

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

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н.

вчене звання, науковий ступінь

/КАПЛУН В.В./

підпис

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2021 р.  
число місяць рік

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

проф., д.т.н.

вчене звання, науковий ступінь

/ЖИЛЬЦОВ А.В./

підпис

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2021 р.  
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ТА  
ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ КОНТАКТІВ В УМОВАХ КОМУТАЦІЇ  
ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА»

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

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Жильцов А.В.

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Коробський В.В.

(ПІБ)

Виконав

В.О.

(підпис)

Салганенко

(ПІБ)

КИЇВ – 2021

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

Д.Т.Н., професор /ЖИЛЬЦОВ А.В./

науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ

“ ” 2021 року

число місяць рік

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Салганенку Володимирі Олексійовичу

(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: «Дослідження характеристик електричної дуги та перехідного опору контактів в умовах комутації електричного кола»

затверджено наказом ректора НУБіП України від 01 " 02 2021 р. № 175

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2021.11.15

Вихідні дані до магістерської роботи:

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

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналітична частина. Стан експлуатації електротехнічного обладнання ТОВ «ВАП-БУД» Броварського району.

2. Проектування ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної (електротехнічної) служби

3. Технологічна частина. Експлуатація енергетичного обладнання.

4. Електротехнічна частина. Розрахунки та вибір електрообладнання, електропроводок та електричного освітлення

5. Розробка питань електропостачання та енергозбереження.

6. Дослідницька частина. Дослідження характеристик електричної дуги та перехідного опору контактів в умовах комутації електричного кола.

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “ 04 ” лютого 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Коробський В.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Салганенко В.О.

(прізвище та ініціали студента)

Магістерська робота: 101 с., 18 рис., 25 табл., 52 джерела.

**Об'єкт дослідження:** технологічне обладнання станції ТО і ПР, технічні засоби для дослідження електричної дуги та 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** - вдосконалення електрифікації технологічних процесів станції технічного обслуговування і поточного ремонту ТОВ «ВАП-БУД» Бориспільського району та 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.

В магістерській роботі розроблені питання електрифікації технологічних процесів станції технічного обслуговування і ремонту електрообладнання, проведено вибір силового електрообладнання, пускозахисної та освітлювальної апаратури, а також проведено дослідження характеристик електричної дуги та перехідного опору контактів в умовах комутації електричного кола з визначення глибини проплавлення контактів.

**Ключові слова:** електрифікація, станція технічного обслуговування з ремонту електрообладнання, технічне обслуговування, ремонт, енергетична служба, електромагнітний пускач, електрична дуга, перехідний опір, осцилограф, контактний матеріал.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ, СІМВОЛІВ, 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
1.3 Характеристика об'єкту проектування і вихідні дані для проектування.....	16
РОЗДІЛ 2.....	18
ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЕНЕРГЕТИ- ЧНОЇ (ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ) СЛУЖБИ.....	19
2.1 Аналіз існуючої ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної служби.....	19
2.2 Обґрунтування і вибір проекту пункту технічного обслуговування і поточного ремонту енергетичного обладнання (ПТО і РЕО).....	19
2.3 Визначення складу ділянок пункту і розрахунок площі діль- ниць.....	21
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	25
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	25
3.1 Технологічні процеси в майстерні з ремонту 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, ЕЛЕКТРОПРОВОДОК ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	31
4.1 Перевірка електродвигунів приводу технологічного обладнання на	

відповідність параметрам мережі живлення і умовам навколишнього середовища.....	31
4.2 Вибір пускозахисних апаратів та низьковольтних комплектних пристроїв керування.....	38
4.3 Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі.....	41
<b>РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПИТАНЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....</b>	
5.1 Розрахунок електричних навантажень та вибір силового трансформатора.....	47
5.2 Розрахунок лінії 0,38 кВ.....	51
5.3 Розрахунок лінії 10 кВ.....	53
5.4 Перевірка можливості пуску і нормальної роботи асинхронних електродвигунів.....	54
5.5 Перевірка апарату захисту на максимальну вимикаючу здатність....	58
<b>ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....</b>	
<b>РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ТА ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ КОНТАКТІВ В УМОВАХ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА.....</b>	
6.1 Аналіз показників експлуатаційної надійності електричних апаратів (електромагнітних пускачів).....	60
6.2 Завдання та програма досліджень.....	61
6.3 Методики досліджень.....	66
6.4 Вплив факторів зовнішнього середовища на параметри надійності електромагнітних пускачів.....	67
6.4.1 Вплив середовища на величину перехідного опору.....	68
6.5 Дослідження перехідного контактного опору пускачів з серійними і дослідними контактами.....	69
6.5.1 Експлуатаційні виробничі випробування пускачів з дослідними контактами.....	70

6.6 Розрахунки параметрів електричної дуги в контактах пускачів при комутації електричного струму.....	71
6.7 Розрахунок глибини проплавлення контактів пускачів.....	76
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
7.1 Перелік основних нормативних документів.....	81
7.2 Аналіз стану безпеки праці в господарстві.....	83
7.2.1 Організація роботи з безпеки праці та аналіз рівня і причин травматизму.....	83
7.2.2 Аналіз умов праці в ремонтній майстерні.....	83
7.3 Розробка заходів по усуненню небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	84
7.3.1 Перелік технічних та організаційних заходів для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	84
7.3.2 Вибір індивідуальних засобів захисту.....	85
7.4 Розрахунок заземлювального пристрою споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.....	86
7.5 Захист від перенапруг.....	91
7.6 Пожежна безпека.....	93
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96
ДОДАТКИ.....	99

НУБІП | УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

**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;

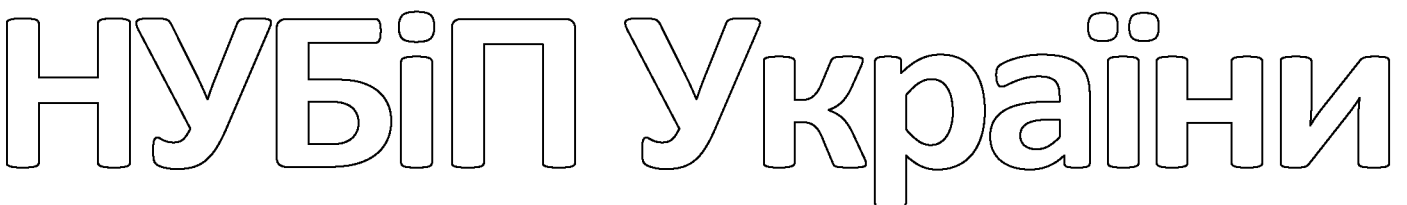
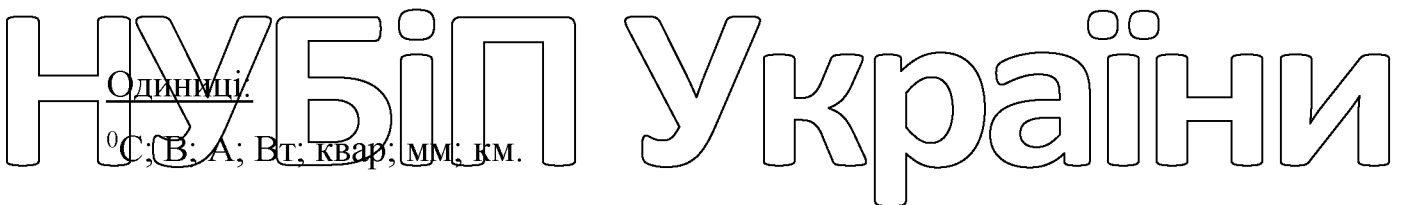
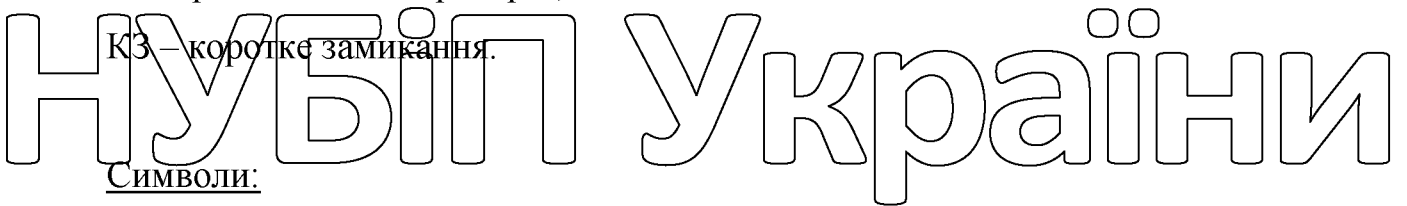
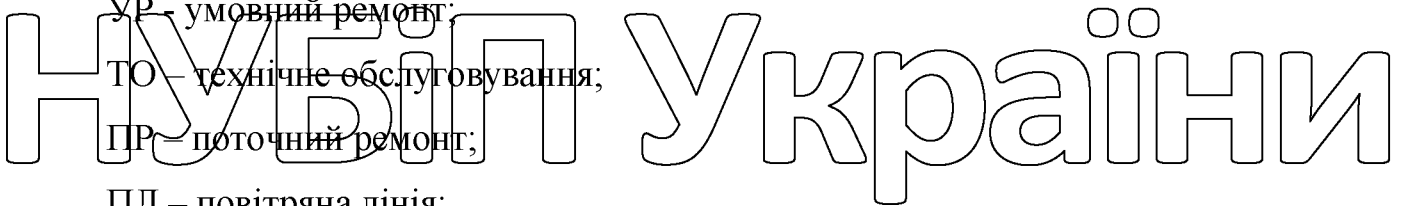
КЗ – коротке замикання.

Символи:

% - відсотки;

Одиниці:

°С; В; А; Вт; квар; мм; км.



НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## ВСТУП

# НУВБІП України

У період становлення ринкової економічної системи питання зниження собівартості продукції, економії трудових і матеріальних ресурсів, розширення обсягів виконуваних робіт і виробництва в цілому набувають життєво важливого значення як для працівників окремо, так і для підприємств.

# НУВБІП України

Ефективність сільськогосподарських підприємств насамперед визначається безвідмовною роботою енергетичного обладнання.

Тому необхідний постійний контроль та підтримання технічних та енергетичних показників, що зумовлено правильною організацією технічного обслуговування та ремонту машин та обладнання.

# НУВБІП України

На практиці вони в основному використовують систему планового безпечного технічного обслуговування та ремонту (ПЗР і ТО), яка передбачає

# НУВБІП України

періодичне технічне обслуговування та ремонт у певний заздалегідь визначений час. Недоліком системи ПЗР є відносно висока трудомісткість обслуговування та ремонту електрообладнання, оскільки багато робіт регламентовані (наприклад, розбирання електрообладнання для визначення технічного стану тощо). Крім того, реальні умови експлуатації електрообладнання (змінний

# НУВБІП України

характер навантаження, нерегулярне використання протягом доби чи року, мінливість навколишнього середовища при різних змінах температури, вологості, шкідливих домішок тощо) та збільшення кількості деталей та електромагнітні заряди на активних матеріалах ускладнюють використання

# НУВБІП України

системи. PZR,  
Для продовження терміну служби обладнання доцільно та економічно проводити діагностику, технічне обслуговування та своєчасну заміну складових вузлів та окремих деталей, які можуть вийти з ладу в подальшій експлуатації.

# НУВБІП України

Досвід експлуатації електрообладнання на високоприбуткових господарствах свідчить, що основним заходом забезпечення високої надійності експлуатації електрообладнання є впровадження системи технічного обслуговування та ремонту електрообладнання. Він включає організаційно-організаційні заходи та

прийоми з планування, підготовки, проведення та обліку необхідних видів технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (НР) та діагностики для використання сучасних приладів та діагностичних лабораторій.

Сучасні електромагнітні приводи мають суттєві недоліки при використанні в сільськогосподарських умовах. Термін служби пристроїв значно менше їх технічних можливостей. Більшість пускачів оснащені контактними деталями на основі домішок срібла і мають серйозні недоліки - відносно високу вартість і низьку корозійну стійкість при взаємодії з середовищем, що містить

агресивні компоненти. Це позначається на показниках надійності, зокрема на опірність переходу. Тому виникає нагальна потреба в заміні контактних деталей, які містять срібло та срібло, на контакти та контактні пари, які виготовляються з менш рідкісних і більш технологічних матеріалів (наприклад, міді).

**Мета дослідження** - удосконалення електрифікації технологічних процесів на СТО та поточного ремонту ТОВ «ВАП-БУД» у Бориспільській області та проведення досліджень дугового та перехідного опору експериментальних контактів для розробки обґрунтованих заходів щодо підвищення надійності роботи електромагнітних ініціаторів шляхом використання нових композиційних контактних матеріалів з неоднорідною структурою міді.

Для досягнення поставлених цілей необхідно вирішити наступні завдання:

1. Обґрунтувати вибір технологічного обладнання для станційного обслуговування та ремонту електрообладнання на ТОВ «ВАП-БУД».
2. Виконати розрахунки для покращення електрифікації виробничо-технологічних процесів із застосуванням сучасного електрообладнання.
3. Провести дослідження характеристик електричної дуги при комутації ланцюга з послідовними та експериментальними контактами пускача.
4. Виконайте експлуатаційні випробування пілотних контактів на основі міді.

**Об'єкт дослідження:** технологічне обладнання для обслуговування та ремонту станції, технічні засоби дослідження електрична дуга і перехідний опір пристрої контактних систем, контактний матеріал.

**Предмет дослідження:** фізико-хімічні процеси, що відбуваються в електричній дузі при чергуванні електричного кола; залежності, що описують

контактний опір.

**Методи та обладнання дослідження:** розрахунково-аналітичні з перевіркою виробництва; дослідження перехідного опору контактів здійснено методом факторних експериментів зі змінними робочими циклами (або тривалістю виробничих спостережень). Експериментальні дані оброблено методами математичної статистики та теорії ймовірностей. використання програма «MathCAD 7 Professional».

**Теоретичне значення** отримані результати підтверджують характеристики електричної дуги (час горіння дуги, струм навантаження) для визначення мінімальної глибини проникнення контактів; при створенні математичної моделі для прогнозування перехідного опору  $R_{рег}$  послідовних і експериментальних пускових контактів залежно від робочих циклів.

**Практичне значення** Отримані результати полягають у підтвердженні розробки нових контактних матеріалів на основі міді для підвищення надійності експлуатації (довговічності комутації, надійності контакту) електромагнітних пускачів I-II величин у виробничих умовах.

...

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.

### РОЗДІЛ 1.

## СТАН ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТОВ «ВАП-БУД», БРОВАРСЬКИЙ Р-Н.

### 1.1 Технік виробничо-економічні характеристики та показники діяльності ТОВ "ВАП-БУД"

Товариство з обмеженою відповідальністю "ВАП-БУД" - Енергетична компанія спеціалізується на реалізації проектів внутрішніх і зовнішніх мереж електропостачання, управлінні та супроводі проектів, розвитку електричних мереж, проектуванні схем зовнішнього живлення, а також електромонтажних, ремонтних та пусконаладжувальних роботах. Штат компанії становить від 50 до 150 осіб.

Підприємство очолює директор Буряк Петро Васильович. Штаб-квартира компанії знаходиться в Києві, а основні виробничі підрозділи розташовані в с. Повіт Броварських князів Київської обл.

Броварська погодарегіон, де розташована забудова, помірно континентальний, м'який і з достатньою вологістю. За рік на території підприємства випадає 500 ... 600 мм опадів, переважно влітку, тобто з червня по липень. Середньорічна температура  $+7,2^{\circ}\text{C}$ . Температура найтеплішого місяця (липень)  $+22,5^{\circ}\text{C}$ , а найхолоднішого місяця (січень)  $-6^{\circ}\text{C}$ . Осінь зазвичай спекотна і суха. Перші ранні заморозки - 16 вересня, перші пізні заморозки - 27 жовтня. Безморозний період триває в середньому 185 днів. Літо характеризується великою кількістю сонячних днів. Тип ґрунту - підзолистий, глинистий і піщаний.

На території ТОВ «ВАП-БУД» розташовані такі виробничі приміщення: гараж обладнаний балочним краном для обслуговування та ремонту, козловим краном, три складські приміщення, виробничий блок «нового цеху», адміністративно-виробничий об'єкт, майстерня, будівля ТЕС, водонапірна вежа, будівля КПП тощо. Найавний склад мобільного транспортного парку, що

знаходиться в розробці, та енергетичні потужності наведені в таблиці. 1.1.

Таблиця 1.1

### Енергетичні потужності МТП ТОВ "ВАП-БУД"

ні.	Ім'я	одиниця виміру	Кількість	потужність, кВт
1	Автомобілі, включаючи:			
	- вантажні	шт.	5	710
	- автомобілі (також мікроавтобуси)	шт.	6	450
	- спеціальні (вежі, допоміжні вантажівки тощо)	шт.	4	1000
два	колісні трактори	шт.	6	480

діяльність компанії "ВАП-СТРОЙ":

- компанія ВАП-БУД виконує роботи для ПАТ «Київенерго», а також акредитована як виробник та постачальник рамного обладнання в ПАТ «Київенерго»;

- допомога в отриманні дозволів, підключенні об'єктів, узгодження з НЕК «Укренерго», ПАТ «Київенерго» та іншими облenerго (обленерго);

- розробка техніко-економічного обґрунтування приєднання установок до електричних мереж, узгодження його з НЕК «Укренерго», ПАТ «Київенерго» та іншими регіональними енергопостачальними компаніями (обленерго);

- комплексний підхід до складання електротехнічної продукції;

- проектне обслуговування.

безпосередньо до Перелік послуг компанії включає:

1. Проектування зовнішніх та внутрішніх мереж живлення 0,4 кВ, 10 кВ, 35 кВ ТП, РН.

2. Організація погодження проектів енергопостачання у відповідних організаціях.

3. Реєстрація ліцензії, реєстрація вихідних даних для технічної підтримки проекту.

4. Пристрій та конструкція трансформаторних підстанцій.

5. Часткова модернізація трансформаторних підстанцій.

У разі необхідності часткової модернізації розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції пропонується замінити існуючий щиток на новий з використанням в якості комутаційних пристроїв блокових вимикачів АРС, РБК (АПІАТОР) (АПІАТОР). Це дозволить модернізувати трансформаторну підстанцію, збільшивши кількість ліній електропередач без повної заміни існуючого каркаса.

7. Реконструкція трансформаторних підстанцій (на базі електророзподільних шаф типу SKU) (рисунок 1.1).



рис 1.1. Вид трансформаторної підстанції ІІІ ціля реконструкції (на основі електророзподільних шаф, тип SKU).

Розподільні шафи типу SKU призначені для прийому та розподілу електроенергії напругою до 660 В трифазного змінного струму частотою 50 Гц для систем із заземленою суцільною нейтраллю, а також для захисту ліній електропередач від перевантажень і струми короткого замикання (рис. 1.2).

Шафи SKU виготовляються в шафах OT і OTS - це універсальні шафи з шинною системою або платою, призначені для внутрішнього та зовнішнього монтажу. Вони широко використовуються в проектах, які більш агресивні до навколишнього середовища. Корпуси виготовлені з поліестеру, армованого скловолокном, лиття під тиском у нагрітих формах. Цей матеріал стійкий до ультрафіолетових променів, має високий ступінь вогнестійкості і стійкий до зовнішніх механічних впливів. Силові шафи SKU виготовляються з пристроєм введення та без нього за однорядковою схемою. Вони комплектуються вертикальними вимикачами з запобіжниками на лініях живлення серії ARS. Для підключення нульових провідників відповідних ліній і фідерів у шафі встановлена шина PEN.



рис. 1.2. Зовнішній вигляд електророзподільних шаф типу SKU

8. Ввести готовий об'єкт в експлуатацію, в тому числі окремими етапами.

Виробництво електротехнічної продукції компанії організовано в «новому» цеху, а саме:

- розподільні щити низької напруги (РЩНН);

- електророзподільні шафи (тип SKU);
- низьковольтні вхідні розподільні щити (ВРИ);
- пристрої автоматичного введення резерву (АТС);
- пристрої компенсації реактивної енергії (УК RM);
- комутаційні пристрої (ЩР, ЩС);

- домашні підлогові панелі (ШП);
- квартирні щитки (ЩК).

Відповідно до вимог нормативних розпоряджень та перевіряючих органів необхідно періодично проводити вимірювання опору ізоляції

електромережевого обладнання, а також заземлювальних пристроїв та електровимірювання параметрів електрообладнання. Працівники

електровипробувальної та налагоджувальної лабораторії «Вап-Буд» (рис. 1.3)

випробовують електричні системи, виявляють несправності електричних ланцюгів

та обладнання, готують технічні звіти про стан електричних мереж та їх

відповідність вимогам ПУЕ та ПТБ. Електротехнічна лабораторія атестована на

відповідність критеріям атестації вимірювальної лабораторії відповідно до

Правил авторизації та атестації Державної метрологічної системи України.

(свідоцтво про атестацію № ПТ/118/15, видане 04.04.

Після виконання робіт організація «Вап-Буд» надає реальні дані про проведені

електровимірювання, інформує про стан електроустановок з метою своєчасного

запобігання аварійним ситуаціям на території замовника. Співробітники підготують

звіт технічних електровимірів, у якому буде відображено фактичний стан

електроустановок та електрообладнання, випробування яких були проведені, з

дотриманням параметрів електроустановок у приміщенні існуючий проєкт та

стандарти та вимоги, встановлені компетентними органами органів.

Електролабораторія вимірює показники об'єктів за сферою застосування

(електроустановки та прилади напругою до 1000 В; силові трансформатори;

силові кабелі; силові вимикачі, вимикачі навантаження, роз'єднувачі, короткі

замикання; апаратура комплектна; заземлення тощо);

- вимірювання опору ізоляції;



# НУБІП України

- вимірювання опору заземлення;
- цикл вимірювання «нульової фази» (нульової фази);
- вимірювання металевих з'єднань.

## НУ

# НУБІП України

рис. 1.3. Електротехнічна лабораторія компанії ВАП-СТРОЙ.

## 1.2 Стан електрифікації

Проводка внутрішнього освітлення вищевказаних установок виконується за допомогою дроту АРРВ в кабелі. Електропроводка виконується кабелем АВРГ і кабелем АРРВ в трубках. Внутрішня кабельна розводка

адміністративно-виробничих приміщень компанії виконана за допомогою проводів АРВ, АРРВ та кабелів АВРГ різних секцій. Зовнішнє освітлення території підприємства виконано лампами з лампами ДХО.

Зона енергопостачання характеризується наступними кліматичними умовами при повторенні раз на 10 років:

- за товщиною стінки емалі - II-область;
- за швидкістю вітру - II-й район;
- грозових годин на рік - 80...100.

Для здійснення всіх видів технологічних процесів споживачі підприємства отримують енергію від Броварського РП ПАТ «Києвобленерго». Підприємство

забезпечується електроенергією від ТП № 693 10/0,4 кВ потужністю 400 кВА (рис. 4.4). Електроустановки підприємства знаходяться в задовільному стані.

Основні кабельні лінії виконані з кабелів АВВГ 1 (4х240) і АВВГ 1 (4х150).

ВЛ 0,38 кВ виконані з дроту СИП 1 (4x35) і змонтовані на залізобетонних опорах. Зовнішнє освітлення здійснюється лампами ДХО. Споживання та втрати електроенергії в компанії «ВАП-СТРОЙ» за 2017 рік представлені в таблиці 1.2.

За відповідними даними підприємства за 2020 рік, кількість спожитої електроенергії, показники якої представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

### Споживання електроенергії у 2020 році

сфера використання електрика	кількість електроенергії тис. кВт·год
Виробничі потреби цеху	2020 рік
Службові приміщення та будівлі	890
складські приміщення	320
Зовнішнє освітлення і домашнє споживання	60
Всього	3290

### 1.3 Характеристика об'єкта проектування та вихідні дані для проектування

Об'єктом магістерської роботи є майстерня з обслуговування та ремонту електроенергетичного обладнання.

Для поточний ремонт та обслуговування електрообладнання ТОВ «ВАП-СТРОЙ» є колишня майстерня. Стан електрифікації виробничо-технологічних процесів у цеху низький.

Пуско-захисне обладнання складається з електромагнітних пускачів типів ПМА, ПМЕ, ПДБ, ПМЛ, електричних теплових реле типів ТРН, РТТ, РТД, автоматичних вимикачів типів АП-50, АБ2000, ВА51, ВА-2000 (виробництва АСКО УкрЕМ ) На балансі електроустановки в районі є асинхронні електродвигуни типу АО, АО2, 4А, АІР тощо.

У майстерні відсутній відділ діагностики електрообладнання (особливо сучасного вітчизняного та зарубіжного), що заважає своєчасному огляду та технічному обслуговуванню. Поточний ремонт проводиться із застарілим

технічним обладнанням. Плановий ремонт проводиться в турниках, обладнаних застарілими пристроями. Немає блокування технологічного обладнання витяжними системами.

Загалом рівень електрифікації виробничо-технологічних процесів у цеху недостатньо високий, але майстерні РУ цеху електрифіковано та автоматизовано

такі технологічні процеси: освітлення, вентиляція, сушка, водопостачання, тепlopостачання в холодну пору року. Тому магістерська робота передбачає комплексну електрифікацію виробничо-технологічних процесів на основі реконструкції цеху.

Лінія КТН 0,38 кВ, що живить цех на території ТОВ «ВАП-БУД» виготовлено з кабелю А VVG 1 (4x25). Допустиме струмове навантаження цього кабелю 155 А, фактично струмове навантаження цеху 42 А. Таким чином, існує реальна можливість передачі по лініях високої напруги. Робота буде враховувати місцеві кліматичні умови, умови навколишнього середовища та внутрішні умови кожного приміщення майстерні. Ці умови впливають на вибір електрообладнання, спосіб прокладки електропроводки тощо.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2

# ПРОЕКТ РЕМОНТУ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГОСЕРВІСНОЇ БАЗИ (ЕЛЕКТРОТЕХНІКА)

### 2.1 Аналіз існуючої бази ремонтів та обслуговування енергосервісу

В агрофірмі створена та діє енергетична служба. До його недоліків можна віднести:

- відсутність сучасної ремонтно-технічної бази;
- недостатнє забезпечення запасними частинами та коштами на ремонт;
- недостатня кількість і низька дисципліна персоналу.

Ці недоліки призводять до того, що середній термін експлуатації електрообладнання має фактичний термін служби менше, ніж гарантує виробник.

Зрештою, недоліки в організації енергетичної служби призводять до зростання собівартості продукції в господарстві.

Метою цього розділу є розробка пропозицій щодо вибору технологічного обладнання для ремонтно-експлуатаційної бази цеху.

### 2.2 Обґрунтування та вибір проекту об'єкта технічного обслуговування та поточний ремонт енергетичного обладнання (ПТО та РЕО)

Конструкторськими і науково-дослідними інститутами розроблено ряд проектів баз енергетичного обладнання та пунктів технічного обслуговування, деякі з яких затверджені як типові проекти.

Найбільш поширеними є проекти типового технічного обслуговування та ремонтних пунктів енергетичного обладнання на фермах на 4200 умовних ремонтів на рік (18060 людино-год/рік) і на 2100 умовних ремонтів на рік (9030 людино-год/рік).

Річні витрати на оплату праці в господарстві на технічне обслуговування та ремонт енергетичного обладнання становлять 9083,74 людино-год/рік. Тому

обрано типовий проєкт ТП 816-1-19 «Пункт ТО і ремонту електрообладнання на 2100 умовних ремонтів на рік» з річними трудовитратами 9030 люд.год./рік.

Зазначений пункт ВОР і РЕО призначений для обслуговування, ремонту електричного струму, теплової, теплової енергії, холодильного обладнання, усунення раптових пошкоджень і несправностей, сушіння, просочення та фарбування, підготовчих монтажних, налагоджувальних та зварювальних робіт. Поточному ремонту підлягають невеликі електроустановки, а також окремі деталі та збірні вузли різного типу енергетичного обладнання.

Окрім ВОР та РЕО, на будівельних майданчиках заплановано встановлення опор електрики.

До складу ВОР і РЕО входять наступні виробничі та допоміжні приміщення.

1. Ящик для паркування спеціального автомобіля ІЖ-27-15.

Коробка передбачає обслуговування та дрібний ремонт спеціального автомобіля. Є лаз, слюсарний верстат, секції стелажів для зберігання запчастин та слюсарного інструменту, гідравлічний підйом з ручним перемиканням.

2. Зона фарбування. Призначений для можливості фарбування електрообладнання після проведення технічного обслуговування та ремонту (при необхідності). У кімнаті є фарбувальна камера, шафа для фарбувальних інструментів, фарборозпилювач тощо.

3. Зона протікання та висихання. Призначений для здійснення просочення та сушіння обмоток асинхронних електродвигунів, трансформаторів, автотрансформаторів та інших виробів. Є стелаж, сушильна шафа, мийна ванна, витяжка тощо.

4. Складське приміщення. Призначений для зберігання інструментів, монтажних приладдя, запасних частин, обладнання, що пройшло ТО або ПР, або розібраного до ТО або ПР.

5. Ремонтно-монтажна ділячка. Це основний виробничий підрозділ. Виконує більшість робіт з розбирання, дефектування, миття та очищення обладнання. Типовий проєкт передбачає встановлення стендів для ремонту та

налагодження баластів, освітлювальних установок, електродвигунів, паро- та водозаборів, автоматики контролю, мийки, мостового крана та іншого антенного обладнання.

6. Розділ підготовки конструкції. Прості роботи проводяться при ремонті деталей і вузлів, що підлягають ремонту, а також свердло-шліфувальні, зварювальні та інші роботи.

7. Побутові установки.

8. Кабінет магістра.

9. Вентиляційна камера. На ньому встановлено витяжку для відсмоктування шкідливого пилу та витарів з приміщення цеху.

10. Пульт електродиспетчерського, має точки розподілу електроенергії та щити освітлення.

характеристик Статистичні дані для основних і допоміжних об'єктів EFP та

REO представлені в таблиці. 2.1.

### 2.3 Визначення складу ділянок ділянки та розрахунок площі секцій

Пункт технічного обслуговування повинен забезпечувати:

- проводити технічне обслуговування електрообладнання відповідно до переліку робіт, передбачених системою технічного обслуговування та ремонту;
- зберігання матеріалів і запасних частин в обсягах, необхідних для безперебійного обслуговування або ремонтних робіт;

Таблиця 2.1

характеристик основних і допоміжних установок ПТО та РЕФ

Ім'я	Площа, м <sup>2</sup>	за умовами навколо середа	категорія кімнати		
			за ступенем друкувати електричний шоківаний	за ступенем вогнестійкості	для надійності джерело живлення
Паркувальний	54.1	сухий	без	В	III

ящик ГЖ-2715			підвищення безпеки		
зона фарбування	11.5	сухий	без підвищення безпеки	АН	II
Зона протікання та висихання	17.6	сухий	з підвищеною небезпекою	АН	II
Композиція	34.7	сухий	немає збільшення небезпеки	В	II
Ремонтно-монтажна ділянка	67.3	сухий	з підвищеною небезпекою	В	II
Розділ придбання конструкції	35.5	сухий	з підвищеною небезпекою	В	II
кабінет магістра	9.3	сухий	без підвищення безпеки	Д	III
Побутові установки:					
- кімнати з робочим одягом	18.0	сухий	без підвищення безпеки	Д	III
- ванна кімната	5.25	особливо вологий	з підвищеною небезпекою	Д	III
- тамбур	10.4	сухий	без підвищення безпеки	Д	III
- ванна кімната	9.0	мокрый	без підвищення безпеки	Д	III
вентиляційна камера	56.0	сухий	з підвищеною небезпекою	В	II
розподільна кімната	10.0	сухий	з підвищеною небезпекою	В	II

НУБІП України

НУБІП України

• зберігання технічної документації, засобів захисту, інструментів та пристроїв.

Для виконання робіт з технічного обслуговування РТОРА необхідно передбачити такі розділи:

- ремонт і монтаж;
- структурні заготовки;
- фарбування;
- просочення і сушка;
- витратний склад

Загальна виробнича площа кожної локації визначається за формулою:

$$F_{uch} = P \cdot f_p + F_{ob}, \quad (2.1)$$

де  $P$  - кількість стандартних робочих місць або пристроїв на одне робоче місце;

$f_p$  - норма площі на робоче місце, м<sup>2</sup>;  $f_p = 17$  м<sup>2</sup>;  
*бреток* Це загальна площа контуру, зайнята технологічним і допоміжним обладнанням, м<sup>2</sup>.

Визначаються необхідні площі виробничих ділянок.

1. Ремонтно-монтажна ділянка:

$$P = 3, f_p = 17 \text{ м}^2, F_{ob} = 13,25 \text{ м}^2;$$
$$F_{d1} = 3 \cdot 17 + 13,25 = 64,3 \text{ м}^2;$$

2. Місце для придбання конструкцій:

$$P = 2, f_p = 17 \text{ м}^2, F_{ob} = 5,3 \text{ м}^2;$$
$$F_{d2} = 2 \cdot 17 + 5,3 = 39,3 \text{ м}^2;$$

3. Зона витоків та висихання:

$$P = 1, f_p = 17 \text{ м}^2, F_{ob} = 4,3 \text{ м}^2;$$
$$F_{d3} = 1 \cdot 17 + 4,3 = 21,3 \text{ м}^2.$$

4. Зона фарбування:

$$P = 1, f_p = 9 \text{ м}^2, F_{ob} = 2,7 \text{ м}^2;$$
$$F_{d4} = 1 \cdot 9 + 2,7 = 11,7 \text{ м}^2.$$



5. Склад:  
 $Fd5 = 34,7 \text{ м}^2$

6. Інженерний кабінет - електрика:

$$Fd6 = 9,3 \text{ м}^2$$

7. Вентиляційна камера.  $Fd7 = 56 \text{ м}^2$ , вентилятори встановлені в двох

кімнатах площею  $35 \text{ м}^2$  і  $21 \text{ м}^2$ .

8. Кімната робочого одягу:

$$P = 11, f_p = 1 \text{ м}^2, F_{ob} = 7 \text{ м}^2;$$

$$Fd8 = 11 + 7 = 18 \text{ м}^2$$

9. Ванна кімната:

$$Fd9 = 9 \text{ м}^2$$

10. Ванна кімната:

$$Fd10 = 5,25 \text{ м}^2$$

11. Комунікації:

$$Fd11 = 10 \text{ м}^2$$

12. Барабан:

$$Fd12 = 10,4 \text{ м}^2$$

Площі ділянок №5...12 вибираються за площами цих ділянок за типовим

проектом №816-1-19. Пояснення приміщень подано в презентаційних матеріалах та в графічній частині роботи.

## ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### РОЗДІЛ 3.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 3.1 Технологічні процеси в майстерні з ремонту електроенергетичного обладнання

Для проведення методик призначена спеціалізована майстерня з пунктом діагностики електрообладнання технічне обслуговування, поточний капітальний ремонт електроенергетичного обладнання.

Процес технологічного ремонту включає наступні технологічні операції:

- доставка в майстерню;
- розбирання;
- очищення та миття вузлів і вузлів;
- пустеля;
- ремонт зношених деталей і збірних вузлів;
- придбання;
- збір;
- придатність і післяремонтні випробування;
- фарбування і сушка;
- до складу ремонтного фонду або місця монтажу.

Процес ремонту починається з миття. У процесі технологічного ремонту миття та очищення проводять у кількох станах: зовнішнє миття; мийка збірних вузлів; очищення окремих деталей на спеціальних верстатах.

Починаючи ремонт, обладнання частково розбирають на блоки для повторних промивань, потім по стрічці подають до промивної камери, після чого повністю розбирають.

Із дільниці для розбирання агрегатів і промивання деталей ємності з деталями передають до відгину.

Метою дефекту є встановлення справжнього технічного стану деталей і

вузлів, щоб прийняти правильне рішення про можливість їх подальшого використання. З зони дезертирства контейнери доставляються в зону сепарації. Метою даної роботи є підготовка комплектів деталей для складання агрегатів. Зібрані та перевірені компоненти та вузли фарбуються та подаються на конвеєр.

Деякі вузли збираються та перевіряються повністю зібраними в окремих зонах цеху перед остаточним монтажем. На будівельному майданчику проводяться роботи з підготовки поверхні до фарбування і сам процес фарбування.

### **3.2 Вибір технологічного обладнання**

Приймаючи комплект технологічного обладнання для цеху, зупинимося на типовому проекті. ТП 816-1-19 «Пункт технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання на 2100 умовних ремонтів на рік» з річними затратами на оплату праці 9030 люд.год./рік.

PTORA надає сучасне технологічне обладнання, яке гарантує виконання широкого спектру технологічних операцій з обслуговування та ремонту електрообладнання.

Технологічне оснащення ремонтно-монтажного майданчика повинно забезпечувати можливість якісного та якісного виконання демонтажних робіт, миття вузлів і деталей, дефектів і транспортування вузлів, агрегатів до відповідних ремонтних ділянок.

Розміщення техніки на різних ділянках здійснюється з урахуванням послідовності ремонтів та механізації передавальних робіт. Ремонтно-монтажні роботи проводяться в спеціалізованих місцях.

Для налагодження електрообладнання, контрольно-вимірювальної техніки та засобів автоматизації використовується пересувна електролабораторія ЕНД на базі автомобіля ІЖ-2715 або «Таврія-Пікап». Джерело живлення - зовнішня мережа 220В / 380В; кількість працівників - 2 працівники.

Лабораторія укомплектована інструментами та приладами, за допомогою яких здійснюється вимірювання опору ізоляції обмоток електричних машин та іншого обладнання, випробування силових кабелів напругою до 10 кВ, вимірювання опору постійному струму, контурів заземлення та заземлювальних пристроїв, визначення групи з'єднання обмоток трансформатора та полярність обмоток, електромобілі тощо.

Для розбирання двигунів, трансформаторів та інших важких агрегатів використовуються мостові крани (кран-балки).

Для проведення оглядово-вимірювальних робіт і робіт з доопрацювання використовуються контрольно-вимірювальні опори, столи, шафи, лічильник, інструменти та пристрої для виявлення та сортування деталей.

У механічній майстерні виконуються роботи з механічної обробки деталей і деякі слюсарні роботи з ремонту деталей, нестандартне обладнання, технологічне обладнання та інструменти

Технологічне обладнання на ділянці включає токарно-шпинковий верстат, універсальний фрезерний верстат і вертикальний дріль.

Зварювання та пайка металів є найбільш поширеними технологічними процесами при виконанні механічних ремонтних робіт. Для цих робіт в основному використовується електродугове зварювання. Крім того, у ковальсько-зварювальному відділенні цеху проводяться роботи з відновлення деталей тиском, виготовлення нових деталей та їх окремих деталей.

Пневматичні ковальські молоти використовуються для різноманітних ковальських робіт, що виконуються методом зварювання-ковання на плоских і фасонних бабках. Для нагріву деталей використовують ковальські кузні та нагривальні печі.

На місці прибирання проводяться ремонтно-монтажні роботи, пов'язані з очищенням та налагодженням електрообладнання. На ділянці обладнані кабінки для очищення вузлів електрообладнання та різноманітного виробувального обладнання.

Обладнання діагностичного пункту електрообладнання включає

спеціалізовані кронштейни для перевірки та регулювання електрообладнання (установка КІУ-5), універсальний випробувальний стенд для сільського електрика (УІССЕ) тощо.

Розташування технологічного обладнання в цеху показано в додатку А, специфікація основного технологічного обладнання, встановленого в приміщеннях і приміщеннях цеху, наведена в таблиці 3.1.

### **3.3 Порядок організації монтажу, налагодження та введення в експлуатацію**

Організація та виконання робіт з монтажу електрообладнання повинні здійснюватися відповідно до затвердженого проекту згідно з ПУЕ, ПТЕ та ІТБ, ДБН, ДСТУ та іншими нормативними документами.

Електроенергетичне обладнання, дроти, кабелі, кріпильні вироби повинні подається установником після перевірки комплектності поставки та відповідності повним спискам виробника. Проектно-кошторисна документація та технічна документація підприємств-виробників передаються електромонтажною організацією в порядку і строки, встановлені «Правилами підприємства та капітального будівництва» та «Положенням про взаємовідносини між організаціями генпідрядників» та субпідрядники».

Сучасна технологія електромонтажних робіт передбачає її виконання в два етапи. На першому етапі проводяться роботи по монтажу деталей, закладених у будівельні конструкції, підготовці траси електропроводки та заземлення, а також монтажу та армуванні поза межами монтажної зони вузлів і блоків по ходу розміщення мереж уздовж готових маршрутів.

На другому етапі проводяться монтажні роботи агрегатів і попередньо поставлених блоків, світильників та підключення проводів і кабелів до електрообладнання. Після завершення монтажу, по закінченні робіт,

Таблиця 3.1

Точкове електрообладнання та пристрої, що використовуються для обслуговування та ремонту енергетичного обладнання

ні. заробітної плати	ідентифікація обладнання	Тип, ГОСТ	Розміри, мм	Кількість, шт.	Встановлено потенція, кВт
1	два	3	4	5	6
1	фарбувальна камера	K0.00.000.СІТЕРг.ін-ва	1832x920x1726	1	
два	фарборозпилувач	СО-71А		1	
3	Сушильна шафа	СНОЛ-3,5Х3,5 35/343	1400 x 350		40
4	Сушильна шафа	ЦЕП-282А		1	7.5
5	Мийна ванна (мобільна)	OM-1316	1250x620x960	два	
6	Витяжка для сушильної ємності	SW.00.000.СУТЕР	1530x1270x2560	1	
7	Мобільний лебідковий шнек	ГОСТ 1106-74			
вісім	Вагонка опалювальна ванна	OKC-1513	1360x500x850	1	тридцять
дев'ять	Пральна машина з заглибним насосом	ORG-4990	1200x500x1000	1	3.5
десять	мийний засіб		1000x500x1000		3.72
одинадцять	Підтримка ремонту контрольної техніки		1540x900x1270	1	4.5
12	Стенд для ремонту та огляду установок опромінення та освітлення	E37H.000 ВНШЕМ с.х.	1600x900x1300	1	2.2
чотирнадцять	Компресор для мобільного гаража	Модель 1 П36В2		1	1.5
15	Машина для ремонту асинхронного двигуна	E36ІВНШЕМ с.х.		1	
16	точка живлення стенду	E40H ВНШЕМ с.х.	510x260x600	1	тридцять
17	слюсарний верстат	5105 000.	1500x600x500	6	
вісімна	Настільний свердлильний	НС-12А		1	0.6

д	в	р	с	т	а	т		о	о
т	ь								
19	г	і	д	р	а	в	л	і	ч
	н	н	й		г	и	с	к	
					2153	в	у	з	л
									0.8

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1	2	3	4	5	6
дв ад ця ть	два металевий монтажний стіл	ОПФ 1468-01 ЖИВА	1200x800x600		
21	підвісний кран	0,5-51-4,5-6- 2201,380 ГОСТ 7890-76		00	1.23
22	Консольно- поворотний кран	ОПТ-1153			0,87
23	Трансформатор для припою з мідного дроту	OS3-3105	400x500x500	1	3.0
24	електричний лазєльний стіл	OKS-7523	1100 x 750 x 715	00	
25	Мобільний зварювальний трансформатор	ТД-300-2У2 6157 000	640x490x715	1	9.4
26	Полірувально- шліфувальний верстат	3B534	1000x665x1230	1	4.6
27	Пристрій для збору пилу	ВЛІ-900М		00	1.5
28	Гідравлічний трубогибочний верстат	РТГ-3			

Електрообладнання передається електромонтажній організації для налагодження замовнику та організації, про виконання пусконаладжувальних робіт відповідно до законодавства.

Повідомлення про готовність електрообладнання до приймання на роботу комісія передається генеральному підряднику електромонтажними та спільними пусконаладжувальними організаціями. У цьому випадку необхідно надати документацію:

- набір робочих креслень для електричної частини;
- акти та протоколи на електромонтажні та налагоджувальні роботи;
- комплект заводської документації.

Порядок приймання та введення в експлуатацію електрообладнання визначається інструкцією.



## ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА

### РОЗДІЛ 4

## РОЗРАХУНКИ ТА ПІДБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОПРОВОДКИ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

4.1 Перевірити електродвигуни, що приводять технологічне обладнання, на відповідність параметрам живильної мережі та умовам навколишнього середовища

Вибір електроприводів здійснюється за діючими технологічними нормами проектування ДБН (СНиП), ДСТУ та ін.

Для перевірки параметрів електродвигуна прийнято вентиляційне обладнання, а саме електродвигун для приводу витяжного вентилятора Ц4-70 №5, розташованого в зоні фарбування.

Технічні дані вентилятора:

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

Оскільки швидкість вентилятора  $n = 1420 \text{ об} / \text{хв}$ , необхідно вибрати двигун з синхронною швидкістю  $n = 1500 \text{ об} / \text{хв}$ . Ступінь захисту електродвигуна від впливу навколишнього середовища IP54.

Навантаження електродвигуна стабільне, режим роботи електродвигуна довготривалий - S1. Конструкція електродвигуна за ГОСТ 2479-79; Прийнято IM1001 - ножний двигун з двома підшипниками, з циліндричною заглушкою віссю, будь-яке положення в просторі.

Встановлена потужність двигуна вентилятора з урахуванням коефіцієнта безпеки дорівнює:

$$P_0 = (K_z \cdot LdP \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}) / (3600 \cdot \eta_v \cdot \eta_n); \quad (4.1)$$

де  $K_z$  - коефіцієнт запасу потужності для пуску електродвигунів потужністю до 2 кВт;  $K_z = 1,2 \dots 1,5$ ;

$P$  - знижений тиск,  $P = 58,2 \text{ мм вод. ст.}$ ;

$L_d$  - номінальна продуктивність вентилятора,  $L_d = 4055,2$  м<sup>3</sup>/год;

$\eta$  - коефіцієнт продуктивності (ККД) вентилятора,  $\eta = 0,6$  - 15 %;

- ККД передачі,  $\eta = 1$ , оскільки вентилятор розташований на валу двигуна.

Тоді,

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

Номінальна потужність вибирається в умовах:  $R_{nom} \geq R_{ts}$ .

Двигун живиться від трифазної мережі змінного струму з частотою 50 Гц

За швидкість двигун вибирається виходячи з частоти обертання, яка повинна становити 930 ... 1420 об/хв для забезпечення необхідного тиску і витрати.

Вибирається електродвигун загальнопромислового зразка з найближчою найбільшою номінальною потужністю - АТ80V4/U3.

Паспортні дані електродвигуна:  $P_{н.дв.} = 1,5$  кВт;  $J_N = 3,6$  А;  $\eta = 77\%$ ;  $\cos$

$\phi = 0,83$ ;  $n_i = 1395$  об/хв.

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

- кратність початкового 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  $I_{start} / I_n = 5$ ;

- момент інерції ротора двигуна  $J_{ав} \approx 0,0033$  кгм<sup>2</sup>.

Вибраний електродвигун перевіряється на відповідність робочій машині, тобто відцентровому вентилятору Ц4-70 No5.

Вибраний електродвигун перевіряють за умовами пуску при зниженій напрузі -7,5% і розповсюдженням його параметрів за ГОСТ 123-73.

Графіко-аналітичним методом визначають час пуску електродвигуна і перевіряють електродвигун на прогрів при запуску.

Механічну характеристику вентилятора отримують розрахунком за формулою:

$$M_s = M_{s0} + (M_{sn} - M_{s0}) (\eta \times \eta_n) \times (4.2)$$

де  $M_{so}$  - момент тертя, незалежний від зміни швидкості, Нм;

$m_{sn}$  - момент статичного опору вентилятора при номінальній швидкості обертання, Нм;

$\omega$  - поточне значення кутової швидкості, 1/с;

$\omega'$  - номінальне значення кутової швидкості, 1/с;

$M_s$  - коефіцієнт, що характеризує ступінь залежності моменту статичного опору від швидкості, для вентиляторів  $x = 2 \dots 15$ .

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

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

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

Результати розрахунків заносяться в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

#### Розрахунок механічних характеристик вентилятора

$\omega, \text{1/с}$	0	3.14	62.8	94.2	125.6	148.7	157
МС, Нм	1.34	1.68	2.7	4.37	6.73	8.9	9.8

Для побудови механічних характеристик двигуна критичне ковзання визначається за формулою:

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

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

$\mu_1$  - співвідношення між кратністю максимального моменту і початковою кратністю моменту:  $\mu_1 = \mu_{кр} / \mu_p = 2,2 / 2,0 = 1,1$ ;

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

Отже, критичне значення ковзання становить:

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

Використовуючи дані каталогу електродвигунів [12], побудовано природну

механічну характеристику  $M_{dv} = f(n)$  п'ятьма характерними точками (рис. 3.1):

1 бал - неробочий рух:  $M_1 = 0; s_1 = 0;$

2 бали - номінальний режим роботи  $M_2 = M_n; s_2 = s_i;$

$$M_n = 9550 R_n \cdot dv / n, (4.7)$$

де  $M_n$  - номінальний крутний момент електродвигуна, Нм;

$R_n \cdot dv$  - номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$n$  - номінальна швидкість електродвигуна, об/хв.

$$sn = (ns - nn) / ns, (4.8)$$

де  $ns$  - номінальне ковзання двигуна;

$nas$  - частота синхронного обертання, об/хв.

Замінивши дані у формулах (4.7) і (4.8), отримаємо:

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

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

Точка 3 - точка максимального крутного моменту:  $M_3 = M_{max}; s_3 = s_{max}$

=  $s_{kp}$ :

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

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

4 бали - бал мінімального моменту;  $M_4 = M_{min}; s_4 = 0,7:$

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

5 точка - точка пускового моменту:  $M_5 = M_{пусковий}; s_5 = 1:$

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

Визначено дані для побудови штучної механічної характеристики  $M'dv =$

$f(\omega)$  при зниженні напруги на клеммах споживача на  $-7,5\%$   $U_{ном}$  за стандартом.

Для цього використовується формула:

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

де  $M$  - відповідні значення моментів електродвигуна, Нм

Ми маємо:

$$M'_{ном} = (0,925) 210,1 = 194,8 \text{ Нм};$$

$$M'_{max} = (0,925) 22,22 = 20,6 \text{ Нм};$$

$$M'_{min} = (0,925) 2 * 16,16 = 30,0 \text{ Нм};$$

$$M'_{start} = (0,925) 2 * 20,2 = 37,4 \text{ Нм};$$

Друга штучна механічна характеристика  $M'dv = f(\omega)$  визначається відхиленням моментів. Відповідно до ГОСТ 183-74:

$$\Delta M_{\chi p} (\%) = -10\%; \Delta M_{\mu v} = -20\%; \Delta M_{\sigma t a r t} = -15\%.$$

Тоді:

$$M'_{max} = 0,9 * M_{max} = 0,9 * 22,22 = 20,0 \text{ Нм};$$

$$M'_{min} = 0,8 * M_{min} = 0,8 * 16,16 = 12,9 \text{ Нм};$$

$$M' \text{ початок} = 0,85 M_{\text{початок}} = 0,85 * 20,2 = 17,2 \text{ Нм};$$

$$M'n = M_n = 10,1 \text{ Нм}.$$

Розрахункові дані по конструкції механічних характеристик електродвигуна АІР80В4У3 наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

**Проектні дані для побудови механічних характеристик електродвигуна**

$\alpha, c-1$	78,5	72,2	43,1	23,5	0	Опис особливостей
$c$	0	0,08	0,45	0,7	1	
$M, \text{ Нм}$	0	10,1	22,22	16,16	20,2	натуральний $M = f(\omega)$
$M', \text{ гм}$	0	8,7	19,1	13,9	17,3	штучний, в $U = -7,5\%$
$M', \text{ гм}$	0	6,3	17,2	11,12	14,7	штучні, з відхиленням моментів $\square M$

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

$$M_{din} = M_{dv} - \mu_{ic}. \quad (4.12)$$

Використовуючи динамічну характеристику  $M_{din} = f(\omega)$  (рис. 4.1.), визначають тривалість пуску електродвигуна  $t_p$ .

Для цього характеристику розбивають по ординаті на рівні перерізу і для кожного перерізу графічно визначають середнє значення динамічного моменту.

Тривалість запуску електродвигуна в цьому випадку:

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

де  $t_i$  – час запуску двигуна в  $i$ -й секції, с.

$$\Delta t_i = j_i \delta \frac{\Delta \omega_i}{\Delta M_{s \text{ на } \delta}} \quad (4.14)$$

де  $j_{pr}$  - приведений момент інерції для валу двигуна, кгм<sup>2</sup>;

$\delta$  - частота обертання в  $i$ -й секції, рад/с;

$\Delta M_{s \text{ на } \delta}$  - середній динамічний момент на  $i$ -му перерізі, Нм (рис. 4.1).

Момент інерції валу двигуна визначається за формулою:

$$J_{pr} = J_{dw} + J_{vent} \quad (4.15)$$

де  $J_{dw}$  – момент інерції двигуна, кгм<sup>2</sup>; для двигуна AIR80V4U3 -  $J_{dw} = 0,0033$  кгм<sup>2</sup>;

$J_{vent}$  - момент інерції вентилятора, кгм<sup>2</sup>;  $J_{vent} = 0,009$  кгм<sup>2</sup>.

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

Результати розрахунку заносяться в таблицю 4.3. Час пуску електродвигуна становить:  $t_{pr} = \Delta t_e = 1,12$  с.

НУБІП України

НУБІП України

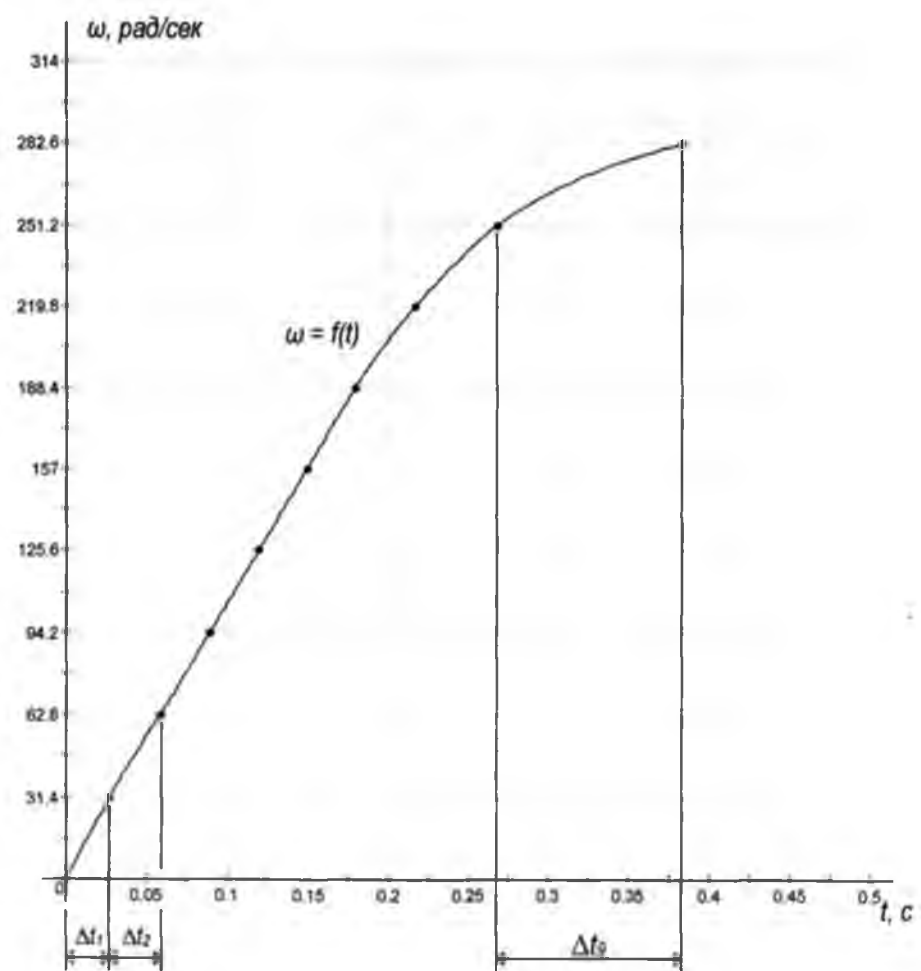
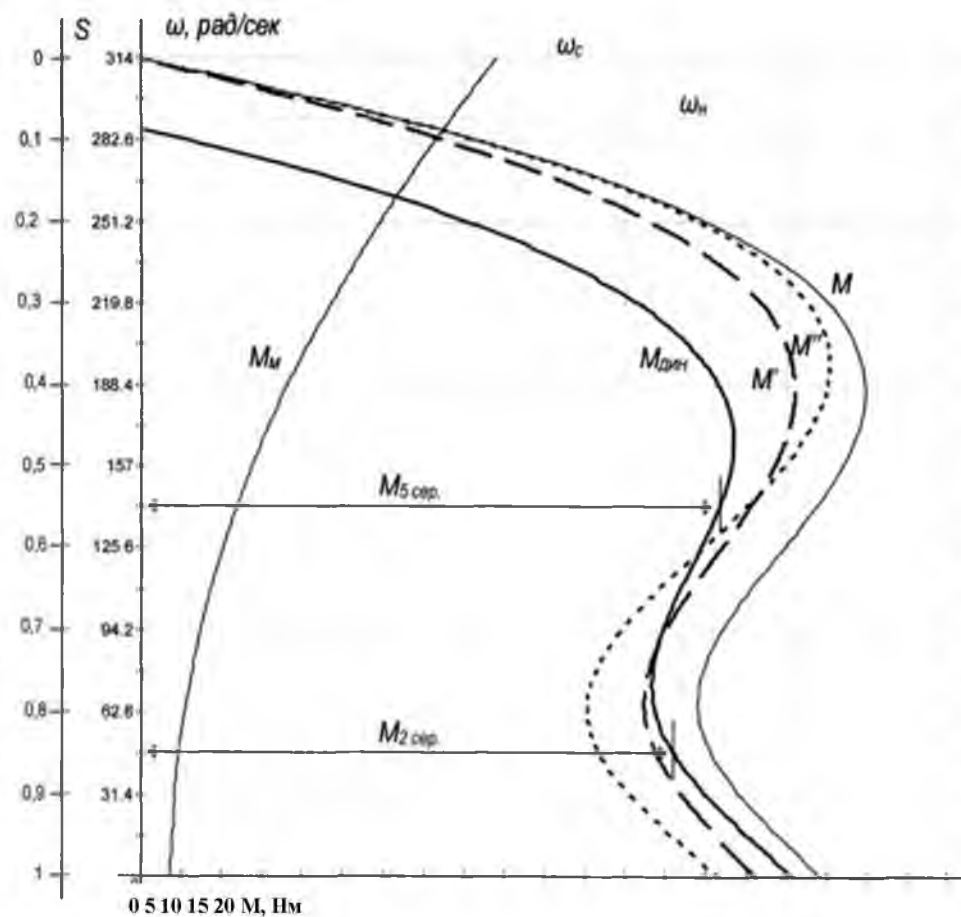


рис. 4.1. Механічні характеристики електродвигуна AIR 80V4S1U3 і вентилятор...  
Визначення тривалості пуску електропривода за допомогою графічно-аналітичного методу.

Таблиця 4.3

## Розрахунок та раптовий запуск електродвигуна

$I_{\text{Дж}}, \text{Нм}$	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123
$\Delta t, \text{с}$	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
$M_{\text{Дж}}, \text{Нм}$	11,1	9,9	11,3	10,9	4,5
$G_{\text{разд. так}}$	0,16	0,18	0,16	0,16	0,46

Клас теплового опору ізоляції двигуна В [12], що відповідає допустимій температурі нагріву обмотки статора 130 °С. Нагрів двигуна під час пуску визначається за формулою:

$$Q = Q_{\text{sciences}} + Vt \text{ tn}, \quad (4.16)$$

де  $Q_{\text{навк}}$  – температура навколишнього середовища, °С

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

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

Виходячи з цього значення, нагрівання електродвигуна під час запуску ізоляції не є небезпечним.

#### 4.2 Вибір пристроїв захисту від запуску та низьковольтного комплектного контролю

Якщо прийняти до реалізації типову конструкцію ВОРМ і РЕО, то вказані в ній пристрої керування захисту електрообладнання повинні відповідати вимогам ПУЕ та ПТЕ [1, 2]. Виконується випробування та підбір засобів захисту пуску для одного з електроприводів - витяжного приводу, встановленого в ремонтно-монтажній зоні.

Паспортні дані електродвигуна AIR80V4U3:  $P_{\text{н.дв.}} = 1,5 \text{ кВт}$ ;  $I_{\text{н.}} = 3,6 \text{ А}$ ;

$\eta = 77\%$ ;  $\cos \varphi = 0,83$ ;  $n = 1395 \text{ об/хв}$ .

Умови вибору вимикача в ланцюзі живлення двигуна:



1)  $U_{авт}$   Немережа;  
2)  $I_{н.авт.вим}$    $I_{н.дв}$ ;  
3)  $I_{т.р.}$    $B_{дв}$ ;  
4)  $I_{ел.м.розр}$  (зрізати)   $I_{неспр}$ ;

У наведених вище нерівностях:

$U_{авт}$ ,  $U_{мер}$  - відповідно номінальна напруга вимикача та мережі  $V$ ;  
 $I_{н.авт.вим}$ ,  $I_{н.дв}$  - відповідно номінальні струми вимикача та  
електродвигуна,  $A$ ;

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

$I_{неспр}$  - непрацюючий струм електромагнітного реле,  $A$ ;  
 $I_{порізи}$  - струм відсікання електромагнітного розчеплення,  $AA$   
Вибрані дані вимикача VA47G29-34.  $U_{аут} = 500 V$ ;  $I_{н.аут.оут} = 16 A$ ;  $B R. =$   
4 A.

Потім:  $Y_{i.u. p} = 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot 3,6 = 27,3 A$ ;

$I_{зрізи} = 12 B.p = 12 \cdot 4 = 48 A$ .

Перевірка умов вибору:

1.  $U_{аут} = 500 V > U_{мер} = 380 V$ ;

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

3.  $B.p = 4 A > I_{роб} = 3,6 A$ ;

4.  $I_{ес} = 48 A > 27,3 A$ .

5. За конструкцією автоматичний триполюсний вимикач, з електромагнітним розчіплювачем максимального струму; без допоміжних контактів. Ступінь захисту корпусу вимикача IP30.

Повне позначення автоматичного вимикача: VA47G29-34U3V.  
Для дистанційного керування роботою двигуна вибирається електромагнітний пускач серії PML, що відповідає наступним умовам вибору:

1.  $U_{start}$   Немережа;

2) Інформація про запуск   $I_{н.дв}$ ;

3.  $I_{т.р.}$    $B_{дв}$ ;

$I_{нагр.сл}$    $I_{н.дв}$  з подальшим регулюванням неробочого струму в  $I_{н.дв}$ .

4. За дизайном;

5.  $U_{cat}$  = Великобританія;

де  $U_{пуск}$  - номінальна напруга стартера, В;

*початкова інформація* - номінальний струм стартера, А;

$I_{t.r}$  - номінальний струм теплового реле, А;

$U_{com}$ , Великобританія - відповідно напруга котушки і ланцюга управління, В.

Перевіримо умови вибору:

1.  $U_{start} = 660V > U_{mer} = 380V$ ;

2.  $I_{n.start} = 10A > I_{n.dv} = 3.6A$ ;

3.  $I_{tr} = 10A > I_{n.dv} = 3.6A$ .

4. Почніть з електричного теплового реле, необоротного; Ступінь захисту IP54, з кнопками «Пуск» і «Стоп»; кліматична версія O.

5.  $U_{com} = 220V = U_{k.k} = 220V$ .

Повне позначення пускача PML — 1220.O4V.

Електричне теплове реле РТЛ-1007.06 з діапазоном налаштування номінального неробочого струму 2,6 ... 4 А. Номінальний струм реле 25 А.

Отже, умови відбору задоволені.

Розрахунок внутрішніх електричних мереж зводиться до підбору перерізу струмопровідних жил проводів і кабелів на довготривалий допустимий струм. Розрахунковий струм - 3,6 А. Розподільна мережа здійснюється кабелем АВРГ 1 (4x2,5). Допустимий довгостроковий струм кабелю АВРГ перетином 2,5 мм<sup>2</sup> становить 19 А □22□.

Отже, умова  $I_{tr.add.} = 19A > I_{c.p.} = 3,6A$ , - виконується.

За умовою для довготривалих допустимих струмів проводів з номінальними даними пристроїв захисту:

$$I_{tr.add.}/I_{n.sr} > 1.$$

Для електродвигуна та вимикача ВА47Г29-34У3В:

$$4/19 = 4,75 > 1.$$

Тобто умова виконана.

Для інших електроспоживачів так само підбираються внутрішні розподільчі

мережі, а результати відбору зводяться до розрахунково-монтажної таблиці, наведеної в презентаційних матеріалах.

Виходячи з умов навколишнього середовища вибирається кількість груп електроприймачів, їх потужність, головний розподільний пункт і груповий розподільний пункт. Повний розподільний пункт PR 8501-096IP21U3 з шістьма автоматичними вимикачами VA47G29-34 вважається основним розподільним пунктом; групові розподільні пункти PR8501-067IP21U3 з шістьма автоматичними вимикачами BA 47I 29-34 у вихідних лініях.

Дані про вибір пунктів розподілу заносяться в розрахунково-монтажну таблицю та в план точок (презентаційні матеріали).

#### 4.3 Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі

Використання штучного освітлення дає можливість нормальної діяльності людини в умовах недостатнього природного освітлення. На території PTORE передбачено наступні види освітлення:

- робоче, загальне та місцеве освітлення;
- портативний.

Робоча напруга освітлення 220В, напруга живлення лампи 220В, переносне освітлення 36В.

Освітлення приміщень прийнято відповідно до стандартів. Робоче освітлення виробляють світильниками з люмінесцентними лампами і лампами розжарювання. Переносне освітлення забезпечується світильниками РП 6-2 / 36 від щита з понижуючим трансформатором ЯТП-0,25.

Панель освітлення обрано ОЩВ 25-6 з сімома вимикачами ВА47-2912.

Освітлювальні мережі групи виконані з кабелю AVRГ, розміщеного вздовж будівельних конструкцій на опорах і над кабелем, провід АПВ розміщений у сталевих трубах. Тип освітлення для установок PTORE - робоче. Для ремонтно-монтажного майданчика прийнята комбінована система освітлення, а для всіх інших приміщень - єдина система загального освітлення.

Для приміщень зон просочення, сушіння, фарбування джерелами світла приймаються вибухобезпечні лампи з лампами розжарювання, у ванній кімнаті, душовій, вентиляційній камері, передпокої, тамбурах, електрощиті - світильники з лампами розжарювання, а для інших кімнати - незахищені світильники. ...

Розрахунки освітлення проводяться для ремонтно-монтажної ділянки. Розрахунок проводиться за коефіцієнтом світлового потоку з подальшою перевіркою пунктуальним методом. Для приміщень - електродиспетчерська, гардеробна, санвузол, душова, передпокій, тамбур - специфічним способом годування.

Розрахунковий світловий потік для всього приміщення визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (4.17)$$

де  $E$  - розрахунковий світловий потік лампи, лм;

$I$  - стандартизоване освітлення, люкс;

$S$  - площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$z$  - коефіцієнт нерегулярного освітлення,  $z = 1,15$ ;

$k$  - коефіцієнт безпеки для ламп розжарювання  $k = 1,15$ ;

$N$  - кількість ламп, шт;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

Світильники з люмінесцентними лампами в промислових установках доцільно розташовувати паралельними рядами по довгій стороні приміщення.

Враховуючи кінцевий розподіл світла прийнятих світильників РВЛМ, вважаємо відносну відстань між рядами світильників  $= 1,4$ .

Потім отримуємо відстань між рядами світильників.

$$L = p, \quad (4.18)$$

де  $L$  - відстань між лампами, м;

$H_p$  - висота проекту, м.

$$H_p = H - (z \cdot d \cdot p + hw), \quad (4.19)$$

НУБІП України

$hw = 2,2 \text{ м};$   
 $x_{p.p.} = 0,8 \text{ м}/$   
Тоді  $N_p = 6 \cdot (0,8 + 2,2) = 3,0 \text{ м}; L = 1,4 \cdot 3,0 = 4,2 \text{ м}.$

Кількість ліній світильників:

$$N_p = (B - 2l) / L + 1, (4.20)$$

НУБІП України

де  $B$  - ширина приміщення,  $\text{м}; B = 5,7 \text{ м};$   
 $l$  - довжина світильника, максимальна зовнішнього до стіни,  $\text{м},$

$$l = (0,8 - 0,5) L = 0,3 \cdot 4,2 = 1,26 \text{ м};$$

$$N_p = ((5,7 - 2 \cdot 1,26) / 4,2) + 1 = 1,76 \text{ шт.}$$

НУБІП України

$N_p$  - підтримуються 2 рядки. Кількість лампочок в ряду:

$$N_c = ((A - 2l) / L) + 1, (4.21)$$

де  $A$  - довжина приміщення,  $\text{м}; A = 14,7 \text{ м}.$

НУБІП України

$$N_c = ((14,7 - 2 \cdot 1,26) / 4,2) + 1 = 3,9 \text{ шт.}$$

НК прийнято = 4 шт.

Фактичну відстань між світильниками визначають:

$$L_{fs} = (A - 4 \cdot l_0) / 4 = ((14,7 - 4 \cdot 1,24) / 4) = 2,43 \text{ м}$$

НУБІП України

де  $l_0$  - довжина світильника,  $\text{м}; l_0 = 1,24 \text{ м}.$   
Загальна кількість ламп:  $N = N_p \cdot N_c = 2 \cdot 4 = 8 \text{ шт}.$

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття, індексу навколишнього середовища:

НУБІП України

$$i = AB / (A_p (A + B)) = 14,7 \cdot 5,7 / (3 \cdot (14,7 + 5,7)) = 1,36. (4.22)$$

З урахуванням матеріалів стелі, стін, підлоги враховуються значення

коефіцієнта відбиття:  $\square_1 = 70\%$  - стелі,  $\square_2 = 50\%$  - стіни,  $\square_3 = 30\%$  - підлога;

НУБІП України

За таблицями [13] це  $\square$  - коефіцієнт використання світлового потоку:  $\square = 0,43.$   
Замінивши дані у формулі (2.17), отримаємо:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 67,3 \cdot 1,7}{8 \cdot 0,43} = 8392,9 \text{ лк}.$$
 Приймаються світильники типу 2x24 PVLM з двома світлодіодними лампами.

Світильники типу PVLM 2x40 приймаються з двома лампами типу LB, світловий потік яких  $F_l = 4650 \text{ лм}$ .

Загальний світловий потік ламп у світильнику:
 
$$\Phi_c = 2 F_l = 2 \cdot 4650 = 9300 \text{ лм}.$$
 Відповідно до ДБН V.2.5. - 23 - 2003 освітленість, створювана додатковим

місцевим освітленням на столах і машинах, повинна бути 300 лк, люмінесцентних ламп - 2600 лк.

Світильники ML-2x80, що використовуються для локального освітлення, встановлені на стіні, створюють освітлення 800 лк з розміром світлової плями 600x1000 мм.

Для допоміжних приміщень освітлення розраховується методом щільності потужності за формулою:
 
$$P = \square \cdot Y / N, \quad (3.23)$$

де  $P$  - потужність ламп, Вт;

$\square$  - питома рівномірна потужність загального освітлення, Вт / м<sup>2</sup>;  
 $N$  - кількість ламп, шт;  
 $c$  - площа приміщення, м<sup>2</sup>.

Розрахована освітленість вентиляційної камери.

Попередній  Приймаються 3 лампи типу NSP (02...). Освітленість вентиляційної камери  $E = 40 \text{ лк} \square 5 \square$ . Коефіцієнт відбиття для стелі, стін, підлоги відповідно дорівнює:  $\rho_1 = 50\%$ ,  $\rho_2 = 30\%$ ,  $\rho_3 = 10\%$ ; площа -  $S = 32 \text{ м}^2$ .

Індекс кімнати визначається:

$$i = A \cdot B / (A \rho + (A + B)) = 5,8 \cdot 5,5 / (2,5 \cdot (5,8 + 5,5)) = 1,13.$$
 За таблицями визначають значення  $\square$ , знаючи площу приміщення, висоту підвісу світильників, освітленість робочої поверхні та коефіцієнти робочої поверхні:  $\square = 11 \text{ Вт/м}^2$ . Тоді:

$$P = 11,32/1,3 = 117,3 \text{ Вт.}$$

прийнято лампи розжарювання типу ВК220-230-150, потужн 150 Вт

Розрахунок освітлення для інших приміщень виконується аналогічним чином.

Результати розрахунків заносяться в паспорт освітлення (табл. 4.4).

Світильники живляться від розподільного пункту ОЩВ 25-6 з лінійними вимикачами груп ВА47-29-12.

Виконується підбір перерізу проводів для групи №4, яка живить лампи PVLМ. Для групи  $R_{ст} = 0,86 \text{ кВт.}$

Розрахунковий груповий струм (з урахуванням втрат баласту для люмінесцентних ламп):

$$I_{г} = 1000 \cdot 0,9 \cdot P / U \cdot \cos \phi = 860 \cdot 0,9 \cdot 220 / 0,85 = 3,7 \text{ А.} \quad (3,24)$$

Розрахунок внутрішніх електричних мереж зводиться до підбору перерізу проводів і кабелів на довготривалій допустимий струм:

$$I_{тр. доп} > I_{г}$$

Проводка виконується проводом АПВ-2 (1х2,5) в один кабель, перетин провідника струму 2,5 мм<sup>2</sup> з  $I_{тр. доп} = 19 \text{ А} \square 22 \square$ .

Для інших груп розрахунок виконується так само, а результати розрахунків зводяться до таблиці розрахунків і складання освітлювальної мережі (табл. 4.4).





## РОЗДІЛ 5

# РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ І ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

### 5.1 Розрахунок електричних навантажень і вибір силового трансформатора

Розрахунок електричних зарядів виконується методом упорядкованих діаграм (ефективна кількість струмоприймачів). Для електричних мереж розрахункові навантаження є найбільш вірогідними навантаженнями не менше 30 хвилини.

Ефективна кількість струмоприймачів - це кількість споживачів однакової потужності та однорідних за режимом роботи, що визначає однакову максимальну величину, розраховану як група споживачів, різних за потужністю та режимом роботи. Відношення  $P$  визначається згідно з таблицею [5] залежно від співвідношення:

$$P = \frac{\sum P_y \cdot n_1}{\sum P_y}, \quad (5.1)$$

Де  $\sum P_y$  - загальна встановлена потужність споживачів, кВт.

$n_1$  - кількість споживачів, потужність яких перевищує половину встановленої потужності;

$\sum P_y \cdot P_1$  - сума встановлених потужностей споживачів, потужність яких більше половини потужності найпотужнішого пантографа.

Визначається потужність на вході цеху. Значення коефіцієнта використання та коефіцієнта потужності  $\cos$  визначаються за даними [1] і [5] залежно від типу приводної машини та характеру роботи. Результати заносять у таблицю. 5.1.

Таблиця 5.1

Розрахунок електричних зарядів у майстерні

Назва обладнання	кількість	$\Sigma P_v$ , кВт	$Q_{av}$ , квар	$Q_{iikor}$	кв.см, кВт	коєф φ
очисник стартера	1	2.2	0,37	0.3	0,66	0,87
стаціонарна змащувальна станція	6	7.7	3.5	0,5	3,85	0,74
Електромеханічний масляний вентилятор	1	0,55	0,5	0,5	0.3	0,71
Апарат КІ - 4935	1	5.5	13	0.4	22	0,59
Пральна машина	1	7.5	2.7	0.6	4,5	0,86
Підтримка для розбирання та складання тракторних візків	1	7.5	1.8	0.4	3	0,86
випрямляч	1	0,55	0,17	0.3	0,165	0,7
Машина для притирання клапанів	1	1,65	0,5	0.3	0,5	0,7
Підтримка гальмівної системи toll-in	1	45	10.2	0.4	сімна дцять	0,87
Кронштейн регулювання паливного обладнання	1	1.5	0.4	0.4	0.6	0,83
паливний дозатор	два	0,74	0,21	0.3	0.2	0,69
замковий стіл	два	0,5	0,12	0.3	0,15	0,77
зварювальний перетворювач	1	п'ятнадцять	17	0.3	4.2	0,41
Одномостовий зварювальний трансформатор	1	16.3	8.1	0.3	6	0,94
Контактний зварювальний апарат МТ-22А	1	40.3	29.5	0.3	40.3	0.8
дротяний припой трансформатор	1	0,33	0,28	0.4	0,22	0,71
Компресорна установка	1	3,4	2.8	0.3	1.5	0,92
UK і S пристрій	1	22	0,59	0.4	0,88	0,83
селеновий випрямляч	1	1.6	-	0.8	1.28	1
електричний ще	1	40	-	0.8	3.2	1
електровібраційні ножиці	1	0,38	0,55	0.3	0,11	0,5
Вертикальний свердлильний верстат	1	2.32	1.18	0,5	1.16	0,7
комбінована машина	1	4.52	1.4	0.4	1.8	0,78
вертикальний токарний верстат	1	3	0,65	0,32	0,96	0,83
Підтримка для ламінування на сільськогосподарських машинах	1	7.5	1,78	0,48	3.1	0,86
Підшипник коробки передач	1	7.0	2.2	0.4	2.8	0,79
пневматичний молоток	1	7.5	3.6	0.6	4,5	0,81
електрошліфувальна машина	1	1.1	0,25	0.4	0,44	0,87
проріджуюча машина	1	4.0	1.03	0.4	1.6	0,84
підвісний кран	3	11.37	7.6	0,5	5685	0.6
Електрична лебідка	два	9.2	2.6	0,49	2.7	0,59
Електрична лебідка	1	5.5	1.67	0,49	2.7	0,85
Освітлення	1	6.136	-	0.8	4.9	0,59
Вентиляція	1	9.24	8.3	0,75	5.93	0,64
Відцентровий вентилятор	1	0,18	0,16	0,75	0,135	0,64
Загальний запис:		290	22,85		156.9	

На вході в майстерню встановлено 45 споживачів. Причина р визначається:

$$P = \frac{\sum P_y \cdot \Pi_1}{\sum P_y} = \frac{40 \cdot 1}{200} = 0,19; \quad (5.2)$$

$$\Pi' = \frac{\Pi_1}{\Pi} = \frac{1}{45} = 0,022... \quad (5.3)$$

У літературі [5] знайдено  $P'e = 0,3$ . Ефективна кількість струмоприймачів визначається:

$$P_e = P'e \cdot P = 0,345 = 14.$$

Максимальний коефіцієнт використання навантаження визначається за тією ж таблицею при:  $P_e = 14$ :

$$K_b = 0,54; \quad k_m = 1,24.$$

Визначаються складові максимального загального навантаження:

$$P_{30} = \sum R_u \cdot k_b \cdot k_m = 290 \cdot 1,24 \cdot 0,54 = 194,18 \text{ кВт}. \quad (5.4)$$

$$Q_{30} = P_{30} \cdot \text{tg } \varphi = 194,18 \cdot 0,32 = 62 \text{ квар}. \quad (5.5)$$

Повний максимальний заряд за півгодини:

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} = \sqrt{194,18^2 + 62^2} = 203,8 \text{ кВА}. \quad (5.6)$$

Визначаються потужності інших споживачів, які живляться від нашої підстанції. У цьому випадку використовується RUM-10 і дані згортаються в таблицю 5.2

Таблиця 5.2

Розрахункове навантаження на вході споживача

Споживачі	холодні приміщення	Бойня та консервний цех	Автопарк на 50 автомобілів
$R_d$	6	65	45
$P_B$	два	66	двадцять
Кількість	1	1	1

Сума навантажень лінії трансформаторної підстанції виконується методом доплати. Розрахунок виконується в табличній формі (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Сума розрахункового навантаження

сюжет	Добне навантаження, кВт				нічна зарядка			
	<i>RDB</i>	<i>RDN</i>	<i>IP (Pдн)</i>	<i>Rd</i>	<i>RVB</i>	<i>Rvn</i>	<i>IP (Pвн)</i>	<i>PB</i>
Рядок 1 0-1	194,18	-	-	194,18				
Рядок 2 0-1	65	-	-	65	66	-	-	66
Рядок 3 0-1	6	-	-	6	два	-	-	два
0-2	45	6	3.6	48.6	вадцять	два	1,2	21.2

Знайдено активну потужність, розраховану для добового максимуму:

$$P = P_{дб} + P (P_{дн1}) + P (P_{дн2}) = 194,18 + 33 + 44,5 = 271,68 \text{ кВт. (5.7)}$$

Знайдено загальну потужність конструкції трансформатора:

$$S_p = \frac{P}{\cos \phi} \quad (5.8)$$

де  $\cos \phi$  – коефіцієнт потужності трансформатора 4/10 кВ з виробничим навантаженням,  $\cos \phi = 0,7$ .

$$S_p = \frac{271,68}{0,7} = 368 \text{ кВ А.}$$

ЗТН 400 кВА прийнято виходячи з економічних діапазонів і допустимих систематичних перевантажень (табл. 41 [5]).

Трансформаторна підстанція має лічильники енергії та фотореле для автоматичного керування зовнішнім освітленням. Технічні дані трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ наведені в таблиці. 5.4

ЗТН 10/04 розташований в центрі електричних навантажень, враховуючи зручність прокладки ліній 0,38 кВ і забезпечення лінії живлення, а також простоту монтажу та експлуатації.

Таблиця 5.4

Технічні дані трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ

Трансформаторний тип	ТМ 400
Номинальна напруга, кВА	400
$U_{нн}$ , кВ	0.4
$u_n$ , кВ	десять
Схема підключення обмотки	Y / YH-0
$\Delta P_{x.x.}$ , кВт	0,74
$P_{k.s.}$ , кВт	3.7

Uc.s., %	4,5
i кз., %	2,3

#### 4.2 Розрахунок лінії 0,38 кВ

Розрахунок лінії 0,38 кВ скорочується для визначення площі поперечного перерізу проводів лінії та втрат напруги кожної лінії.

Оскільки ферма розташована в кліматичній зоні з товщиною стінок льоду 10 мм, то підвітряна зона II і TP знаходиться в центрі електричних навантажень, тому приймаються залізобетонні опори і дріт з провідниками алюміній. Схема мережі 0,38 кВ представлена в Додатку А.

Розрахунок допустимої втрати напруги лінії становить 0,38 кВ. Розрахунки зводяться до табл. 5.5.

Втрати на лінії 0,38 кВ становлять 4,5% або 17,1 В. Вибір перерізу проводу ПЛ 0,38 кВ здійснюється відповідно до діапазонів економічного навантаження.

Еквівалентне навантаження на кожну ділянку лінії дорівнює:

$$Seq. = Панове Kd \quad (5.9)$$

де  $cd$  – коефіцієнт динаміки зростання заторів,  $cd = 0,7$ ;

$панове$  - максимальне розрахункове навантаження, кВА.

Таблица 5.5

#### Розрахунок дозволених знижень напруги лінії t 0,38 кВ

елементи мережі		робочий день	
		100%	25%
шина 10 кВ		- два	-1
Лінія 10 кВ		- два	-0,5
Трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ	постійне маркування	+5	+5
	Регульований циферблат	+2,5	+2,5
	Втрати	-4	-1
лінія 0,38 кВ		-4.5	-1125
у споживача		-5	+3825

Споживач прийнятний

-5

+5

3 еквівалентним навантаженням і відповідно до кліматичних умов місцевості, за допомогою табл. 45 [8] вибирається перетин основної пряжі та кількість ниток у кожній секції. Для кожної ділянки лінії визначають реальні втрати напруги:

$$\Delta U_{\phi} \% = \frac{\sqrt{3} \sum I_{\max i} \cdot l_i (r_{0i} \cos \phi_i + x_{0i} \sin \phi_i)}{U_{\text{н}}} \cdot 100\%, \quad (5.10)$$

Де  $I_{\max i} = \frac{S_{\text{розр}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}$  - максимальний струм на місці, А;

$r_{0i}, x_{0i}$  - відповідно активний і реактивний питомий опір ділянки лінії, Ом/км;

$l_i$  - довжина  $i^{\text{о}}$  ділянки лінії, км;

$U_{\text{н}}$  - номінальна напруга мережі, В.

Результати розрахунку заносяться в таблицю. 5.6 і посібник. 5.7. Як видно з розрахунків, фактичні втрати напруги в лініях менше допустимого значення, тобто перерізи проводів підбрані правильно.

Таблиця 5.6

Вибір перерізу дроту

№ рядка	розділ лінії	ПП, кВт	Sp, кВА	Sl, кВА	Провід
1	0-1	194,18	203.8	142,66	3А95 + А95
два	0-1	65	92.9	65.03	3А50 + А50
3	0-1	6	8.57	5.9	3А50 + А50
	1-2	48.6	69.4	48.5	3А50 + А50

Таблиця 5.7

Визначити реальна втрата напруги

розділ лінії	l, км	p, кВА	PP, кВт	Qp, квар	r, ом/км	x, Ом	r, ом/км	x, Ом	Втрати, %	
									по справі.	ТП
Рядок No1 0-1	0,03	203.8	194,18	62	0.3	0,009	0,36	0,0108	1.67	1.67
Рядок No2 0-1	0,07	92.9	65	66.4	0,576	0,04	0,36	0,027	2.9	2.9

Рядок №3										
0-1	0,05	8.57	6	6.1	0,576	0,029	0,36	0,08	0,19	0,19
1-2	0,05	69.4	48.6	48.6	0,576	0,029	0,36	0,08	1.56	1,75

### 5.3 Розрахунок лінії 10кВ

Розрахунок лінії 10 кВ зводиться до вибору перетину струмопровідних проводів або жил кабелю. У нашому випадку кабельна лінія прокладена до трансформаторної підстанції, тому вибір перерізу струмопровідників виконується за довгостроковим допустимим струмом для кабелю (шляхом нагрівання):

$$I_{т.дот.} \geq I_{розрах. Макс.} \quad (5.11)$$

де  $I_{т.дот.}$  - максимальний номінальний струм підстанції, А

$$I_{т.дот.} = \frac{S_{розр.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (5.12)$$

де  $S_{розр.}$  - розрахункова максимальна потужність ТП, взята з попередніх розрахунків  $S_{розр.} = 368$  кВА;  
 $U_n$  - номінальна напруга,  $U_n = 10$  кВ.

$$I_{т.дот.} = \frac{368}{\sqrt{3} \cdot 10} = 21,27 \text{ А.}$$

Допустимий силовий кабель ААШВ-10 (3х25), перерізом 25 мм<sup>2</sup>, для якого довготривалий допустимий струм струмопровідних провідників 90 А

З умови  $I_{т.дот.} \geq I_{розрах. Макс.}$  максимум досягнуто ( $90 \text{ А} > 21,27 \text{ А}$ ), значить, кабель вибрано правильно.

### 5.4 Перевірити можливість запуску та нормальної роботи асинхронних двигунів

Величина падіння напруги, що допускається на клеммах електродвигунів, визначається з їх пускового стану. Необхідно, щоб пусковий момент електродвигуна був більшим за момент зсуву веденої машини. Тобто:

$$M_{пуск} = M_{зр. work. mach.} + M_{надл.}, \quad (5.13)$$

де  $M_{\text{пуск}}$  - пусковий момент електродвигуна;

$M_{\text{надл.}}$  - надлишковий крутний момент, необхідний при запуску,

$$M_{\text{надл.}} = (0,2 \dots 0,3) M_{\text{зр. раб. маш.}}$$

де  $M_{\text{зр. раб. маш.}}$  - момент переміщення робочої машини.

Крутний момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату напруги на його клеммах. Допустиме значення напруги, за умови можливості запуску електродвигуна, визначається за формулою:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{\text{зр}} + M_{\text{надл.}}}{M_{\text{пуск}}}}\right) \cdot 100\% \quad (5.15)$$

Визначає зниження напруги при спрацьовуванні найбільш віддаленого від естакадного приводу електродвигуна для розбирання та складання підвісних колясок тракторів AIR 132 S4U3, технічні дані яких наведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Технічні дані електродвигуна AIR 132 S4U3

$NS = 7,5 \text{ кВт}$	$n_n = 1440 \text{ об/хв}$	$M_{\text{пуск}} / M_n = 2,0$
$M_{\text{max}} / M_n = 2,2$	$\eta = 0,875$	$I_{\text{нб}} = 0,1 \text{ А}$
$I_{\text{пуск}} / I_n = 7,5 \text{ А}$		$\cos \phi = 0,86$

Запуск електродвигуна та нормальна робота електроприводу можливі при дотриманні наступної умови:

$$\Delta U_{\text{факт}} \% \leq \Delta U_{\text{д}} \% \quad (5.16)$$

Зниження напруги на клеммах двигуна, що запускається:

$$\Delta U_{\text{факт}} \% = \Delta U_{\text{факт.л}} \% + \Delta U_{\text{тр}} \% = V_{\text{шнн}} \% - V_{\text{надб.тр}} \% \quad (5.17)$$

Де  $V_{\text{надб.тр}} \%$  - підвищення напруги трансформатора;

$V_{\text{шнн}} \%$  - відхилення напруги в стрижнях первинної обмотки трансформатора; для нашого випадку  $V_{\text{надб.тр}} \% = 7,5$ ;  $V_{\text{шнн}} \% = 4$ ;



$\Delta U_{\text{факт.л}} \% = \Delta U_{\text{л1}} \% + \Delta U_{\text{л2}} \% + \frac{z_{\text{л}}}{z_{\text{л}} + z_{\text{дв}}} \cdot 100\% \quad (5.18)$

Де  $\Delta U_{\text{л1}} \%$  - втрата напруги в повітряній лінії, за попередніми розрахунками, передбачається:  $\Delta U_{\text{л1}} = 1,67\%$ ;

$\Delta U_{\text{л2}} \%$  - втрати напруги в кабельній лінії;

$\Delta U_{\text{л2}} \% = \frac{\max(\sqrt{3} \cdot I \cdot r_0 \cdot \cos\phi)}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% \quad (5.19)$

де  $r_0$  - питомий активний опір кабельної лінії;  $r_0 = 30 \cdot 1 / 185 = 0,16 \text{ Ом / км}$ ,

мене- довжина кабелю, км.

$$\Delta U_{\text{л2}} \% = \frac{308,8 \cdot 1,73 \cdot 0,021 \cdot 0,16 \cdot 0,7}{380} \cdot 100\% = 1,25\%$$

Розрахункова схема мережі 10 кВ наведена на рис. 5.1.

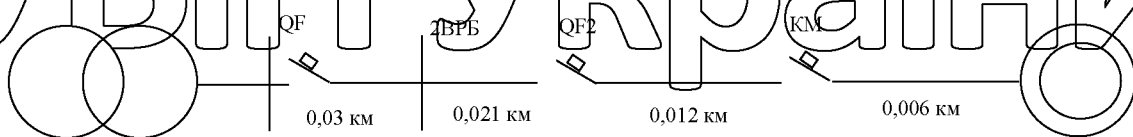


рис. 5.1. Проектна схема мережі 10кВ.

$Z_{\text{дв}}$  - загальний опір електродвигуна короткого замикання, Ом;

$Z_{\text{л}}$  - опір короткозамкнутої лінії, Ом;

$Z_{\text{дв}} = \frac{U}{I_{\text{пуск}} \cdot \sqrt{3}} = \frac{380}{7,5 \cdot 1,5 \cdot 1,73} = 1,94 \text{ Ом} \quad (5.20)$

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{R_{\text{л}}^2 + X_{\text{л}}^2} \quad (5.21)$$

Де  $R_{\text{л}}^2$ ,  $X_{\text{л}}^2$  - відповідно активний і реактивний опір лінії (квадрат), Ом.

$$R_{\text{л}} = r_0 \cdot l_1 + r_{02} \cdot l_2 + r_{03} \cdot l_3 + r_{04} \cdot l_4 = 0,3 \cdot 0,03 + 0,16 \cdot 0,021 + 12 \cdot 0,012 + 12 \cdot 0,006 = 0,26 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{л}} = 0,36 \cdot 0,03 = 0,0108 \text{ Ом}$$

$$\text{Тоді } Z_{\text{л}} = \sqrt{0,26^2 + 0,0108^2} = 0,26 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{\text{факт.л}} \% = 1,25 + 1,67 + \frac{0,26}{0,26 + 1,94} \cdot 100\% = 14,7\% \dots$$

Втрати напруги в трансформаторі  $\Delta U_{\text{тр}} \%$  при запуску двигуна з урахуванням інших струмоприймачів, підключених до трансформатора, розраховується за формулою:

$$\Delta U_{\text{тр}} \% = \frac{100}{S_{\text{К}}} \cdot \sqrt{(R_{\text{фак}} \cdot \cos\phi_{\text{пус}} \cdot S_{\text{дв}} + S_{\text{нов}} \cdot \cos\phi_{\text{нав}})^2 + (R_{\text{фак}} \cdot \sin\phi_{\text{нав}} \cdot S_{\text{дв}} + S_{\text{нов}} \cdot \sin\phi)^2} \quad (5.22)$$

де  $S_k$  - потужність короткого замикання трансформатора, кВА;

$s_k$  - повна потужність пантографів без цього двигуна;

$m$  - середньозважений коефіцієнт потужності інших пантографів;

$\cos\phi_{\text{початок}}$  - це коефіцієнт потужності конкретного двигуна при його запуску.

$$S_k = \frac{S_H \cdot 100\%}{U_{H3}\%} = \frac{250 \cdot 100}{4,5} = 5556 \text{ кВА}, \quad (5,23)$$

де  $U_{sc}\%$  - напруга короткого замикання трансформатора;

$$\cos\phi_{\text{пуск}} = \frac{\eta_H \cdot \cos\phi_H \cdot (M_{\text{пуск}} + 0,025R_i^2)}{(1 - S_H) \cdot R_i}, \quad (5,24)$$

де  $\eta_H$ ,  $\cos\phi_H$ ,  $S_H$  - відповідно значення ККД, коефіцієнт потужності та ковзання електродвигуна;

$$\cos\phi_{\text{пуск}} = \frac{0,875 \cdot 0,86 \cdot (2,2 + 0,025 \cdot 7,5^2)}{(1 - 0,03) \cdot 7,5},$$

$$R_{\text{факт}} = \frac{100 \cdot R_i}{100 + U_{K3}\% \cdot R_i} \cdot \frac{S_{\text{дв}}}{S_H} \cdot \frac{t_{\text{дв}}}{Z}, \quad (5,25)$$

де  $Z$  - загальний опір ланцюга «мережа - обмотка двигуна», Ом;

$$Z = \sqrt{(R_L + R_{\text{дв}})^2 + (X_{\text{ув}} + X_L)^2}, \quad (5,26)$$

де  $R_{\text{дв}}$ ,  $X_{\text{дв}}$  - активна та реактивна складові опору короткого замикання

відповідно, електродвигун, Ом;

$$R_{\text{дв}} = Z_{\text{дв}} \cdot \cos\phi_{\text{початок}} = 1,94 \cdot 0,373 = 0,72 \text{ Ом}, \quad (5,27)$$

$$X_{\text{дв}} = Z_{\text{дв}} \cdot \sin\phi_{\text{початок}} = 1,94 \cdot 0,93 = 1,8 \text{ Ом}. \quad (5,28)$$

$$Z = \sqrt{1,8^2 + 0,72^2} = 2,1 \text{ Ом};$$

$$S_{\text{дв}} = \frac{P_H}{(\eta \cdot \cos\phi)} = \frac{7,5}{0,875 \cdot 0,86} = 9,9 \text{ кВА};$$

$$R_{\text{факт}} = \frac{100 \cdot 7,5}{100 + 4,5 \cdot 7,5 \cdot \frac{9,9}{0,03}} \cdot \frac{1,94}{2,1} = 14,2 \text{ Ом}$$

Прийнято  $S_{\text{нат}} = S_{\text{вх}} - S_{\text{дв}} = 203,8 - 9,9 = 193,9 \text{ кВ А}$ ;  $\cos\phi = 0,7$ . Тоді:

$$\Delta U_{\text{тр}}\% = \frac{100}{5556} \cdot \sqrt{(14,2 \cdot 9,9 \cdot 0,373 + 193,9 \cdot 0,7)^2 + (14,2 \cdot 9,9 \cdot 0,93 + 193,9 \cdot 0,7)^2} = 4,9\%$$

Почалося зниження напруги на клеммах електродвигуна:

$$\Delta U_{\text{факт}}\% = 14,7 + 4,9 + 4 - 7,5 = 16,1\% \dots$$

Допустиме падіння напруги при розгоні інвертора визначається:

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_y} = 9550 \cdot \frac{7,5}{1440} = 49,2 \text{ Нм} \quad (5.29)$$

$$M_{\text{пуск}} = m_k M_H = 2 * 49,2 = 98,4 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{надл}} = (0,2 \dots 0,3) 49,3 = 9,68 \dots 14,76 \text{ Нм}$$

Величина зсувного моменту взято з літератури [11]:  $M_{zr} = 19 \text{ Нм}$ .

Отже, допустиме падіння напруги становить:

$$\Delta U_{\text{доп}} \% = \left(1 - \frac{19+14}{98,4}\right) \cdot 100\% = 42\% \dots$$

Отже, умова  $\Delta U_{\text{доп}} \% > \Delta U_{\text{факт}} \%$  виконано.

Тому запуск двигуна в цих умовах цілком можливий.

## 5.5 Перевірка захисного пристрою на максимальну розривну здатність

Пристрої захисту в мережах 0,38 кВ перевіряються на максимальну

відключаючу здатність за умовами:

$$I_{\text{гр}} > I_{\text{к.з. (3)}}, \text{ зміна } I_{\text{гр}} > I_{\text{ода}} \quad (5.30)$$

де  $I_{\text{гран.меас.}}$  - обмеження струму комутаційного пристрою, кА;

$i_{\text{од}}$ - трифазний струм короткого замикання,  $i_{\text{од}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{к.з. (3)}}$ , кА;

$I_{\text{к.з. (3)}}$  - трифазний струм короткого замикання, кА.

$$I_{\text{к.з. (3)}}^{(3)} = \frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + (X_{\Sigma})^2}} \quad (5.31)$$

де  $U_l$  - лінійна напруга, В;

$R_{\Sigma}, X_{\Sigma}$  - відповідно активна та реактивна складові трифазного короткого замикання сумарний опір, Ом.

$$R_{\Sigma} = R_t + R_f; X_{\Sigma} = X_m + X_{\phi}; \quad (5.32)$$

де  $R_t, X_t$  - активна та реактивна складові імпедансу трансформатора при трифазному короткому замиканні, Ом відповідно;

$R_{ph}, X_{ph}$  - відповідно активна і реактивна складові опору дроту до точки короткого замикання, Ом.

Значення  $Z_t, R_t, X_t$  визначають за формулами:

$$Z_T = \frac{U_{кз.\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}, R_T = \frac{\Delta P_n \cdot U_n^2}{S_n^2}, X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (5,33)$$

де  $S_n$  - номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{с.с.\%}$  - трансформатор напруги короткого замикання, В,

$n$  - втрати від короткого замикання. трансформатор.

Перевіряється автоматичний вимикач ВА47Г29-34, що входить до складу байпасного випрямляча електропривода.

$$I_{рати.} = 3 \text{ кА.}$$

Тоді:

$$R_T = \frac{3700 \cdot 400^2}{250000^2} = 0,0095 \text{ Ом};$$

$$Z_T = \frac{4,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 250 \cdot 10^3} = 0,029 \text{ Ом};$$

$$X_T = \sqrt{0,029^2 - 0,0095^2} = 0,0274 \text{ Ом};$$

$$R_l = 0,03 \cdot 0,3 - 0,31 \cdot 0,021 = 0,015 \text{ Ом};$$

$$X_l = 0,03 \cdot 0,36 = 0,01 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma} = 0,015 + 0,0095 = 0,11 \text{ Ом};$$

$$X_{\Sigma} = 0,01 + 0,0274 = 0,0374 \text{ Ом};$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,0374^2} = 0,116 \text{ Ом};$$

$$I_{кз.}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,006} = 1993 \text{ А};$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1993 = 2790 \text{ А.}$$

Оскільки  $\text{Play off} > I_{с.п.} (3)$  задоволено, автоматичний вимикач відповідає умові випробування максимальної відключаючої здатності.

## ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ.

# РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СПАЛАХУ ДУГИ ТА ПЕРЕХІДНОГО ОПІРУ КОНТАКТІВ ЗА УМОВ ПІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КІЛА.

## 6.1. Аналіз показників експлуатаційної надійності електроприладів (електромагнітних тригерів)

Вивчення надійності електричних контактів комутаційних пристроїв є предметом досліджень багатьох авторів [162, 167, 169, 222, 229]. Особливо плідно над цією проблемою працював Б. С. Соцков. [176, 177, 178, 214, 215], які були присвячені визначенню показників надійності (кількісних оцінок) електричних контактів. Його уявлення про слабботочні контакти розвинув І. Є. Декабрун. [47, 48], Штремберг Т.К. 48, 202, Кузнецов Р.С. [107, 108].

Проблеми та аспекти фізичної природи зносу, процесу старіння електричних комутаційних пристроїв та впливу окремих факторів на їх працездатність розглядалися на спеціальних нарадах і конференціях «175, 209, 214, 215», але, на нашу думку, достовірні статистичні дані і статистика недостатньо висвітлена. У той же час Соцков Б.С., Бурхарт С., Кузнецов Р.С. та інші дослідники у своїй роботі приділяли увагу визначенню кількісних оцінок надійності електричних контактів низьковольтних комутаційних пристроїв [108, 178, 218]. Дослідження з цього приводу проводили посадові особи УНІМЕСГ Корчемний М.А. та Машевський В.П. [102], Таран В.П. [180, 187], Філоменко А.Ф., а також працівники УСТА - Сагач М.Ф., Кохановський С.П., Резніченко Т.П., Солоній В.І.,

Відповідно до вимог нормативних документів [56, 57, 59] надійність комутаційних пристроїв визначають за допомогою таких загальнотеоретичних методів:

- розраховані (використовуючи переважно довідкові дані);
- обчислювально-експериментальний;
- експериментальний.

Крім цих методів визначення надійності, на практиці застосовувалися більш спрощені інженерні методи для розрахунку показників надійності (НП), використовуючи довідкові дані та експлуатаційні дані [102, 164]:

- метод попередніх емпіричних функцій (використовується для вибірки  $n \geq 20$ );
- спрощений метод розрахунку VE;
- метод розрахунку на основі середніх значень групи відмов;
- метод розрахунку з використанням оперативних даних;
- коефіцієнтний метод (на основі використання відносних коефіцієнтів безпеки) [66, 188, 227].

Загалом, НП підбираються для типу пристрою залежно від конкретних завдань, які необхідно вирішувати. Наслідком цього є велика різноманітність НП (табл. 6.1), зазначених у нормативних документах для конкретного пристрою, та відсутність єдиного підходу до їх вибору.

Оскільки основним конструктивним елементом електричних комутаційних пристроїв (стартерів) є комутаційний пристрій (контактна система), а всі інші елементи та пускові вузли виконують переважно функцію стискання, то РН комутаційного пристрою можна розглядати як основну РН комутаційного пристрою. стартер.

Вплив навколишнього середовища може викликати значне збільшення контактного опору, тому засновники теорії електричного контакту Р. Холм, В. Мерле, Л.С. Тасв, Б. Соцков та інші вчені вважають основною характеристикою, що визначає надійність електричних контактів, а саме перехідний контактний опір  $R_{trans}$ , до якого пред'являються вимоги [112, 167, 178, 186, 197]:

$$R_{per} \leq R_{per\ max} \quad (6.1)$$

$$\frac{dR_{пер}}{dt} \rightarrow 0; \quad \frac{dR_n}{dt} \rightarrow 0, \quad (6.2)$$

де  $R_{per\ max}$  – максимально допустиме значення опору, визначене технічними умовами;

$t, n$  - час і кількість циклів перемикання відповідно.

Таблиця 6.1

**Номенклатура загальних показників надійності та довговічності**

для пристроїв розподілу та управління



25 В через замкнуті контакти апарату і вимірювання падіння напруги на них. Для початку з  $I_{ном} \leq 50 \text{ А}$ ,  $U$  не повинно перевищувати 70 мВ, а з  $I_{ном} \leq 50 \text{ А}$  -  $U \leq 110 \text{ мВ}$ .

При цьому Копитін Ф.А. робить висновок про допустиме граничне значення падіння напруги на контакторах, прийняте в технічних умовах оцінки працездатності контактів [100]. Для срібла воно дорівнює 90 мВ, але для умов експлуатації рекомендується збільшити це значення.

Виходячи з наведених положень, основними критеріями надійності комутаційного пристрою ЕРС будуть вважатися наступні параметри: комутаційна зносостійкість (характеризується електроерозійним зносом), надійність контакту (перехідний опір контакту  $R_{trans}$ ) і в цілому, для початку - середній термін служби  $T_{sl}$ .

## 6.2 Програма атрибуції та дослідження

Під час роботи електроприладів і, зокрема, електромагнітних приводів у комутаційних апаратах та інших елементах конструкції відбуваються незворотні процеси зміни фізико-хімічних, фізико-механічних та діелектричних властивостей електроізоляційних матеріалів, руйнування контактної втоми та експлуатаційних конструкційних матеріалів, що в кінцевому підсумку призводить до відмови ЕМ. ...

Фактичні комутаційні пристрої НН, що експлуатуються у тваринницьких виробництвах (особливо показники надійності та довговічності, такі як  $P(t)$ ,  $T_{sl}$ ) не відповідають зазначеним стандартизованим НН.

Існує ряд заходів, які гарантують і підвищують надійність техніки, що працює в сільському господарстві, але їх впровадження вимагає додаткових інвестицій і кваліфікованої робочої сили від обслуговуючого персоналу, які не завжди є в господарствах.

Тому, виходячи з вищевикладеного, метою роботи є дослідження електричної дуги та перехідного опору експериментальних контактів для розробки обґрунтованих заходів щодо підвищення надійності роботи електромагнітних пускачів за рахунок використання нових композиційних



контактних матеріалів зі структурою гетерогенної міді. бази.

Для досягнення поставлених цілей необхідно було вирішити наступні завдання:

- проаналізувати наявні контактні матеріали, що використовуються в електромагнітних пускачах, щоб визначити можливі шляхи збереження срібла;
- створити математичну модель для прогнозування перехідного опору  $R_{per}$  та електроерозійного зносу контактних частин пускачів залежно від факторів зовнішнього середовища та кількості циклів перемикачів;
- провести дослідження характеристик електричної дуги контактів, розрахувати значення глибини проникнення.

### 6.3 Методи дослідження

Надійність контакту оцінюється за характером конфігурації перехідного опору.

перехідний опір експериментальні контактні пари визначають методом вольтметр-амперметр [153] за допомогою універсального вольтметра В7-35 і амперметра з дзеркальною шкалою Е514 з класом точності 0,5 (ГОСТ 8711-78).

Контактний опір вимірюється до і після кожної серії циклів перемикачів з номінальним струмом. Для кожної пари проводиться 10 вимірювань падіння напруги після кожного перемикача із затримкою часу в закритому стані 10 с. Для запуску визначають падіння напруги на кожному полюсі годинного кола.

Контактний опір  $\square R$  (мОм) розраховується за формулою [37, 153]:

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I}, \quad (6.3)$$

де  $\square U$  – падіння напруги на контактному переході, виміряне вольтметром В7-35, мВ;

$I$  – сила струму, виміряна амперметром Е514, А.

Температура, при якій проводиться визначення контактного опору, становить  $+20 \pm 5$  С, що дає можливість не вводити поправку на перерахунок температури [58]. Похибка вимірювання втрат напруги не перевищує 3%. Допускається похибка вимірювання контактного опору в межах 10% з імовірністю  $P = 0,95$ . Розрахунок похибки перехідного опору  $\square$  виконується за

формулою [37]:

$$\delta = 1,1 \sqrt{\delta_V^2 + \delta_A^2}, \quad (6.4)$$

де  $\delta_V$  - похибка вольтметра, %;

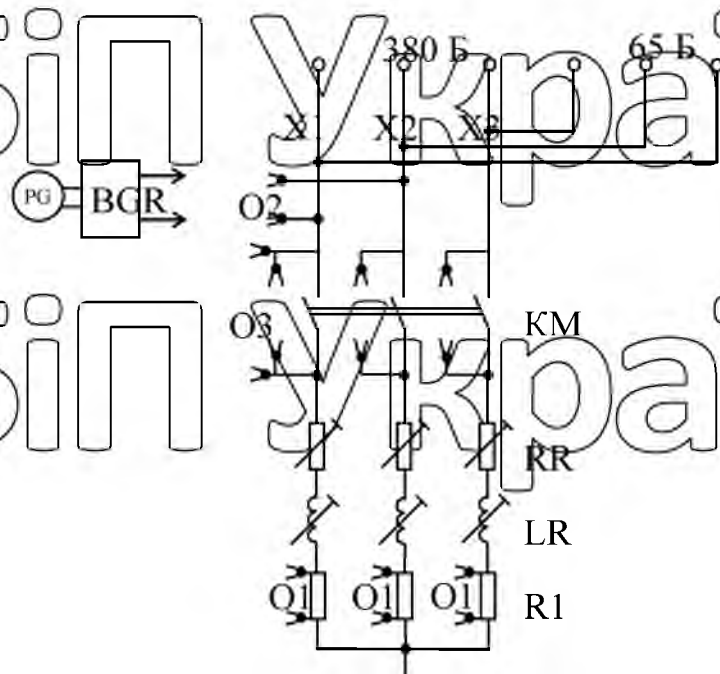
$$\delta_A = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{д}}} \left( \frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{н}}} - 1 \right) \left( \frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{н}}} + 1 \right) \delta_A, \%$$

При перевірці комутаційної здатності необхідно зафіксувати деякі параметри комутації (час горіння та середнє значення струму дуги) за допомогою осцилографії струму та напруги. Величина струму визначається падінням напруги на шунту 75ШСМЗ-25-05. Осцилограми струму та напруги отримані за допомогою універсального двопробеневого запам'ятовуючого осцилографа S8-

14. Похибка вимірюваних значень не перевищує 5%. Схема підключення осцилографа до тестової електричної схеми показана на рис. 6.2 [58, 119].

#### 6.4 Вплив факторів навколишнього середовища на параметри надійності електромагнітних пускачів

*Загальна інформація.* Роботу електромагнітного пускача не можна відокремити від впливу навколишнього середовища та впливу процесів, що в ньому відбуваються. Вплив середовища на умови перемикання струму контактами може проявлятися у зміні перехідного опору, електроерозійних явищах і дугових процесах. Загалом на поверхні електричних контактів утворюються різні види плівок, що призводять до збільшення контактного опору.



# НУБІП України

рис. 6.1. Схема підключення осцилографа O8-14 до тесту.

електричне коло:

O1 - канал осцилографа для поточного запису; O2, O3 - канали осцилографа для запису напруги; ПП - осцилограф; R1 - шунт; RR - регулюючі резистори; LR - регулюючі котушки індуктивності; BGR - блок гальванічної розв'язки.

Автор, Dräger Hans-Joachim, досліджував утворення плівок на різних контактах, що містять срібло, в атмосфері H<sub>2</sub>S при температурі  $t = 40\text{C}$  і вологості 83%. Під час досліджень було встановлено, що швидкість корозії не залежить від вмісту Ag в окремих сплавах, а визначається типом іншого компонента сплаву срібла. Для Ag найнебезпечнішою домішкою є H<sub>2</sub>S, який завжди присутній в середовищі тваринницьких приміщень, оскільки в результаті взаємодії з сріблом утворюється сульфід срібла Ag<sub>2</sub>S, який не завжди є захисним [220]. Але інші дослідники, наприклад Campbell WE, вважають, що H<sub>2</sub>S не є основним агентом утворення сульфідів і схильні вважати, що вільна сірка, яка виділяється при окисленні H<sub>2</sub>S діоксидом сірки або хлором, є більш важливою.

Іванов В.Н., Ботов Є.І. та інші автори досліджували три групи МК: Ag-Cu-Ni, Ag-MgO-NiO, Ag-Ni при впливі агресивного середовища, що містить SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, при підвищеній температурі 85°C і 95% вологості. При цьому враховувалася динаміка росту плівки в результаті впливу агресивного середовища в залежності від тривалості впливу. Зростання плівкового покриття реєстрували шляхом зміни контактного опору та за допомогою електронного спектроскопа (фотоелектрона) та скануючого електронного мікроскопа. Встановлено, що плівки, що утворюються в Ag-Cu-Ni, Ag-MgO-NiO, є однорідними за складом, їх товщина збільшується зі збільшенням тривалості витримки, а плівки, що утворюються в контактах Ag-Ni, складаються з тонкого покриття AgCl і розташовані одиниці. Области Ag<sub>2</sub>S, які зменшують R<sub>trans</sub> за рахунок уточнення локалізованих частинок [124].

Вчені Сато Ю., Мачуба М. випробували срібні пластини в 40 різних місцях Японії і виявили, що в результаті взаємодії з навколишнім середовищем утворювалися лише речовини  $\text{Ag}_2\text{S}$  і  $\text{AgCl}$ , швидкість реакції була лінійною [94]. Німецькі дослідники Петер С., Фугер М., Хьохт Г. провели порівняльні дослідження корозійних плівок у слабострумівих контактах у різних атмосферах з агресивними домішками ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ), для міді встановлено такі продукти корозії:  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot x$  ( $x = 0, 3; 5$ ),  $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$ ,  $\text{CuCl}$ ,  $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ . Запропоновано проводити комплексні випробування на корозійну стійкість із цілеспрямованим варіюванням великої кількості факторів впливу [157].

#### 6.4.1 Вплив середовища на величину опору переходу

Середовище, в якому діють ЕРС-контакти, впливає на їх перехідний опір, величина якого визначається хімічним складом середовища, його температурою, вологістю і тривалістю перебування в ньому.

Загальний контактний опір  $R_k$  в атмосферних умовах [112, 197, 198]:

$$R_k = R_{\text{ст}} + R_{\text{пл}} \quad (6.5)$$

Де  $R_{\text{ст}} = R'_{\text{ст}} + R''_{\text{ст}}$  - стійкість до скорочення (перехідний опір) через макро- $R'_{\text{ст}}$  і мікрогеометрія  $R''_{\text{ст}}$  контактні поверхні, Ом;

$R_{\text{пл}}$  - опір поверхневої контактної плівки, Ом.

Беручи до уваги деякі з припущень авторів при виведенні формули про те, що контактна поверхня двох контактів є плоскою сферою, формула (1.3) може бути подібна до [112, 197, 198]:

$$R_k = \frac{\rho}{2a} + \frac{\sigma_{\text{пл}}}{S_k}, \quad (6.6)$$

де  $\rho$  - питомий опір матеріалу контакту, Ом·м;

$a$  - радіус контактної поверхні, м;

$\sigma_{\text{пл}}$  - питомий опір плівки, Ом·м<sup>2</sup>;

$S_k$  - ефективна контактна поверхня, м<sup>2</sup>.

Питомий тунельний опір плівки  $\rho_l$  можна визначити як відношення падіння напруги  $\Delta U_{\text{пл}}$  у плівці до щільності тунельного струму [197]:

$$\rho_{\text{пл}} = \frac{\Delta U_{\text{пл}}}{e \cdot N}, \quad (6.7)$$

де  $e$  - заряд на електроні, К;

$N$  – кількість електронів, які проходять під дією тунельного ефекту за одиницю часу через одиницю поверхні плівки, електронів/м<sup>2</sup>·с.

Встановлено, що перехідний опір срібних контактів через 20 діб у середовищі із сумішшю 0,0002% H<sub>2</sub>S збільшується в 20-30 разів (умови випробування:  $t = 20 \div 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $\varphi = 40\%$ ;  $I = 0,5 \text{ мА}$ ;  $P = 1,96 \div 10^{-6} \text{ Вт}$ ). При зміні умов випробування (концентрація H<sub>2</sub>S зросла до 0,02%;  $t = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) контактний опір збільшувався в 40-50 разів. Крім того,  $R_{\text{рег}}$  після перших 3-5 днів стояння в умовах тестування сильно зростає, а в останні 10-15 днів зростання сповільнюється [225].

Відомо, що сульфідні плівки збільшують  $R_{\text{trans}}$  під індуктивним навантаженням. Віттенберг М.І. вважає, що падіння напруги на срібних контактах, покритих сульфідною плівкою, практично постійне і мало залежить від значення струму [23]. Зі збільшенням струму  $R_{\text{tr}}$  зменшується обернено пропорційно струму, що пояснюється зміною структури плівки Ag<sub>2</sub>S при нагріванні струмом і збільшенням електропровідності плівки. Опір при наявності Ag<sub>2</sub>S залежить головним чином від тривалості протікання струму.

Співробітники Інституту «Гіпроцітметобробка» досліджували вплив парів H<sub>2</sub>S та дибутилфталату на перехідну міцність сплавів: потрійних – Ag/Pd<sub>20</sub>/Mg<sub>0,3</sub> та четвєртинних – Ag/Pd<sub>20</sub>/Mg<sub>0,25</sub>/Al<sub>0,25</sub>O [111]. Умови випробування на корозійну стійкість такі:

а) в середовищі сірководню:

– Концентрація H<sub>2</sub>S, мг / (%) ..... 1

(0,07)

відносна

вологість

повітря

%

– температура  $t$ ,  $^\circ\text{C}$ ..... двадцять

– час витримки, години..... 24:

48

б) у парах дибутилфталату:

концентрація  
г/л.....  
температура  
°C.....

час  
години.....  
витримки  
.....24; 48

Тривале перебування зразків сплаву в середовищі H<sub>2</sub>S призводить до

утворення плівки Ag<sub>2</sub>PdS на поверхні та помітного збільшення R<sub>trans</sub> порівняно

з вихідним станом при низьких контактних головках 0,02-0,05N. Збільшення тривалості опромінення з 24 до 48 годин збільшує значення R<sub>per</sub> в 3-4 рази, яке при 0,05Н досягає 200 мОм (для потрійного) і 70 мОм (для чотириразового).

Сплави мають низьке значення R<sub>trans</sub> = 20-45 мОм при натисканні 0,05 Н і достатньо гарантують працездатність контактної групи.

Ці ж автори наводять також результати дослідження залежності R<sub>per</sub> від тривалості нагрівання сплаву Ag / Pd<sub>20</sub> / Mg<sub>0,3</sub> на повітрі та при температурах 200 і 300 С. Невелике підвищення міцності сплаву спостерігалось в попередні 3-4 години нагрівання при кімнатній температурі за рахунок адсорбції кисню на її поверхні. Найбільш істотні зміни поверхні відбуваються при 300 С, внаслідок чого R<sub>per</sub> збільшується в 3-4 рази, але не перевищує 30 мОм при 0,05 Н, що забезпечує надійну роботу контактів [101].

Данант Л., Мунієса І. надайте формулу для визначення контактного опору R<sub>trans</sub> (мО) холодних контактів без плівок і на які не вплинула електрична дуга [221]:

$$R_{\text{пер}} = \frac{A}{\sqrt{P_k}} \quad (6.8)$$

де P<sub>k</sub> – сила контактного тиску в діапазоні 10<sup>-2</sup>-10<sup>3</sup> Н;

A – типовий коефіцієнт для різних КМ (для Ag – 0,26 та для AgCdO – 0,6).

Холм Р. встановив закон зміни перехідного опору робочої температури контактів [197]:

$$R_{\text{пер}} = R_0 \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \alpha \theta\right) \quad (6.9)$$

де R<sub>0</sub> – опір при  $\theta = 20^\circ\text{C}$ , мОм;

Він також вважає, що  $R_{trans}$  змінюється так само, як і питомий опір.

Дослідники Філіпченко І.П., Рибін Г.Я. Вказує на те, що  $R_{per}$  з підвищенням температури збільшується і стає нестійким через зниження контактного тиску і більш активного перебігу окисних процесів. Швидкість окислення збільшується з підвищенням температури, а питомий опір плівки мініатюризується. При температурі нижче нуля відбувається розрив контакту через лід і забруднення контактів продуктами випаровування з обмоток котушки пристрою, що призводить до збільшення  $R_{trans}$  [194]. А в дослідженні Тамаї Терутаки зазначається, що при зниженні температури опір спочатку зменшується, а потім збільшується, і кілька СМі характеризуються температурою, при якій контактний опір мінімальний. Для міді ця температура становить  $100^{\circ}\text{C}$ ; для срібних -  $140^{\circ}\text{C}$ . При циклічних змінах температури спостерігається гістерезис контактного опору [235].

Вважається відомим, що дія  $\text{H}_2\text{S}$  посилюється у присутності вологи [106, 197]. Розчиняючись у плівці вологи на поверхні контакту,  $\text{SO}_2$  підвищує кислотність і електропровідність атмосфери та збільшує корозію. Підвищення відносної вологості прискорює утворення плівки  $\text{Ag}_2\text{S}$  на сріблі; тому вважається, що перехідна міцність зростає із збільшенням відносної вологості і стає нестійкою [12].

Ф. А. Копитін виявив, що при збільшенні вологості до 98% величина падіння напруги на контактах  $U_{ср}$  (а отже,  $R_{trans}$ ) зі збільшенням температури навколишнього середовища  $t_{ср}$  змінюється більш істотно, ніж при вологості 65% [100].

## 6.5 Дослідження перехідного контактного опору пускачів з послідовними та контрольними контактами

Перехідний опір послідовної та експериментальної контактних пар визначали методом вольтметр-амперметр із загальною кількістю циклів

перемикань 300 тисяч. Необхідні заходи падіння напруги  $\square U$  виробляється кожні 50 тис. з номінальним струмом 10А. Здійснюється 100 вимірювань значень втрат напруги в кожній серії перемикань із затримкою часу в замкнутому стані 10с контактів. Всі вимірювання були можливими завдяки електричній схемі конфігурації, показаної на рис. 2.6. Для початку визначали падіння напруги на кожному полюсі годовного кола. Отриману матрицю даних падіння напруги для послідовних контактів марки SrM-0,2 + M1 та експериментальних 81,3% Cu + 10% Cr + 3% TiB2 + 3% Nb + 2% C + 0,7% Zr обробили методами математичної статистики з використанням програма «Статистика». Контактний опір  $\square R$  (мОм) розраховували за формулою (2.4). В ДВ результаті обробки були отримані експериментальні залежності перехідного контактного опору від кількості циклів перемикання, які наведені на рис. 6.2. Ці залежності були апроксимовані поліномом першого ступеня, в результаті чого були визначені такі вирази для математичного очікування контактного опору:

– для послідовних контактів SrM-0,2 + M1:

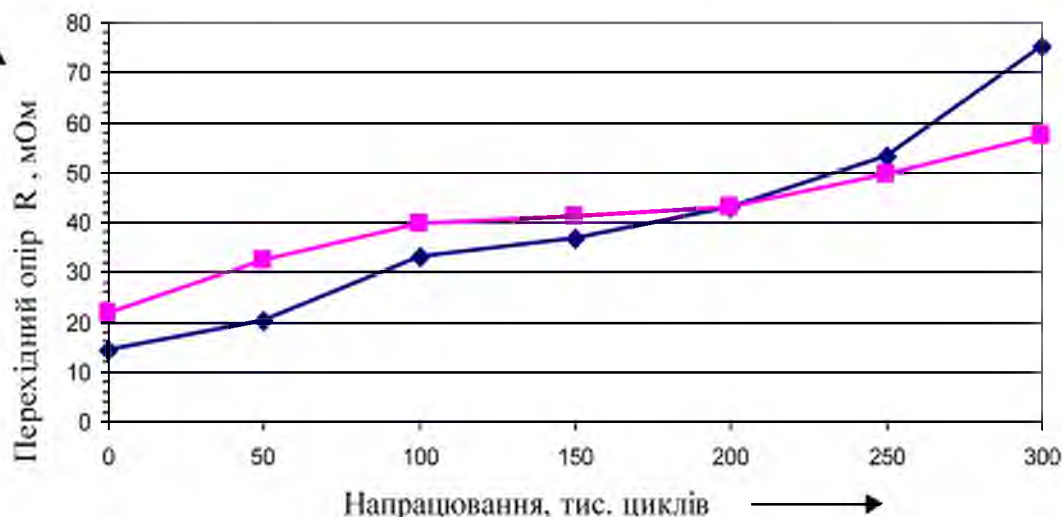
$$R_c(n) = 14,22 + 0,191 \cdot n, \quad (6.10)$$

– середня квадратична помилка апроксимації  $E_s = 2,141$ ;

– для тестових контактів 81,3% Cu + 10% Cr + 3% TiB2 + 3% Nb + 2% C + 0,7% Zr:

$$R_d(n) = 21,84 + 0,128 \cdot n, \quad (6.11)$$

середня квадратична помилка апроксимації  $E_s = 1,855$ .



–◆– 1) SrM-0,2+M1; –■– 2) 81,3%Cu+10%Cr+3%TiB2+3%Nb+2%C+0,7%Zr

Рис.4.4. Залежність перехідного опору контактів пускачів ПМЛ-1100 0x4 з серійними (1) та дослідними контактами (2) (випробувальне середовище: суміш



# рис. 6.2 НУБІП України

Дослідженнями щодо визначення контактного опору контактів при впливі середовища з хімічно активними компонентами встановлено, що початкове значення контактного опору контактів зростає зі збільшенням часу утримання та кількості циклів перемикання. Міцність серійних контактів STM-0,2 + МІ збільшується майже в 5 разів порівняно з вихідним, а міцність експериментальних контактів зростає повільніше, ніж у матеріалів, що містять срібло, у 2,7 рази. Це пояснюється тим, що прикордонний шар складається з плівок, що утворюються в контактах, однорідного складу, а його товщина збільшується з часом впливу навколишнього середовища. Така структура плівки контактної поверхні допомагає зменшити перехідний опір за рахунок дроблення локалізованих частинок і встановлення надійного металевого контакту. Відомо, що плівки оксиду міді утворюються при кімнатній температурі і їх товщина не досягає більше 5 мкм. Ця плівка захищає мідь від подальшого окислення киснем і стабілізує контактний опір.

**6.5.1. Виробничі експлуатаційні випробування пускачів з контрольними контактами.** Виробничі випробування пускачів з пілотними контактами (матеріал 81,3% Cu + 10% Ст + 3% TiB<sub>2</sub> + 3% Nb + 2% С + 0,7% Zr) проводяться в складі щитів керування електроприводом ТНС- Конвеєр 3.0В типу ЯАА5910 -3274ТУ3 на виробничих потужностях тваринницької ферми радгоспу «Совки» Києво-Святошинського району Київської області протягом трьох років. Шафа призначена для управління двома короткозамкненими роторними асинхронними електродвигунами потужністю 5,5 і 2,2 кВт, номінальний робочий струм споживання яких становить 8,0 і 2,8 А відповідно. ... Після двох років контрольованої експлуатації стартери були в робочому стані і продовжували експлуатуватися обслуговуючим персоналом господарства.

Для випробувань були відібрані нові пускачі ПМЛ-1200.04 (4 шт.), оснащені серійними контактними кронштейнами, до яких припаяні вищезгадані

експериментальні контактні частини. Вони мали розміри, подібні до серійних контактних деталей. Пускачі обладнані електричним тепловим реле РТЛ 1012.04. Для порівняння були проведені спостереження за серійними електромагнітними ініціаторами:

- ПМЕ-111, які оснащені контактами КМК-А10 (4 шт.);
- МДСт-16, які оснащені контактами оксиду срібла-кадмію (15% CdO) (країна-виробник - НДР, 2 шт.);
- SLA7-1 з сріблястими нікелевими контактами (10% Ni) (країна виробника - PNS, 2 шт.).

Умови, в яких працюють стартери, наведені в Додатку 7.1 (дані 1,5 річних спостережень) і є типовими умовами виробництва для технологічних установок тваринницьких ферм. Під час роботи через певні проміжки часу записуються значення опору ізоляції, контактного опору та часу роботи. Для визначення кількості циклів перемикання в кожному пускачі встановлюються лічильники перенапруг типу St-206.

Електромагнітні пускачі ПМЕ-111 зняли зі складу та встановили нові в цит управління. Використовуються два шафи керування YAA5910-3274TU3. Пускачі МДСт-16 нещодавно запрацювали на станції управління, налаштованої ВЕБ Комбінат електроустановки Betrieb Elektroschaltgeräte Grimma. Пускачі SLA7-1 також працювали як частина типової контрольної станції. Усі ці стартери пройшли технічне обслуговування, включаючи очищення та промивання контактів, щоб створити рівне та послідовне середовище для тестування всіх типів пускачів. Результати дослідження наведені в таблиці. 6.2.

Таблиця 6.2

**Початкове значення опору ізоляції, контактний опір і час роботи під час спостережень**

початковий тип	Опір на початку пошуку		Опір в кінці опитування		Час виконання під час обшуку, тис.
	ізоляція, мам	контакт, погано	ізоляція, мам	контакт, погано	
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. МСП-111	120	3,0-4,5	15,0	24,3-26,7	4560
6. МСП-111	110	2,8-3,5	18,0	22,7-25,5	4390
7. МСП-111	125	3,5-5,0	14,0	15,6-18,0	4660
8. МСП-111	120	3,0-4,0	23,0	24,2-26,0	4490
9. МДСт-16	380	5,1-7,2	250	28,2-30,4	4450
10. МДСт-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

Під час виробничих випробувань не зафіксовано жодної відмови пускачів типу ПМЛ з гостовими контактами на основі міді; всі контрольовані пускачі працювали з технічними параметрами в допустимих межах. Величина електроерозійного зносу на дослідному та серійному контактах практично залишилася незмінною. Зовнішній

огляд металевих корпусів шафи показав, що на внутрішніх поверхнях спостерігається значна конденсація вологи; всі оболонки висити осадками

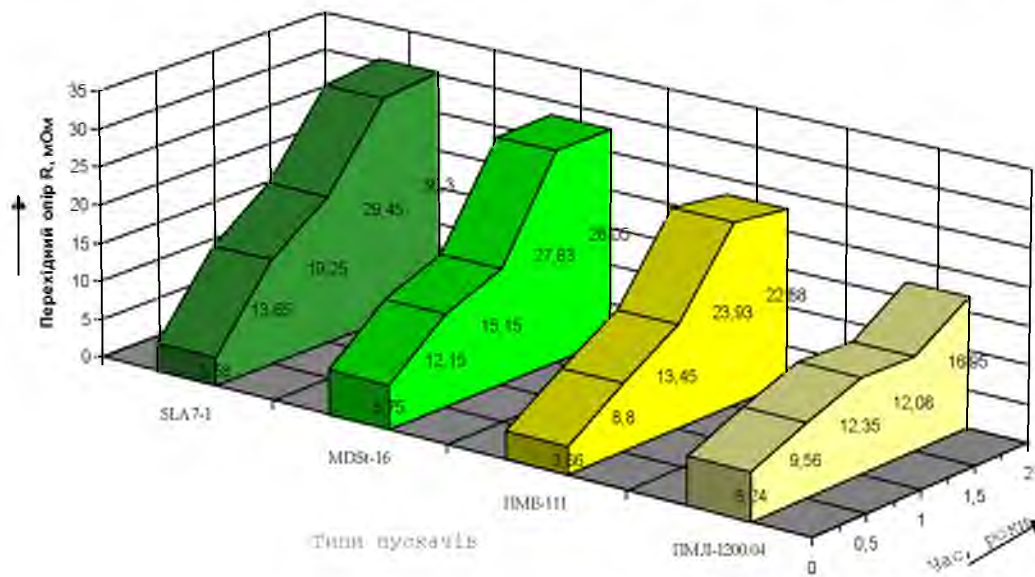


Рис.4.5. Залежність перехідного опору контактів різних типів пускачів.

# НУБІП України

рис. 6.3.

Якщо порівняти значення контактного опору контактів із матеріалу SrM-0,2 + M1 в огляді та контактів пускачів SLA7 - 1 (матеріал Ag-10% Ni), то можна помітити приблизно в 2,5 рази більше контактний опору матеріалу SrM-0,2 + M1 на початку дослідження, що пояснюється коефіцієнтом питомого опору і значеннями комутаційних робочих струмів. Ця залежність зберігається і під час дослідження, зумовлена більш суворим режимом лабораторних випробувань (висока концентрація агресивних домішок у навколишньому середовищі, більша кількість циклів перемикачів) та захистом приводів, певною мірою, корпусами шаф контролю навколишнього середовища агресивними.

Таким чином, наші експлуатаційні випробування електромагнітних пускачів ПМД-1200.04 з експериментальними контактними матеріалами (зокрема, 81,3% Cu + 10% Cr + 3% TiB<sub>2</sub> + 3% Nb + 2% C + 0,7% Zr) підтверджують його промислову придатність в експлуатації електрообладнання сільськогосподарського призначення.

## 6.6 Розрахунок параметрів спалаху дуги на контактах пускача при перемикачній електричного струму

Вся електрична енергія  $W$ , що виділяється в комутаційних апаратах під час перемикачів, перетворюється в теплову енергію  $Q$ . Частина її ( $Q_1$ ) витрачається на нагрівання металеві маси контактної частини, яка нерухома і рухлива до температури плавлення і часткове плавлення металу на робочій поверхні контактної деталі; інша частина ( $Q_2$ ) - для нагрівання маси розплавленого металу до температури кипіння і для випаровування частини металу. ... Розглядаючи теплові процеси для опори стартера, можна записати:

$$W = Q = Q_1 + Q_2, \quad (6.12)$$

Тривалість теплових імпульсів  $Q_1$  дорівнює часу горіння електричної дуги між електродами ( $t_0$  часу одноразового замикання або розмикання контактних частин). На робочу поверхню діє кількість тепла, необхідна для нагріву

контактної частини до температури плавлення  $Q_1$ . Отже, в результаті роз'єднання рівняння теплоти маємо:

$$t_{\text{гор}} = \left( \frac{U_{\text{гн}}}{2\beta P_{\text{ср}}} \right)^2 = \pi \lambda_{\text{ст}} \left( \frac{S I_{\text{гн}}}{\beta P_{\text{ср}}} \right)^2 \quad (6.13)$$

Чим вище температура  $T_m$  і більше значення коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  теплоємності  $c$ , щільності  $\rho$  – тим більше значення часу горіння дуги  $t$ , при якому відбувається розмивання робочої поверхні контактних частин стартера.  $\epsilon$  меншим. При  $t_0$  і  $t_{\text{гор}}$  і  $t_0$  –  $t_{\text{гор}}$  кількість тепла, що витрачається на сплавлення контактних частин, більша.

Отже, вибираючи час горіння дуги  $t_0$  та враховуючи властивості експериментального КМ ( $T_m$ ,  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $c$ ), можна мінімізувати зношення контактних частин і, по суті, їх розмивання.

Якщо відома кількість тепла  $Q$ , що виділяється під час перемикавання, а також ідеальний час горіння дуги  $t_0$ , можна визначити глибину проникнення та величину електричної ерозії контактних частин, виготовлених з різних КМ, залежно від параметрів електричного кола і характеру заряду.

### 6.7 Розрахунок глибини проникнення пускових контактів

При одноразовому перемиканні контактних частин будемо вважати, що плоске джерело тепла  $Q$  діє на його робочій поверхні протягом часу  $t_0$  по всій площі поверхні  $S$ . Рівняння теплопровідності в цьому випадку таке, що ізотерми поверхонь є концентричними сферами, а температура контактної частини залежить тільки від координати  $x$  і часу  $t$  [109], тобто

$$\frac{dT}{dt} = a \cdot \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{dT}{dx} \right) \quad (6.14)$$

де  $T$  – температура точок об'єму нагрітої контактної частини  $K$ .

Розв'язування цього рівняння з деякими припущеннями [21] буде підстава визначити значення глибини проникнення  $h$  контактної частини (при одному перемиканні):

$$h = \frac{U_0 I_0 \omega \epsilon t_0}{2 \sqrt{\pi T_{\text{розм}}}} \quad (6.15)$$

де  $U_0$  – напруга мережі (джерел живлення), В;

$I_0$  – струм навантаження, А;



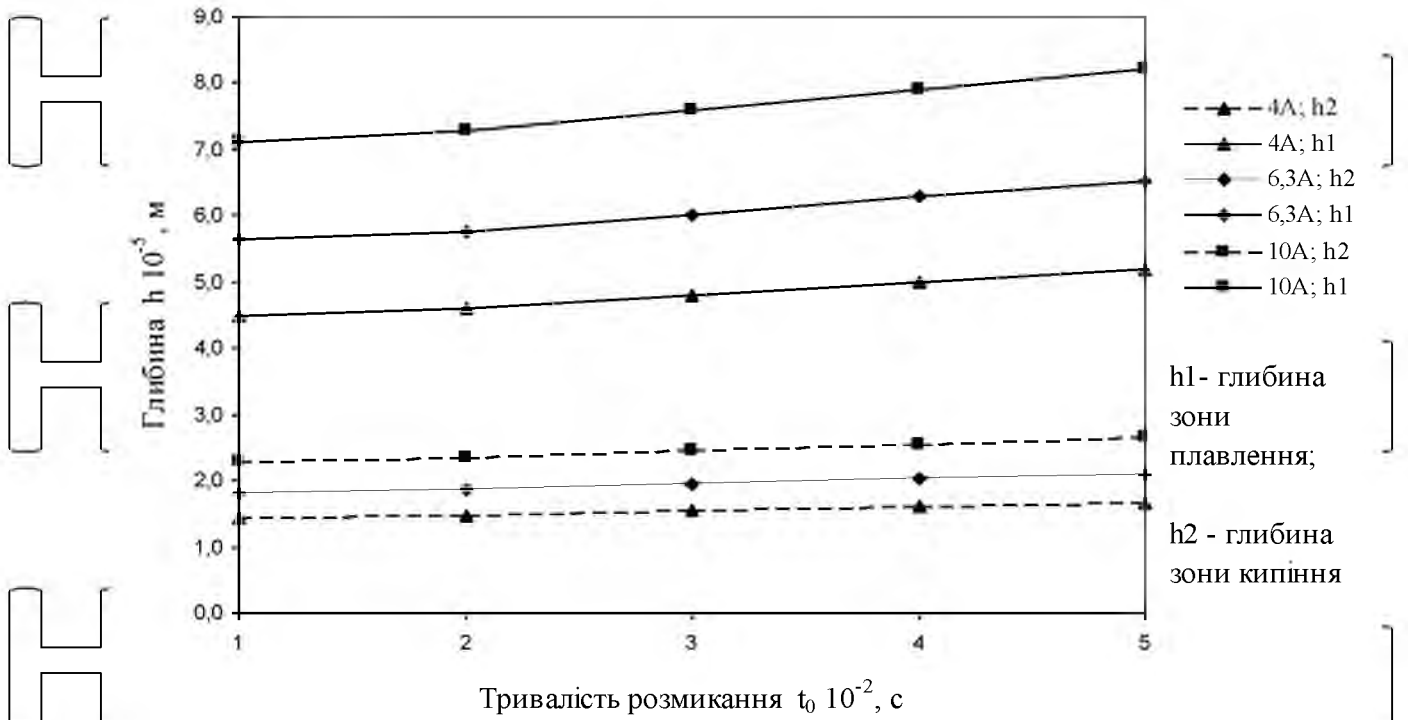


рис. 6.4 Значення глибини проплавлення контакт-деталі пускача при різних величинах струму. Матеріал  $78\%Cu+15\%Mo+3\%MoO_3+3\%C+1,0\%Ni$ .

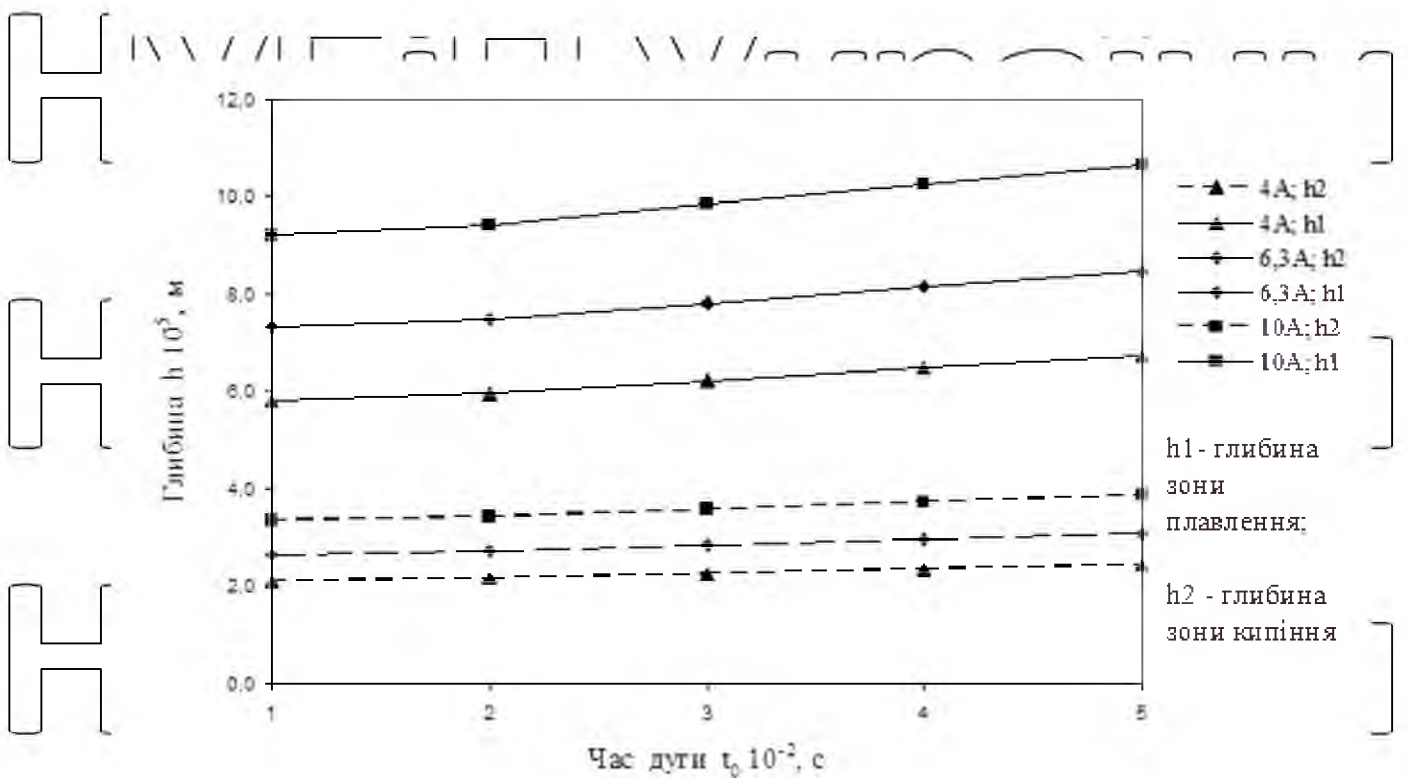


рис. 6.5. Значення глибини проплавлення контакт-деталі пускача при різних величинах струму. Матеріал  $SrM-0.2+M1$ .

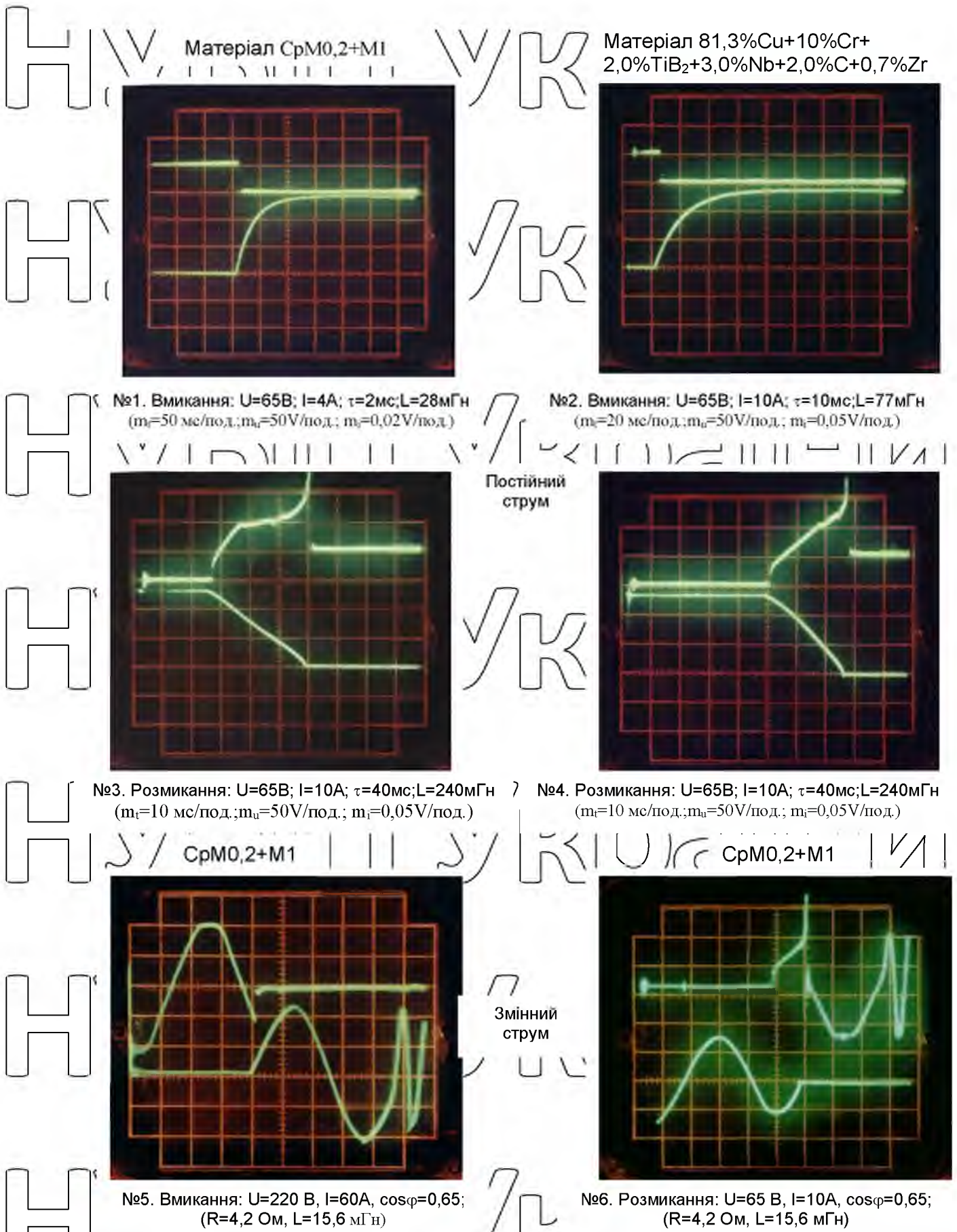


рис. 6.6. Осцилограми спалаху дуги в електромагнітних пускатчах PML 1100



## РОЗДІЛ 7

## ЗАХИСТ ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ У ВИРОБНИЧИХ СИТУАЦІЯХ

## 7.1 Перелік основних нормативних документів

1. Закон України «Про охорону праці». Постанова Верховної Ради України від 21.11.2002 р. № 229-IV із змінами та доповненнями, внесеними від 25.11.2003 р. № 1331-IV, 23.12.2013 р. № 1334-IV від 23.12.2004 р. 228

2. Закон України «Про пожежну безпеку» Постанова Верховної Ради від 17.12.93 р. № 3747-XII.

3. Закон України «Про дорожній рух». Постанова Верховної Ради України від 28.01.2003р.

4. Закон України "Про забезпечення здоров'я та епідемічного благополуччя населення" Постанова Верховної Ради України від 24.02.1994.

5. СССП ДСТУ 2293-93. «Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення».

6. Єдина система індикаторів стану для обліку умов та безпеки праці. Затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 р. №27.

7. НАПБ А.01.001-95. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МВС України від 22.06.95 р. № 400, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 14.07.95 р. за № 219/95.

8. Зразок регулювання служби охорони праці: затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 03.08.93 р. № 73, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 30.09.93 р. за № 140.

9. ДНАП 0,00-4,12-94. Типове положення про навчання, інструктаж та перевірку знань працівників з питань охорони праці, затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 04.04.94 р. № 30, зареєстроване в Міністерстві юстиції України 12.05.94 за № 95/309.

10. Положення про медичний огляд працівників окремих категорій: затв. наказом МОЗ України від 31.03.94 р. № 45, зареєстрованим в Міністерстві

юстиції України 21.06.94 р. за № 136/345.

11. Положення з розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях: затв. Постановою Ради Міністрів України від 10.08.93 № 623.

12. ДНАП 0,00-4,26-96. Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 листопада 1996 р. № 667/1692. Він набув чинності 29.11.96.

13. ДНАП 0,03-3,30-96. Державні санітарні норми та норми захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 29.08.96 р. № 488/1543. Він набув чинності 29.11.96.

14. Правила технічного функціонування установок з використанням теплових і теплових мереж / Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт. 1995. -- 81с.

15. ГКД 34.03.103-96. Система управління безпекою праці в Міненерговугілля. Положення затверджено Міністерством енергетики України 24.04.96.

16. ГКД 34.10.102-95. Навчати, інструктувати та перевіряти знання працівників підприємств, установ та організацій Міненерго України з питань охорони праці та експлуатації обладнання. Позиція

17. Правила застосування та випробування засобів захисту, що використовуються в електроустановках / Програмне забезпечення Союзтехенерго. - 7-е вид., переп. і доп. - М.: Енергоатоміздат, 1983. -- 64с.

18. Інструкція з надання першої медичної допомоги потерпілим при обслуговуванні електрообладнання/тренажерного обладнання. за технологією. безпека і танці. санації Міністерства енергетики СРСР. - М.: Енергоатоміздат. 1987. -- 64с.

19. Інструкція з улаштування блискавкозахисту будівель і споруд / РД 34.21.122-87. - М.: Енергоатоміздат, 1989. - 56с.

20. Правила безпечної роботи з інструментами та пристроями. ДНАП 1.1.10-

## 7.2 Аналіз стану безпеки робіт на фермі

### 7.2.1 Організація робіт з охорони праці та аналіз рівня та причин

травматизму. Від рівня кваліфікації та правильного дотримання елементарних вимог електробезпеки під час монтажу та експлуатації електроустановок залежить безпека всього персоналу, який використовує ці установки у виробничому процесі.

Розглядаються пожежна безпека та блискавкозахист, тісно пов'язані з охороною праці, оскільки при виникненні пожежі на виробництві, як і блискавка, виникає загроза не тільки матеріальним цінностям, а й життю людей.

Нині в економіці приділяється велика увага питанням охорони праці: створені оптимальні умови праці. У кожному виробничому підрозділі є особа, відповідальна за стан охорони праці та протипожежну безпеку. Перед допуском до роботи, а також періодично в процесі роботи проводяться заняття та інструктаж з охорони праці. Щорічно електрики проходять перевірку безпеки, на підставі якої їх приписують до групи безпеки.

Люди, які працюють з шкідливими речовинами, періодично проходять медичний огляд. Працівники отримують спецодяг та захисні засоби. Але незважаючи на все це, є порушення правил безпеки, які часто призводять до травм, зниження працездатності.

### 7.2.2 Аналіз умов праці на станції ТО. На проектованій станції

технічного обслуговування та ремонту виникають такі небезпечні та шкідливі умови, а також фактори виробництва.

- наявність мобільних машин і механізмів;
- підвищений вміст пилу та газу в повітрі;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- висока вологість;
- можливість дотику до струмоведучих частин.

Приміщення та приміщення цеху належать до різних категорій за характером навколишнього середовища, ступенем ураження електричним струмом, ризиком вибуху та пожежі, вогнестійкістю конструкцій.

З метою усунення вологи в зоні зовнішнього миття та демонтажу машин, припливно-витяжної вентиляції призначений вентилятор типу С4-70 № 2. З метою безпеки встановлено пристрій захисту від дифракційного відключення ЗОУП-25 на пральній машині. Для усунення пилу в дільниці технічного обслуговування та діагностики, вентиляції також призначений вентилятор типу Ц4-70 №4.

Зона обслуговування та діагностики за ступенем ураження електричним струмом є більш небезпечною, оскільки має бетонну підлогу. Для усунення цієї небезпеки використовуються дерев'яні планки для підлоги.

Для захисту людей від прямого контакту з струмоведучими частинами їх ізолюють електроізоляцією та вивішують попередження та плакати.

Для захисту від ураження електричним струмом у разі ізоляції пошкодженого обладнання використовується захисне заземлення, а працівники забезпечуються засобами захисту ізоляції.

### **7.3 Розробка заходів щодо ліквідації небезпечних і шкідливих факторів виробництва**

**7.3.1 Перелік технічних та організаційних заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих факторів виробництва.** Організаційно-технічні засоби, передбачені в роботі для усунення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, мають на меті:

- захист від проникнення в обертові частини машин, імовірно огорожу;
- запобігання вибуху при накопиченні небезпечної кількості парів у приміщеннях для просочення, пресування та спікання металокерамічних контактних пластин;
- видалення шкідливих газів з приміщення, для чого передбачена система витяжної вентиляції;

- захист від дотику до струмоведучих частин електрообладнання. Для цього встановлюється захисне заземлення і використовується заземлення металевих частин обладнання;

- захист установок від прямого удару блискавки. Проектом передбачено встановлення громовідводу на даху установок;

- гарантія пожежної безпеки, оснащення гідрантами та щитами;

- забезпечення робочих місць необхідним рівнем освітлення.

### 7.3.2 Вибір засобів індивідуального захисту. Розрахунок необхідної

кількості засобів індивідуального захисту, необхідних для нормальної роботи проєктованих електроустановок, здійснюється відповідно до вимог нормативного документа ГР 5-86. Дані розрахунку зведені в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

### Розрахунок кількості захисних засобів, необхідних для ремонту колодки (за 1 рік використання)

Найменування фондів	марка або тип	ГОСТ, ОСТ, ВИ	Кількість
Індикатори напруги	УНН-10	ТУ-34-3031-75	два
Ірні щипці	ТС-91	ТУ-25-04-856-76	3
Електричні рукавички	ШВП	ТУ-38-106330-79	3
Переносний ґрунт	1041-1041	ТУ-16-538232-84	два
Ізольовані кліщі	К-1000	ТУ-34-133807-85	3
Засок безпеки	В.М	ТУ-39062-84	3
Плакати та знаки безпеки	-	ГОСТ 124026-86	4
Інструмент з ізольованими ручками	КГМА-2	ТУ-34-28-10072-80	3
Ліхтарик	ППШ-1	ТУ-6-10-2080-86	два
Передаточна аптечка	-	ГОСТ 11516-83	два

### 7.4 Розрахунок заземлювального пристрою споживача ТП 10/0,4 кВ

Розрахунок заземлювального пристрою ЗТП 10/0,4 кВ.

Вихідні дані для розрахунку:

- $\rho_1 = 260 \text{ Ом м}$ ,  $\rho_2 = 190 \text{ Ом м}$ ;
- висота верхнього шару ґрунту  $h_1 = 2,8 \text{ м}$ ;
- довжина вертикальних стрижнів  $l = 7 \text{ м}$ ;

- діаметр естрижня  $d = 0,012$  м;
- глибина введення стебла  $t = 0,8$  м;
- середньорічна тривалість штормів становить 60 годин;
- площа фундаменту в залізобетонні ПЧС =  $50\text{м}^2$ ;
- довжина кабельної лінії  $L_{cl} = 15$  км;

- довжина повітряної лінії  $L_{pl} = 140$  км.

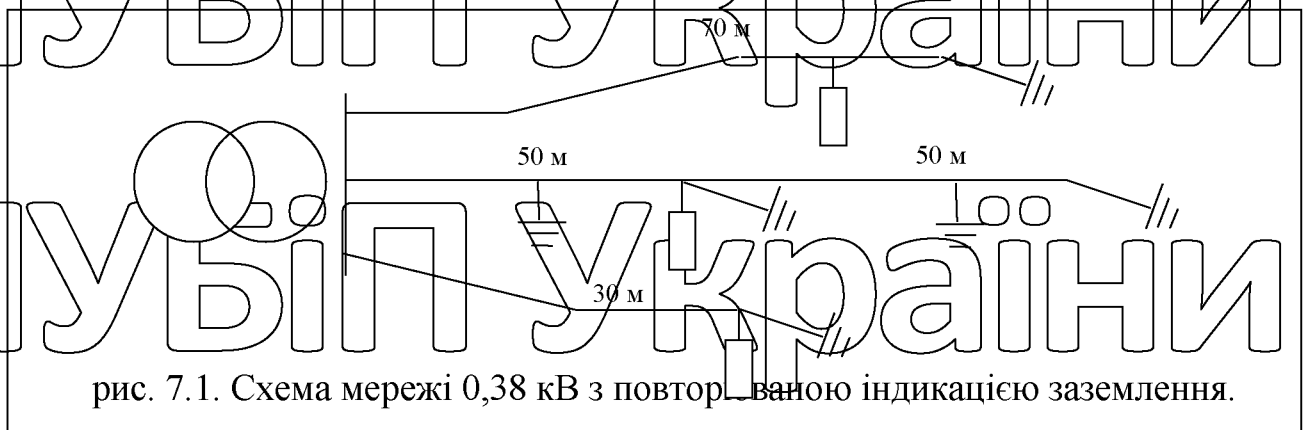


рис. 7.1. Схема мережі 0,38 кВ з повторюваною індикацією заземлення.

Визначається реқ.

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

де  $k = 1$  для  $\rho_1 > \rho_2$ ;

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

Стійкість до повторного вмикання розраховується за формулою:

$$R_{p.s...} = 0,3 \rho_{\text{екв.}} \quad (7.2)$$

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

Допустимий опір заземлення лінії:

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

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

Допустимий опір заземлення ТР:

$$R_{\text{адоп...}} = 0,04 \rho_{\text{екв.}} \quad (7.4)$$

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

Розрахунок заземлювача для мережі 0,38 кВ.

Стійкість до природного заземлюючого електрода:

$$R_{\text{пр}} = \frac{0,5 \cdot \rho_{\text{едф}}}{\sqrt{s}} \quad (7,5)$$

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

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

$R_d$  - допустимий опір заземлення;

$M_{\text{ш}} -$  опір повного заземлювача;

$R_{\text{рс}} -$  опір штучного заземлювача;

$R_{\text{пр}} -$  стійкість до природного заземлення.

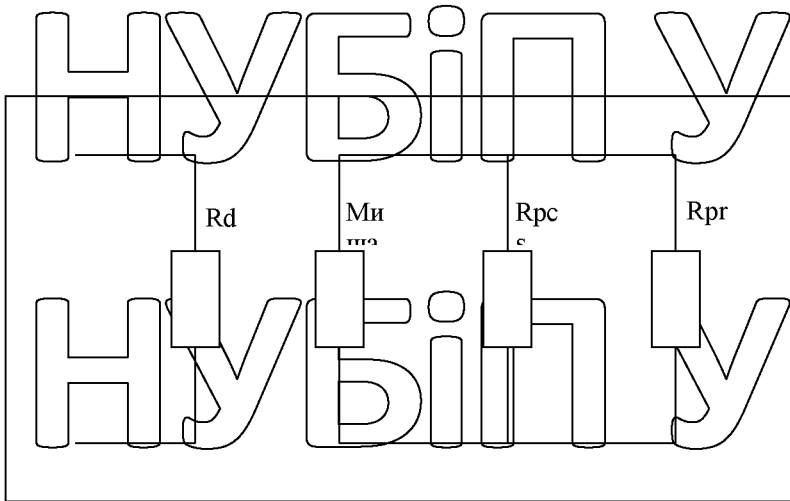


рис. 7.2 - Схема замощення мережі 0,38 кВ.

$$R_{\text{пр}} = \frac{0,5 \cdot 239,4}{\sqrt{50}} = 170 \text{ Ом};$$

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

Повторний опір заземлення розраховується:

$$R_{11} = 20,6 \text{ Ом}; R_{12} = 15,45 \text{ Ом}; R_{13} = 20,6 \text{ Ом};$$

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

Еквівалентний опір визначається:

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

Оскільки  $R_{\text{екв}} = 4,54 \text{ Ом} < R_{\text{дор}} = 8,4 \text{ Ом}$ , то опір штучного заземлювача вважається максимально допустимим:  $R_{\text{шт}} = 61,8 \text{ Ом}$ . Таким чином, з цим співвідношенням  $R_{\text{екв}}$  to  $R_{\text{адм}}$  штучне заземлення не може бути виконано, але правила вимагають цього.

Розрахунок заземлювального вимикача для мережі 10 кВ.

Допустимий опір електроду заземлення визначається:

$$R_d = \frac{25}{I_{\text{з.з.}}} \quad (7,7)$$

де  $I_{\text{з.з.}}$  - струм замикання на землю.

# НУБІП України

# НУБІП України

рис. 7.3. Еквівалентна схема мережі 10 кВ.

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

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

Опір штучного заземлюючого електрода визначається за формулою:

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

Порівнюючи  $R_{рс}(10)$  і  $R_{рс}(0,4)$ , для розрахунку приймається найменший

з них:  $R_{рс}(10) = 10,79 \text{ Ом.}$

Опір поширенню струму стержня визначають:

$$R_{ст} = \frac{K_s \cdot \rho_{зсп}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (7,8)$$

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

$X$  – Відстань від поверхні землі до середини штанги,

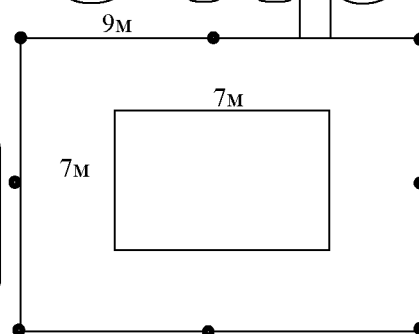
$$X = t + 0,5l = 4,3 \text{ м.}$$

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

Кількість вертикальних стрижнів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_{ст}}{R_{доп}} = \frac{46}{10,79} = 4,3. \quad (7,9)$$

Приймаються 8 вудилищ.



# НУБІП України



Рис 7.4. Схема заземлення ЗТП

Опір поширенню струму горизонтальної смуги визначають:

$$R_p = \frac{k_c \rho_{\text{ер}}}{2 \cdot \pi l_r} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_r^2}{b \cdot t} \quad (7.10)$$

де  $b$  – ширина горизонтальної смуги,  $b = 0,4$  м,

$\rho_{\text{ер}}$  – еквівалентний питомий опір горизонтального заземлювального електрода (розраховується шляхом інтегрування);

$l_g$  – довжина горизонтального заземлювача,  $l_g = 5$  м.

Розрахунок  $\rho_{\text{ер}}$  виконується з використанням даних еквівалентного питомого опору  $\rho_{\text{ер}} / \rho_2$  двошарового заземлення для розрахунку опору простого горизонтального заземлюючого електрода:  $\rho_1 / \rho_2 = 1$ ;  $h_1 = 3$  м;  $l_g = 5$  м;  $\rho_1 / \rho_2 = 1,69$ .

$$1. \rho_1 / \rho_2 = 2; h_1 = 3 \text{ м}; l_g = 5 \text{ м}; \rho_1 / \rho_2 = 1,89;$$

$$2. \rho_1 / \rho_2 = 2; h_1 = 5 \text{ м}; l_g = 5 \text{ м}; \rho_1 / \rho_2 = 1,93;$$

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

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

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

$$R_{\text{штр}} = \frac{2 \cdot 342}{2 \cdot 3,14 \cdot 36} \cdot \ln \frac{2 \cdot 36^2}{0,4 \cdot 0,8} = 34,19 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{штр}} = \frac{1}{R_{\text{штр}}} = \frac{1}{34,19} = 0,029 \text{ См}.$$

Опір штучного заземлюючого електрода визначається за формулою:

$$R_{\text{шт}} = \frac{1}{\eta \cdot (\rho_{\text{в}} + \eta \cdot \rho_{\text{г}})} \quad (7.11)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт використання складної системи заземлюючих електродів у вигляді а замкнутий цикл, визначений довідковою літературою.

$$1. \rho_1 / \rho_2 = 1; n=8; \text{ год} / \text{ фунт} = 0,4; a / \text{ фунт} = 1; \eta = 0,442.$$

$$2. \rho_1 / \rho_2 = 3; n=8; \text{ год} / \text{ фунт} = 0,4; a / \text{ фунт} = 1; \eta = 0,557.$$

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

Метод інтегрування також використовується для визначення  $\eta$ :

$$R_{\text{шт}} = \frac{1}{0,48 \cdot (6 \cdot 0,02 + 3 \cdot 0,03)} = 6,43 \text{ Ом.}$$

Оскільки  $R_{\text{шт}} = 6,43 \text{ Ом} < R_d = 6,57 \text{ Ом}$ , цей розрахунок виконано правильно.

## 7.5 Захист від перенапруги

Територія господарства, де розташований цех, відноситься до району із середньорічною тривалістю грозових годин 60...80 на рік, що відповідає  $n = 9$  показників на 1 км<sup>2</sup>.

Для захисту від перенапруги передбачені наступні заходи:

- для захисту трансформаторної підстанції від перенапруги на стороні високої напруги (10 кВ) встановлено розрахунки типу РС-10;
- для захисту ТП від перенапруги на стороні 0,38 кВ передбачені розрядники типу РВН-0,5.

Відповідно до РД-34.21.122-87 цех відноситься до III категорії для блискавкозахисних пристроїв із зоною В.

Для захисту цеху від прямих атмосферних розрядів планується громовідвід. 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,  $B = 18$  м;

$l$  – довжина будівлі,  $l = 48$  м;

$h_x$  – висота даху будівлі,  $h_x = 9,5$  м;

$n$  – середня кількість ударів блискавки на 1 км<sup>2</sup>/рік;

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

Використовуються 4 стрижневих розрядника на відстані 11 м один від одного. Впливає висота найвищої точки на даху -  $h_{x1}$ , і висота стіни -  $h_{x2}$ :  $h_{x1} = 9,5$  м;  $h_{x2} = 6,5$  м. Визначається значенням  $h_c = h_{x1} = 9,5$  м, знайдена найменша

висота розрядника:

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

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

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

$$r_{sx2} = 14,7 \cdot (1 - 3 / 6,5) = 7,9 < 9 \text{ м.}$$

тобто частина даху на такій висоті не потрапляє в охоронну зону. Висоту розрядника збільшено до 13 м.

$$r0' = 1,5 \cdot 13 = 19,5 \text{ м;}$$

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

Перевіряється захищений кут покрівлі, відстань, на якій в площині громовідводу, найближчої до краю будівлі, дорівнює:

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

Радіус захисту становить:

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

Перевіряється захист верхньої точки даху:

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

Заземлюючий пристрій розрядників виконано стрижнями діаметром 12

мм.

## 7.6 Пожежна безпека

Характеристики вибухонебезпечності приміщень цеху наведені в таблиці.

2.1. Оскільки деякі установки на об'єкті є вибухонебезпечними та становлять пожежну небезпеку, роботи передбачає ряд заходів, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки, а саме:

- використання спеціального обладнання;
- захист електричних мереж від перевантажень і коротких замикань;
- заземлення корпусів електрообладнання у вибухонебезпечних зонах;
- використання систем аварійного відключення акумуляторного обладнання при перевищенні вмісту водню в повітрі норми;

- використання систем пожежної сигналізації;
- забезпечити майстерню необхідними для гасіння пожежі технічними засобами, розрахунок яких наведено в таблиці. 7.2

Таблиця 7.2

### Розрахунок необхідної кількості вогнегасних речовин

може в ремонтістерня

ні. заробітна плата	Найменування засобів і засобів пожежогасіння	Розташування	Типу	Кількість
1	хімічний пінний вогнегасник	на кожній дошці та в приміщенні	ОНР-10	тридцять
два	вуглекислотний вогнегасник	на кожній дошці та в приміщенні	АБО-5	15
3	брухт	на протипожежному щиті	-	десять
4	Відро	на протипожежному щиті	-	десять
5	гачок	перед майстернею	-	десять
6	Пан	перед майстернею	-	десять
7	Пісочниця	перед майстернею	-	десять

У магістерській роботі також передбачена комбінована виробнича система водопостачання та пожежогасіння з джерелом живлення від існуючої зовнішньої мережі з впуском. На вході встановлюється запірні арматура з байпасною лінією. Щоб відвести воду в разі пожежі, кран перепускної лінії повинен бути відкритим.

Розрахункова витрата води на гасіння зовнішньої пожежі 15 л/с. Пожежні крани з рукавами встановлюються в спеціальних шафах на висоті 1,35 м від рівня землі. Пожежні крани розміщують шляхом розрахунку зрошення кожної пожежної точки в будівлі двома потоками.

Розрахункова витрата води на гасіння пожежі в приміщенні становить 5 л/с (з розрахунком 2 струменів по 2,5 л/с). За пожежним станом цеху контролює керівник цеху.

Особливістю гасіння пожежі є те, що одночасно з гасінням пожежі

необхідно евакуювати машини, агрегати та агрегати. У цьому випадку струмені води спрямовуються як на вогнепальну апаратуру, так і на наступну. Слід бути обережними з паливними баками та ємностями з паливно-мастильними матеріалами.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВИСНОВКИ

1. Виконано добір технологічного та електроенергетичного обладнання з електродвигунами типу АІР, силова розводка виконана кабелем АВРГ та проводом АПВ, шафи розподільні типу ПР113025, щити з підсвічуванням типу ЯОУ-8501 з вимикачами ВА 47- 2912, Б/у лампи РVLM 2 з двома світлодіодними лампочками ЄвроСвіт 24 Вт 6400К Т8/G13.

2. Пуско-захисним обладнанням для електродвигунів є електромагнітні пускачі ПМЛ з тепловими реле типу RTL.

3. Дослідження нових контактних матеріалів на основі оцінки стійкості до електричного розряду, надійності контакту, дослідження тривалості горіння дуги між контактами за допомогою двопроменевого накопичувального осцилографа С8-14 дозволяють зробити висновок про можливість використання матеріалів у сірники.

4. Розраховано значення глибини проникнення контактів пускача з експериментальними матеріалами, що дозволяє спрогнозувати їх механічну  $T_m$  та зносостійкість перемикання  $T_c$  як функцію сили струму, кількості циклів перемикання та хімічних домішок, активних у навколишньому середовищі.

Здійснено успішну виробничу експлуатацію пускачів  $\text{O} \otimes$  контактними матеріалами на основі міді.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бруевич Н.Г. О надежности и точности автоматического производства // Вопросы точности и надежности в машиностроении. - М.: Издательство АН СССР. - 1962. - С. 5-26.

2. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. - М.: Энергия, 1973. - 172 с.

3. Буткевич Г.В., Цейров Е.М. Износ электродов под действием врачающейся электрической дуги // Сб. науч.тр. - М.: Высшая школа. - 1948. - С. 6-18.

4. Витенберг М.И. Сопротивление электрических контактов из благородных металлов // Электротехника. - 1972. - №10. - С. 46-50.

5. Гибридные аппараты переменного тока / Рябов И.И. Моск. ежегодн. студ. научн.-техн. конф. «Радиоэлектроника и электротехника в н.х.», Москва, 26-27 февр., 1997: Тез. докл. - М.: 1997. - С. 154.

6. Гнеденко Б.В., Беляев Б.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. - М.: Наука, 1965. - 524 с.

7. Гольцман Э.Р. Исследование коммутационной способности и электрической износостойкости реле РПУ-1 // Низковольтные аппараты. - М.: Информ-электро. - 1970. - вып. 2. - С. 18-20.

8. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

9. ГОСТ 9.905-82 (СТ СЭВ 3283-81) Методы коррозионных испытаний. Общие требования.

10. ГОСТ 9.908-85 (СТ СЭВ 4815-84, СТ СЭВ 6445-88) Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.

11. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: Справочник. - М.: Наука, 1979. - 247 с.

12. Декабрун Е.И., Рыбин Г.Н. Состояние и современные требования к надежности контактов // Электрические контакты. - М.: Наука. - 1973. - С. 176-178.

13. Декабрун Е.И., Штремберг Т.К. Причины отказов контактов, коммутирующих слабые цепи // Электрические контакты. - М.: Наука, 1975. - С. 113-136.

14. Долинский Ю.М., Зиновьев В.В., Новиченко А.П. Исследование металлокерамического контактного материала для автоматических выключателей // Харьковский политехнический институт. - Харьков, 1986. - 7 с. Деп в УкрНИИ-ИНТИ 17.11.86 г. №2644-Ук.

15. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 480 с.

16. ДСТУ 2846-94. Контактори електромагнітні низьковольтні. Загальні технічні умови. - На заміну ГОСТ 11206-93.

17. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення.

18. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності.

19. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення.

20. ДСТУ 2993 - 95 (ГОСТ 2933 - 93). Апарати електричні низьковольтні. Методи випробувань.

21. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.

22. ДСТУ 3020-95 Апарати комутаційні низьковольтні. Загальні технічні умови. - На заміну ГОСТ 12434-93.

23. Дулин В.А. Методы исследования надежности низковольтных аппаратов. - М.: Энергия, 1970. - 152 с.

24. Дулин В.А. Определение износостойкости контактов аппаратов управления переменного тока // Низковольтное аппаратостроение. Труды Всесоюз. н.-и. и пр. технолог. ин-та электроаппаратостр. - М.: Энергия, 1970. - вып. 2. - С. 263-269.

25. Захаров О.Г. Испытания электротехнических изделий. - М.: Высшая школа, 1987. - 247 с.

26. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. - М.: Наука, 1976. - 396 с.



27. Зекцер Д.М. Исследование электрических биметаллических заклепочных контактов с рабочим слоем из благородных металлов // Электротехника. - 1998. - №6. - С. 61-62.

28. Зекцер Д.М. К вопросу распределения применения электрических биметаллических заклепочных контактов с рабочим (плакированным) слоем // Электротехника. - 1998. - №12. - С. 56-58.

29. Иванов В.В. Технологическое исследование медно-алмазных порошковых материалов для электроконтактов // Перспективные материалы. - 1999. - №3. - С. 64-70.

30. Калихман В.Л. Халькогениды переходных металлов со слоистой структурой класса  $MoS_2$  и перспективы их применения в спеченных материалах для электрических контактов // Электротехн. пром. Сер. Электротехнические материалы. - 1984. - вып. 8 (169). - С. 4-5.

31. Катаева Н.К. Влияние параметров окружающей среды на надежность магнитных пускателей // Применение ингибиторов для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. Научные труды. - Челябинск: ЧИМЭСХ. - 1987. - С. 81-83.

32. Каталог 07.14.01-82. Пускатели электромагнитные серии ПМЛ. - М.: Информэлектро, 1982. - 15 с.

33. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. - М.: Наука, 1968. - 244 с.

34. Кинетика коррозии серебра в окружающей среде / Sato Y., Matsuba M., Morioka Y., Handa M. // Sony Res. Cent. Repts. - 1985. - 24. - С. 206-210.

35. Клейнрок Д. Теория массового обслуживания. - М.: Машиностроение, 1979. - 432 с.

36. Клименко Б.В. Форсированные электромагнитные системы. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 160 с.

37. Клименко Б.В., Чепелюк А.А. Электрические схемы питания электромагнитных систем с зацеплением в контакторах переменного тока // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». - 2001. - №16. - С. 93-96.

38. Кобленц М.Г. Исследование электрической износоустойчивости контактов // Электротехника. - 1966. - №1. - С. 23-26.

39. Козирский В.В., Резниченко Т.Ф. Повышение надежности контактных соединений электроустановок с применением специальных сплавов // Зб. наук. пр. Кіровоградського державного технічного університету. - Кіровоград: КДТУ, 1999. - вип. №5. - С.190-198.

40. Копытин Ф.А. Изменение параметров контакторов постоянного тока при работе в различных условиях // Сильноточные контакты и электроды. - К.: ИПМ АН УССР. - 1972. - С. 160-173.

41. Коррозионная стойкость легированных серебропалладиевых сплавов для электрических контактов / Альман Р.С., Федоренко В.П., Шпичинецкий Е.С. // Конструкции и прецизионные сплавы цвет. мет. - М.-1987. - С.59-63.

42. Корчемный Н.А., Машевский В.П. Повышение надежности электрооборудования в сельском хозяйстве. - К.: Урожай, 1988. - 176 с.

43. Кохановский С.П., Коробский В.В. Влияние электрической дуги на работу контактов электромагнитных пускателей типа ПМЛ-1200.04 // Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельскохозяйственном производстве. Сборник научных трудов. - К.: УСХА. - 1993. - С. 108-118.

44. Кохановский С.П., Наливайко В.А., Борцеховский С.Б. О некоторых возможностях экономии серебра в коммутационных аппаратах сельскохозяйственной электрификации // Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельскохозяйственном производстве. Сборник научных трудов. - К.: УСХА. - 1993. - С. 118-122.

45. Кривонос П.М., Мачин Е.М. Некоторые вопросы надежности слаботочных скользящих контактов // Электрические контакты. - М.: Энергия, 1967. - С. 335-407.

46. Кроссланд В.А., Найт Е., Райт С.Р. Ускоренные испытания контактов из серебряных сплавов на коррозию / Материалы 19-го ежегодного Хольмовского семинара по явлениям в электрических контактах, 1973 г., Чикаго, Иллинойс // Электротехн. пром. Серия «Аппараты низкого напряжения». - 1975. - вып. 3, (43). - С. 20-21.

47. Кузнецов Р.С. Оценка срока службы низковольтных коммутационных аппаратов по результатам испытаний образцов // Электротехника. - 1964. - №4. - С.26-31.

48. Кузнецов Р.С., Ермолаев И.Н., Гамлицикая С.В. Повышение износостойчивости контактов пускателей // Электричество, 1956. - №5. - С. 43-45.

49. Дыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: ГИТЛ, 1967. – 303 с.

50. Мальнцев В.М., Румянцев Д.В. Серебро. - М.: Металлургия, 1987. - 310 с.

51. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах / Ким К.И. и др. - Алма-Ата: Наука Каз.ССР, 1977. - 236 с.

52. Мерл В. Электрический контакт. Теория и применение на практике. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1969. - 372 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України