н.авт.вим}, I_{н.дв}$ - відповідно номінальні струми автоматичного вимикача і електродвигуна, A ;

$I_{т.р}$ - струм теплового розчіплювача, A ;

$I_{неспр}$ - струм неспрацювання електромагнітного розчіплювача, A ;

$I_{відсічки}$ - струм відсічки електромагнітного розчіплювача, A .

Дані вибраного автоматичного вимикача ВА47Г29-34. $U_{авт} = 500B$;

$$I_{н.авт.вим} = 16 A; I_{н.р.} = 4 A.$$

Тоді: $I_{у.е.р} = 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot 3,6 = 27,3 A$;

$$I_{відсічки} = 12 \cdot I_{н.р} = 12 \cdot 4 = 48 A.$$

Перевірка умов вибору :

$$1. U_{авт} = 500 B > U_{мер} = 380 B;$$

$$2. I_{н.авт.вим} = 16 A > I_{роб} = 3,6 A;$$

$$3. I_{н.р.} = 4 A > I_{роб} = 3,6 A;$$

$$4. I_{ел.м.в.} = 48 A > 27,3 A.$$

5. За конструктивним виконанням автоматичний вимикач триполюсний, з електромагнітним розчіплювачем максимального струму; без допоміжних контактів. Ступінь захисту оболонки вимикача - IP30.

Повне позначення автоматичного вимикача: ВА47Г29-34УЗВ.

Для дистанційного керування роботою двигуна вибирається електромагнітний пускач серії ПМЛ, виконуючи такі умови вибору:

$$1. U_{пуск} \geq U_{мережі};$$

$$2. I_{н.пускера} \geq I_{н.дв};$$

$$3. I_{т.р.} \geq I_{н.дв};$$

$$I_{нагр.сл} \geq I_{н.дв} \text{ з наступним регулюванням струму неспрацювання на } I_{н.дв}.$$

4. За конструктивним виконанням;

$$5. U_{кот} = U_{к.к};$$

де $U_{пуск}$ - номінальна напруга пускача, V ;

$I_{н.пускача}$ - номінальний струм пускача, A ;

$I_{т.р}$ - номінальний струм теплового реле, A ;

$U_{кот}$, $U_{к.к}$ - відповідно напруга котушки і кола керування, V .

Перевіримо умови вибору:

$$1. U_{пуск} = 660V > U_{мер} = 380V;$$

$$2. I_{н.пуск} = 10A > I_{н.дв} = 3,6 A;$$

$$3. I_{тр.} = 10A > I_{н.дв} = 3,6 A .$$

4. Пускач з електротепловим реле, нереверсивний; ступінь захисту IP54, з кнопками “Пуск” і “Стоп”; кліматичне виконання О.

$$5. U_{ком} = 220 V = U_{к.к} = 220 V.$$

Повне позначення пускача ПМЛ – 1220.04В.

Електротеплове реле РТЛ -1007.06 з діапазоном регулювання номінальної сили струму неспрацювання 2,6...4 А. Номінальна сила струму реле 25 А.

Отже, умови вибору виконуються.

Розрахунок внутрішніх електричних мереж зводиться до вибору перерізу струмоведучих жил проводів і кабелів за тривало-допустимим струмом. Розрахунковий струм - 3,6 А. Розподільча мережа виконується кабелем АВРГ 1(4х2,5). Тривало-допустимий струм кабелю АВРГ перерізом 2,5 мм² дорівнює 19 А [22].

Тоді, умова $I_{тр.дон.} = 19 A > I_{с.р.} = 3,6 A$, - виконується.

За умовою для тривало-допустимих струмів проводів з номінальними даними захисних апаратів:

$$I_{тр.дон.} / I_{н.с.р} > 1.$$

Для розподільчої мережі електродвигуна і вимикача ВА47Г29-34УЗВ:

$$19 / 4 = 4,75 \gg 1.$$

Тобто, умова виконується.

Для інших електроприймачів внутрішні розподільчі мережі вибираються аналогічно, а результати вибору зводяться до розрахунково-монтажної таблиці, яка наведена в матеріалах презентації.

Виходячи з умов навколишнього середовища, кількість груп електроприймачів, їх потужності, вибирається головний розподільчий пункт і групові розподільчі пункти. В якості головного розподільчого пункту, приймається комплектний розподільчий пункт ПР 8501-096IP21У3 з шістьма автоматичними вимикачами ВА47Г29-34; групових розподільчих пунктів - ПР8501-067IP21У3 з шістьма автоматичними вимикачами ВА 47Г29-34 на лініях, що відходять.

Дані про вибір розподільчих пунктів заносяться до розрахунково-монтажної таблиці та на план станції (матеріали презентації).

ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
НАДІЙНОСТІ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ

5.1 Аналіз показників експлуатаційної надійності електричних апаратів (електромагнітних пускачів)

Вивчення надійності електричних контактів комутаційних апаратів є предметом досліджень багатьох авторів. Особливо плідно над цією проблемою працював Сотсков Б.С., який акцентував увагу на визначенні показників надійності (кількісних оцінок) електричних контактів. Його ідеї стосовно слаботочних контактів розвинули Декабрун І.Е., Штремберг Т.К., Кузнецов Р.С.

Проблеми і аспекти фізичної природи зношування, процесу старіння електричних комутаційних апаратів та вплив окремих факторів на їх працездатність розглядалися на спеціальних нарадах та конференціях [23, 24, 25], але недостатньо, на нашу думку, висвітлені статистичні імовірнісні оцінки їх надійності. В той же час Сотсков Б.С., Burkhart S., Кузнецов Р.С. і інші дослідники в своїх працях приділяли увагу визначенню кількісних оцінок надійності електричних контактів комутаційних апаратів низької напруги [26, 27]. Дослідження в цьому напрямку проводили співробітники УНІМЕСГ Корчемний М.О. і Машевський В.П. [28], Таран В.П. [29], Філоненко А.Ф., а також співробітники УСГА - Сагач М.Ф., Коханівський С.П., Резніченко Т.П., Солоний В.І., Наливайко В.А. [30].

Згідно вимог нормативних документів [31, 32], визначення надійності комутаційних апаратів проводиться із застосуванням таких загальнотеоретичних методів:

- розрахункового (з використанням в основному довідкових даних);
- розрахунково-експериментального;
- експериментального.

Крім цих методів визначення надійності на практиці знайшли

застосування більш спрощені інженерні методи розрахунку показників надійності (ПН), які використовують довідкові дані і дані експлуатації [28]:

- метод апріорно-емпіричних функцій (застосовується при об'ємі виборки $n \leq 20$);
- спрощений метод розрахунку ПН;
- метод розрахунку за середньо груповими значеннями інтенсивності відмов;
- метод розрахунку з використанням даних експлуатації;
- коефіцієнтний метод (ґрунтується на використанні відносних коефіцієнтів надійності) [33, 34].

Взагалі ПН вибираються для якогось одного виду апарату залежно від конкретних задач, які вирішуються. Наслідком цього є велика різноманітність ПН (табл. 5.1), які вказані в нормативних документах на конкретний апарат і відсутність єдиного підходу до їхнього вибору.

Враховуючи те, що головним елементом конструкції електричних комутаційних апаратів (пускачів) є комутуючий пристрій (контактна система), а всі інші елементи і вузли пускача відіграють в основному підрядну функцію, то за основні ПН пускача можна прийняти ПН комутуючого пристрою.

Вплив оточуючого середовища може викликати значне збільшення перехідного контактного опору, тому основоположники теорії електричних контактів Хольм Р., Мерл В., Таєв І.С., Сотсков Б.С. та інші вчені, вважають основною характеристикою, яка визначає надійність електричних контактів, саме перехідний контактний опір $R_{пер}$, до якого ставляться вимоги [35, 36, 37]:

$$R_{пер} < R_{пер\ ту}; \quad (5.1)$$

$$\frac{dR_{пер}}{dt} \rightarrow 0; \quad \frac{dR_n}{dt} \rightarrow 0, \quad (5.2)$$

де $R_{пер\ ту}$ - гранично допустиме значення опору, яке визначене технічними умовами;

t, n - час і число комутаційних циклів, відповідно.

**Номенклатура загальних показників безвідмовності і довговічності
для апаратів розподілу і керування**

Вид апарату низької напруги	Виконувана апаратом функція		
	Φ_1	Φ_2	Φ_3
Контактори, командоапарати, реостати, рубильники, пакетні вимикачі	$P_K(t), P_M(t)$ $T_{р\gamma k}, T_{р\gamma m}$	$P_D(t)$ $T_{р\gamma d}$	-
Автоматичні вимикачі	$P_K(t), P_M(t)$ $T_{р\gamma k}, T_{р\gamma m}$	$P_D(t)$ $T_{р\gamma d}$	$P_i(k)$
Запобіжники	-	$P_D(t)$	$P_i(k)$
Пускачі	$P_K(t), P_M(t)$ $T_{р\gamma k}, T_{р\gamma m}$	$P_D(t)$ $T_{р\gamma d}$	$P^*_1(k)$
Пускорегульвальні, регульвальні, навантажувальні реостати	$P_K(t), P_M(t)$ $T_{р\gamma k}, T_{р\gamma m}$	$P_D(t)$ $T_{р\gamma d}$	-
Пускові реостати	$P_K(t), P_M(t)$ $T_{р\gamma k}, T_{р\gamma m}$	-	-

Примітка.

Φ_1 - виконання операції комутації (вмикання і вимикання);

Φ_2 - тривалий режим роботи під струмом;

Φ_3 - збереження працездатного стану на протязі часу між увімкненням і вимиканням;

* так як пускачі призначені, для виконання тільки однієї захисної функції, то $P^*_1(k)$ - імовірність безвідмовної роботи в режимі захисту двигуна від перевантаження і "втрати фази" [38].

Це справедливо для електричних контактів, як елементу системи комутаційного апарату, але опір не є основною достатньою характеристикою для прогнозування надійності всього електромагнітного пускача [39, 40]. Найбільша кількість відмов низьковольтної апаратури (НВА) спостерігається в комутуючих пристроях (контактній системі) - 60% [41, 42], в механізмі керування (електромагнітних котушках) - 27% [41]; 20% [42], в механічній системі - 13% [41]; 20% [42].

Для слаботочних контактів важливим параметром є спад напруги на контактах (перехідний опір), за умовою, що допустимий спад напруги $\Delta U_{к.доп.}$ повинен бути менше напруги розм'якшення матеріалу $\Delta U_{розм.}$: $\Delta U_{к.доп.} = (0,5-$

$0,8) \cdot \Delta U_{\text{розм.}}$ [38].

Згідно положень довідника [43] на практиці, в умовах експлуатації, перехідний опір визначають, пропускаючи через замкнуті контакти апарату постійний струм напругою $2 \div 5$ В і вимірюючи при цьому спад напруги на них. Для пускачів з $I_{\text{ном}} < 50$ А, ΔU не повинно перевищувати 70 мВ, а з $I_{\text{ном}} \geq 50$ А - $\Delta U < 110$ мВ.

В той же час, Копитін Ф.А. робить висновок про допустиме граничне значення спаду напруги на контактах контакторів, яке прийняте в технічних умовах для оцінки працездатності контактів [44]. Для срібла воно дорівнює 90 мВ, але для умов експлуатації цю величину рекомендовано збільшувати.

Надійність електричного контакту значною мірою визначається компонентами, що входять до його складу, структурою і властивостями поверхневих шарів, які утворюються в результаті ерозії та перенесення матеріалу контакту в електричній дузі [1, 2]. Основним компонентом для контактних матеріалів найпоширеніших електромагнітних пускачів є срібло. Корозія робочих поверхонь контактів пускачів, яка відбувається під дією хімічно-активних домішок середовища, також є одним із головних факторів зносу і відмов. Контакти пускачів ПМЛ, ПМ, ПММ, ПМЕ, ПМА, ПАЕ виготовлені з матеріалу на основі срібла (СрН-90, СрМ-0,2+М1, СОК-15, КМК-А10м тощо).

Оскільки надійність пускачів з розробленими дослідними контактами передбачає збереження в часі параметрів, які характеризують властивість електромагнітних пускачів виконувати свої функції у всіх передбачених режимах і в жорстких умовах експлуатації (умови середовища технологічних тваринницьких приміщень), то показники надійності контролюються при всіх випробуваннях: при контролюванні функціонування пускача і при випробуванні на вплив зовнішніх факторів (контрольних випробуваннях). З метою скорочення часу і засобів випробування, застосовується одноступінчатий контроль, при якому проходить випробування одна вибірка (за результатами випробування якої приймають рішення про відповідність вимогам надійності).

Як правило, до складу технологічного обладнання тваринницьких ферм і комплексів переважно входять електромагнітні пускачі загальнопромислового призначення класу зносостійкості Б, В. Такі пускачі непридатні для тривалої експлуатації в конкретних умовах сільського господарства, оскільки не відповідають вимогам по захисту від впливу навколишнього середовища, виходять з ладу до досягнення певного ресурсу зносостійкості, і це, в першу чергу, стосується контактної системи (до 30% всіх відмов у пускачах) [23]. Сьогоднішня сучасна електротехнічна промисловість не випускає пускачі та реле для потреб агропромислового сектора [24].

З метою підвищення надійності контактної системи електромагнітного пускача і реле в цілому пропонується замінити серійні контактні частини на контактні частини на основі міді [35].

Виходячи із наведених положень, основними критеріями надійності комутуючого пристрою ЕМП будемо вважати такі параметри: комутаційну зносостійкість (характеризується електроерозійним зносом), *надійність контактування (контактний перехідний опір $R_{пер}$)*, а в цілому для пускачів - середній термін служби $T_{сл}$.

5.2 Завдання та програма досліджень

В процесі експлуатації електричних апаратів і, зокрема електромагнітних пускачів в комутуючих пристроях, інших елементах конструкції відбуваються незворотні процеси зміни фізико-хімічних, фізико-механічних та діелектричних властивостей електроізоляційних матеріалів, руйнування втомленості контактних та спрацювання конструкційних матеріалів, які в кінцевому рахунку призводять до відмови ЕМП.

Фактичні ПН комутаційних апаратів, які експлуатуються в тваринницьких виробничих приміщеннях (особливо такі показники безвідмовності та довговічності як $P(t)$, $T_{сл}$) не відповідають заданим, нормованим ПН.

Існують різні заходи для забезпечення та підвищення надійності апаратів, які працюють в сільському господарстві, але для їх реалізації потрібні додаткові вкладення коштів і кваліфікована праця обслуговуючого персоналу, що не завжди є в наявності у господарств.

Тому, виходячи з вищенаведеного, метою роботи є проведення досліджень електричної дуги та перехідного опору дослідних контактів для розробки обґрунтованих заходів підвищення експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів за рахунок застосування нових композиційних контактних матеріалів з гетерогенною структурою на основі міді.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- провести аналіз існуючих контактних матеріалів, які застосовуються в електромагнітних пускачах, визначити можливі шляхи економії срібла;
- створити математичну модель прогнозування перехідного опору $R_{пер}$ та електроерозійного зношування контакт-деталей пускачів залежно від факторів навколишнього середовища та кількості комутаційних циклів;
- провести дослідження характеристик електричної дуги контактів, розрахувати значення глибини проплавлення.

5.3 Методики досліджень

Надійність контактування оцінюється за характером зміни перехідного опору. *Перехідний опір* експериментальних контактних пар визначається методом вольтметра-амперметра [45] з використанням універсального вольтметра В7-35 і амперметра із дзеркальною шкалою Э514 з класом точності 0,5 (ГОСТ 8711-78). Заміри перехідного опору проводяться до і після кожної серії комутаційних циклів при протіканні номінального струму. Для кожної пари проводяться 10 замірів спаду напруги після кожної комутації з витримкою часу в замкнутому стані 10 с. Для пускача спад напруги визначається на кожному полюсі головного кола.

Опір контакта ΔR (мОм) розраховується за формулою [46, 47]:

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I}, \quad (5.3)$$

де ΔU - спад напруги на контактному переході, що виміряний вольтметром В7-35, мВ;

I - струм, що виміряний амперметром Э514, А.

Температура, при якій проводяться визначення перехідного опору складає $+20 \pm 5^\circ\text{C}$, що дозволяє не вводити поправку на перерахунок температури [47].

Вивчалася корозійна тривкість на зразках міді та її сплавів. Для сплавів домішки можна розділити на три групи: метали з необмеженою розчинністю в міді (Ni); метали з обмеженою розчинністю (Nb, Ti, Cr, Zr); метали, які не взаємодіють з міддю (Mo). Домішки складала 1;5 і 10 ваг. % (табл. 1).

Ріст плівкового покриття фіксувався шляхом зміни перехідного контактного опору. Перехідний контактний опір і корозійна тривкість матеріалів оцінюється згідно шкали корозійної тривкості (п'ятибальна система) (табл. 5.2).

Випробування по визначенню перехідного опору контакт-деталей пускачів проводяться в нормальному комутаційному режимі (категорія АС-3) за таких кліматичних умов: $t=25 \pm 10^\circ\text{C}$, $\varphi=45 \div 80\%$, $p=84 \div 100$ кПа, при впливі агресивного середовища. Ці випробування проводяться для пускачів та реле для кожного матеріалу контактів. Загальна кількість циклів увімкнення-вимкнення для всіх апаратів приймається однаковою і дорівнює 300 тисячам. Необхідні вимірювання проводили кожні 50 тис. циклів комутацій, частота перемикачів визначалася вимогами стандарту [6]. Для пускачів першої величини вибирається струмове навантаження, виходячи зі значення номінального робочого струму 10А.

Випробувальна камера. Згідно нормативних вимог вибирається вид випробування 1.2.16: випробування на вплив атмосфери з корозійно-активними агентами, а також приймаються до уваги методи випробувань 2.3.7, 2.3.8, 2.3.15 [7]. Для моделювання заданої температури і вологості використовується кліматична камера, яка дозволяє регулювати температуру в межах від -25°C до $+60^\circ\text{C}$ і автоматично підтримувати задане значення з точністю 1%. Діапазон

зміни відносної вологості в робочому об'ємі камери регулюється в межах 20-95% з точністю 3% при температурі $+(25...55)^{\circ}\text{C}$. Для створення в лабораторних умовах спеціального корозивного середовища виготовлена спеціальна герметична приставка (ексикатор) до камери, яка зображена на рис. 1. Приставка 5 прямокутної форми виготовляється зі штучного органічного скла завтовшки 5 мм, розмірами $800\times 600\times 500$ мм (об'єм - $0,24\text{ м}^3$) таким чином, щоб вона могла розміститись в робочому відсіку основної камери і давала можливість спостерігати за випробувальними зразками. Освітленість денним світлом всередині камери складає 50-300 лк.

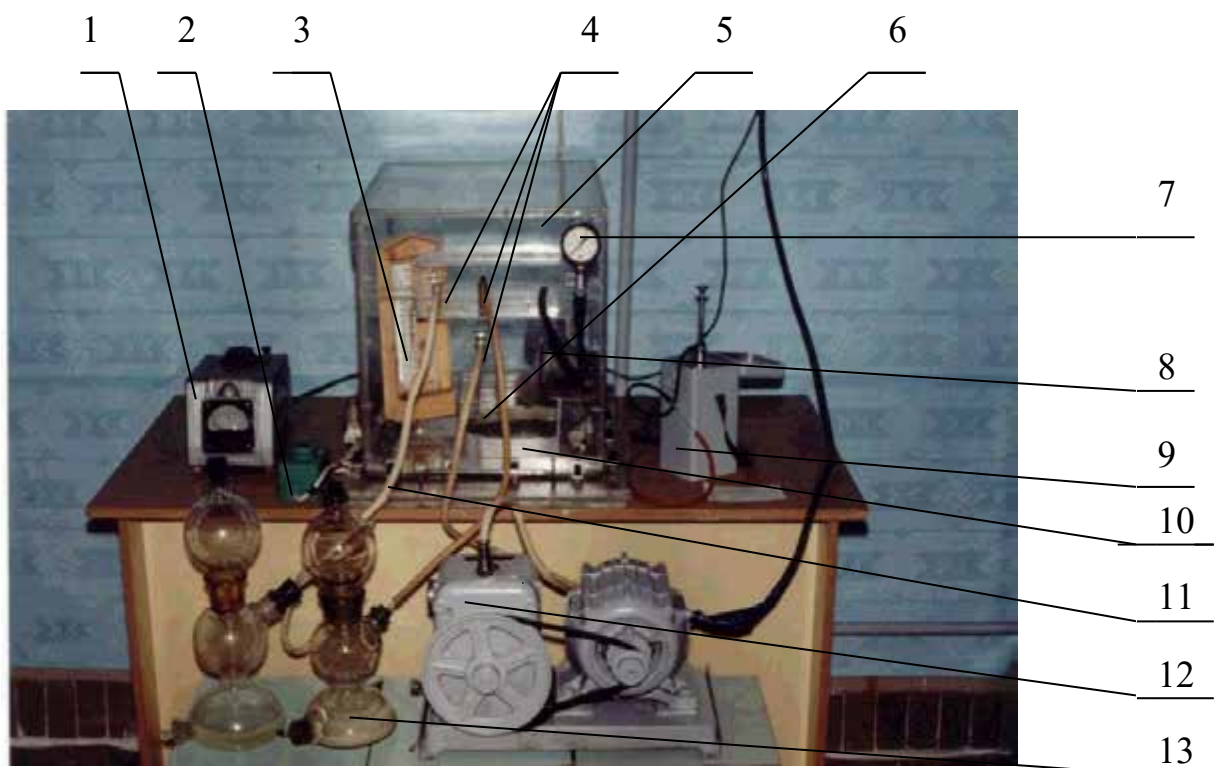


Рис. 5.1. Загальний вигляд спеціальної герметичної приставки до кліматичної камери (для проведення лабораторних кліматичних випробувань):

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 – автотрансформатор; | 8 – електровентильатор; |
| 2 – вимикач ПНВС; | 9 – газоаналізатор УГ-2; |
| 3 – гігрометр ВІП-2; | 10 – водонагрівач; |
| 4 – скляний вентиль; | 11 – гумові трубки; |
| 5 – приставка (ексикатор); | 12 – вакуум-нагнітач; |
| 6 – спеціальна касета; | 13 – апарат Кіпа. |
| 7 – манометр; | |

Нижня горизонтальна площадка з'єднується з вертикальними стінками за допомогою гумової прокладки, яка змащується вакуумним мастилом. Зразки матеріалів розміщуються в фарфорових підставках спеціальної касети 6, а

пускарі закріплюються на монтажному блоці (струмопідвід здійснюється без порушення герметичності), робоче положення пускарів в просторі - вертикальне, при цьому забезпечується вільна циркуляція середовища між ними. Вологість всередині ексикатора регулюється в межах 40-100% завдяки знаходженню всередині ексикатора водяної ванни з водонагрівачем 10 і електроventилятора 8, який знаходиться безпосередньо над поверхнею води. Електропідігрівач, що приєднаний до електромережі через автотрансформатор 1, регулює температуру води у ванні, при цьому контролюється процес випаровування води, завдяки чому встановлюється визначена вологість. Всередині ексикатора вологість контролюється гігрометром ВІП-2 (позиція 3). Електроventилятор рівномірно перемішує спеціальне середовище зі швидкістю до 10 мм/с і створює однакові умови по всьому об'єму ексикатора.

На передній вертикальній стінці приставки є декілька вентилів 4, які призначені для подачі корозивного середовища до приставки, приєднання електричного вакуум-нагнітача 12, газоаналізатора 9, для вирівнювання атмосферного тиску і випуску випробувального середовища. Для отримання агресивних компонентів корозивного середовища (газів NH_3 , H_2S , CO_2 та їх сумішей) використовуються два апарати Кіпа 13, які з'єднуються з вентилями за допомогою гнучких гумових трубок 11. Потрібна концентрація агресивного компоненту всередині ексикатора отримується шляхом примусового нагнітання або відкачування повітряного середовища вакуум-нагнітачем до рівня 40-55 кПа. При цьому відзначаються покази манометра 7, щоб тиск в ексикаторі відповідав нормальним умовам (84,0-106,7 кПа).

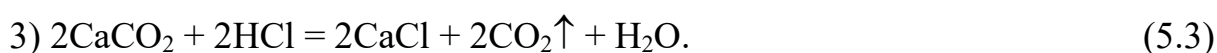
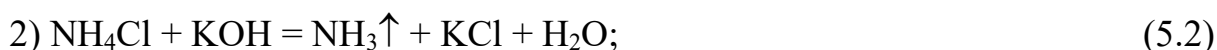
Наведені вище схема і компонування випробувальної камери дозволяють отримувати спеціальне середовище, параметри якого задаються планом дослідження і при цьому активно впливати на процес дослідження при відхиленні параметрів середовища від встановлених значень.

Спеціальне корозивне середовище. Для отримання за короткий період необхідної інформації, процес впливу агресивного середовища прискорюється за рахунок зміни умов впливу шляхом:

- підвищення відносної вологості до значення 83-98%;

– збільшення концентрації корозійних агентів (газів).

Випробувальна однорідна газоповітряна суміш отримується шляхом змішування газу із повітрям визначеної вологості. Для утворення газів використовується реакційний метод із застосуванням апаратів Кіпа. При змішуванні і з'єднанні необхідних компонентів протікають хімічні реакції згідно наступних рівнянь:



Номинальне верхнє значення концентрації агресивних газів при впливі на контактні матеріали встановлюється згідно граничних робочих значень кліматичних факторів зовнішнього середовища при експлуатації і становить для:

- аміаку NH_320 мг/м³;
- сірководню H_2S10 мг/м³;
- вуглекислого газу CO_230000 мг/м³;
- суміші $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$(20+10) мг/м³.

При випробуваннях пускачів масова концентрація аміаку збільшується до 30 мг/м³, а сірководню - до 25 мг/м³. Спеціальне корозивне середовище складається із суміші газів $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$. Концентрація агресивних газів вимірюється за допомогою універсального газоаналізатора УГ-2 з точністю до $\pm 10\%$ (допускається підтримання масової концентрації агресивного середовища в камері з точністю до $\pm 25\%$); при цьому застосовується метод фотоколориметричного визначення концентрації.

Витримка. До початку випробування, завдяки вимірам, встановлюється стабільна концентрація агресивних газів, стабільна температура, вологість. Завдяки взаємодії компонентів із повітрям та природному розкладанню концентрація газів зменшується. Тому, під час випробувань, періодично, два рази на добу, проводяться виміри для контролю цих умов і при відхиленні від встановлених значень коригуються параметри спеціального середовища. Особливо це стосується концентрації агресивних газів, тому що при дослідженні

виробничих умов експлуатації електромагнітних пускачів нами встановлено два максимуми збільшення концентрації агресивних газів в тваринницьких приміщеннях за добу.

Тривалість випробування вибирається так, щоб можна оцінити поведінку зразків контактних матеріалів і виявити хід корозії в процесі випробувань. Тому проводяться періодичні зняття зразків контактних матеріалів для контролю параметрів корозійної тривкості. Після видалення зразків із камери вони витримуються в нормальних умовах 1 годину, потім проводяться необхідні заміри параметрів корозійної тривкості. Заміри проводяться перед початком випробувань, протягом 4 діб, 10 діб і 21 доби перебування зразків в корозивному середовищі. Подібні вимоги щодо витримки контактів із Au, Ag, Pt, Cu під час проведення кліматичних випробувань висуваються і в країнах Європи.

Вимоги до зразків матеріалів, виміри і обробка результатів. Показники корозійної тривкості використовуються кількісні і напівкількісні (контактний опір оцінюється за п'ятибальною системою). Корозійна тривкість зразків контактних матеріалів визначається по виду корозії та експлуатаційними вимогами за такими показниками:

- корозійні втрати на одиницю площі (інтегральний показник корозії);
- електричний контактний опір.

Для суцільної корозії, яка спостерігається під час проведення випробування, корозійні втрати на одиницю площі поверхні Δm_s обчислюються за формулою:

$$\Delta m_s = \frac{m_{0\text{ кор}} - m_{1\text{ кор}}}{S}, \text{ кг/м}^2 \quad (5.4)$$

де $m_{0\text{ кор}}$ - маса зразка до випробувань, кг;

$m_{1\text{ кор}}$ - маса зразка після випробувань без усунення продуктів корозії, кг;

S - площа поверхні зразка, м².

Електричний контактний опір визначається методом малих ЕРС за формулою (5.1) згідно Стандарту МЭК публ. 130-1 п.п.14.1.1, що дозволяє уникнути руйнування оксидних плівок на контактних поверхнях. При цьому

зразки контактів закріплюються в спеціальному пристрої та при контактному натиску 100 г (0,98 Н), постійному струмі величиною 2 А, напрузі 36 В, вимірюється спад напруги на контактах - по 10 замірів на трьох парах контактів з витримкою часу по 10 с.

Зразки матеріалів для визначення контактного опору мають форму циліндричних стрижнів діаметром 2,5 - 4,5 мм довжиною 15 - 20 мм; верхній рухомий контакт (анод) має контактну поверхню у формі напівкулі, нижній нерухомий (катод) - форму площини. Зразки контактних матеріалів для дослідження втрати маси мають форму пластини розмірами $50\pm 10\times 25\pm 5\times 1,5$ мм; кількість зразків пластин дорівнює трьом.

Корозійні втрати від часу зображуються графічно $\Delta m=f(t_m)$, використовуючи чотири значення показника часу (0, 4, 10, 21 доби витримки) (рис. 5.5 та 5.6). Також графічно представляються дані по електричному контактному опору від часу перебування в спеціальному корозивному середовищі: $\Delta R=f(t_m)$.

5.4. Результати досліджень та їх аналіз

Метою лабораторних кліматичних випробувань є визначення впливу спеціального середовища тваринницьких приміщень, яке вміщує продукти життєдіяльності тварин (аміак, сірководень, вуглекислий газ тощо) при підвищеній вологості, на властивості контактів, що виготовлені з матеріалів на основі срібла та міді, а також для визначення параметрів надійності пускачів (комутаційної зносостійкості, перехідного опору) при експлуатації в подібних середовищах. Суть методу заключається в експонуванні зразків контактних матеріалів і пускачів в умовах спеціального фізично-змодельованого середовища тваринницьких приміщень з наступною оцінкою їх корозійної тривкості. Ці випробування дозволяють за короткий період часу визначити поведінку матеріалів, яка може бути порівняна з їх характеристиками в умовах експлуатації протягом декількох років.

Як показали досліди, корозивне газове середовище суттєво впливає на властивості електроконтактних матеріалів. Внаслідок різних хімічних процесів, а також формування твердих шарів різної природи і товщини, значно змінюється перехідний контактний опір зразків.

Встановлено, що найбільш впливає корозивне середовище на контакти, які працюють в суміші сірководню з аміаком, особливо при наявності вологи.

Найбільшу тривкість мають контакти, випробувані в NH_3 , CO_2 (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Вплив корозивного середовища на перехідний контактний опір та корозійну тривкість контактних матеріалів на основі міді

Сплави	NH_3		CO_2		H_2S		$\text{H}_2\text{S}+\text{NH}_3$	
	кон-такт-ний опір	коро-зійна трив-кість	кон-такт-ний опір	коро-зійна трив-кість	кон-такт-ний опір	коро-зійна трив-кість	кон-такт-ний опір	коро-зійна трив-кість
1. Cu 99,99%	5	4	5	5	5	3	5	2
2. Cu+1% Zr	5	2	5	5	4	2	4	2
3. Cu+5% Zr	5	1	5	3	3	1	3	1
4. Cu+10% Zr	4	1	5	1	3	1	2	1
5. Cu+1% Nb	5	4	5	5	3	3	3	2
6. Cu+5% Nb	5	1	5	5	4	2	3	2
7. Cu+10% Nb	5	1	5	3	3	1	3	2
8. Cu+1% Mo	5	4	5	5	3	4	2	2
9. Cu+5% Mo	5	4	5	5	2	3	2	2
10. Cu+10% Mo	5	2	5	5	2	1	2	2
11. Cu+1% Ni	5	4	5	5	4	3	4	2
12. Cu+5% Ni	5	4	5	4	5	3	3	2
13. Cu+10% Ni	5	4	5	5	5	2	3	2
14. Cu+1% Cr	5	4	5	4	5	3	3	2
15. Cu+5% Cr	5	4	5	4	4	3	1	2
16. Cu+10% Cr	5	4	5	3	3	3	1	2
17. Cu+1% Ti	5	4	5	4	4	3	3	2
18. Cu+5% Ti	5	4	5	4	4	2	3	2
19. Cu+10% Ti	4	4	5	4	4	2	2	2
20. Cu+10%Nb+1%C	5	3	5	4	4	2	4	2
21. Cu+10%Mo+1%C	5	3	5	4	5	2	4	1
22. Cu+10%Cr+1%C	5	4	4	4	4	3	4	2
23.83%Cu+12%Mo+1,7%C+2,4%MoO ₃ +0,9%Ni	5	4	5	5	5	4	5	3
24.83,5%Cu+15%Nb+1,0%Zr+0,5%Y ₂ O ₃	5	4	5	5	5	3	4	3
25.81,3%Cu+10%Cr+3%Nb+3%TiB ₂ +2%C+0,7%Zr	5	5	5	5	5	4	5	3

Примітки: 1. Перехідний контактний опір:

5 – $R_k \leq 50$ МОм; 4 – $R_k \leq 100$ МОм; 3 – $R_k \leq 200$ МОм; 2 – $R_k \leq 300$ МОм; 1 – $R_k > 300$ МОм.

2. Корозійні втрати:

5 – $\Delta m/s \leq 1$ г/м²; 4 – $\Delta m/s \leq 3$ г/м²; 3 – $\Delta m/s \leq 5$ г/м²; 2 – $\Delta m/s \leq 10$ г/м²; 1 – $\Delta m/s > 10$ г/м².

В цьому випадку поверхня контактів вкрита масою чорного кольору, яка є оксидом міді CuO . Досить наглядно це можна побачити на рис. 5.4, де представлено фотографії зразків контактних матеріалів після витримки в різних корозивних середовищах.

В середовищі аміаку при доступі повітря на поверхні міді та її сплавів виникає комплексний гідроксид $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, який розчиняється у воді. Внаслідок цього контактний опір зразків змінюється мало ($R_k \leq 50$ мОм, рис. 5.4.а).

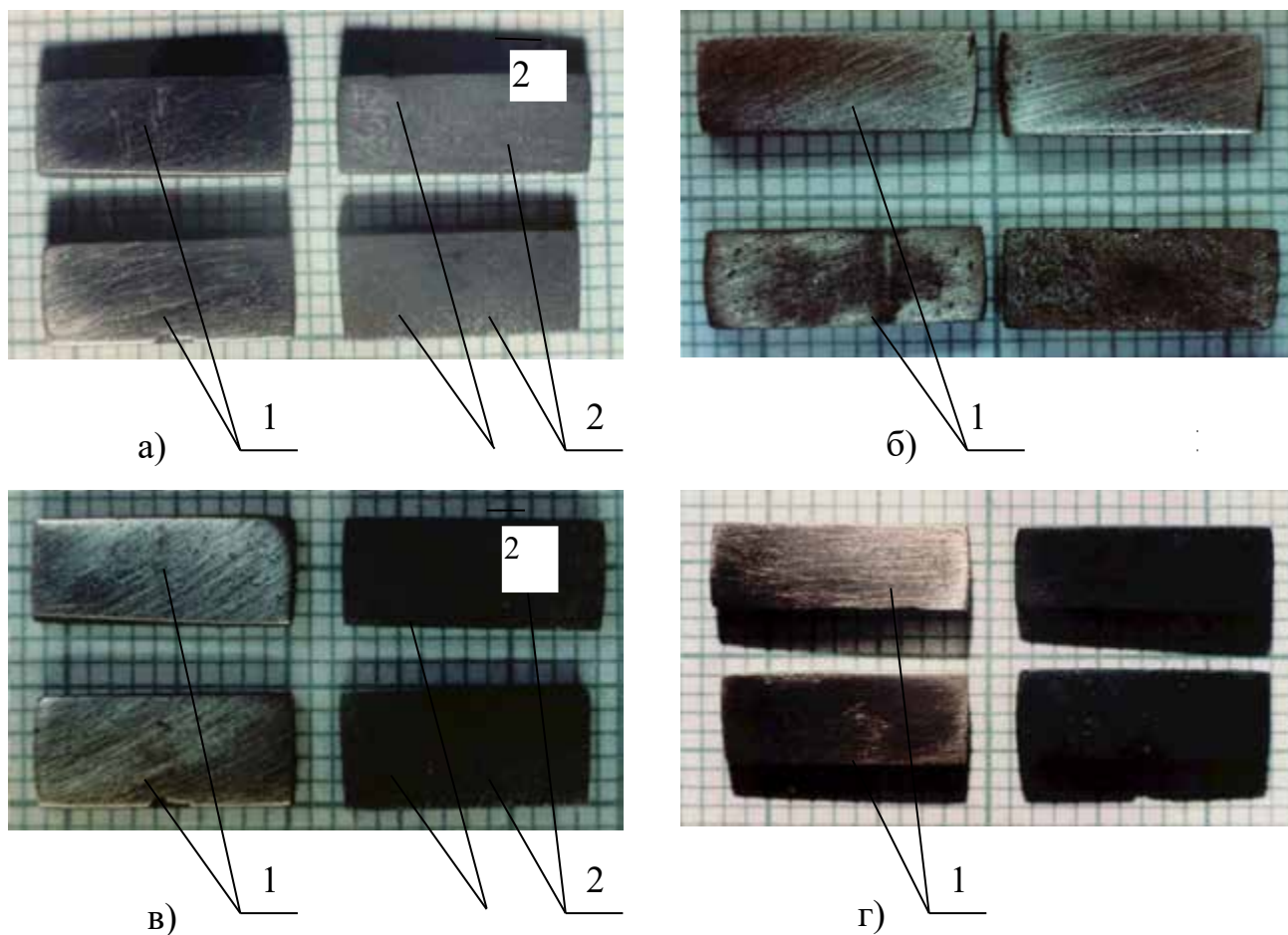


Рис. 5.4. Зразки контактного матеріалу до (1) і після 21 доби витримки (2) в корозивному середовищі, яке містить:
 а) – CO_2 ; б) – NH_3 ; в) – H_2S ; г) – $\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3$; (верхні – $81,3\% \text{Cu} + 10\% \text{Cr} + 2\% \text{TiB}_2 + 3\% \text{Nb} + 2\% \text{C} + 0,7\% \text{Zr}$, нижні – Cu).

Петрографічним аналізом продуктів взаємодії на поверхні зразків виявлено скупчення дрібних анізотропних зерен гідроксиду блакитно-зеленуватого кольору з показником переломлення $n=1,70$. Ці зерна оточені більш блідими анізотропними шарами з'єднань, які характеризуються коефіцієнтами переломлення 1,5-1,6. Напевно, поряд із основним продуктом взаємодії $[\text{Cu}$

$(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ при невеликих концентраціях аміаку тут утворюються також комплексні гідроксиди, які мають координаційне число відмінне від чотирьох. Так, в досліджуваних розчинах існує рівновага між катіонами, які відповідають різним значенням координаційного числа. В нашому випадку також відбувається утворення невеликої кількості гідроксидів $[\text{Cu}(\text{NH}_3)](\text{OH})_2$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3](\text{OH})_2$ і $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_5](\text{OH})_2$, які дещо відрізняються за оптичними властивостями.

Як в середовищі аміаку, так і в інших дослідних корозивних середовищах, оксиди металів-домішок ZrO_2 , Nb_2O_5 , MoO_3 , NiO , Cr_2O_3 і TiO_2 , які виникають в невеликих кількостях (<5 ваг.%) на зразках у вологому повітрі, петрографічно не визначаються. В той час підвищення перехідного опору і зниження корозійної тривкості контактних матеріалів, які містять крім міді порівняно велику (5-10 ваг.%) кількість Zr, Nb, Mo і інших перехідних металів, пояснюється утворенням в процесі взаємодії оксидів ZrO_2 , Nb_2O_5 , MoO_3 з великим співвідношенням Пілінга-Бедворса (відношення питомих об'ємів оксиду і металу). Це сприяє розтріскуванню окалини і збільшує можливість проникнення аміаку до основи зразків з подальшим утворенням основного продукту взаємодії - гідроксиду тетраамінміді.

Задовільні антикорозійні властивості проявляють майже всі вивчені матеріали і в середовищі діоксиду вуглецю (CO_2). Потрібно відзначити, що продуктів хімічної реакції тут менше, ніж в середовищі аміаку. Як відомо, в сухому середовищі на повітрі мідь майже не змінюється, оскільки, на її поверхні формується дуже тонка плівка оксидів Cu_2O і CuO більш темного кольору, яка є добрим захистом від подальшого окислення. Але в наших дослідах, в присутності діоксиду вуглецю і вологи, поверхня міді та матеріалів на основі міді вкривається зеленуватою масою гідроксокарбоната міді $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$.

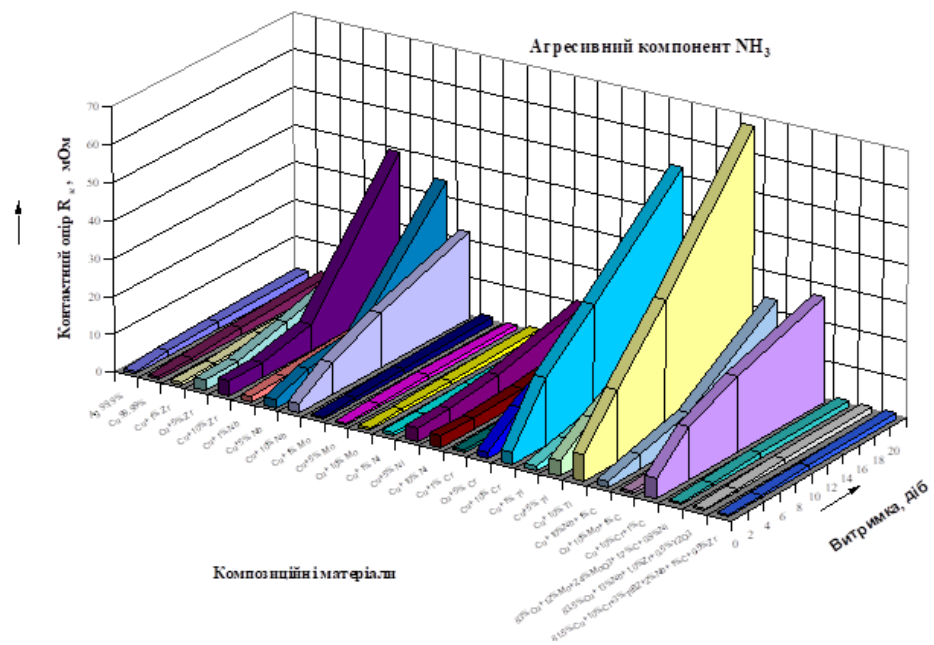
Останній ідентифікується в мікроскопі за значеннями відповідних кристалооптичних констант. У випадку чистої міді в поверхневому шарі зразків петрографічно знаходяться рівномірно розподілені частинки міді, а вказана сіль спостерігається в дуже невеликих кількостях. В сплавах міді особливо з Zr (10 ваг.%) її набагато більше. При цьому навколо дрібних зерен міді скупчуються

коричнево-зеленуваті ізотропні зерна $(\text{CuOH})_2\text{SO}$ такого ж розміру (1-2 мкм) з показником переломлення $n=1,8$. Оскільки основні солі міді розчинні у воді, тверді шари на зразках контактних матеріалів не утворюються і контактний опір матеріалів у середовищі CO_2 , як правило, $R_k \leq 50$ мОм (рис. 5.4.б).

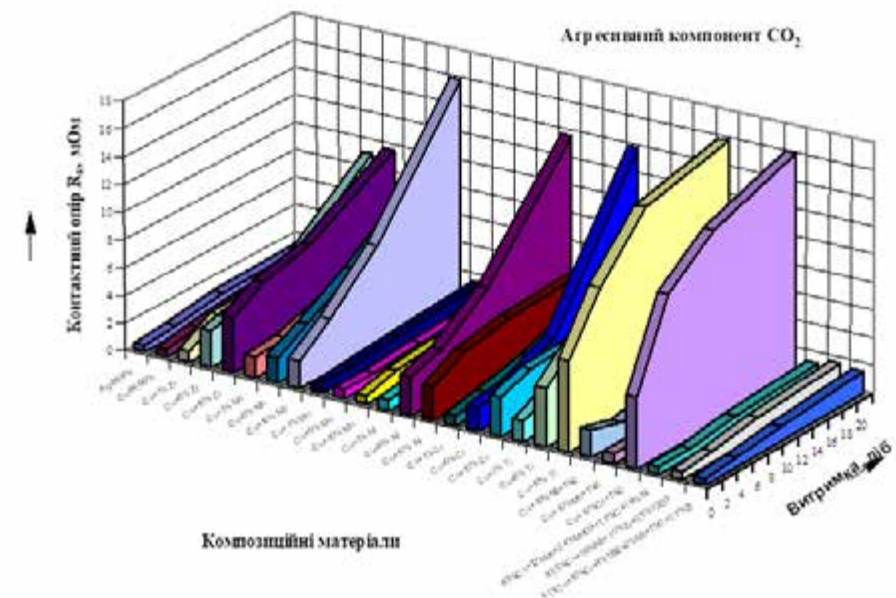
Корозійна тривкість електроконтактних матеріалів на основі міді значно погіршується в сірководні. При цьому встановлений механізм взаємодії в усіх дослідних випадках не відповідає процесу сульфідотворення. CuS і інші сульфіди металів при відносній вологості середовища 95-98% кристалооптично не визначаються. Так, продукти взаємодії з H_2S , розташовані шарами на поверхні зразка Cu 99,99%, складаються з невеликої кількості оксиду міді Cu_2O червонуватого кольору (перший внутрішній шар) і червонувато-коричневих зерен окисульфату міді $\text{Cu}_2(\text{SO}_4)\text{O}$ з високим двохпереломленням (другий шар). В зовнішніх шарах продуктів взаємодії петрографічно фіксується гідрокосульфат міді $\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ у вигляді блідувато-зелених скупчень анізотропних зерен з показником переломлення $n=1,65$, а також сульфат міді $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, який має безбарвні анізотропні зерна з меншим показником переломленням. При переході від міді і мідно-нікелевих сплавів, які являють собою тверді суміші нікелю в міді, до сплавів міді, які являються механічною сумішшю компонентів, вміст окисолі в продуктах взаємодії збільшується від 20 до 30 ваг.% і більше, а вміст гідроксолі відповідно зменшується від 50 до 35-40 ваг.%.

Хімічні реакції, які описують механізм корозії вивчених електроконтактних матеріалів в корозивних середовищах можуть проходити при кімнатній температурі. При цьому контактний опір зразків в середовищі H_2S зростає до 100 мОм (рис. 5.5.а).

У випадку суміші $\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3$ контактний опір збільшується до 300 мОм і більше (рис. 5.6.б). Тут корозійна тривкість контактів найменша в порівнянні з іншими спеціальними корозивними середовищами, а приріст маси зразка після дослідження становить ~ 10 г/м². Петрографічно в продуктах взаємодії виявляються ті ж фази, що і в середовищі H_2S : Cu_2O , CuO , $\text{Cu}_2(\text{SO}_4)\text{O}$, $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$, $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, але також присутні і аміакати $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Сіль більш складніша: $[\text{Cu}_2(\text{SO}_4) \cdot (\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ та відповідний їй гідроксид, які виявлені раніше, не помічені.



а)



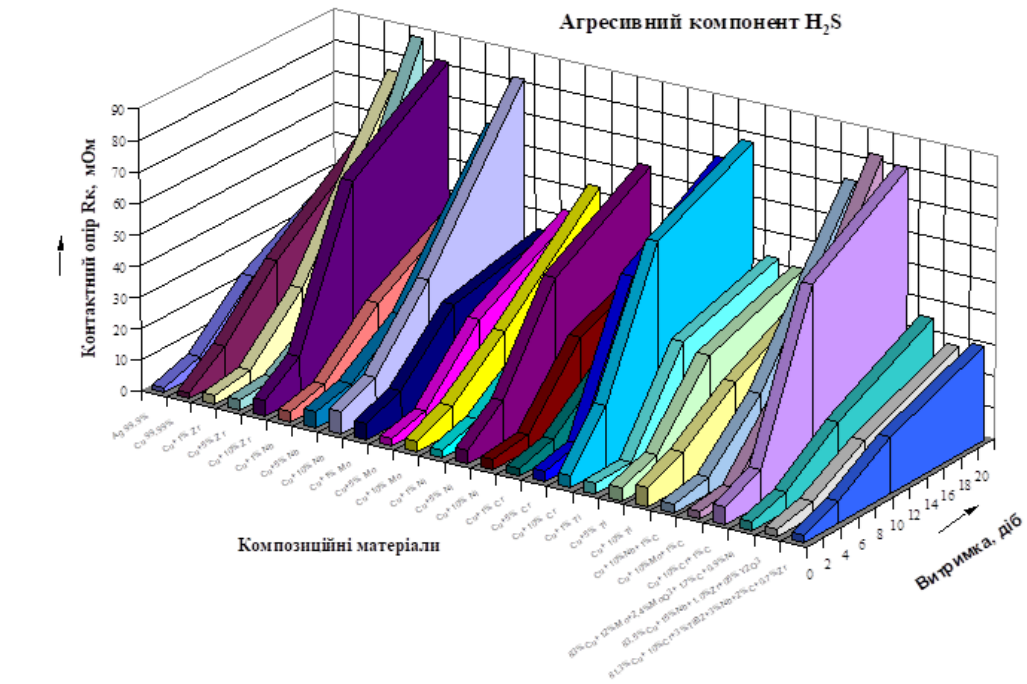
б)

Рис. 5.5. Залежність перехідного контактного опору композиційних контактних матеріалів на основі міді:

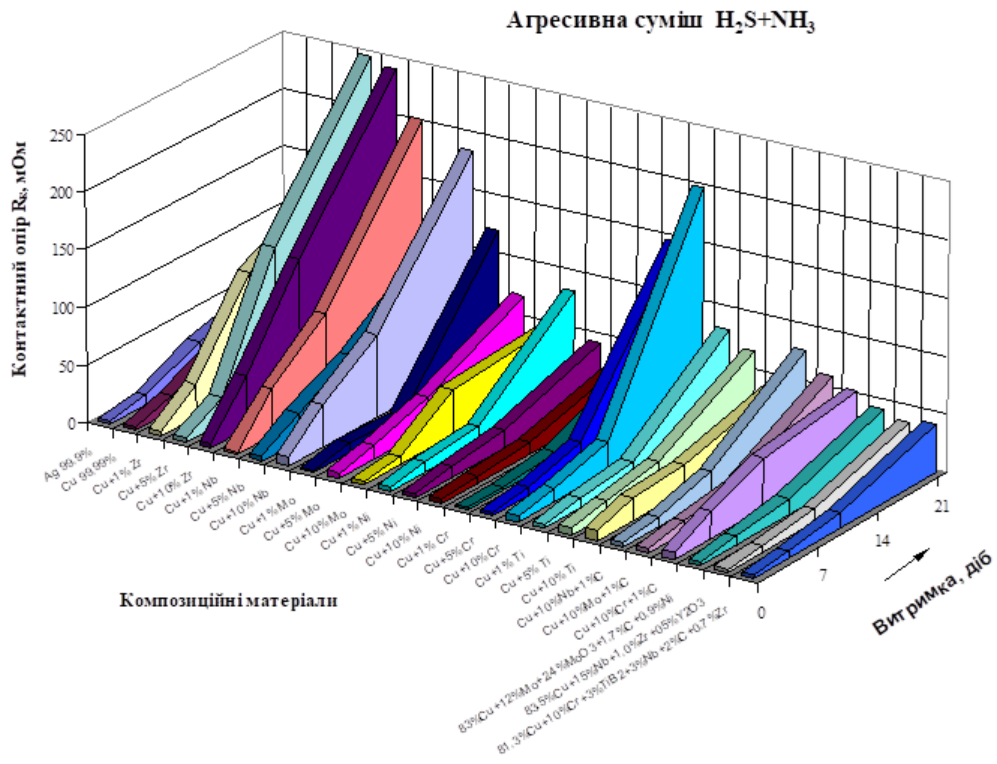
а) в середовищі компонента NH_3 ; б) в середовищі компонента CO_2 .

В продуктах взаємодії з $\text{H}_2\text{S}+\text{NH}_3$ зразка $\text{Cu}+10\%\text{Zr}$ спостерігаються дрібні зерна $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, підфарбовані дисперсними включеннями Cu_2O і CuO , окремі зерна $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$, зафарбовані в смарагдово-зелений колір і жовті дрібні утворення $\text{Cu}_2(\text{SO}_4)\text{O}$, які мають високий коефіцієнт переломлення і колір яких змінений дисперсними включеннями оксидів, а також кристаліти вищенаведених

аміакатів, переважно $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ з показниками переломлення, як і у відповідних сульфатів.



а)



б)

Рис. 5.6. Залежність перехідного контактного опору композиційних контактних матеріалів на основі міді:

а) в середовищі компонента H_2S ; б) в середовищі суміші компонентів $\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3$.

Корозійна взаємодія електроконтактних матеріалів із сумішшю агресивних компонентів $\text{H}_2\text{S}+\text{NH}_3$, більш інтенсивна, ніж в описаних вище середовищах. На поверхні зразків може виникати навіть ріст великих кристалів у вигляді пластин, особливо помітних у міді з домішками перехідних металів. Механізм впливу середовища $\text{H}_2\text{S}+\text{NH}_3$ багато в чому подібний до описаного для H_2S . При цьому перехід сульфату міді в сульфат тетраамінміді здійснюється шляхом безпосереднього насичення аміаком при кімнатній температурі:



5.5 Висновки до розділу 5

1. Як показали досліди, корозивне газове середовище суттєво впливає на властивості електроконтактних матеріалів. Внаслідок різних хімічних процесів, а також формування твердих шарів різної природи і товщини, значно змінюється перехідний контактний опір зразків.

2. Встановлено, що найбільш впливає корозивне середовище на контакти, які працюють в суміші сірководню з аміаком, особливо при наявності вологи. Найбільшу тривкість мають контакти, випробувані в NH_3 , CO_2 .

3. Дослідження продемонстрували високу корозійну тривкість електроконтактних матеріалів на основі міді в NH_3 і CO_2 та значно менш задовільну в середовищах H_2S і $\text{H}_2\text{S}+\text{NH}_3$. Плівки, які утворювались на зразках контактних матеріалів №20-24 (табл. 5.3) мають майже однорідний за складом характер, а їх товщина збільшується зі збільшенням тривалості впливу середовища.

4. При впливі корозивного середовища, що містить суміш газів $\text{H}_2\text{S}+\text{NH}_3$, опір серійних контактів $\text{CrM-0,2}+\text{M1}$ збільшується майже в 5 разів порівняно з початковим, а дослідних - зростає повільніше, ніж у срібловмістких матеріалів, \approx в 2,7 рази.

5. Для створення контактних матеріалів з необхідними робочими властивостями для пускачів сільськогосподарського призначення доцільно обирати композиційні матеріали на основі міді, компонентами яких є такі термодинамічні компоненти: Cr, Nb, Zr, Y_2O_3 , C, TiB_2 .

РОЗДІЛ 6.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

6.1 Експериментальна установка для дослідження контактних матеріалів

Лабораторні методи дослідження надійності конструкцій і систем є основними при дослідженні надійності НВА. Тільки стендові випробування дозволяють отримати порівняльні результати серійних і експериментальних зразків, які необхідні при модернізації конструкції, заміні матеріалів тощо. Основною вимогою, що ставиться до експериментальних лабораторних установок, є необхідність скорочення витрат праці і електроенергії при проведенні випробувань.

Для отримання оцінок ПН з заданою точністю та імовірністю, вибирається

план випробування на надійність NUT. Дані для розрахунку:

– нижня довірча границя імовірності безвідмовної роботи $P(T)=0,85$ (додаток А.3, табл. 1);

– довірча імовірність, $g=0,95$;

– допустиме число відмов, $d=0$.

За вибраними значеннями і по таблиці Г.2 [59] визначається необхідний обсяг вибірки $N=14$ зразків.

Лабораторна установка (загальний вигляд якої приведений на рис. 6.1) функціонально складається із трьох основних частин:

1) джерело струму і навантаження, що можуть створювати умови, в яких працюють комутуючі пристрої пускачів згідно параметрів категорії застосування DC-2, DC-22, AC-3 (постійна часу τ в межах 2-100мс, коефіцієнт потужності $\cos \varphi=0,15-1,0$) [34];

2) випробувальне силове коло (агрегат);

3) блок реєстрації параметрів комутації і вибору режимів дослідження.

Електрична принципова схема лабораторної установки для дослідження КМ на електроерозійну стійкість наведена на рис. 6.2. Джерелом живлення є напруга змінного струму 380 В промислової частоти 50 Гц. Трифазний поворотний автотрансформатор TV1 регулює напругу в межах $U=0-380$ В. Дослідження проводяться при постійній та змінній напрузі, що забезпечується вмиканням пускачів КМ1 або КМ2. Діапазон регулювання струму складає 0-25А.

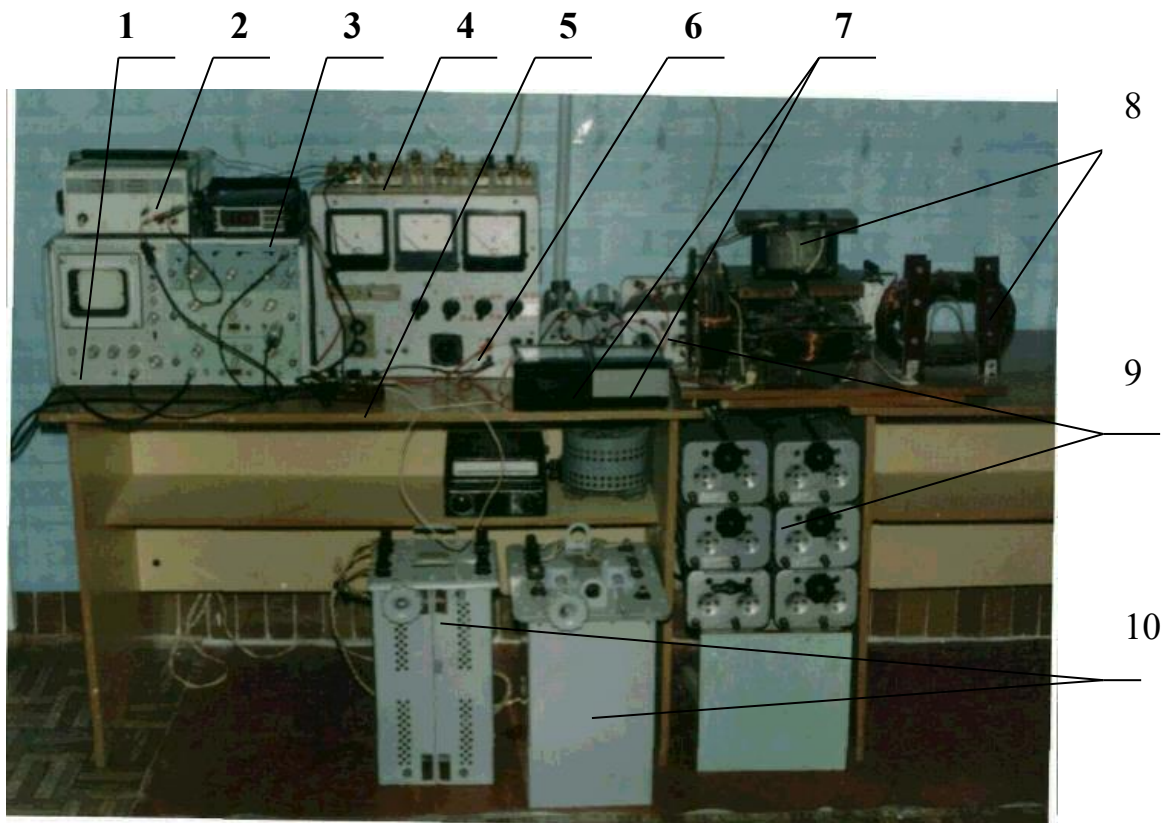


Рис. 6.1. Лабораторна установка для дослідження контактних матеріалів на електроерозійну стійкість:

- | | |
|--|--|
| 1 – осцилограф PG (С8-14); | і вибору режимів досліджень; |
| 2 – блок живлення; | 7 – прилади для вимірювання: амперметр |
| 3 – вольтметр цифровий PV1 (В7-36); | РА1, вольтметр PV2; |
| 4 – контакти випробувальні К1-К14; | 8 – реостати RR; |
| 5 – шунт RS (75ШСМ3-25-05); | 9 – реактори повітряні LR; |
| 6 – блок реєстрації параметрів комутації | 10 – трансформатори. |

Постійний струм отримується за допомогою випрямляча VD1-VD6, зібраного за схемою Ларіонова на діодах Д242. Випробувальне силове коло включає:

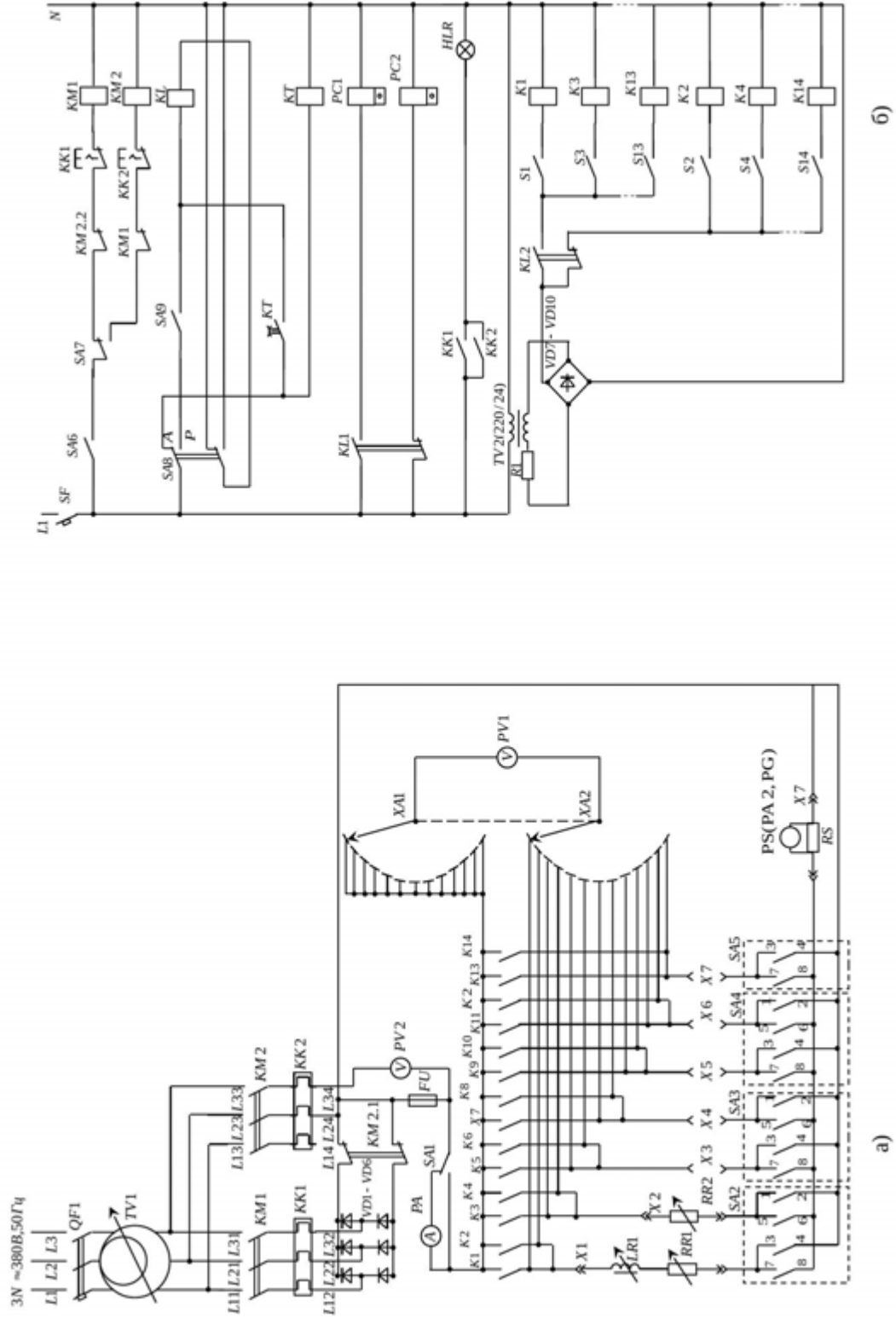


Рис. 6.2. Електрична принципова схема лабораторної установки для дослідження контактних матеріалів на електроерозійну стійкість: а) – схема силового кола, б) – схема керування.

прилади для вимірювання електричних параметрів: амперметр PA1, який під'єднується до схеми в моменти вимірювання через тумблер SA1 і контролює струм установки; вольтметр PV2; цифровий вольтметр PV1 (B7-35), який по чергово в ручному режимі приєднується до схеми за допомогою крокового (ковзного) вимикача ХА і призначений для вимірювання спаду напруги на випробувальних контактах К1...К14; амперметр PA2, за допомогою якого вимірюється струм на кожному контакті К; осцилограф PG, який приєднується до схеми через шунт RS (75ШСМЗ-25-05);

– випробувальні контакти К1...К14. Зразки контактів закріплюються в спеціальному розробленому реле, (на основі реле-регулятора РР362) з напругою котушки вмикання 12 В постійного струму, який отримується за допомогою трансформатора TV2 (220/24В) і випрямляча VD7-VD10 та узгоджувачого резистора R1.

Зразки КМ мають циліндричну форму або форму заклепки. Рухомому контакту надається форма напівкулі, нерухомий контакт має форму площини. Діаметр циліндричних контактів складає 2-5 мм, довжина 10-15 мм, діаметр заклепки становить 4÷6 мм, розмір ніжки - 2×5 мм. Конструкція спеціального реле дозволяє встановлювати зазор між контактами 0,5-2,0 мм, контактний натиск регулюється в межах 2,0-2,5 Н. Для визначення електроерозійного зносу рухомі і нерухомі контакти знімаються і зважуються на вагах;

– навантаження, яке включає в себе послідовно з'єднані регульовані реостат RR1 і повітряний реактор LR1 або один змінний реостат RR2 [119]. Приєднання реостатів і реакторів здійснюється за допомогою гвинтових затискачів Х1-Х7;

– пакетні перемикачі SA2-SA5, які дозволяють в режимі проведення вимірювання контролювати навантажувальний струм і проводити осцилографування для кожному із контактів К;

– апарати захисту від аварійних режимів КК1, КК2, FU.

Електрична схема блоку керування передбачає режим проведення дослідження, режим проведення вимірювання (ручний і автоматичний). Живлення схема керування отримує від мережі змінного струму напругою 220

В і вмикається тумблером SA6. Перемикач SA7 слугує для вибору виду напруги схеми. Реле часу КТ (типу ВЛ-10) є задавачем часу початку комутацій силового кола, тривалості протікання струму, моменту відключення і тривалості паузи комутації. При значенні уставки протікання струму величиною в 10 с, в автоматичному режимі, проводяться вимірювання спаду напруги на контактах К. В ручному режимі це досягається за допомогою перемикачів SA8 і SA9. До складу схеми входять два проміжних реле (KL1 і KL2), два лічильники електричних імпульсів РС1 і РС2 (типу СІ-206), червона лампа аварійної сигналізації HLR, вимикачі S1-S14 (керують електромагнітними котушками контактів K1...K14).

На початку проведення дослідження фіксується маса контактів, спад напруги на них, потім установка переводиться в режим дослідження і через кожні 10 тис. комутаційних циклів процедура вимірювання повторюється. Кінцеві вимірювання параметрів проводяться при наробітку 50 або 100 тис. циклів.

6.2 Дослідження перехідного контактного опору контактів пускачів з серійними і дослідними контактами

Перехідний опір серійних та дослідних контактних пар визначався методом вольтметра-амперметра при загальній кількості циклів комутації 300 тис. Необхідні вимірювання спаду напруги ΔU проводяться через кожні 50 тис. при протіканні номінального струму 10А. Проводяться 100 замірів значень спаду напруги в кожній комутаційній серії з витримкою часу в замкнутому стані контактів 10с. Всі вимірювання дозволяла проводити електрична схема установки, яка приведена на рис. 6.2. Для пускача спад напруги визначався на кожному полюсі головного кола. Отриманий масив даних по спаду напруги для серійних контактів марки CrM-0,2+M1 та дослідних $81,3\% \text{Cu} + 10\% \text{Cr} + 3\% \text{TiB}_2 + 3\% \text{Nb} + 2\% \text{C} + 0,7\% \text{Zr}$ оброблявся з використанням методів математичної статистики з застосуванням програми «Statistika». Опір контакту ΔR (мОм) розраховувався за формулою (6.3). В результаті обробки отримані експериментальні залежності перехідного контактного опору від кількості циклів комутації, які наведені на рис. 6.3. Ці залежності

апроксимувались поліномом першої степені, в результаті були визначені наступні вирази для математичного очікування контактного опору:

– для серійних контактів $\text{CrM}0,2+\text{M}1$:

$$R_c(n) = 14,22 + 0,191 \cdot n, \quad (6.1)$$

– середньоквадратична похибка апроксимації $E_c=2,141$;

– для дослідних контактів $81,3\%\text{Cu}+10\%\text{Cr}+3\%\text{TiB}_2+3\%\text{Nb}+2\%\text{C}+0,7\%\text{Zr}$:

$$R_d(n) = 21,84 + 0,128 \cdot n, \quad (6.2)$$

– середньоквадратична похибка апроксимації $E_c=1,855$.

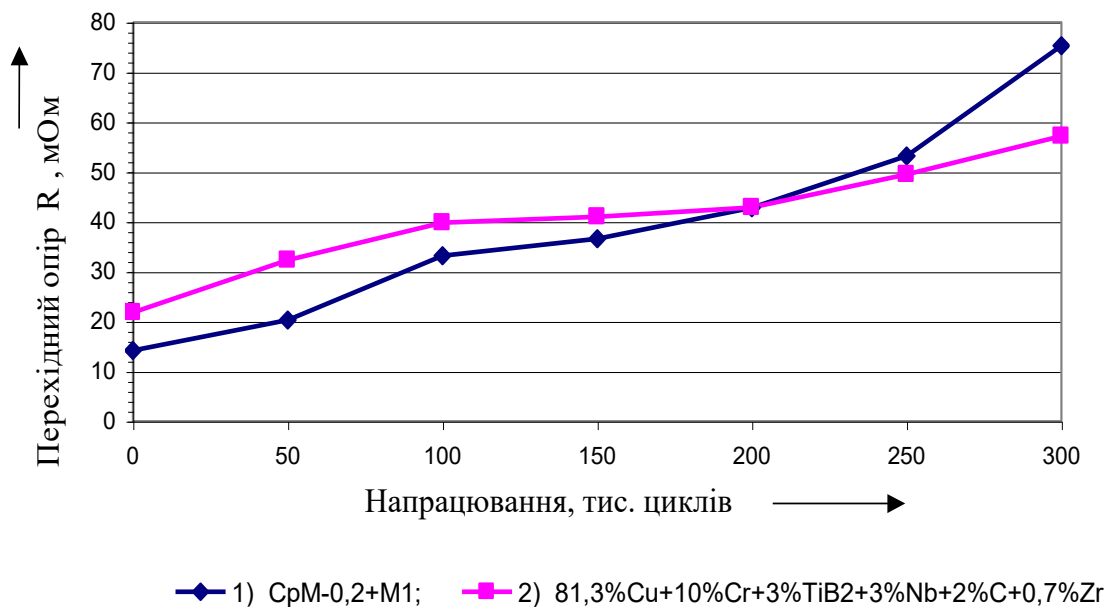


Рис. 6.3. ість перехідного опору контактів пускачів ПМЛ-1100 0x4 з серійними (1) та дослідними контактами (2) (випробувальне середовище: суміш $\text{H}_2\text{S}(25\text{мг}/\text{м}^3)+\text{NH}_3(30\text{мг}/\text{м}^3)$).

Дослідженнями по визначенню контактного опору контактів при впливі на них середовища з хімічно-активними компонентами встановлено, що початкове значення перехідного опору контактів зростає із збільшенням часу витримки і кількості циклів комутації. Опір серійних контактів $\text{CrM}-0,2+\text{M}1$ збільшується майже в 5 разів порівняно з початковим, а дослідних - зростає повільніше, ніж у срібловмістких матеріалів, \approx в 2,7 рази. Це пояснюється тим, що граничний шар складається з плівок, які утворюються на контактах і мають

однорідний склад, а їх товщина зростає із збільшенням тривалості впливу середовища. Подібна плівкова структура поверхні контактування сприяє зниженню перехідного опору за рахунок подрібнення локалізованих частинок і встановлення надійного металічного контакту. Оксидні плівки міді, як відомо, утворюються і при кімнатній температурі і товщина їх досягає не більше 5 мкм. Така плівка захищає мідь від подальшого окислення киснем і стабілізує контактний опір.

6.3 Експлуатаційні виробничі випробування пускачів з дослідними контактами

Виробничі випробування пускачів з дослідними контактами (матеріал $81,3\%Cu+10\%Cr+3\%TiB_2+3\%Nb+2\%C+0,7\%Zr$) здійснюються в складі шафів керування електроприводом транспортера ТНС-3,0Б типу ЯАА5910-3274ТУ3 у виробничих приміщеннях тваринницьких ферм радгоспу «Совки» Києво-Святошинського району Київської області протягом трьох років. Шафа призначена для керування двома асинхронними електродвигунами з короткозамкнутим ротором з потужностями 5,5 і 2,2 кВт, номінальний робочий струм споживання яких становить відповідно 8,0 та 2,8 А. Спостереження з записом експлуатаційних даних проводили протягом двох років з початку випробувань. Після дворічної підконтрольної експлуатації пускачі були в працездатному стані і продовжували експлуатуватися обслуговуючим персоналом господарства.

Для випробування були відібрані нові пускачі ПМЛ-1200.04 (4 шт.), укомплектовані серійними контактотримачами, до яких приварені вищезгадані дослідні контакт-деталі. Вони мали розміри аналогічні розмірам серійних контакт-деталей. Пускачі комплектуються електротепловими реле РТЛ 1012.04. Для порівняння були проведені спостереження за серійними електромагнітними пускачами:

- ПМЕ-111, які оснащені контактами КМК-А10(4 шт.) ;
- MDSt-16, які оснащені контактами срібло-оксид кадмію (15% CdO) (країна-виробник - НДР, 2 шт.);
- SLA7-1 з контактами срібло-нікель (10%Ni) (країна-виробник - ПНР, 2 шт.).

Умови, в яких експлуатуються пускачі, є типовими виробничими умовами для технологічних приміщень тваринницьких ферм. В процесі експлуатації через визначені проміжки часу фіксуються значення опору ізоляції, контактного опору та наробітку. Для визначення кількості комутаційних циклів встановлюються біля кожного пускача лічильники електричних імпульсів типу СИ- 206.

Електромагнітні пускачі ПМЕ-111 були взяті зі складу і новими змонтовані в шафі керування. Використовуються два шафи керування ЯАА5910-3274ТУЗ. Пускачі MDSt-16 вже експлуатувались невеликий термін часу в комплекті станції керування виробництва VEB Kombinat Elektroinstallation Betrieb Elektroschaltgeräte Grimma. Пускачі SLA7-1 також були в стадії експлуатації в складі типової станції керування. Всі ці пускачі пройшли технічне обслуговування, в тому числі очистку і промивку контактів, що сприяло створенню рівноцінних і однакових умов випробування для всіх типів пускачів. Результати дослідження наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Значення опору ізоляції пускачів, контактного опору та наробітку за час спостережень

Тип пускача	Опір на початку досліджень		Опір в кінці досліджень		Наробіток за час досліджень, тис.
	ізоляції, МОм	контактний, мОм	ізоляції, МОм	контактний, мОм	
1. ПМЛ-1200.04-01	550	6,8-7,8	370	14,1-19,3	5460
2. ПМЛ-1200.04-02	580	3,0-4,5	410	19,4-21,0	5120
3. ПМЛ-1200.04-03	560	4,6-5,2	400	13,4-16,0	5635
4. ПМЛ-1200.04-04	557	8,5-9,5	405	13,7-18,7	5385
5. ПМЕ-111	120	3,0-4,5	15,0	24,3-26,7	4560
6. ПМЕ-111	110	2,8-3,5	18,0	22,7-25,5	4390
7. ПМЕ-111	125	3,5-5,0	14,0	15,6-18,0	4660
8. ПМЕ-111	120	3,0-4,0	23,0	24,2-26,0	4490
9. MDSt-16	380	5,1-7,2	250	28,2-30,4	4450
10. MDSt-16	375	6,2-8,5	220	25,9-27,7	4320
11. SLA7-1	120	2,9-3,6	20,0	30,8-33,0	4125
12. SLA7-1	130	3,3-4,5	17,0	27,7-29,7	4385

Протягом проведення виробничих випробувань не було зафіксовано ні однієї

відмови пускачів типу ПМЛ з дослідними контактами на основі міді, всі пускачі, за якими проводились спостереження, працювали з технічними параметрами в допустимих межах. Величина електроерозійного зносу дослідних контактів і серійних контактів практично залишалась рівною. Зовнішній огляд металевих оболонок шафів показав, що на внутрішніх поверхнях наявна значна кількість конденсату вологи, всі оболонки вкриті осадами нерозчинних хімічних сполук, фарба потріскалась, спостерігаються наслідки корозії. На конструктивних елементах пускачів (деталі кріплення, контактотримачі, гвинти тощо) спостерігається наліт у вигляді порошкових конгломератів світло-сірого кольору. Контактний опір дослідних контактів виявляється стабільнішим, ніж контактів на основі срібла (рис. 6.4), що на нашу думку пояснюється специфікою взаємодії срібла, міді та компонентів, які входять до складу конкретного контактного матеріалу.

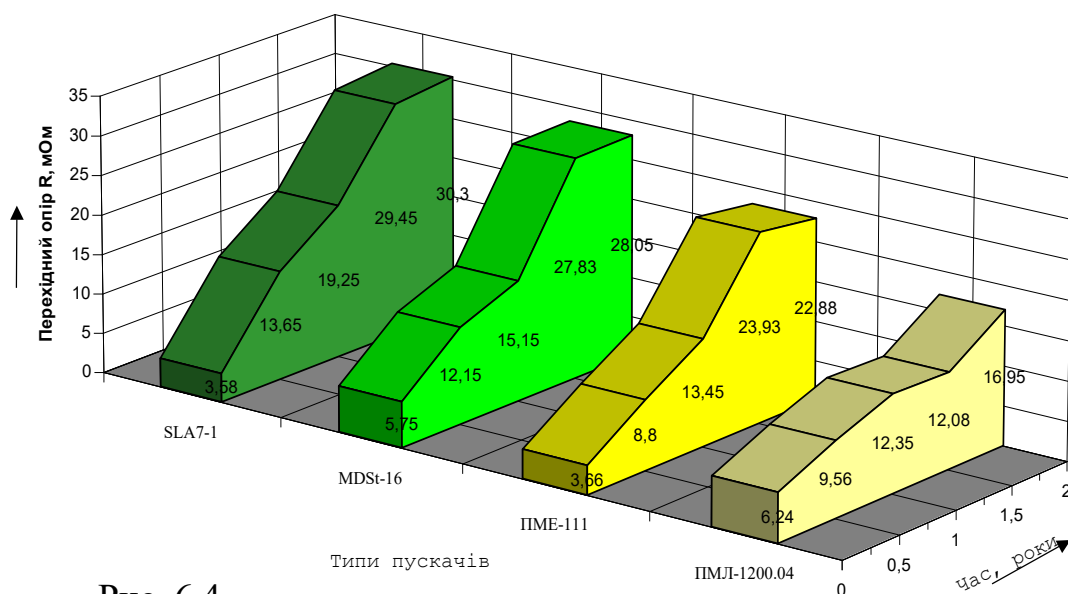


Рис. 6.4.

Рис.4.5. Залежність перехідного опору контактів різних типів пускачів.

Якщо порівняти величину контактного опору контактів з матеріалу CrM-0,2+M1 в дослідженнях і контактів пускачів SLA7 – 1 (матеріал Ag-10\%Ni), то можна відзначити приблизно в 2,5 рази більше значення контактного опору матеріалу CrM-0,2+M1 на початку дослідження, що пояснюється співвідношенням питомих опорів і значеннями комутуючих робочих струмів. Ця залежність підтримується і протягом проведення дослідження, що спричинюється більш

жорстким режимом лабораторних випробувань (більша концентрація агресивних домішок в оточуючому середовищі, більша кількість комутаційних циклів) та захистом пускачів, в деякій мірі, оболонками шафів керування від дії агресивного середовища тваринницького приміщення.

Отже, проведені нами експлуатаційні випробування електромагнітних пускачів ПМЛ-1200.04 з дослідними контактними матеріалами (зокрема, $81,3\%Cu+10\%Cr+3\%TiB_2+3\%Nb+2\%C+0,7\%Zr$), засвідчують їх виробничу придатність в роботі електрообладнання сільськогосподарського призначення.

6.4 Розрахунок глибини проплавлення контактів пускачів

При однократній комутації контакт-деталей будемо вважати, що на їх робочих поверхнях протягом часу t_0 , діє плоске джерело тепла Q крізь всю площу поверхні S . Рівняння теплопровідності в цьому випадку таке, що ізотермічні поверхні є концентричними сферами і температура контакт-деталі залежить тільки від координати x і часу t [39], тобто:

$$\frac{dT}{dt} = a \cdot \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{dT}{dx} \right), \quad (6.3)$$

де T – температура точок об'єму контакт-деталі, яка нагрівається, K .

Розв'язком цього рівняння з деякими припущеннями буде співвідношення для визначення величини глибини проплавлення h однієї контакт-деталі (при однократній комутації):

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{U_0 I_0 \omega \sqrt{t_0}}{\psi b T_{розр}}}, \quad (6.4)$$

де U_0 – напруга мережі (джерела живлення), V ;

I_0 – струм навантаження, A ;

де $\omega = \omega_R + \omega_L$ - коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження кола і показує долю енергії магнітного поля W_L , яка витрачається власне в контакт-деталях при їх розмиканні;

t_0 - час горіння дуги, с;

$\psi = 8,727$ – коефіцієнт пропорційності, який враховує співвідношення між розмірами контакт-деталі.

$T_{\text{розр}}$ – розрахункова температура плавлення матеріалу контакту, °С;

де $b = \sqrt{\pi\lambda\gamma c}$ - коефіцієнт, який визначається тільки теплофізичними характеристиками контактного матеріалу.

Коефіцієнт b для різних КМ за нашими розрахунками становить:

$$b = (50 \div 67) \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}}$$

Основні теплофізичні характеристики і розрахункові температури плавлення та кипіння для серійних і дослідних КМ, а також числові значення глибини проплавлення для різних КМ при різних величинах струму, наведені в довідковій літературі.

Математичні розрахунки проводимо використовуючи програму «MathCAD 7 Professional».

При вивченні шліфу повздовжнього перерізу електродів КМ

83%Cu+10%Mo+3%MoO₃+3%C+1,0%Ni під мікроскопом МИМ-7 було

встановлено, що максимальна глибина проплавлення КМ від поверхні

електроду становить 0,08 мм при параметрах $I_{\text{НОМ}}=10\text{А}$, $\tau=40\text{мс}$, $t_0=31,3\text{ мс}$.

Різниця розрахункових ($h_1=7,673 \cdot 10^{-5}\text{м}$ при $t_0=30\text{ мс}$) і експериментальних даних

становить 4,1%. Таким чином, враховуючи, що розрахунок теплового режиму

електродів зроблено один раз, співпаданя результатів розрахунку з

експериментальними даними задовільне.

На рис. 6.5-6.6 наведено графіки залежності значення глибини проплавлення контакт-деталі пускача залежно від часу горіння дуги для двох КМ при різних величинах робочого струму.

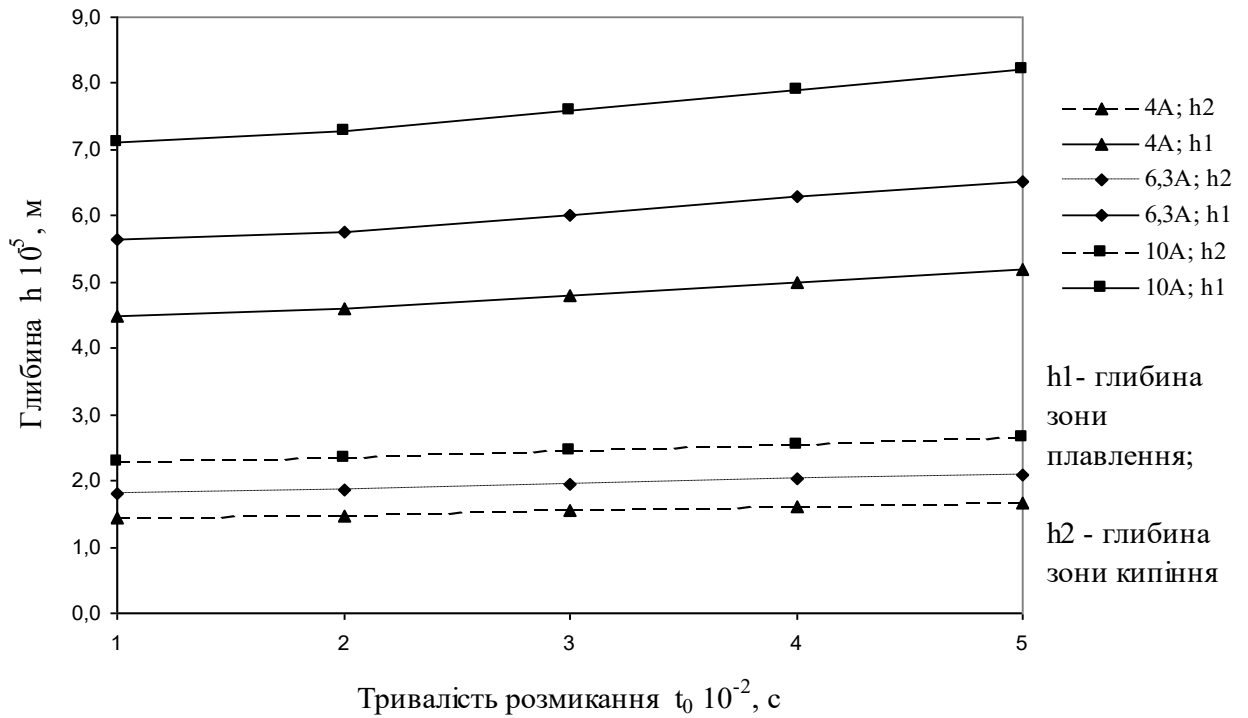


Рис. 6.5. Значення глибини проплавлення контакт-деталі пускача при різних величинах струму. Матеріал 78%Cu+15%Mo+3%MoO₃+3%C+1,0%Ni.

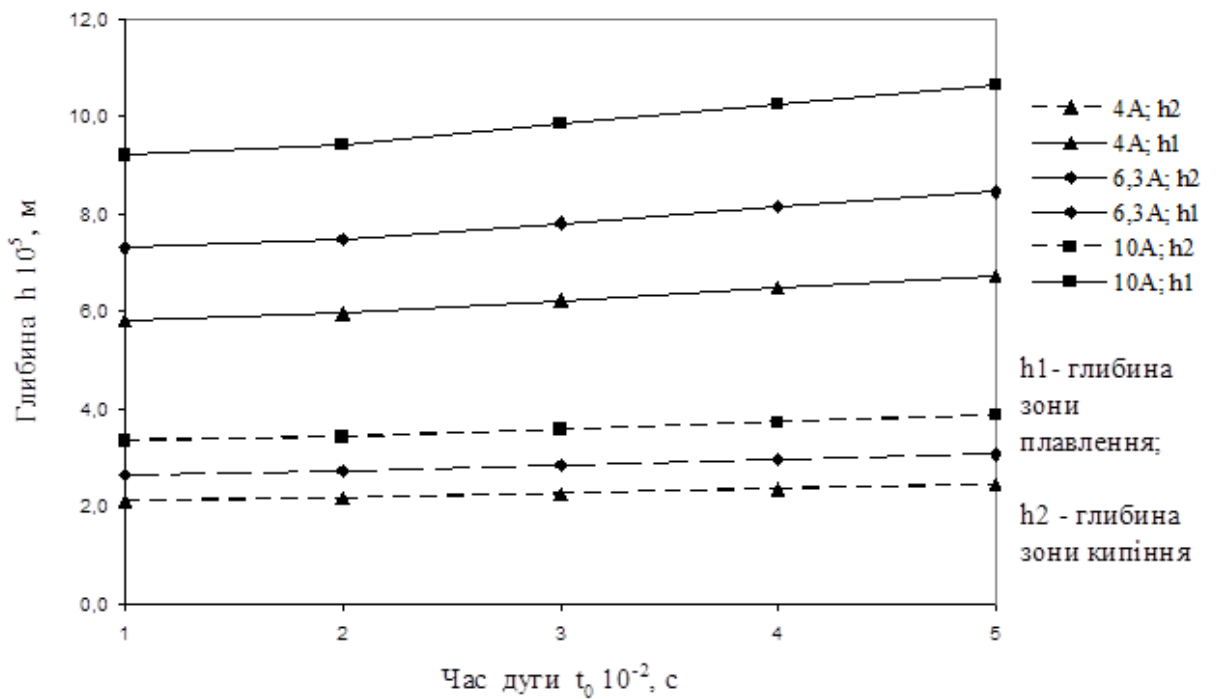


Рис. 6.6. Значення глибини проплавлення контакт-деталі пускача при різних величинах струму. Матеріал CrM-0,2+M1.

6.5 Висновки до розділу 6

1. Результати експериментальних досліджень контактів пускачів дозволили виявити основні фізико-хімічні властивості матеріалу контактів, які впливають на показники надійності комутуючих пристроїв пускачів. Для композиційних контактних матеріалів з необхідними службовими властивостями придатний композиційний матеріал на основі міді, складовими якого виступають наступні метали, оксиди та термодинамічні з'єднання: Mo, MoO₃, C, Ni, Nb, Zr, Y₂O₃, Cr, TiB₂.

2. Експлуатаційну надійність електромагнітних пускачів можна забезпечити за рахунок проведення технічного обслуговування, ремонту та відновлення контактів із застосуванням розроблених контактних матеріалів.

3. Величина проплавлення контактів h є функцією енергетичних, теплофізичних характеристик контактного матеріалу, розрахункової температури розплавлення, кипіння, випаровування контактного матеріалу.

4. Глибина проплавлення контактів залежить, в першу чергу, від значення комутованого струму (4; 6,3; 10А) та часу горіння дуги.

5. Розрахунок величини h здійснений для контактного матеріалу, який має гетерогенну структуру. Тому для контактів гомогенної структури картина може змінюватися і в розрахунках потрібно враховувати фактор гетерогенності. Результати розрахунку глибини проплавлення контактів пускачів досить гарно співпадають з експериментальними даними глибини проплавлення (за дослідженням шліфів повздовжнього перерізу електродів відрізняються на 4...5 %).

6. Загалом, питомий опір композиційних матеріалів на основі міді має значення, співставне з величиною питомого опору матеріалів на основі срібла (КМК-А10м, КМК-А40), але в контактів СрН-90, СрМ-0,2+М1 величина питомого опору дещо нижча.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз стану безпеки праці в господарстві

7.1.1 Організація роботи з безпеки праці та аналіз рівня і причин травматизму. Від рівня кваліфікації і правильного виконання елементарних вимог електробезпеки при монтажі і експлуатації електроустановок залежить безпека всього персоналу, що користується цими установками в процесі виробництва.

Розглядаються тісно взаємозв'язані з охороною праці пожежна безпека, блискавкозахист, тому що при пожежах, які виникають на виробництві, а також, грозових розрядах виникає загроза не лише матеріальним цінностям, але й життю людей.

В даний час в господарстві питанням охорони праці приділяється багато уваги, створено оптимальні умови режиму праці. На кожному виробничому об'єкті є людина, що відповідає за стан охорони праці і протипожежний стан. Перед зарахуванням на роботу, а також періодично в процесі роботи проводяться заняття і інструктаж з охорони праці. Щороку електромонтери здають екзамен з правил техніки безпеки, на основі якого їм присвоюють групу техніки безпеки.

Особи, які працюють з шкідливими речовинами, періодично проходять медогляд. Працівників забезпечують спецодягом і захисними засобами. Але, не дивлячись на все це, порушення правил техніки безпеки трапляються, що нерідко веде до травматизму, зниження працездатності.

Тому, в господарстві необхідно приділити більше уваги охороні праці, навчанню людей, підвищення контролю відповідальних осіб за дотримання техніки безпеки на виробництві. Розроблена в роботі ремонтна майстерня має побутові і виробничі приміщення, що забезпечує комфортні умови праці і відпочинку персоналу.

7.1.2 Аналіз умов праці на станції ТО. На існують наступні небезпечні та шкідливі умови, а також виробничі фактори:

- наявність машин і механізмів, що рухаються;
- підвищена запиленість і загазованість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена вологість;
- можливість дотику до струмоведучих частин.

Приміщення і дільниці ремонтної майстерні відносяться до різних категорій за характером оточуючого середовища, за ступенем ураження електричним струмом, за вибухо- і пожежонебезпекою, за вогнестійкістю конструкцій.

Для усунення вологості на дільниці зовнішнього миття і розбирання машин проектується припливно-витяжна вентиляція, тип вентилятора Ц4-70 №2. З метою техніки безпеки на машині для миття встановлено захисний вимикаючий пристрій або дифреле. Для усунення запиленості на дільниці ТО і діагностування також запроектована вентиляція, тип вентилятора Ц4-70 №4.

Дільниця технічного обслуговування і діагностики за ступенем ураження електричним струмом має підвищену небезпеку, оскільки має бетонну підлогу. Для усунення цієї небезпеки використовуються дерев'яні решітчасті настили для підлоги. Для захисту від ураження струмом при пошкодженій ізоляції обладнання, застосовується захисне заземлення, а працівникам видаються ізолюючі захисні засоби.

7.2 Розробка заходів по усуненню небезпечних і шкідливих виробничих факторів

7.2.1 Перелік технічних та організаційних заходів для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Передбачені в роботі організаційні і технічні засоби по усуненню небезпечних і шкідливих виробничих факторів спрямовані на:

- захист від проникнення до обертових частин машин, передбачається огороження;
- запобігання вибуху при накопиченні небезпечної кількості парів в приміщеннях просочування, пресування та спікання металокерамічних контактних накладок;
- видалення з приміщення шкідливих газів, для чого передбачено систему витяжної вентиляції;
- захист від дотику до струмоведучих частин електрообладнання. Для цього встановлюється захисне заземлення і використовується занулення металевих частин цього обладнання;
- захист приміщення від прямих ударів блискавки. Проектом передбачено встановлення блискавковідводу на даху приміщення;
- забезпечення пожежної безпеки, обладнання пожежними кранами і щитами;
- забезпечення робочих місць необхідним рівнем освітлення.

7.2.2 Вибір індивідуальних засобів захисту. Розрахунок необхідної кількості індивідуальних засобів захисту, необхідних для нормальної експлуатації, запроектованих електричних установок, виконується згідно вимог нормативного документа ТП 5-86. Дані розрахунку зводяться до табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Розрахунок необхідної кількості захисних засобів (на 1 рік використання)

Назва засобу	Марка або тип	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Кількість
Показчики напруги	УНН-10	ТУ-34-3031-75	2
Вимірювальні кліщі	Ц-91	ТУ-25-04-856-76	3
Діелектричні рукавиці	ЩЗП	ТУ-38-106330-79	3
Переносне заземлення	1041-11041	ТУ-16-538232-84	2
Кліщі ізольовані	К-1000	ТУ-34-133807-85	3
Ремінь запобіжний	ВМ	ТУ-39062-84	3
Плакати і знаки безпеки	-	ГОСТ 124026-86	4
Інструмент із ізольованими ручками	КСМИ-2	ТУ-34-28-10072-80	3
Протигаз	ПШ-1	ТУ-6-10-2080-86	2
Аптечка медична	-	ГОСТ 11516-83	2

7.3 Розрахунок заземлювального пристрою споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ

Проводиться розрахунок заземлюючого пристрою ЗТП 10/0,4 кВ.

Вихідні дані для розрахунку:

- $\rho_1 = 260 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho_2 = 190 \text{ Ом}$;
- висота верхнього шару ґрунту $h_1 = 2,8 \text{ м}$;
- довжина вертикальних стрижнів $l = 7 \text{ м}$;
- діаметр стержнів $d = 0,012 \text{ м}$;
- глибина закладання стрижнів $t = 0,8 \text{ м}$;
- середньорічна тривалість гроз – 60 годин;
- площа залізобетонного фундаменту ТП $S = 50 \text{ м}^2$;
- довжина кабельної лінії $L_{кл} = 15 \text{ км}$;
- довжина повітряної лінії $L_{пл} = 140 \text{ км}$.

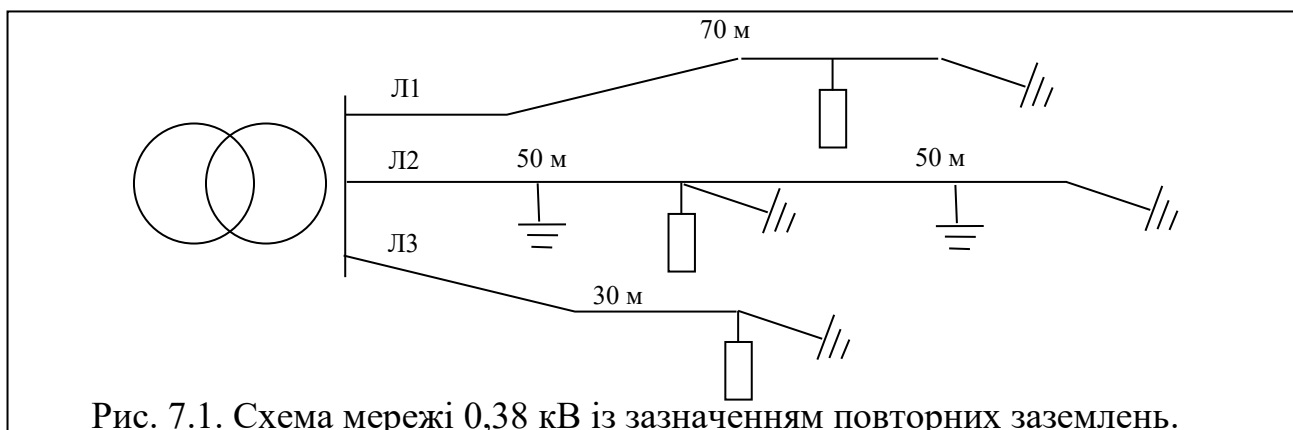


Рис. 7.1. Схема мережі 0,38 кВ із зазначенням повторних заземлень.

Визначається $\rho_{екв}$:

$$\rho_{екв} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot k \cdot l}{\rho_1 \cdot (t + k \cdot l - h_1) + \rho_2 (h_1 - t)}, \quad (7.1)$$

де $k=1$ при $\rho_1 > \rho_2$;

$$\rho_{екв} = \frac{260 \cdot 190 \cdot 1 \cdot 7}{260 \cdot (0,8 + 1 \cdot 7 - 2,8) + 190(2,8 - 0,8)} = 206 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Опір повторного заземлювача розраховується за формулою:

$$R_{н.з.} = 0,3 \cdot \rho_{екв.}, \quad (7.2)$$

$$R_{н.з.} = 0,3 \cdot 206 = 61,8 \text{ Ом.}$$

Допустимий опір заземлення лінії:

$$R_{доп.л.} = 0,1 \cdot \rho_{екв.}, \quad (7.3)$$

$$R_{доп.л.} = 0,1 \cdot 206 = 20,6 \text{ Ом.}$$

Допустимий опір заземлення ТП:

$$R_{доп.т.} = 0,04 \cdot \rho_{екв.}, \quad (7.4)$$

$$R_{доп.т.} = 0,04 \cdot 206 = 8,24 \text{ Ом.}$$

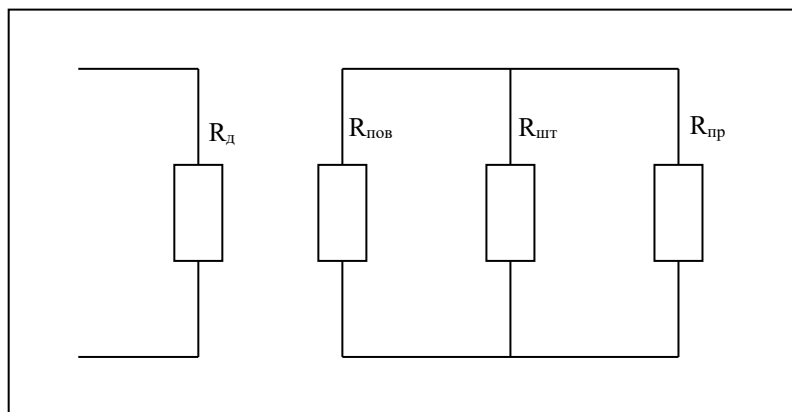
Розрахунок заземлювача для мережі 0,38 кВ.

Опір природного заземлювача:

$$R_{np} = \frac{0,5 \cdot \rho_{эф.}}{\sqrt{S}}, \quad (7.5)$$

$$\text{де } \rho_{эф.} = \rho_1 \cdot \left(1 - e^{-\alpha \frac{k_1}{\sqrt{S}}}\right) + \rho_2 \cdot \left(1 - e^{-\beta \frac{\sqrt{S}}{k_1}}\right),$$

α і β – коефіцієнти, при $\rho_1 > \rho_2$, $\alpha=3,6$; $\beta=0,1$.



$R_{д}$ – допустимий опір заземлювача;

$R_{пов}$ – опір повного заземлювача;

$R_{шт}$ – опір штучного заземлювача;

$R_{пр}$ – опір природного заземлювача.

Рис. 7.2 - Схема заміщення мережі 0,38 кВ.

$$R_{np} = \frac{0,5 \cdot 239,4}{\sqrt{50}} = 17 \text{ Ом;}$$

$$\rho_{эф.} = 260 \cdot \left(1 - e^{-3,6 \frac{2,8}{\sqrt{50}}}\right) + 190 \cdot \left(1 - e^{-0,1 \frac{\sqrt{50}}{2,8}}\right) = 239,4 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

Розраховується опір повторних заземлень:

$$R_{л1}=20,6 \text{ Ом}; R_{л2}=15,45 \text{ Ом}; R_{л3}=20,6 \text{ Ом};$$

$$R_{нов} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3} = \frac{20,6 \cdot 15,45 \cdot 20,6}{20,6 \cdot 15,45 + 15,45 \cdot 20,6 + 20,6 \cdot 20,6} = 6,2 \text{ Ом.}$$

Визначається еквівалентний опір:

$$R_{екв} = \frac{R_{нов} \cdot R_{np}}{R_{нов} + R_{np}} = \frac{6,2 \cdot 1,7}{6,2 + 1,7} = 4,54 \text{ Ом.}$$

Оскільки $R_{екв} = 4,54 \text{ Ом} < R_{дон} = 8,4 \text{ Ом}$, то опір штучного заземлювача приймається максимально допустимим: $R_{шт} = 61,8 \text{ Ом}$. Тому, при такому відношенні $R_{екв}$ до $R_{дон}$ штучне заземлення можна було б і не виконувати, але правила вимагають цього.

Розрахунок заземлювача для мережі 10 кВ.

Визначається допустимий опір заземлювача:

$$R_0 = \frac{125}{I_{з.з.}}, \quad (7.7)$$

де $I_{з.з.}$ – струм замикання на землю.

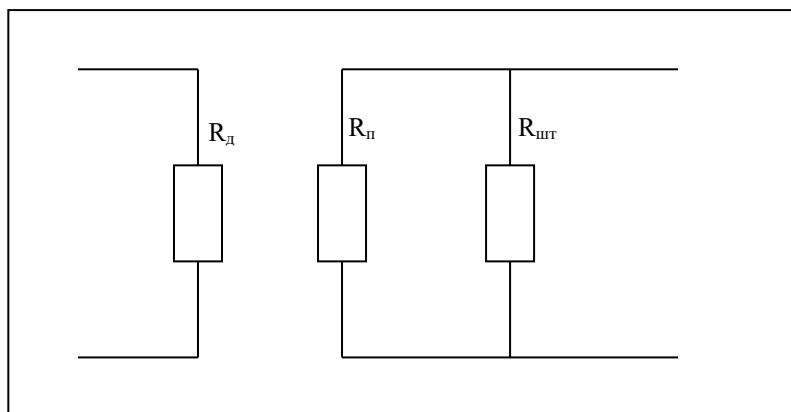


Рис. 7.3. Схема заміщення мережі 10 кВ.

$$I_{з.з.} = \frac{U \cdot (L_{пл} + 35 \cdot L_{кл})}{350} = \frac{10 \cdot (140 + 35 \cdot 15)}{350} = 19 \text{ А.}$$

$$R_0 = \frac{125}{19} = 6,57 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом.}$$

Опір штучного заземлювача визначаємо за формулою:

$$R_{um(10)} = \frac{R_{\partial(10)} \cdot R_n}{R_n - R_{\partial(10)}} = \frac{6,6 \cdot 17}{17 - 6,6} = 10,79 \text{ Ом.}$$

Порівнявши $R_{um(10)}$ і $R_{um(0,4)}$, для розрахунку приймається менший з них:
 $R_{um(10)} = 10,79 \text{ Ом.}$

Визначається опір розтікання струму одного стержня:

$$R_{cm} = \frac{\kappa_c \cdot \rho_{екв}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (7.8)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності, $K_c = 1,5$;

h – відстань від поверхні землі до середини стержня,

$$h = t + 0,5 \cdot l = 4,3 \text{ м.}$$

$$R_{cm} = \frac{172 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 7} \cdot \left(\ln \frac{2,7}{0,012} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 4,3 + 7}{4 \cdot 4,3 - 7} \right) = 46 \text{ Ом.}$$

Кількість вертикальних стержнів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_{cm}}{R_{дон}} = \frac{46}{10,79} = 4,3. \quad (7.9)$$

Приймається 8 стержнів.

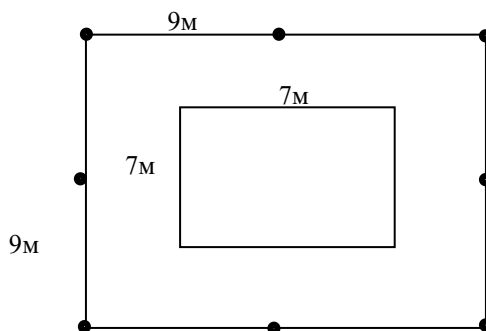


Рис 7.4. Схема заземлюючого контуру ЗТП.

Визначається опір розтікання струму горизонтальної полоси:

$$R_p = \frac{\kappa_c \cdot \rho_{ez}}{2 \cdot \pi l_2} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \quad (7.10)$$

де b – ширина горизонтальної полоси, $b = 0,4 \text{ м}$;

ρ_{e2} – еквівалентний питомий опір горизонтального заземлювача (розраховується шляхом інтеграції);

l_2 – довжина одного горизонтального заземлювача, $l_2 = 5$ м.

Розрахунок $\rho_{ек}$ здійснюється з використанням даних значення еквівалентного питомого опору ρ_{e2}/ρ_2 двошарової землі для розрахунку опору простого горизонтального заземлювача: $\rho_1/\rho_2 = 1$; $h_1 = 3$ м; $l_2 = 5$ м; $\rho_{e2}/\rho_2 = 1,69$.

$$1. \rho_1/\rho_2 = 2; \quad h_1 = 3 \text{ м}; \quad l_2 = 5 \text{ м}; \quad \rho_{e2}/\rho_2 = 1,89;$$

$$2. \rho_1/\rho_2 = 2; \quad h_1 = 5 \text{ м}; \quad l_2 = 5 \text{ м}; \quad \rho_{e2}/\rho_2 = 1,93;$$

$$\frac{\rho_{e2}}{\rho_2} = 1,69 + \frac{1,93 - 1,89}{5 - 3} \cdot (3,5 - 3) = 1,9;$$

$$\frac{\rho_{e2}}{\rho_2} = 1,69 + \frac{1,9 - 1,89}{2 - 1} \cdot (1,6 - 1) = 1,8;$$

$$\rho_{e2} = 190 \cdot 1,8 = 342 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$R_{um-z} = \frac{2 \cdot 342}{2 \cdot 3,14 \cdot 36} \cdot \ln \frac{2 \cdot 36^2}{0,04 \cdot 0,8} = 34,19 \text{ Ом};$$

$$q_{um-z} = \frac{1}{R_{um-z}} = \frac{1}{34,19} = 0,03 \text{ См}.$$

Опір штучного заземлювача визначається за формулою:

$$R_{um} = \frac{1}{\eta \cdot (n_B \cdot q_B + n_\Gamma \cdot q_\Gamma)}, \quad (7.11)$$

де η – коефіцієнт використання складного заземлювача у вигляді прямокутного замкнутого контура, який визначається з довідкової літератури.

$$1. \rho_1/\rho_2 = 1; \quad n = 8; \quad h/l_B = 0,4; \quad a/l_B = 1; \quad \eta = 0,442.$$

$$2. \rho_1/\rho_2 = 3; \quad n = 8; \quad h/l_B = 0,4; \quad a/l_B = 1; \quad \eta = 0,557.$$

$$\eta = 0,442 + \frac{0,557 \cdot 0,442}{3 - 1} \cdot (1,6 - 1) = 0,48.$$

Для визначення η також застосовується метод інтеграції:

$$R_{um} = \frac{1}{0,48 \cdot (6 \cdot 0,02 + 8 \cdot 0,03)} = 6,43 \text{ Ом}.$$

Оскільки $R_{um} = 6,43 \text{ Ом} < R_0 = 6,57 \text{ Ом}$, то даний розрахунок виконаний правильно.

7.4 Захист від перенапруг

Територія господарства, де знаходиться станція ТО, належить до району з середньорічною тривалістю грозових годин 60...80 на рік, яка відповідає $n = 9$ показникам на 1 км².

Для захисту від хвиль перенапруги передбачені наступні заходи:

- для захисту ТП від перенапруг зі сторони вищої напруги (10 кВ) встановлені розрахунки типу РС-10;
- для захисту ТП від перенапруг зі сторони 0,38 кВ передбачені розрядники типу РВН-0,5.

Згідно РД-34.21.122-87 ремонтна майстерня належить до III категорії за влаштуванням блискавкозахисту із зоною Б.

Для захисту майстерні від прямих ударів блискавки передбачається виконання стержневого блискавковідводу. Очікувана кількість прямих ударів блискавки визначається за формулою:

$$N = [(B+6 \cdot h_x) \cdot (L+6 \cdot h_x) - 7,7 \cdot h_x^2] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (7.12)$$

де B – ширина будівлі, $B = 18 \text{ м}$;

L – довжина будівлі, $L = 48 \text{ м}$;

h_x – висота даху будівлі, $h_x = 9,5 \text{ м}$;

n – середня кількість грозових уражень на 1 км²/рік;

$$N = [(18+6 \cdot 9,5) \cdot (48+6 \cdot 9,5) - 7,7 \cdot 9,5^2] \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 0,064.$$

Використовується 4 стержньових блискавковідводи на відстані 11 м один від одного. Позначається висота найвищої точки даху - h_{x1} , а висоту стінки - h_{x2} : $h_{x1} = 9,5 \text{ м}$; $h_{x2} = 6,5 \text{ м}$. Задаються значенням $h_c = h_{x1} = 9,5 \text{ м}$ та знаходиться найменша висота блискавковідводу:

$$h_{min} = 0,89 \cdot h_c + 0,124 \cdot L; \quad (7.13)$$

$$h_{min} = 0,89 \cdot 9,5 + 0,124 \cdot 11 = 9,8 \text{ м.}$$

Тоді $N = 1,5$; $h = 14,7$ м, що більше висоти даху. Але на висоті даху отримаємо:

$$r_{cx2} = 14,7 \cdot (1 - 3/6,5) = 7,9 < 9 \text{ м.}$$

тобто частина даху на цій висоті не попадає до зони захисту. Збільшується висота блискавковідводу до 13 м.

$$r_0' = 1,5 \cdot 13 = 19,5 \text{ м;}$$

$$r_{c'x} = 19,5 \cdot (1 - 3/6,5) = 10,5 \text{ м} > 9 \text{ м.}$$

Перевіряється чи захищений кут даху, відстань до якого на плані найближчого до краю будівлі блискавковідводу дорівнює:

$$\sqrt{2^2 + 3,05^2} = 3,65 \text{ м.}$$

Радіус захисту дорівнює:

$$r'_{x2} = 1,5 \cdot \left(13 - \frac{0,3}{0,92} \right) = 19,01 > 9 \text{ м.}$$

Здійснюється перевірка на захист верхньої точки даху:

$$r_x = 1,5 \cdot \left(13 - \frac{0,5}{0,92} \right) = 18,68 > 9 \text{ м.}$$

Заземлюючий пристрій блискавковідводів виконується стержнями діаметром 12 мм.

7.5 Пожежна безпека

Характеристики приміщень станції ТО за вибухонебезпекою наведена в табл. 2.1. Оскільки деякі приміщення об'єкту є вибухо- та пожежонебезпечними, то в роботі передбачається ряд заходів, направлених на забезпечення пожежобезпеки, а саме:

- застосування спецобладнання;
- захист електричних мереж від перевантажень та коротких замикань;
- занулення корпусів електрообладнання у вибухонебезпечних приміщеннях;

- застосування систем аварійного відключення акумуляторної апаратури при підвищенні вмісту водню в повітрі вище норми;
- застосування систем пожежної сигналізації;
- забезпечення станції необхідними технічними засобами гасіння пожежі, розрахунок яких наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Розрахунок необхідної кількості засобів гасіння пожежі

№ з/п	Назва обладнання і засобів гасіння пожежі	Місце розміщення	Тип	Кількість
1	Вогнегасник хімічний пінний	на кожному щиті і в середині приміщення	ОХП-10	30
2	Вогнегасник вуглекислотний	на кожному щиті і в середині приміщення	ОУ-5	15
3	Лом	на пожежному щиті	-	10
4	Відро	на пожежному щиті	-	10
5	Багор	перед майстернею	-	10
6	Лопата	перед майстернею	-	10
7	Ящик з піском	перед майстернею	-	10

В роботі передбачено об'єднаний виробничо-протипожежний водогін з джерелом постачання від діючої зовнішньої мережі з одним вводом. На вводі встановлюється запірна арматура з обвідною лінією. Для перепускання води при пожежі засувку на обвідній лінії потрібно тримати відкритою. Розрахункова витрата води на зовнішнє гасіння пожежі 15 л/с. Пожежні крани з рукавами встановлюються в спеціальних шафах на висоті 1,35 м від рівня підлоги. Пожежні крани розміщуються з розрахунком зрошення кожної пожежної точки будівлі двома струменями.

Розрахункова витрата води на внутрішнє гасіння пожежі 5 л/с (з розрахунком 2-х струменів по 2,5 л/с). Протипожежний стан станції ТО контролюється завідуючим майстерні.

Особливістю гасіння пожежі є те, що одночасно з гасінням пожежі необхідно евакуйовувати машини, агрегати і вузли. При цьому струмені води спрямовуються як на техніку, яка горить, так і на ту, що знаходиться поруч.

ВИСНОВКИ

1. Результати експериментальних досліджень контактів пускачів дозволили виявити основні фізико-хімічні властивості матеріалу контактів, які впливають на показники надійності комутуючих пристроїв пускачів. Для композиційних контактних матеріалів з необхідними службовими властивостями придатний композиційний матеріал на основі міді, складовими якого виступають наступні метали, оксиди та термодинамічні з'єднання: Mo, MoO₃, C, Ni, Nb, Zr, Y₂O₃, Cr, TiB₂.

2. Експлуатаційну надійність електромагнітних пускачів можна забезпечити за рахунок проведення технічного обслуговування, ремонту та відновлення контактів із застосуванням розроблених контактних матеріалів.

3. Величина проплавлення контактів h є функцією енергетичних, теплофізичних характеристик контактного матеріалу, розрахункової температури розплавлення, кипіння, випаровування контактного матеріалу.

4. Глибина проплавлення контактів залежить, в першу чергу, від значення комутованого струму (4; 6,3; 10А) та часу горіння дуги.

5. Розрахунок величини h здійснений для контактного матеріалу, який має гетерогенну структуру. Тому для контактів гомогенної структури картина може змінюватися і в розрахунках потрібно враховувати фактор гетерогенності. Результати розрахунку глибини проплавлення контактів пускачів досить гарно співпадають з експериментальними даними глибини проплавлення (за дослідженням шліфів повздожнього перерізу електродів відрізняються на 4...5 %).

6. Загалом, питомий опір композиційних матеріалів на основі міді має значення, співставне з величиною питомого опору матеріалів на основі срібла (КМК-А10м, КМК-А40), але в контактів CrН-90, CrМ-0,2+М1 величина питомого опору дещо нижча.

7. Проведені експлуатаційні випробування електромагнітних пускачів ПМЛ-1200.04 з дослідними контактними матеріалами (зокрема, 81,3%Cu+10%Cr+3%TiB₂+3%Nb+2%C+0,7%Zr), засвідчують їх виробничу придатність в роботі електрообладнання сільськогосподарського призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року №2388-VI.
2. Закон України «Про енергозбереження». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, № 15, ст.126).
3. Закон України №555-IV від 20.02.2003р «Про альтернативні джерела енергії».
4. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Харків: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). Затверджено Наказ Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 №258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості №91 від 13.02.2012 та № 905 від 16.11.2012).
6. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказ Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 №4. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10.02.98 за № 93/2533ДНАОП 0.00.–1.32–01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ПП „Фірма Гранмна”, 2001. – 117 с.
7. Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.96 №28 у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005 №910. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 листопада 2005 р. за №1399/11679.
8. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий /Госагропром СССР. - М.: ВО Агропромиздат, 1987. - 191 с.
9. ДБН А.2.2. –1 – 2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.
10. ДБН А.2.2. –3 – 2012 Склад та зміст проектної документації.
11. ДБН В.2.5. – 23 – 2003. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об’єктів цивільного призначення. Державний комітет України з будівництва та архітектури. – К.: 2004. – 128 с.

12. ДБН В.2.5-27-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
13. Червінський Л.С. Електричне освітлення та опромінення: Посібник / Л.С.Червінський, Л.О.Сторожук. – К.: Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 214 с.
14. Філіпенко А.С. Основи наукових досліджень. Конспект лекцій: Посібник / А.С.Філіпенко. – К.: Академвидав, 2004. – 208 с.
15. Аппараты и электрические устройства переменного тока на напряжения свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытания. ГОСТ 8024-90. – [Чинний від 1991-01-01], - М.: Издательство стандартов, 1990. – 18 с. – (Межгосударственный стандарт).
16. Korobskyi, V.V., Mrachkovskyi, A.M. New aspects of creation of environmentally friendly composite materials for contact systems of electric equipment in the agriculture sector: Volume 671, 2018 – Issue 1: 1th International Conference on Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials (ICEPOM-11): Part 2. Molecular Crystals and Liquid Crystals. Published online: 03 Jun 2019. P. 35 – 40. (<http://dx.doi.org/10.1080/15421406.2018.1542083> Scopus).
17. Коробський В.В. Дослідження перехідного опору контактних матеріалів та контактів електричних апаратів при взаємодії із агресивним оточуючим середовищем / В.В.Коробський, О.О. Чорноволенко // Енергетика і автоматика. – 2023. – №6. – С.84 - 98.
18. Електричні контакти та електроди: Зб. наук. пр. - К.: НАН України. ІПМ, 2005. - 163 с.
19. Корчемний М.О. Підвищення надійності електрообладнання в сільському господарстві / М.О.Корчемний, В.П.Машевський. - К.: Урожай, 1988. - 176 с.
20. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності.
21. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.
22. Таранцев А.А. Совершенствование методики оценки эксплуатационной надежности коммутационных аппаратов / А.А.Таранцев, М.П.Дорохин // Заводская лаборатория (Диагностика материалов). - 2012. - №7. - С. 60-61.

23. Таев И.С. Электрические аппараты управления (и распределительных устройств) / И.С.Таев. - М.: Высшая школа, 1989. - 446 с.
24. Хольм Р. Электрические контакты / Р.Хольм. -М.: Издательство иностранной литературы, 1961. - 464 с.
25. Чунихин А.А. Электрические аппараты / А.А.Чунихин. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 719 с.
26. ГОСТ 24606.3-82 (СТ СЭВ 3985-83). Изделия коммутационные, установочные и соединители электрические. Методы измерения сопротивления контакта и динамической и статической нестабильности переходного сопротивления контакта.
27. ДСТУ 2993 - 95 (ГОСТ 2933 - 93). Апарати електричні низьковольтні. Методи випробувань.
28. Образцов В.А. Контрольные испытания низковольтных аппаратов / В.А.Образцов. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1999. - 224 с.
29. Dräger Hans-Joachim. Fremdschritwachstum bei Kontaktmaterialien der Energietechnik in aggressiven Atmosphären / Hans-Joachim Dräger. // Elektrotechn. Z.. - 2013. - A94, №9. - S. 562-564.
30. Campbell W.E. Reduction of the rate of film formation on silver and brass by purification of the atmosphere / W.E.Campbell. // Electrical Contacts. - 2012. - vol.2. -S. 186-194.
31. Іванов В.М. Про руйнування комутаційних плівок на слаботочних контактах / В.М.Іванов, Є.І.Ботов, Ю.М.Дацков, Є.В.Рожещенко, М.С.Куцак // Вістн. Харьк. політехн. ін-ту. - 1999. - №14. - С.31-32.
32. Sato Y. Кинетика коррозии серебра в окружающей среде / Y.Sato, M.Matsuba, Y.Morioka, M.Handa. // Sony Res. Cent. Repts. - 2015. - 24. - С. 206-210.