

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

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
” ” 2026 р.
число місяць рік

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА
СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ»**

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

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ Синявський О.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

Погребний В.С.
(підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ Коробський В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

ДОЦЕНТ, К.Т.Н. _____ /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
” _____ ” 2025 р.
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Погребному Віталію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

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

Тема бакалаврської роботи: «Заходи з підвищення енергоефективності на станції
технічного сервісу комутаційних апаратів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 р. № 2607 „С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2026.05.30
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- 1) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- 2) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- 3) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- 4) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 5) Правила користування електричною енергією.
- 6) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- 1) Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань, вирішуваних у роботі.
- 2) Технологічна частина.
- 3) Електротехнічна частина роботи.
- 4) Спеціальне завдання: «Енергоефективний комплекс з відновлення контактних систем апаратів газоплазмовим напиленням».
- 5) Охорона праці.
- 6) Висновки. Список використаних джерел.
- 7) Додатки.

Перелік графічних документів (за потреби):

1. План приміщення станції технічного сервісу електрообладнання. Силове електрообладнання.
2. План приміщення станції технічного сервісу електрообладнання. Освітлювальна мережа.

3. Принципова схема газоплазмового напилення. Зовнішній вигляд розпилювача. Схема структури плазмового покриття. Залежність ефективності напилення від умов напилення.

4. Електрична силова схема джерела живлення плазмотрону і схема кола керування. Схема електроприводу плазмотрону.

Дата видачі завдання _____ 03 листопада 2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Коробський В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Погребний В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Бакалаврська кваліфікаційна робота: 76 с., 17 рис., 21 табл., 26 джерел.

Об'єктом дослідження є система електрообладнання підприємства, технологічні процеси на дільниці сервісу електричних апаратів, установка газоплазмового напилення, контакти комутаційних апаратів, відновлені методом газоплазмового напилення.

Предметом дослідження є фізико-хімічні процеси нанесення покриттів на контактні поверхні, явища електричної ерозії контактів і закономірності процесів, що виникають під час комутації струмів до 25 А.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний. Теоретичні дослідження стану електрообладнання базуються на загальній теорії перехідних процесів та теорії математичного моделювання, при дослідженні комутаційних апаратів використовувалась теорія електричних контактів.

Метою роботи є розроблення енергоефективного комплексу для відновлення робочої поверхні контактів методом газоплазмового напилення із застосуванням композиційних контактних матеріалів, що забезпечують збільшення терміну служби апарата та підвищення економічної ефективності його експлуатації.

В бакалаврській роботі виконані розрахунки обсягу робіт з обслуговування енергетичного обладнання, вибору апаратів керування і захисту та високовольтних комплектних пристроїв керування, зроблено перевірку основних параметрів електродвигунів приводу технологічного обладнання станції сервісу, складено графіки технічного обслуговування і поточного ремонту енергетичного обладнання виробничих об'єктів. Детально розглянуто питання застосування ефективного методу відновлення контактів електричних апаратів за газоплазмової технології напилення контактного матеріалу.

Ключові слова: електротехнологічний комплекс, станція технічного сервісу, відновлення, енергоефективність, контакт, газоплазмове напилення, плазмотрон.

ВСТУП

Рівень енергооснащення промисловості, будівельної галузі та сільського господарства постійно зростає, що супроводжується широким впровадженням електродвигунів, трансформаторів, пускорегулювальної апаратури, контрольно-вимірювальних приладів та іншого електротехнічного обладнання. У зв'язку з цим особливого значення набуває забезпечення надійної та безперебійної роботи електроустановок у процесі їх експлуатації.

До основних причин виходу електрообладнання з ладу належать порушення правил експлуатації, відсутність або некоректне налаштування систем захисту від аварійних режимів, а також невідповідність обладнання умовам навколишнього середовища за ступенем захисту. Відмови електротехнічних систем спричиняють значні матеріальні втрати, як прямі, так і непрямі. Однією з ключових причин таких втрат є недостатній рівень технічного обслуговування обладнання під час його експлуатації.

Практика експлуатації електрообладнання у високорентабельних господарствах свідчить про те, що підвищення експлуатаційної надійності досягається насамперед завдяки впровадженню ефективної системи технічного обслуговування та ремонту. Така система охоплює комплекс організаційних і технічних заходів, пов'язаних із плануванням, підготовкою, виконанням та обліком робіт з технічного обслуговування і поточного ремонту електрообладнання.

Підвищення технічного рівня машин та обладнання, а також покращення їх якісних характеристик є важливим чинником зростання продуктивності праці, раціонального використання ресурсів та забезпечення науково-технічного розвитку економіки України.

Результати статистичних досліджень, проведених науково-дослідними установами, засвідчують, що у сфері сільського господарства щорічно виходить з ладу близько 20–25 % електродвигунів. При цьому понад 80 % відмов пов'язано з недосконалістю технічних рішень і алгоритмів функціонування

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

комутаційно-захисної апаратури з урахуванням специфіки аграрного виробництва. Додатковим підтвердженням цього є щорічний вихід з експлуатації до 17 % електромагнітних пускачів та близько 15 % автоматичних вимикачів. Середній термін служби комутаційних апаратів, що використовуються в електроустановках тваринницьких комплексів, становить лише 0,5–3 роки [35], що значно менше від передбаченого технічного ресурсу. Частота відмов таких апаратів у 2–2,5 раза перевищує аналогічні показники для обладнання, яке експлуатується у промисловості.

Контактні елементи електричних апаратів переважно виготовляються з матеріалів на основі срібла, вартість якого складає 45–60 % загальної вартості апарата. У зв'язку з цим підвищення надійності роботи комутаційних пристроїв нерозривно пов'язане зі створенням та впровадженням нових контактних матеріалів, здатних забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики, знизити витрати на виробництво й обслуговування обладнання, а також зменшити використання дорогоцінних металів.

З огляду на те, що в Україні відсутній власний видобуток срібла, а вартість дорогоцінних металів постійно зростає, актуальним є питання заміни срібловмісних контактів матеріалами, які характеризуються меншою дефіцитністю та вищою технологічністю. Одним із перспективних способів відновлення зношених контактних поверхонь є газоплазмове напилення. Даний метод належить до економічно доцільних і технологічно ефективних способів відновлення деталей машин, зокрема робочих поверхонь контактних елементів електричних комутаційних апаратів. Реалізація такого процесу можлива із застосуванням відносно нескладного в експлуатації, хоча й достатньо вартісного обладнання.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАВДАНЬ

Функціонування систем передачі, розподілу та споживання електричної енергії неможливе без використання комутаційних апаратів. Одним із найважливіших елементів будь-якого електричного апарата є струмоведуча частина, яка, як правило, представлена електричними контактами.

Електричний контакт являє собою з'єднання двох провідників, що забезпечує надійне проходження електричного струму. Електричний апарат повинен забезпечувати передачу електроенергії між окремими елементами системи з мінімальними втратами. Для формування надійного контакту до контактних поверхонь необхідно прикладати певне зусилля стискання, яке забезпечує достатню площу струмопровідної поверхні.

Одним із визначальних факторів надійності роботи контактів є матеріал їх виготовлення.

Матеріали, що застосовуються для розривних контактів, повинні відповідати таким основним вимогам:

1. Контакти мають бути стійкими до корозійних процесів, оскільки корозія призводить до нестабільної роботи апаратури та порушення контактної провідності.
2. Контактні поверхні не повинні зазнавати інтенсивного електричного зношування або ерозії, наслідком яких є утворення кратерів, напливів, виступів та інших дефектів у результаті перенесення металу.
3. Контакти не повинні зварюватися під час роботи.

Окрім цього, контактні матеріали повинні характеризуватися високою стійкістю до механічного зношування, достатньою технологічністю обробки, високими показниками електро- і теплопровідності та відносно невисокою вартістю.

Відповідно до експлуатаційних умов матеріали для розривних контактів поділяються на дві основні групи:

1. матеріали для малопотужних контактів;

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2. матеріали для потужних контактів.

Для виготовлення електричних контактів використовують чорні та кольорові метали, їхні сплави, а також вуглецеві матеріали у вигляді графіту, вугілля та інших вуглецевих сполук. Серед кольорових металів застосовують важкі метали — мідь, олово, свинець, цинк, нікель, кадмій, вольфрам і молібден; легкі — алюміній; рідкі — ртуть і вісмут; благородні — золото, платину, срібло та родій.

Основними матеріалами для виготовлення струмоведучих елементів є мідь, алюміній та їхні сплави. Значно рідше у цій сфері використовується сталь.

Срібло переважно застосовується для виготовлення контактних деталей невеликих розмірів та нанесення гальванічних покриттів.

Мідь належить до матеріалів із високими показниками електро- і теплопровідності. Вона характеризується відносно низькою хімічною активністю. На поверхні міді швидко формується тонкий шар оксиду темного кольору, який запобігає подальшому розвитку корозійних процесів у глибині металу.

Розроблення та впровадження технологічних процесів газоплазмового напилення для відновлення контактних вузлів є перспективним напрямом розвитку ремонтних технологій. Застосування такого методу дозволяє отримати експлуатаційні характеристики електричних апаратів, що за багатьма показниками наближаються до характеристик нового обладнання.

Технологія газоплазмового напилення забезпечує можливість формування працездатних покриттів практично будь-якої необхідної товщини в межах 0,01–10 мм. Процес нанесення покриття за нормальних режимів здійснюється при температурі нагрівання деталей не вище 100°C, що виключає небезпечний тепловий вплив на основний метал контактотримачів, характерний для процесів зварювання або наплавлення.

Під час газоплазмового напилення відновлення поверхні деталей відбувається з високою продуктивністю. Швидкість нарощування покриття приблизно у 10–20 разів перевищує швидкість електролітичного нанесення сталі та у 100–200 разів — швидкість електролітичного хромування [18].

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

З урахуванням наведеного актуальним науково-технічним завданням є розроблення заходів, спрямованих на підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів шляхом застосування економічно доцільних композиційних контактних матеріалів на основі міді, придатних для використання в установках газоплазмового напилення.

Метою роботи є розроблення енергоефективного комплексу для відновлення робочої поверхні контактів методом газоплазмового напилення із застосуванням композиційних контактних матеріалів, що забезпечують збільшення терміну служби апарата та підвищення економічної ефективності його експлуатації.

Основні завдання бакалаврської роботи сформовані на підставі аналізу діяльності агротехнічного підприємства та завдання кафедри і передбачають:

- аналіз стану експлуатації електроустановок підприємства;
- дослідження технічного стану електрообладнання, процесів його обслуговування та розроблення шляхів їх удосконалення за рахунок підвищення рівня технічного і приладового забезпечення;
- дослідження фізико-механічних процесів, що виникають під час газоплазмового напилення робочих поверхонь контактних деталей електричних апаратів, а також обґрунтування технологічних параметрів нанесення покриттів.

Об'єктом дослідження є система електрообладнання підприємства, технологічні процеси на станції технічного сервісу електричних апаратів, установка газоплазмового напилення, а також контакти комутаційних апаратів, відновлені методом газоплазмового напилення та призначені для експлуатації в електроустановках агропромислового комплексу.

Предметом дослідження є фізико-хімічні процеси нанесення покриттів на контактні поверхні, явища електричної ерозії контактів і закономірності процесів, що виникають під час комутації струмів до 25 А.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз існуючої ремонтно-обслуговуючої бази станції

На сільськогосподарському підприємстві функціонує енергетична служба, яка забезпечує експлуатацію та технічне обслуговування електрообладнання. Разом із тим її діяльність характеризується низкою суттєвих недоліків, серед яких:

- відсутність сучасної ремонтно-обслуговуючої бази;
- недостатній рівень забезпечення запасними частинами та ремонтним фондом;
- недостатня чисельність персоналу та низький рівень виробничої дисципліни.

Наведені недоліки негативно впливають на технічний стан електрообладнання та призводять до скорочення фактичного терміну його експлуатації порівняно з нормативними показниками, гарантованими заводами-виробниками.

Недосконалість організації роботи енергетичної служби, у свою чергу, спричиняє зростання собівартості продукції підприємства внаслідок збільшення витрат на ремонт, простої обладнання та зниження ефективності виробничих процесів.

Метою даного розділу є розроблення пропозицій щодо вибору та впровадження технологічного обладнання для оснащення ремонтно-обслуговуючої бази станції.

2.2 Обґрунтування і вибір проекту станції технічного сервісу енергетичного обладнання (СТС ЕО)

Проектними та науково-дослідними організаціями розроблено низку типових проектів баз і пунктів технічного обслуговування енергетичного обладнання, частина з яких затверджена для практичного використання.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Найбільшого поширення набули типові проєкти пунктів технічного обслуговування та ремонту енергообладнання продуктивністю 4200 умовних ремонтів на рік (18060 люд.-год/рік) і 2100 умовних ремонтів на рік (9030 люд.-год/рік).

Річні витрати праці на виконання технічного обслуговування та поточного ремонту енергетичного обладнання у господарстві становлять 9083,74 люд.-год/рік. Враховуючи зазначений обсяг робіт, для впровадження обрано типовий проєкт ТП 816-1-19 «Пункт технічного обслуговування і ремонту енергообладнання на 2100 умовних ремонтів на рік» із нормативною трудомісткістю 9030 люд.-год/рік.

Запроєктована станція технічного сервісу енергетичного обладнання призначена для виконання технічного обслуговування та поточного ремонту електричного, теплотехнічного, теплосилового й холодильного обладнання, усунення аварійних несправностей, проведення сушіння, просочування, фарбування, а також монтажних, налагоджувальних і зварювальних робіт.

Поточному ремонту підлягають малогабаритні електроустановки, окремі вузли та деталі різних видів енергетичного обладнання.

Крім основної станції технічного сервісу, на виробничих відділеннях передбачається організація постів електрика.

До складу СТС ЕО входять такі виробничі та допоміжні приміщення:

1. **Бокс для стоянки спеціалізованого автомобіля.** Призначений для технічного обслуговування та дрібного ремонту спецавтомобіля. Оснащується оглядовою ямою, слюсарним верстаком, стелажми для зберігання запасних частин та інструменту, а також ручним гідравлічним підйомником.

2. **Дільниця фарбування.** Використовується для фарбування електрообладнання після виконання ремонтних робіт. У приміщенні встановлюються фарбувальна камера, шафа для малярного інструменту та фарборозпилювальне обладнання.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3. **Дільниця просочування і сушіння.** Призначена для просочування та сушіння обмоток асинхронних електродвигунів, трансформаторів, автотрансформаторів та іншого електротехнічного обладнання. Оснащується стелажами, сушильною шафою, ванною для миття та витяжною шафою.

4. **Складське приміщення.** Використовується для зберігання інструментів, запасних частин, монтажних матеріалів та обладнання, яке перебуває у ремонті або вже пройшло технічне обслуговування.

5. **Ремонтно-монтажна дільниця.** Є основним виробничим приміщенням, де виконуються роботи з розбирання, дефектування, очищення та ремонту обладнання. Проєктом передбачено встановлення стендів для ремонту та регулювання пускорегулювальної апаратури, електродвигунів, освітлювальних установок, арматури, засобів автоматики, мийного обладнання та консольного підвісного крану.

6. **Дільниця виготовлення конструкцій.** На дільниці виконуються роботи з ремонту окремих деталей і вузлів, а також свердлильні, шліфувальні, зварювальні та інші технологічні операції.

7. **Побутові приміщення.**

8. **Кабінет майстра.**

9. **Вентиляційна камера.** У приміщенні встановлюється витяжний вентилятор для видалення пилу та шкідливих випарів із виробничих дільниць.

10. **Електрощитова.** Призначена для розміщення силових розподільчих пунктів та освітлювальних щитів.

Характеристика виробничих і допоміжних приміщень СТС ЕО наведена в таблицях 2.1 та 5.1.

2.3 Визначення складу дільниць станції і розрахунок площі дільниць

Станція технічного сервісу повинна забезпечувати:

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		14

- виконання поточного ремонту електрообладнання відповідно до вимог системи ПЗР і ТО;
- зберігання матеріалів та запасних частин у необхідному обсязі;
- зберігання технічної документації, засобів захисту, інструментів та пристроїв.

Таблиця 2.1

Характеристика основних і допоміжних приміщень СТС ЕО

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

Для виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту передбачаються такі ділянки:

- ремонтно-монтажна;
- ділянка виготовлення конструкцій;
- ділянка фарбування;
- ділянка просочування і сушіння;
- витратний склад.

Загальна виробнича площа кожної ділянки визначається за формулою:

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

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

f_p – питома площа на одне робоче місце, м^2 ; $f_p = 17 \text{ м}^2$;

$F_{\text{об}}$ – сумарна площа контуру, що займає технологічне і допоміжне обладнання, м^2 .

Визначаються необхідні площі виробничих ділянок.

1. Ремонтно-монтажна ділянка:

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

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

2. Ділянка заготівлі конструкцій:

$$P=2, f_p=17 \text{ м}^2, F_{\text{об}}=5,3 \text{ м}^2;$$

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

3. Ділянка просочування і сушіння:

$$P=1, f_p=17 \text{ м}^2, F_{\text{об}}=4,3 \text{ м}^2;$$

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

4. Ділянка фарбування:

$$P=1, f_p=9 \text{ м}^2, F_{\text{об}}=2,7 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{уд4}}=1 \cdot 9 + 2,7 = 11,7 \text{ м}^2.$$

5. Склад:

$$F_{\text{д5}}=34,7 \text{ м}^2.$$

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

6. Кабінет інженера – електрика:

$$F_{\partial 6}=9,3 \text{ м}^2.$$

7. Венткамера. $F_{\partial 7}=56 \text{ м}^2$, вентилятори встановлені в двох приміщеннях площею 35 м^2 і 21 м^2 .

8. Кімната спецодягу:

$$P=11, f_p=1 \text{ м}^2, F_{\partial 6}=7 \text{ м}^2;$$

$$F_{\partial 8}=11 \cdot 1 + 7 = 18 \text{ м}^2.$$

9. Душова:

$$F_{\partial 9}=9 \text{ м}^2.$$

10. Санвузол:

$$F_{\partial 10}=5,25 \text{ м}^2.$$

11. Електрощитові:

$$F_{\partial 11}=10 \text{ м}^2.$$

12. Тамбур:

$$F_{\partial 12}=10,4 \text{ м}^2.$$

Площі приміщень № 5–12 прийнято відповідно до типового проєкту № 816-1-19. Експлікацію приміщень наведено у графічній частині проєкту.

2.4 Вибір технологічного обладнання

На станції технічного сервісу передбачається встановлення технологічного обладнання, яке забезпечує виконання комплексу операцій з технічного обслуговування та поточного ремонту електрообладнання.

Розташування обладнання на ділянках здійснюється з урахуванням послідовності виконання технологічних операцій і забезпечення механізації транспортних процесів.

Для проведення налагоджувальних робіт, перевірки контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації використовується пересувна електролабораторія типу ЕНЛ на базі автомобіля «Таврія-Пікап» або «Ланос». Живлення лабораторії здійснюється від зовнішньої мережі 380/220 В. Кількість обслуговуючого персоналу — 2 особи.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Лабораторія комплектується вимірювальними приладами та інструментом для:

- вимірювання опору ізоляції;
- випробування силових кабелів напругою до 10 кВ;
- вимірювання опору постійному струму;
- перевірки контурів заземлення;
- визначення груп з'єднання обмоток трансформаторів;
- перевірки полярності обмоток електричних машин тощо.

Специфікацію технологічного обладнання та інструменту наведено в додатку А.

2.5 Вибір форми експлуатації енергетичного обладнання

Залежно від рівня енергооснащення господарства, обсягів робіт та забезпеченості кваліфікованим персоналом застосовують три форми експлуатації енергетичного обладнання:

1. господарську (індивідуальну);
2. спеціалізовану (змішану);
3. комплексну (централізовану).

Обсяг робіт з обслуговування енергетичного обладнання господарства становить 452,29 умовних одиниць, що відповідає умовам застосування господарської форми експлуатації.

Наявність кваліфікованого персоналу та достатній рівень енергоозброєності підприємства підтверджують доцільність вибору саме цієї форми, яка є економічно найбільш ефективною.

2.6 Складання графіків ТО і ПР енергетичного обладнання виробничих об'єктів

Відповідно до Правил технічної експлуатації, на підприємстві повинна функціонувати система технічного обслуговування та ремонту енергетичного

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		18

обладнання. Обсяг, графіки ремонтів і технічного обслуговування встановлюються щорічними планами, які затверджуються особою, відповідальною за електрогосподарство.

Планування робіт виконується на основі:

- річного графіка поточних ремонтів;
- квартального графіка технічного обслуговування.

Під час складання графіків враховуються:

- сезонність використання обладнання;
- режим роботи електроустановок;
- можливість суміщення ремонтів електричного та технологічного обладнання;
- рекомендації заводів-виробників.

Може бути складений зведений графік ТО і ПР протягом календарного року. Єдиного підходу до оформлення графіків не має і в умовах експлуатації слід вибрати ту із форм, яка найбільш придатна і дозволяє налагодити чіткий порядок проведення ТО і ремонту енергетичного обладнання.

Для прикладу розроблено графік ТО і ПР електрообладнання ремонтно-монтажної дільниці (табл. 2.3). Аналогічно складаються графіки і інших виробничих об'єктів та приміщень.

2.7 Визначення кількості резервного електрообладнання і запасних частин

Планування запасних частин та матеріалів для ремонтно-експлуатаційних потреб здійснюється відповідно до норм витрат, затверджених Мінагропромом України.

Необхідний резерв запасних частин формується з урахуванням:

- усунення випадкових відмов;
- проведення планових поточних ремонтів.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Для забезпечення безперервності виробничих процесів у господарстві створюється резервний фонд електрообладнання. Його величина визначається на підставі статистичних даних щодо надійності та частоти відмов електротехнічного обладнання.

Норми резервного запасу електрообладнання наведено у додатку Б.

Таблиця 2.3

Графік ТО і ПР ремонтно-монтажної ділянки станції

Найменування електрообладнання	Тривалість роботи, годин	Умови навколишнього середовища	Річна кількість		Місяці												Заграти праці
			ТО	ПР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Електро-двигуни	8	всі категорії	4	0,5			X			X			X			X	
Пускозахисна апаратура	8	сухі	4	0,5			X			X			X				
		вологі	6	0,66		X		X		X		X		X		X	
Електроводо-нагрівачі	16	надто вологі	6	1,0		X		X		X		X		X		X	
Світильники	12	сухі	2	0,5			X						X				
		вологі	4	0,5		X			X			X			X		
НКУ	18	вологі	4	0,5	X			X			X			X			
Силова і освітлюваль-на проводка	18	вологі	2	0,5			X						X				

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Повірочний розрахунок електроприводу робочої машини

Вибір електроприводів здійснюється відповідно до вимог чинних нормативних документів [4–10] з урахуванням режиму роботи, умов експлуатації та параметрів технологічного обладнання.

Для виконання повірочного розрахунку приймається електропривод вентиляційного обладнання, а саме електродвигун витяжного вентилятора типу ВР 287-46 (ВЦ 14-46) №5 НЖ, встановленого на ділянці фарбування.

Технічні дані вентилятора :

- подача $L = 4055,2 \text{ м}^3/\text{год}$;
- тиск $p = 58.5 \text{ кг/м}^2$;
- частота обертання $n = 1420 \text{ об/хв}$.

Оскільки частота обертання вентилятора $n = 1420 \text{ об/хв}$, то необхідно вибрати двигун з синхронною частотою обертання $n_c = 1500 \text{ об/хв}$. З урахуванням умов експлуатації ступінь захисту електродвигуна від впливу навколишнього середовища приймається не нижче IP54.

Навантаження електродвигуна є практично сталим, а режим його роботи — тривалим, що відповідає режиму S1.

Конструктивне виконання електродвигуна відповідно до ДСТУ 2883-93 приймається типу ІМ1001 — електродвигун на лапах із двома підшипниковими опорами та одним циліндричним кінцем вала. Допускається будь-яке просторове положення під час монтажу.

Встановлена потужність електродвигуна вентилятора з урахуванням коефіцієнту запасу дорівнює:

$$P_u = (K_s \cdot L_d \cdot p \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}) / (3600 \cdot \eta_v \cdot \eta_n); \quad (3.2)$$

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

де K_3 - коефіцієнт запасу потужності на пуск для електродвигунів потужністю до 2 кВт; $K_3 = 1,2$ [22];

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

L_∂ – номінальна продуктивність вентилятора, $L_\partial = 4055,2$ м³/с;

η_∂ - коефіцієнт корисної дії (ККД) вентилятора, $\eta_\partial = 0,6$ [22];

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

Отже,

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

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

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

Вибирається електродвигун загальнопромислового виконання з найближчою більшою номінальною потужністю – 5АМХ80В4У2.

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

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

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

Виконується перевірка вибраного електродвигуна на відповідність робочій машині, тобто відцентровому промислового вентилятору ВР 287-46 (ВЦ 14-46) №5 НЖ.

Вибраний електродвигун перевіряється за умовами пуску при пониженій напрузі на –7,5 % і розкиду його параметрів згідно ДСТУ 2883-93.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

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

Механічна характеристика вентилятора отримується розрахунковим шляхом за формулою:

$$M_c = M_{co} + (M_{cn} - M_{co}) \cdot (\omega / \omega_n)^x \quad (3.3)$$

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

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

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

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

x – коефіцієнт, котрий характеризує ступінь залежності моменту статичного опору від швидкості, для вентиляторів $x=2$ [22].

$$M_{cn} = 9550 \cdot P_n / n_n = 9550 \cdot 1,32 / 1395 = 9,0 \text{ Нм}; \quad (3.3)$$

$$\omega_n = (2\pi n) / 60 = (3,14 \cdot 1395) / 60 = 146 \text{ 1/с}; \quad (3.4)$$

$$M_c = 0,15 \cdot M_{cn} = 0,15 \cdot 9,0 = 1,35 \text{ Нм}; \quad (3.5)$$

Результати розрахунку заносяться до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахунок механічної характеристики вентилятора

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

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

$$s_{kp} = \frac{s + \sqrt{s_n \frac{\mu_{kp} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_n \frac{\mu_{kp} - 1}{\mu_1 - 1}}}, \quad (3.6)$$

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

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

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

Тоді значення критичного ковзання:

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

Використовуючи каталожні дані електродвигуна [22], будується природна механічна характеристика $M_{\partial в.} = f(\omega)$ за п'ятьма характерними точками (рис. 3.1):

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

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

$$M_n = 9550 \cdot P_{н. \partial в.} / n_n, \quad (3.7)$$

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

$P_{н. \partial в.}$ - номінальна потужність електродвигуна, *кВт*;

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

$$s_n = (n_c - n_n) / n_c, \quad (3.8)$$

де s_n - номінальне ковзання двигуна;

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

Підставивши дані в формули (3.7) і (3.8), отримаємо:

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

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

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

$$M_{max} = \mu_k \cdot M_n = 2,2 \cdot 1,92 = 4,22 \text{ Нм}; \quad (3.9)$$

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

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

$$M_{min} = \mu_{min} \cdot M_n = 1,6 \cdot 10,1 = 16,16 \text{ Нм}; \quad (3.10)$$

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

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

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

$$M' = (0,925)^2 \cdot M, \quad (3.11)$$

де M - відповідні значення моментів електродвигуна, Нм .

Одержимо :

$$M'_{\text{ном}} = (0,925)^2 \cdot 10,1 = 8,7 \text{ Нм}; \quad M'_{\text{max}} = (0,925)^2 \cdot 22,22 = 19,1 \text{ Нм};$$

$$M'_{\text{min}} = (0,925)^2 \cdot 16,16 = 13,9 \text{ Нм}; \quad M'_{\text{пуск}} = (0,925)^2 \cdot 20,2 = 17,3 \text{ Нм.}$$

Друга штучна механічна характеристика $M''_{\text{дв}} = f(\omega)$ визначається відхилення моментів. Згідно з ДСТУ 2883-93:

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

Тоді:

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

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

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

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

Розрахункові дані для побудови механічних характеристик електродвигуна 5AMX80B4Y3 наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахункові дані для побудови механічних характеристик електродвигуна

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

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

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{ов}} - M_{\text{с}}. \quad (3.12)$$

Використовуючи динамічну характеристику $M_{дин} = f(\omega)$ (рис. 3.1.) визначається тривалість пуску електродвигуна t_n .

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

Тривалість пуску електродвигуна в цьому випадку :

$$t_n = \sum_{i=1}^n \Delta t_i, \quad (3.13)$$

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

$$\Delta t_i = j_{np} \frac{\Delta \omega_i}{\Delta M_{i\text{сеп}}}, \quad (3.14)$$

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

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

$\Delta M_{i\text{сеп}}$ - середній динамічний момент на i -тій ділянці, Нм (рис. 3.1).

Момент інерції приведений до валу двигуна визначається за формулою:

$$J_{np} = J_{дв} + J_{вент}, \quad (3.15)$$

де $J_{дв}$ – момент інерції двигуна, кгм^2 ; для двигуна АИР80В4У3 - $J_{дв} = 0,0033 \text{ кгм}^2$;

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

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

Результати розрахунків заносяться до табл. 3.3. Час пуску електродвигуна складає: $t_n = \sum \Delta t_i = 1,12 \text{ с}$.

Таблиця 3.3

Розрахунок тривалості пуску електродвигуна

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

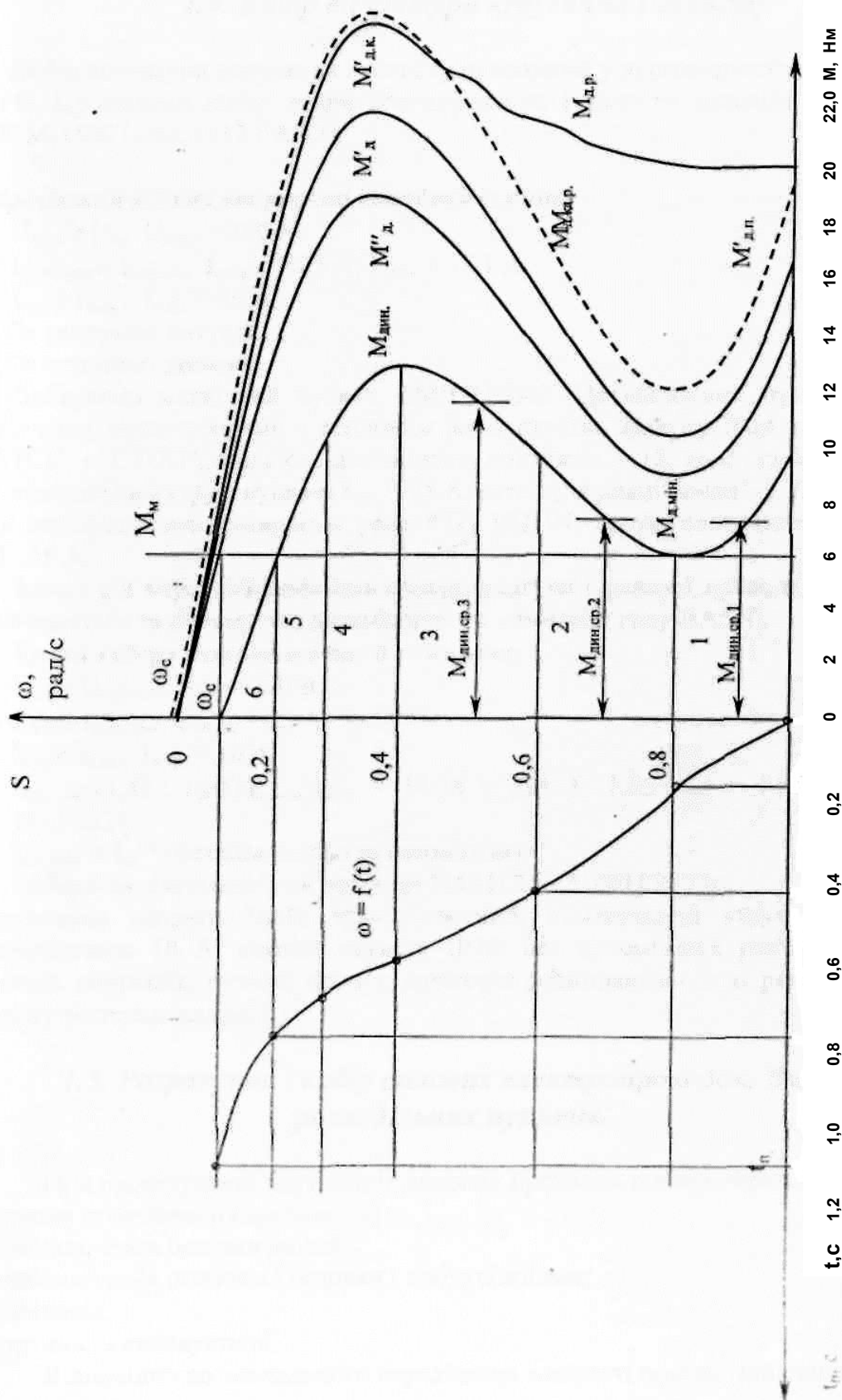


Рис. 3.1.1. Механічні характеристики електродвигуна - 5AMX80B4 У3.
Визначення тривалості пуску електропривода графо-аналітичним способом.

Клас нагрівостійкості ізоляції двигуна В [22], що відповідає допустимій температурі нагрівання обмотки статора 130°C. Нагрівання двигуна за час пуску визначимо за формулою:

$$Q = Q_{\text{навк}} + V_t \cdot t_n, \quad (3.16)$$

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

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

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

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

3.2 Вибір пускозахисних апаратів та низьковольтних комплектних пристроїв керування

У разі прийняття до реалізації проєкту станції ТС ЕО передбачені в ньому апарати керування та захисту електрообладнання повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів [8–10].

Для підтвердження правильності вибору електротехнічного обладнання виконується перевірка та підбір пускозахисної апаратури для одного з електроприводів, а саме приводу витяжного вентилятора, встановленого в ремонтно-монтажній дільниці.

Під час вибору апаратури враховуються такі основні параметри:

- номінальна потужність електродвигуна;
- робочий струм електропривода;
- режим роботи електродвигуна;
- умови навколишнього середовища;
- категорія розміщення обладнання;
- необхідний ступінь електричного та теплового захисту.

Для забезпечення надійної та безпечної роботи електропривода передбачається використання комплексу пускозахисної апаратури, до складу якого входять:

- автоматичний вимикач;
- електромагнітний пускач;
- теплове реле;
- кнопковий пост керування;
- захисна та комутаційна апаратура допоміжних кіл.

Паспортні дані електродвигуна 5AMX80B4Y2: $P_{н.дв.} = 1,5 \text{ кВт}$; $I_{н.} = 3,6 \text{ А}$; $\eta = 77\%$; $\cos \varphi = 0,83$; $n_{н.} = 1395 \text{ об/хв}$.

Умови вибору автоматичного вимикача в колі живлення двигуна:

$$1) U_{авт} \geq U_{мережі};$$

$$2) I_{н.авт.вим} \geq I_{н.дв};$$

$$3) I_{т.р.} \geq I_{н.дв};$$

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

У наведених нерівностях:

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

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

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

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

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

Дані вибраного автоматичного вимикача ВА47-29-34. $U_{авт} = 500 \text{ В}$; $I_{н.авт.вим} = 16 \text{ А}$; $I_{н.р.} = 4 \text{ А}$.

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

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

Перевірка умов вибору :

$$1. U_{авт} = 500 \text{ В} > U_{мер} = 380 \text{ В};$$

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

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

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

$$4. I_{е.м.в.} = 48 A > 27,3 A.$$

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

Повне позначення автоматичного вимикача : ВА47Г29-34УЗВ.

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

$$1. U_{пуск} \geq U_{мережі};$$

$$2. I_{н.пускатча} \geq I_{н.дв};$$

$$3. I_{т.р.} \geq I_{н.дв};$$

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

4. За конструктивним виконанням;

$$5. U_{кот} = U_{к.к};$$

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

$I_{н.пускатча}$ - номінальний струм пускатча, А;

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

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

Перевіримо умови вибору:

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

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

$$3. I_{т.р.} = 10 А > I_{н.дв} = 3,6 А .$$

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

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

Повне позначення пускатча ПМЛ – 1220.О4В.

Електротеплове реле РТЛ 1007.О6 з діапазоном регулювання номінальної сили струму неспрацювання 2,6...4 А. Номінальна сила струму реле 25 А.

Отже, умови вибору виконуються.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розрахунок внутрішніх електричних мереж зводиться до вибору перерізу струмоведучих жил проводів і кабелів за тривало-допустимим струмом. Розрахунковий струм - 3,6 А. Розподільча мережа виконується проводом АВРГ 1(4х2,5). Тривало-допустимий струм проводу АВРГ перерізом 2,5 мм² дорівнює 19 А [20].

Тоді, умова $I_{тр.доп.} = 19 \text{ А} > I_{с.р.} = 3,6 \text{ А}$, - виконується.

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

$$I_{тр.доп.} / I_{н.с.р} > 1.$$

Для розподільчої мережі електродвигуна і вимикача ВА47Г29-34УЗВ:

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

Тобто, умова виконується.

Для інших електроприймачів внутрішні розподільчі мережі вибираються аналогічно, а результати вибору зводяться до розрахунково-монтажної таблиці яка наведена на листу №1 графічної частини проекту.

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

Дані про вибір розподільчих пунктів заносяться до розрахунково-монтажної таблиці

3.3 Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі

Застосування штучного освітлення забезпечує створення необхідних умов для ефективної та безпечної роботи персоналу в умовах недостатнього

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

природного освітлення. Для приміщень станції технічного обслуговування і поточного ремонту електрообладнання передбачено декілька видів освітлення:

- робоче освітлення (загальне та місцеве);
- переносне освітлення.

Номінальна напруга мережі робочого освітлення становить 220 В, напруга живлення освітлювальних ламп — 220 В, а переносного освітлення — 36 В, що відповідає вимогам електробезпеки під час виконання ремонтних робіт.

Система освітлення приміщень прийнята відповідно до чинних нормативних вимог. Робоче освітлення реалізується із застосуванням світильників зі світлодіодними та люмінесцентними джерелами світла. Для переносного освітлення використовуються світильники типу РП 6-2/36, які живляться від щита зі знижувальним трансформатором типу ЯТП-0,25.

Освітлювальний щиток приймається типу ОЦВ 25-6, укомплектований сімома автоматичними вимикачами ВА47-29-12 для захисту групових освітлювальних ліній.

Групові освітлювальні мережі виконуються кабелем марки АВРГ, прокладеним по будівельних конструкціях на скобах та тросах. Провід марки АПВ прокладається у сталевих трубах, що забезпечує необхідний рівень механічного захисту та пожежної безпеки.

Для всіх приміщень передбачається робоче освітлення. У ремонтно-монтажній дільниці приймається система комбінованого освітлення, яка поєднує загальне та місцеве освітлення робочих зон. Для інших приміщень використовується система загального рівномірного освітлення.

Для приміщень дільниць просочування, сушіння та фарбування, які належать до категорії приміщень з підвищеною пожежо- та вибухонебезпекою, застосовуються світильники у вибухозахищеному виконанні зі світлодіодними лампами.

У приміщеннях санвузла, душової, вентиляційної камери, коридору, тамбурів та електрощитової передбачено встановлення подовжених світильників типу ОПАЛ-SL зі стрічковими світлодіодними лампами G13.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Для решти приміщень використовуються незахищені подовжені світильники типу ОПАЛ-SL зі світлодіодними лампами, які характеризуються оптимальним співвідношенням вартості та експлуатаційних показників.

Світлотехнічні розрахунки виконуються для ремонтно-монтажної дільниці. Основний розрахунок проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку з подальшою перевіркою результатів точковим методом.

Для приміщень електрощитової, гардеробу, санвузла, душової, коридору та тамбура розрахунок освітлення здійснюється методом питомої потужності.

Розрахунковий світловий потік для всього приміщення визначимо за формулою:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.17)$$

де Φ - розрахунковий світловий потік лампи, *лм*;

E - нормована освітленість, *лк*;

S - площа приміщення, *м²*;

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

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

N - кількість світильників, *шт.*;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Світильники у виробничих приміщеннях доцільно розміщувати рядами паралельно довгій стороні приміщення. Враховуючи конусне світлорозподілення прийнятих світильників, приймаємо відносну відстань між рядами світильників $\lambda = 1,4$.

Тоді отримаємо відстань між рядами світильників, *м*.

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (3.18)$$

де L - відстань між світильниками, *м*;

H_p - розрахункова висота, *м*.

$$H_p = H - (h_{p.n.} + h_{ce}), \quad (3.19)$$

$$h_{ce}=2,2 \text{ м};$$

$$h_{p.n.}=0,8 \text{ м}.$$

Тоді, $H_p=6 - (0,8 + 2,2)=3,0 \text{ м}; L = 1,4 \cdot 3,0 = 4,2 \text{ м}.$

Кількість рядів світильників:

$$N_p = (B-2l) / L + 1, \quad (3.20)$$

де B – ширина приміщення, м; $B=5,7 \text{ м};$

l – довжина від крайнього світильника до стіни, м;

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

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

Приймається $N_p = 2$ ряди. Кількість світильників в ряду:

$$N_c = ((A - 2l) / L) + 1, \quad (3.21)$$

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

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

Приймається $N_c=4 \text{ шт}.$

Визначається фактична відстань між світильниками:

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

де l_0 – довжина світильника, м; $l_0=1,24 \text{ м}.$

Загальна кількість світильників: $N=N_p \cdot N_0=2 \cdot 4=8 \text{ шт}.$

Коефіцієнт використання світлового потоку знаходимо залежно від типу світильника, коефіцієнтів відбивання, індексу приміщення:

$$i = A \cdot B / (A_p(A+B)) = 14,7 \cdot 5,7 / (3 \cdot (14,7+5,7)) = 1,36. \quad (3.22)$$

Враховуючи матеріали стелі, стін, підлоги, приймаються значення коефіцієнту відбивання: $\rho_l = 70\%$ - стелі, $\rho_2 = 50\%$ - стін, $\rho_3 = 30\%$ - підлоги;

За таблицями [18] знаходиться η - коефіцієнт використання світлового потоку: $\eta = 0,43.$

Підставивши дані в формулу (3.17), отримаємо:

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 67,3 \cdot 1,7}{8 \cdot 0,43} = 8392,9 \text{ лм}.$$

Приймаються світильники ОПАЛ-SL з двома світлодіодними лампами, світловий потік яких складає $F_l = 4650 \text{ лм}$.

Сумарний світловий потік ламп світильника:

$$\Phi_c = 2 F_l = 2 \cdot 4650 = 9300 \text{ лм}.$$

Згідно вимог [18] освітленість, створена додатковим місцевим освітленням на столах і верстатах повинна складати при освітленості 300 лк, люмінесцентними лампами - 2600 лк.

Приймаються для місцевого освітлення світильники МЛ-2х80, які встановлюють на стіні, створюють при розмірі світлової плями 600х1000 мм освітленість 800 лк.

Для допоміжних приміщень розрахунок освітленості здійснюємо методом питомої потужності за формулою:

$$P = \omega S / N, \quad (3.23)$$

де P - потужність ламп, $Вт$;

ω - питома потужність загального рівномірного освітлення, $Вт/м^2$;

N – кількість світильників, $шт$;

S – площа приміщення, $м^2$.

Розраховується освітлення для приміщення венткамери.

Попередньо приймається 3 світильника Е.NEXT НСП 20У-60-213. Норма освітленості для венткамери $E=40 \text{ лк}$ [19]. Коефіцієнт відбивання для стелі, стін, підлоги відповідно дорівнює: $\rho_1=50\%$, $\rho_2=30\%$, $\rho_3=10\%$; площа - $S=32 \text{ м}^2$.

Визначається індекс приміщення:

$$i = A \cdot B / (A_p(A + B)) = 5,8 \cdot 5,5 / (2,5 \cdot (5,8 + 5,5)) = 1,13.$$

За даними таблиць визначається значення ω , знаючи площу приміщення, висоту підвісу світильників, освітленість робочої поверхні і коефіцієнти робочої поверхні: $\omega = 11 \text{ Вт/м}^2$. Тоді:

$$P = 11 \cdot 32 / 1 \cdot 3 = 117,3 \text{ Вт.}$$

Приймаються світлодіодні лампи типу MEGALAMP, потужністю 12 Вт. Розрахунок освітлення для решти приміщень здійснюється аналогічним способом. Результати розрахунків заносяться до світлотехнічної відомості (табл. 3.4).

Живлення світильників здійснюється від розподільчого пункту ОЦВ 25-6 з лінійними автоматичними вимикачами на групах ВА47-29-12.

Здійснюється вибір перерізу проводів проводиться для групи №4, яка живить світильники ОПАЛ-SL. Для групи $P_{\text{уст}} = 0,86 \text{ кВт}$.

Розрахунковий струм групи (з урахуванням втрат в ПРА для люмінесцентних ламп):

$$I_p = 1000 \cdot 0,9 \cdot P / U \cdot \cos \varphi = 860 \cdot 0,9 / 220 \cdot 0,85 = 3,7 \text{ А.} \quad (3.24)$$

Розрахунок внутрішніх електричних мереж зводиться до вибору перерізу проводів і кабелів за тривало-допустимим струмом:

$$I_{\text{пр.дон}} > I_n.$$

Проводка виконується проводом АПВ 2(1х2,5) на тросу, переріз струмоведучої жили - $2,5 \text{ мм}^2$ з $I_{\text{пр.дон}} = 19 \text{ А}$ [20].

Для решти груп розрахунок проводиться аналогічно, а результати розрахунків зводяться до розрахунково-монтажної таблиці освітлювальної мережі.

РОЗДІЛ 4

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ КОМПЛЕКС З ВІДНОВЛЕННЯ КОНТАКТНИХ СИСТЕМ АПАРАТІВ ГАЗОПЛАЗМОВИМ НАПИЛЕННЯМ

4.1 Загальні відомості, фізико-механічні процеси, що виникають при газоплазмовому напилюванні та будова покриття

Технологічний процес відновлення робочих поверхонь контакт-деталей електричних апаратів включає послідовне виконання таких операцій:

1. демонтаж контакт-деталі з електричного апарата;
2. очищення контактотримача від пилу та забруднень;
3. миття із застосуванням синтетичних мийних засобів (за необхідності);
4. сушіння стисненим повітрям під тиском ($P = 0,4$ МПа);
5. механічна обробка пошкодженої контактної поверхні з відновленням сферичної або плоскої форми;
6. нанесення газоплазмового покриття на робочу поверхню контакт-деталі;
7. випалювання домішок (за необхідності);
8. вигладжування робочої поверхні контакту;
9. контроль геометричних параметрів і якості поверхні.

Відновленню підлягають переважно рухомі контакти електричних апаратів, оскільки саме вони зазнають найбільш інтенсивного механічного та електроерозійного зношування. Крім того, рухомі контактні елементи піддаються дії значних механічних і електродинамічних навантажень, що призводить до погіршення їх експлуатаційних характеристик.

На початковому етапі ремонту електричний апарат розбирають і демонтують контактні елементи. Першою технологічною операцією є очищення контактів від пилу, продуктів окиснення та інших забруднень із застосуванням

відповідних очищувальних засобів. Після цього виконується миття контакт-деталей у спеціальній ванні.

Для миття доцільно використовувати синтетичні мийні засоби, зокрема типу «Лабомід-101» або «Лабомід-301», а також інші склади, що ефективно видаляють забруднення та не спричиняють корозійного руйнування металевих поверхонь.

Після завершення процесу миття контактні елементи підлягають сушінню. Найбільш ефективним способом видалення вологи є використання стисненого повітря, яке забезпечує швидке та якісне осушення поверхні.

Наступним етапом є механічна обробка пошкоджених контактних поверхонь. Оскільки найбільшому руйнуванню піддається саме робоча зона контакту, виконують її зачистку та формування за допомогою механічного інструменту. Після обробки проводиться перевірка сферичності або площинності поверхні контакту із застосуванням планіметра чи інших вимірювальних приладів.

Після відновлення необхідної геометричної форми здійснюється нанесення газоплазмового покриття в зоні пошкодження. Для цього використовується установка газоплазмового напилення, наприклад типу УМП-5. За необхідності проводиться випалювання домішок електродом із чистого матеріалу (додаток В).

Після завершення процесу напилення виконується вигладжування контактної поверхні з метою усунення мікронерівностей та покращення якості поверхневого шару. Далі здійснюється контроль шорсткості поверхні або класу чистоти обробки. Допустимий клас чистоти поверхні повинен відповідати межах V6...V7.

Після відновлення контакт-деталі встановлюються у контактотримачі та монтуються в електричний апарат.

Газоплазмове напилення належить до найбільш перспективних газотермічних методів нанесення покриттів. Сутність даного методу полягає у

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

розплавленні матеріалу покриття високотемпературним плазмовим струменем із подальшим розпиленням розплавленого матеріалу потоком іонізованого газу.

У плазмових пальниках електрична дуга виникає між катодом і водоохолоджуваним соплом-анодом. Через електродугову камеру подається плазмоутворюючий газ, який частково іонізується та виходить із сопла у вигляді високотемпературного струменя з великою швидкістю. Температура плазмового струменя становить приблизно до $5000...15000^{\circ}\text{C}$, а швидкість його руху у декілька разів перевищує швидкість звуку. У потік плазми вводиться матеріал покриття у вигляді порошку або дроту. Швидкість руху частинок напилюваного матеріалу під час процесу знаходиться в межах $100...400\text{ м/с}$.

Принципова схема газоплазмового напилення наведена на рис. 4.1.

Як плазмоутворюючі середовища використовуються вода та гази: аргон, азот, водень, гелій, а також їх суміші. Продуктивність установок газоплазмового напилення становить від 0,5 до 10 кг/год (додаток Б), а міцність зчеплення напиленого покриття з основою може досягати 60 МПа.

Процес газоплазмового напилення характеризується рядом важливих переваг, серед яких:

- універсальність методу та можливість нанесення покриттів із широкого спектра матеріалів;
- збереження структури й фізико-механічних властивостей матеріалу основи;
- можливість відновлення контактів складної конфігурації;
- висока продуктивність процесу;
- мінімальний тепловий вплив на основний метал контактотримача;
- підвищення експлуатаційної надійності контактних елементів електричних апаратів.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

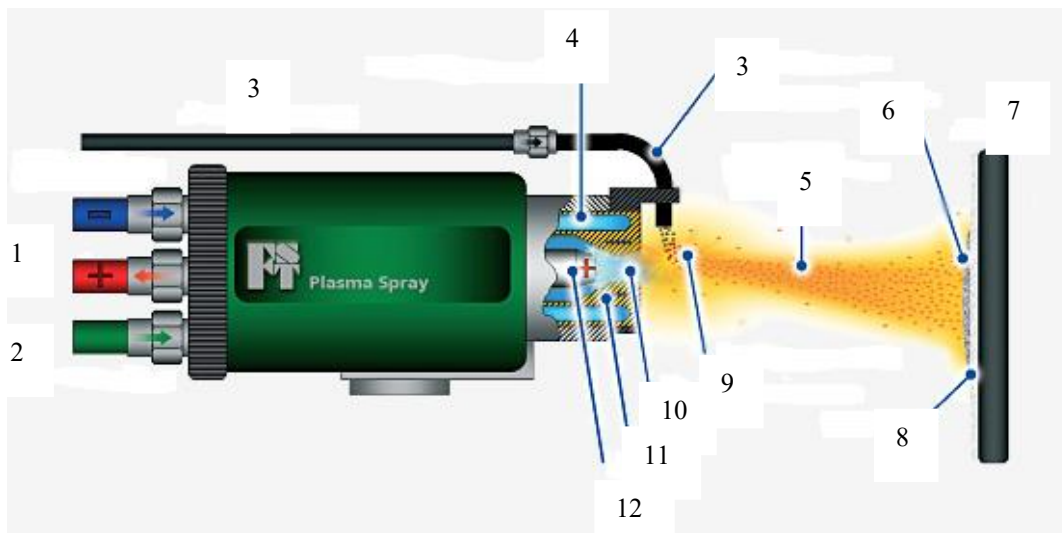


Рис. 4.1. Принципова схема процесу газоплазмового напилення:

1 – система підведення та відведення охолоджувальної води; 2 – канал подачі плазмоутворюючого газу; 3 – вузол подачі порошкового матеріалу; 4 – потік охолоджувальної води; 5 – зона прискорення розплавлених частинок; 6 – область співударяння частинок; 7 – підкладка (контакт-деталь); 8 – сформоване покриття; 9 – зона плавлення частинок; 10 – плазмовий струмінь; 11 – мідний анод; 12 – катод.

У перспективі планується розроблення плазмотронів потужністю 160...300 кВт, а також підвищення швидкості напилюваних частинок до 1000 м/с при забезпеченні продуктивності процесу на рівні 15...20 кг/год. Реалізація таких параметрів дозволить формувати покриття з міцністю до 150 МПа та густиною близько 96%.

Напилене покриття являє собою багатошаровий матеріал, сформований із сильно деформованих частинок, які з'єднуються між собою по контактних поверхнях за рахунок утворення локальних зварних зон діаметром D_x і площею F_x , що показано на рис. 4.2. При цьому зварні ділянки займають не всю площу контакту між окремими частинками, унаслідок чого показники міцності та густини напиленого шару є нижчими порівняно з аналогічними характеристиками суцільного матеріалу.

Міцність утворених зварних зон визначається кількістю осередків схоплювання, що виникають у межах площі F_x під час удару, пластичної деформації та подальшого затвердіння частинок. Значний вплив на цей процес має інтенсивність хімічної взаємодії матеріалів у зоні контакту.

У структурі покриття можна виділити окремі елементи, які характеризують особливості його формування та відокремлюються між собою поверхнями розділу з певними фізико-механічними властивостями. Межа між основою та покриттям 1 (рис. 4.2) визначає рівень міцності їх зчеплення, тобто міцність з'єднання покриття з основним матеріалом. Властивості самого покриття значною мірою залежать від міцності зв'язків між окремими частинками 3.

Зчеплення покриття з основою прийнято характеризувати терміном «адгезія», тоді як міцність взаємозв'язку частинок усередині покриття визначається поняттям «когезія». Межі між окремими шарами покриття, сформованими за один прохід розпилювача 2, виникають через різну тривалість витримки між нанесенням частинок у межах одного шару та між сусідніми шарами.

Під час пошарового нанесення поверхня попередньо сформованого шару встигає забруднюватися та окиснюватися, що ускладнює перебіг контактних процесів між нею і новими напиленими частинками. Саме це є основною причиною утворення міжшарових меж. Вказані особливості чітко спостерігаються на мікрошліфі плазмового покриття, наведеному на рис. 4.3.

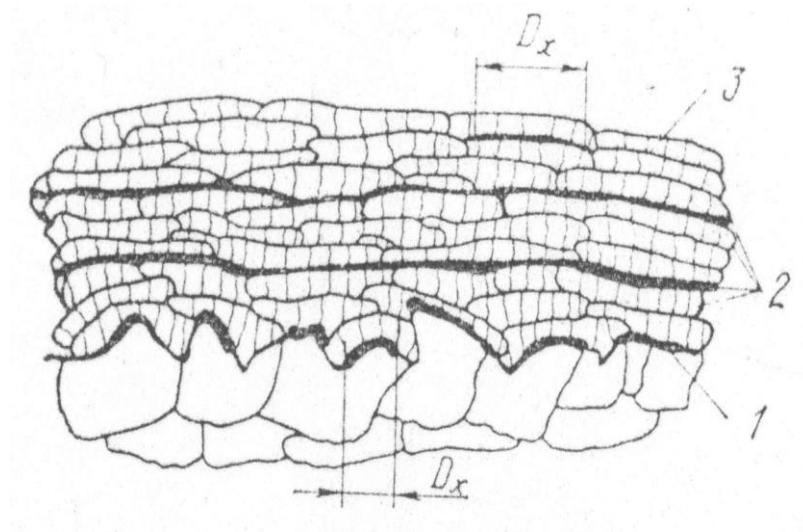


Рис. 4.2. Схематичне зображення структури газоплазмового покриття:

- 1 – межа розділу між покриттям та основою; 2 – межа між окремими шарами;
3 – межа (контактна поверхня) між частинками в межах шару.

Структура шару, сформованого за один прохід напилювача, характеризується неоднорідністю, що обумовлено відмінністю розмірів та швидкостей частинок у центральній і периферійній зонах двофазного потоку, який складається з газового середовища та твердих частинок.

Додатково спостерігається екранувальний вплив периферійних частинок на частинки центральної області потоку. Це пояснюється тим, що під час переміщення напилювача саме периферійні частинки першими контактують із поверхнею основи та осідають на ній, частково перешкоджаючи осадженню частинок із центральної зони.

Неоднорідність енергетичного стану частинок, а також відмінності їх геометричних розмірів негативно впливають на рівномірність формування покриття. Зменшення таких неоднорідностей досягається шляхом застосування відповідних технологічних заходів і оптимізації режимів газоплазмового напилення.

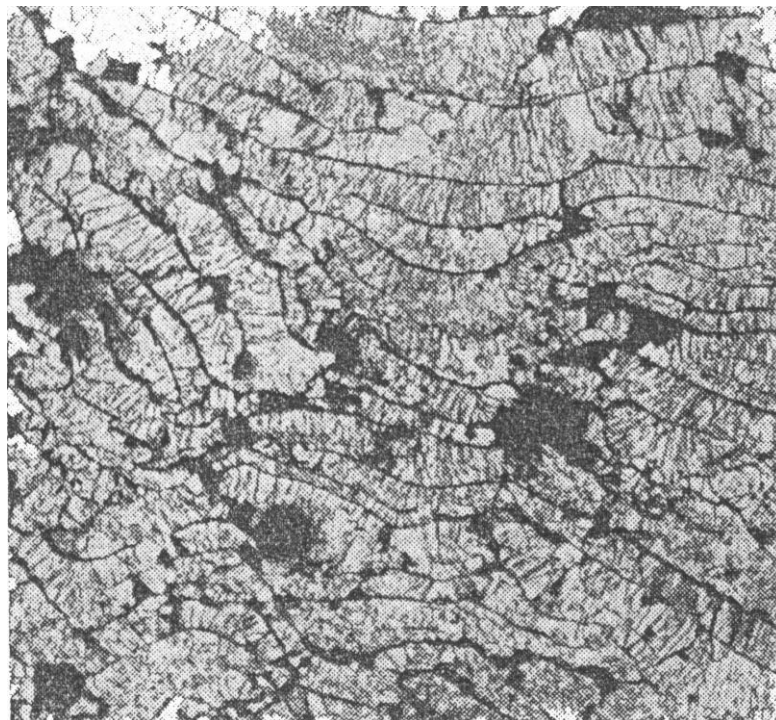


Рис. 4.3. Мікрошліф газоплазмового покриття.

Збільшення $\times 1000$. Матеріал $85\%Cu+10\%Mo+2\%MoO_3+1\%C+2\%Ni$.

Умови формування меж між окремими шарами та між частинками визначаються тривалістю їх перебування в атмосферному середовищі. Залежно

від геометричних розмірів і конфігурації напилюваної контакт-деталі, а також траєкторії переміщення розпилювача, часовий інтервал між нанесенням сусідніх шарів може становити декілька секунд. Така пауза на декілька порядків перевищує час взаємодії частинок у межах одного шару, сформованого за один прохід.

У проміжок часу між нанесенням окремих шарів на поверхні покриття відбуваються процеси абсорбції газів, окислення, а також осадження пилоподібних фракцій розпиленого матеріалу та продуктів його окислення.

Структурні особливості та властивості покриття значною мірою залежать від гранулометричного складу порошкового матеріалу. Зменшення розмірів порошкових частинок сприяє більш щільному формуванню покриття: підвищується його густина, зменшується кількість мікропустот, а структура стає більш однорідною. Для процесів газоплазмового напилення, як правило, використовують порошки з розміром частинок у межах 40...70 мкм.

Хімічна взаємодія в зоні контакту призводить до приварювання частинок, яке реалізується через утворення осередків схоплювання. Із збільшенням кількості таких осередків підвищується міцність зчеплення між частинками та основою.

Процес приварювання можливий лише за умови попереднього нагрівання основи до певної температури, яку позначають як T_x і визначають як температуру хімічної взаємодії. Дана температура відповідає такому стану поверхні контакту, при якому осередки схоплювання займають приблизно 50...70% площі контакту під частинкою. За таких умов хімічна взаємодія між частинкою та основою розвивається достатньо інтенсивно, а для відокремлення частинок необхідне прикладання значного механічного зусилля.

При температурі основи, нижчій за T_x , частинки легко відділяються від поверхні, оскільки хімічна взаємодія не досягає необхідного рівня розвитку.

Температура T_x , при якій забезпечується надійне зчеплення, характерна практично для всіх комбінацій матеріалів покриття та основи: чистих металів, сплавів, простих і складних хімічних сполук. Завдяки цьому методом напилення

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

можна формувати покриття з широкого спектра неорганічних матеріалів, здатних переходити в розплавлений стан.

Для різних пар матеріалів «покриття – основа» температура підігрівання основи може змінюватися у широкому діапазоні — від від’ємних значень до 1000°C і вище. Особливо ефективними для напилення є тугоплавкі метали, які здатні утворювати міцні покриття навіть при природному нагріванні основи, тобто за кімнатної температури.

Саме тому покриття з тугоплавких металів, зокрема молібдену, часто застосовують як проміжний шар, що наноситься на контактотримач перед формуванням основного покриття. Такий прошарок забезпечує підвищення міцності зчеплення між основою та основним функціональним покриттям.

Під час напилення в повітряному середовищі температура нагрівання металевих контакт-деталей обмежується їх стійкістю до окислення. Навіть за невисоких температур близько 20°C свіжа металева поверхня починає інтенсивно окиснюватися. Проте через певний проміжок часу швидкість окислення суттєво зменшується, і вже через декілька годин на поверхні формується оксидна плівка товщиною приблизно 2...5 нм. Такий процес зазвичай описується логарифмічною залежністю у функції часу.

При нагріванні металу вище критичної температури, що орієнтовно становить $100...300^{\circ}\text{C}$, швидкість росту оксидної плівки значно збільшується.

Товсті оксидні плівки перешкоджають утворенню міцного зчеплення металевих частинок з основою, оскільки створюють ізолюючий прошарок між поверхнями, що взаємодіють. Для мідних основ інтенсивне утворення оксидної плівки спостерігається при температурах понад $100...150^{\circ}\text{C}$.

Підвищення міцності приварювання частинок до основи зі збільшенням температури T_x пояснюється дією двох основних механізмів: збільшенням діаметра зони хімічної взаємодії D_x , у межах якої відбувається приварювання частинки до основи, а також підвищенням міцності самого контакту в межах цієї зони.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Граничним випадком першого механізму є приварювання частинки по всій площі її деформованої поверхні, коли виконується співвідношення $D_x/D = 1$ для розплющеної частинки діаметром D (рис. 4.4). Для другого механізму граничним станом є досягнення максимальної міцності зчеплення, величина якої наближається до міцності матеріалів, що з'єднуються.

Обидва зазначені процеси мають визначальне значення для технології формування високоякісних покриттів контакт-деталей комутаційних апаратів. Саме за рахунок розвитку хімічної взаємодії забезпечується висока міцність зчеплення покриття з основою.

4.2 Аналіз фізико-хімічних процесів руху і нагрівання часток у плазмовому потоці

Сукупність явищ, що відбуваються під час переміщення порошкової частинки від моменту її взаємодії з плазмовим струменем до контакту з підкладкою, доцільно поділити на чотири основні групи:

а) газодинамічні процеси, які визначають прискорення та гальмування частинки, впливають на тривалість її перебування в різних зонах потоку, а також формують запас кінетичної енергії в момент зіткнення з підкладкою;

б) процеси теплообміну, що супроводжуються фазовими перетвореннями (плавленням, випаровуванням тощо), у результаті яких частинка до моменту формування покриття набуває певного запасу теплової енергії;

в) процеси зміни хімічного складу напилюваного матеріалу, викликані термічним розкладанням, взаємодією поверхні частинки з компонентами навколишнього середовища (киснем, азотом та іншими газами), а також реакціями всередині частинки у випадку використання гетерогенних порошкових матеріалів;

г) морфологічні зміни порошкового матеріалу, обумовлені явищами розшарування при плавленні, зіткненні та руйнуванні частинок у запиленому газовому потоці.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Для аналізу механізму формування покриття важливе значення мають відомості про теплову та кінетичну енергію частинки, її геометричні параметри, форму та хімічний склад. Обґрунтування вибору математичних моделей і закономірностей, що застосовуються в теорії двофазних потоків, потребує детальної характеристики плазмового струменя з позиції умов руху газу та його взаємодії з дисперсною фазою.

Одним із визначальних критеріїв у даному випадку є число Рейнольдса Re . Розрахункові оцінки показують, що для різних режимів газоплазмового наплення значення Re перебуває в межах 0,5...22, що відповідає ламінарному режиму течії газу.

Враховуючи, що порошкова частинка взаємодіє з неізотермічним затопленим плазмовим струменем, який характеризується осьовими та радіальними градієнтами температури й швидкості, на частинку діє комплекс сил [15, 26]:

- сила аеродинамічного опору;– сила, обумовлена градієнтом тиску в потоці;
- сила приєднаної маси, що виникає внаслідок прискорення газового шару біля поверхні частинки;
- сила Басе, пов'язана з нестационарністю процесу та характером попереднього руху частинки;
- сила тяжіння;
- сила, обумовлена інерцією витісненого об'єму газу;
- сила термофорезу, спричинена температурним градієнтом у потоці;
- сила, викликана обертанням частинки внаслідок неоднорідності швидкості обтічного потоку.

У процесі формування плазмового покриття важливу роль відіграє не лише напилюваний матеріал, але й матеріал основи — контактотримача комутаційного апарата. Тому до факторів, що впливають на процес формування покриття, належать:

- хімічний склад матеріалу основи та його теплофізичні і фізико-хімічні характеристики;
- стан поверхні основи (ступінь шорсткості, наявність оксидних і забруднювальних плівок, температура нагрівання тощо);
- теплова дія плазмового газового струменя на поверхню основи.

Таким чином, процес формування покриття являє собою складний комплекс взаємопов'язаних фізичних, механічних і хімічних явищ, від перебігу яких залежить отримання покриття із заданими експлуатаційними характеристиками.

Феноменологічний аналіз процесів, що відбуваються під час відновлення контактів комутаційних апаратів, дозволяє виділити такі основні явища [15, 17, 26]: удар частинки об поверхню; деформацію частинки; теплові процеси в зоні контакту; виникнення сил зчеплення між частинкою та контактною поверхнею; встановлення теплової рівноваги системи «покриття – основа – навколишнє середовище»; формування залишкових напружень.

Перелічені процеси відбуваються практично одночасно та значною мірою взаємно накладаються один на одного.

Розглянемо розвиток контактних процесів при ударі та затвердінні частинок на поверхні основи, температура якої поступово підвищується. Експериментальні дослідження виконувалися на модельному матеріалі — сріблі. Використання срібла обумовлено його низькою схильністю до окислення під час експериментів, а також високою пластичністю, завдяки якій осередки захоплення після відриву частинки мають чітко виражений рельєф.

На рис. 4.4 видно поверхню основи після механічного видалення привареної частинки. У місцях формування осередків захоплення залишаються сліди металу, вирваного з частинки, що проявляються у вигляді світлих виступів.

Дослідження, проведені за допомогою растрового електронного мікроскопа, показали, що розміри осередків захоплення на металевих поверхнях становлять приблизно 200...700 нм. У міру розвитку контактної

взаємодії кількість осередків збільшується, а при досягненні високої міцності зчеплення вони практично зливаються між собою, займаючи майже всю центральну область D_x деформованої частинки.

Діаметр зони хімічної взаємодії D_x зазвичай дещо перевищує діаметр напиленої частинки d , тобто $D_x > d$. Це пояснюється тим, що максимальний тиск під час удару та деформації реалізується в центральній області контакту. У периферійних ділянках тиск менший, тому краї частинки приварюються менш інтенсивно.

Однак при значному нагріванні основи або перегріванні частинки температурний фактор компенсує недостатність механічного тиску, унаслідок чого приварювання може відбуватися практично по всій площі деформованої частинки, тобто $D_x \approx D$.

У процесі послідовного накладання частинок формується суцільний шар покриття. Якщо когезійна міцність між частинками перевищує адгезійну міцність між покриттям і основою, руйнування покриття при відриві відбувається по межі «основа – частинка».

Аналіз процесів удару та деформації частинок дозволив зробити важливий висновок: взаємний тепловий вплив між окремими частинками під час газоплазмового напилення є незначним. Імовірність попадання нової розплавленої частинки на ще не затверділу частинку, нанесену раніше, є дуже малою і може не враховуватися при аналізі процесу.

Це суттєво спрощує дослідження механізму формування покриття, дозволяючи розглядати процес як сукупність окремих актів контактної взаємодії індивідуальних частинок.

Більшість сучасних дослідників дотримуються гіпотези, згідно з якою основний внесок у формування сил зчеплення при напиленні забезпечується міжатомними зв'язками. Водночас визнається наявність механічного зачеплення та міжмолекулярної взаємодії, тому механізм зчеплення носить комплексний характер.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Відповідно до сучасних уявлень процес взаємодії частинки з поверхнею умовно поділяють на три основні стадії:

1. утворення фізичного контакту;
2. активація контактних поверхонь та формування міжатомних хімічних зв'язків на межі розділу;
3. розвиток об'ємної взаємодії, що включає релаксацію мікронапружень, рекристалізацію, гетеродифузію та утворення нових фаз.

У всіх випадках вирішальне значення має процес деформації та розтікання частинки, який забезпечує формування фізичного контакту з поверхнею основи.

Ступінь деформації частинки та якість сформованого контакту визначаються багатьма факторами: тепловою і кінетичною енергією частинок, фізичними властивостями розплаву (в'язкістю, теплоємністю, теплопровідністю, поверхневим натягом тощо), а також станом поверхні основи.

На нашу думку, найбільш повільною і, відповідно, лімітуючою стадією процесу газоплазмового напилення є активація поверхні основи. Стадія утворення фізичного контакту внаслідок деформації та розтікання частинки, а також подальші процеси перерозподілу електронної густини і перегрупування атомів протікають значно швидше.

У процесі газоплазмового напилення стадія активації поверхні основи включає три послідовні фази:

1. локальне зниження активаційного енергетичного бар'єру поверхні під дією ударного тиску частинки, що супроводжується пружними викривленнями кристалічної решітки та пластичною деформацією;
2. перехід групи атомів у локальній області в активований стан за рахунок внутрішньої енергії теплових коливань, тобто термічна активація;
3. розпад активованого комплексу, у результаті якого залежно від напруженого стану утворюється нова атомна конфігурація — осередок взаємодії, або відновлюються початкові поверхневі зв'язки.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

У граничному випадку активований стан може відповідати повному розриву міжатомних зв'язків поверхневих атомів, тобто процесу руйнування матеріалу. На цій основі формується уявлення про спільну природу процесів руйнування та з'єднання твердих матеріалів.

Оскільки процес руйнування має термомеханічний характер, активація матеріалу основи під час газоплазмового напилення також розглядається як термомеханічний процес.

4.3 Формування покриття та міцність зчеплення шарів в процесі напилювання

У процесі газоплазмового напилювання на формування покриття та його кінцеві експлуатаційні характеристики прямо або опосередковано впливає значна кількість технологічних і конструктивних факторів. За даними різних досліджень, кількість таких факторів може становити від 20 до 60 [15, 16, 28]. У зв'язку з цим особливого значення набуває, з одного боку, вибір основних показників, що характеризують процес формування покриття, а з іншого — визначення найбільш суттєвих та лімітуючих факторів із загальної їх сукупності.

Основні фактори, що впливають на процес формування покриття, доцільно поділити на декілька груп.

1. Фактори, пов'язані з конструкцією плазмотрона та допоміжного обладнання для напилювання. До них належать: конфігурація та довжина каналу плазмотрона, діаметр вихідного сопла, розташування точки введення порошкового матеріалу та кут його подачі в плазмовий струмінь, діаметр каналу подачі порошку, витрата і тиск охолоджувальної води, а також режими роботи системи газового охолодження напилюваної контакт-деталі.

2. Фактори, що визначаються характеристиками напилюваного матеріалу. До цієї групи належать: тип матеріалу (порошок або дріт), його хімічний склад,

форма та розміри порошкових частинок або дроту, а також фізико-хімічні та теплофізичні властивості матеріалу.

3. Фактори, пов'язані з конструктивними особливостями контакт-деталі та властивостями матеріалу контактотримача. Серед них: товщина та кривизна поверхні напилювання, наявність кромок, пазів та інших конструктивних елементів, а також хімічний склад, механічні та теплофізичні характеристики матеріалу основи.

4. Фактори, пов'язані з попередньою підготовкою контактотримача до нанесення покриття. До них належать ступінь шорсткості поверхні, методи очищення, а також попереднє підігрівання основи перед напилюванням.

5. Фактори, що характеризують режим роботи плазмотрона. До цієї групи входять сила струму, напруга дуги, вид та витрата плазмоутворюючого і транспортуючого газів, а також витрата порошкового матеріалу або швидкість подавання дроту.

6. Фактори, які визначають умови взаємного переміщення плазмотрона та напилюваної контакт-деталі. До них належать дистанція напилювання, кут нахилу плазмотрона відносно поверхні, характер і швидкість взаємного переміщення плазмотрона та контактотримача, а також кількість проходів плазмотрона під час формування покриття.

Проведені дослідження впливу окремих факторів на товщину та якість покриття показали, що в більшості випадків відповідні залежності мають екстремальний характер (рис. 4.4). Це свідчить про наявність оптимальних значень технологічних параметрів, відхилення від яких призводить до погіршення властивостей сформованого покриття.

У зв'язку з великою кількістю взаємопов'язаних факторів та складністю їх впливу оптимізація процесу газоплазмового напилювання є складною багатопараметричною задачею, що потребує комплексного підходу до вибору режимів обробки та конструктивних параметрів обладнання.

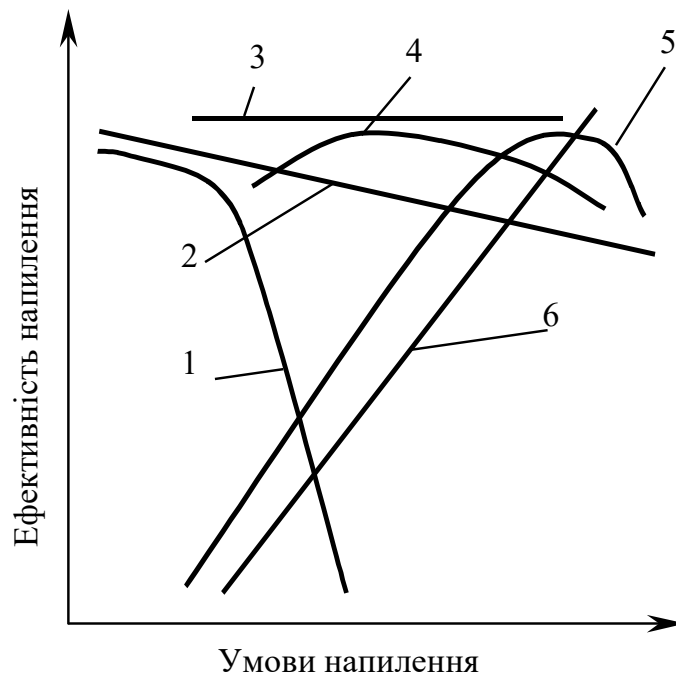


Рис. 4.4. Залежність ефективності напильовання від параметрів процесу:

1 – дистанція напильовання; 2 – витрата порошкового матеріалу; 3 – швидкість переміщення контакт-деталі; 4 – витрата транспортуючого газу; 5 – витрата робочого газу; 6 – підведена потужність.

Якість сформованого покриття значною мірою визначається режимами газоплазмового напильовання. Розроблені останніми роками математичні моделі руху та нагрівання частинок у процесі формування газоплазмових покриттів [29, 30] дозволили виконати аналітичну оцінку впливу технологічних параметрів на характеристики покриття.

Міцність зчеплення є однією з найважливіших експлуатаційних характеристик, що визначає якість покриття. Результати численних досліджень працездатності виробів із захисними покриттями свідчать про те, що, незважаючи на безпосередній вплив зовнішнього середовища на поверхню покриття, особливо у випадку контактів комутаційних апаратів, які експлуатуються в умовах тваринницьких приміщень, основною причиною руйнування покриттів є недостатня міцність зв'язку між матеріалом покриття та основою [6, 18].

Ключовою характеристикою процесу формування покриття є температура, що виникає в зоні контакту напильованої частинки з поверхнею

основи. Як правило, зі збільшенням температури, контактного тиску та тривалості їх дії підвищується ступінь активації поверхні основи й інтенсивність хімічної взаємодії матеріалів.

Разом з тим, підвищення температури та швидкості частинок не завжди забезпечує інтенсифікацію процесу взаємодії. Це пов'язано з можливим розвитком явищ струменевого розтікання та руйнування розплавлених частинок при їх співударянні. Саме тому оптимізацію режимів газоплазмового напилювання здійснюють із урахуванням критерію недопущення розвитку процесів струменевого розтікання частинок.

Перегрівання напилюваних частинок вище температури плавлення $T_{пл}$ сприяє підвищенню міцності їх зчеплення з основою та збільшенню площі зони хімічної взаємодії. Підвищення міцності пояснюється тим, що перегрів частинок приводить до зростання контактної температури, внаслідок чого процес хімічної взаємодії суттєво прискорюється.

Таким чином, нанесення покриттів доцільно здійснювати розплавленими частинками, які за можливості повинні бути нагріті до максимально допустимої температури.

Важливим чинником підвищення якості покриття є також збільшення швидкості руху напилюваних частинок. Підвищення швидкості сприяє інтенсифікації фізико-хімічних процесів у зоні контакту, що забезпечує зростання міцності зчеплення та покращення інших експлуатаційних характеристик покриття.

Ще одним важливим показником ефективності нанесення покриття газоплазмовим методом є η — коефіцієнт використання порошку (КВП), який визначається як відношення маси сформованого покриття m_p до маси порошкового матеріалу m_r , поданого в плазмовий струмінь.

Даний показник також називають ефективністю напилювання або коефіцієнтом відкладання. Він характеризує не лише економічність процесу нанесення покриття, але й використовується як критерій оптимізації

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						54
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

технологічного процесу, оскільки максимальні значення η у багатьох випадках відповідають найкращим показникам якості сформованого покриття.

Для випадку нагрівання порошкового матеріалу в аргоновому плазмовому струмені при використанні плазмотрона установки УМП-5-68 отримаємо:

$$\eta = \frac{m_n}{m_p} = KBП = \left[1,555 - 3,68 \cdot 10^9 \frac{V_z^3 \cdot d_q^2 \cdot D}{(I \cdot U \cdot \eta_m)^2} \right]^2. \quad (4.1)$$

В табл. 4.1 наведені дані фірми “АВКО” (США) за витратою і коефіцієнтом використання порошку при газоплазмовому напилюванні з використанням різноманітних газів.

Таблица 4.1

Витрата порошку [кг/год] (чисельник) і коефіцієнт його використання (знаменник) при газоплазмовому напиленні (дані фірми “АВКО”)

Матеріал (склад, % мас.)	Клас крупності порошку	Плазмоутворюючий газ			
		Ar	Ar+H ₂	N ₂	N ₂ +H ₂
1	2	3	4	5	6
1. Алюміній	Крупний	1,68/0,78	2,13/0,72	2,08/0,70	1,90/0,64
2. Вольфрам	Крупний	4,30/0,63	3,53/0,51	8,56/0,64	8,79/0,65
	Дрібний	3,99/0,67	-/-	-/-	-/-
3. Мідь	Крупний	4,98/0,65	5,8/0,73	4,67/0,60	4,89/0,63
	Дрібний	3,71/0,63	3,71/0,74	-/-	-/-
4. Молібден	Крупний	2,36/0,88	1,36/0,50	7,75/0,81	8,06/0,84
5. Нікель	Крупний	3,90/0,71	7,11/0,87	5,57/0,68	5,25/0,64
6. Ніхром	Крупний	3,71/0,71	4,85/0,92	4,30/0,80	3,67/0,69
7. Нікелевий самофлюсуючий сплав (78%Ni+10%Cr+2,5%B)	Крупний	1,50/0,73	1,81/0,93	1,68/0,81	1,72/0,84
8. Нікелевий самофлюсуючий сплав (70%Ni+17%Cr+3,7%B)	Крупний	1,95/0,79	1,95/0,79	2,17/0,88	2,17/0,88
9. Монель-метал (69%Ni+28Cu)	Крупний	5,21/0,76	4,89/0,71	5,12/0,74	3,99/0,59
10. Оксид алюмінію	Середній	2,49/0,60	1,90/0,57	1,90/0,57	3,08/0,94
	Дрібний	0,91/0,75	1,36/0,97	1,09/0,75	1,09/0,75
11. Оксид алюмінію- діоксид титану (97,5%Al ₂ O ₃ +2,5%TiO ₂)	Дрібний	1,09/0,75	0,86/0,58	0,59/0,38	0,95/0,62

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
12. Діоксид цирконію	Середній	1,0/0,55	1,27/0,54	2,27/0,62	2,67/0,59
	Дрібний	1,36/0,63	1,04/0,48	0,95/0,43	1,22/0,59
13. Силікат цирконію (циркон)	Середній	2,90/0,78	1,27/0,57	1,90/0,43	-/-
14. Карбід вольфраму (80%WC+20%Co)	Крупний	2,36/0,52	6,39/0,52	6,57/0,54	6,39/0,52
	Середній	7,47/0,75	9,01/0,65	8,06/0,58	7,84/0,57
	Дрібний	2,85/0,71	-/-	-/-	-/-
15. Композиційний порошок “нікель-оксид алюмінію” (20%Ni+80%Al ₂ O ₃)	Середній	2,04/0,60	2,08/0,63	2,31/0,71	2,27/0,70
16. Композиційний порошок “нікель-карбід титану” (45%Ni+55%TiC)	Середній	3,22/0,72	3,17/0,76	-/-	-/-
17. Механічна суміш “карбід вольфраму-нікелевий самофлюсуючий сплав” (66%WC+34%NiCrBSi)	Дрібний	2,54/0,75	-/-	-/-	-/-
18. Композиційний порошок “нікель-графіт” (75%Ni+25%C) (85%Ni+15%C)	Крупний	1,22/0,74	-/-	-/-	-/-
	Крупний	1,59/0,74	-/-	-/-	-/-
19. Композиційний порошок 85%Cu+10%Mo+2%MoO ₃ +1%C+2%Ni	Крупний	2,58/0,73	-/-	-/-	-/-
	Дрібний	2,25/0,68	-/-	-/-	-/-

Процес плазмового розпилення доцільно здійснювати за мінімальних витрат питомої електричної енергії, необхідної для плавлення, перегрівання та часткового випаровування металевго матеріалу. Ентальпія напилюваних частинок регулюється шляхом зміни питомої потужності дуги P_n .

У практиці газоплазмового напилення значення питомої потужності дуги змінюється у широкому діапазоні та, як правило, становить 2000...10000 кДж/кг. Із підвищенням P_n зростають втрати перегрітого металу на випаровування, а також збільшується ймовірність розбризкування розплавленого матеріалу в процесі формування покриття.

Разом з тим, підвищення ентальпії та температури частинок позитивно впливає на якість газоплазмового покриття (рис. 4.5). Експериментальні

дослідження показали, що при газоплазмовому напиленні мідного порошку збільшення питомої потужності дуги R_p від 3000 до 8500 кДж/кг за умови постійної подачі порошкового матеріалу приводить до підвищення температури напилюваних частинок від 1173 до 2173 К.

Обрана потужність плазмотрона R_p визначає не лише продуктивність процесу, але й ентальпію плазмового струменя та енергетичний стан частинок. При цьому ефективний коефіцієнт корисної дії процесу розпилення повинен перебувати в межах 0,70...0,85.

Потужність електричної дуги визначається величинами струму та напруги. Напруга дуги, як правило, є нерегульованим параметром, тому необхідне значення потужності встановлюється безпосередньою зміною сили струму дуги.

У практичних умовах газоплазмового напилення застосовують плазмотрони потужністю 5...20 кВт при силі струму 80...600 А та напрузі дуги 18...35 В.

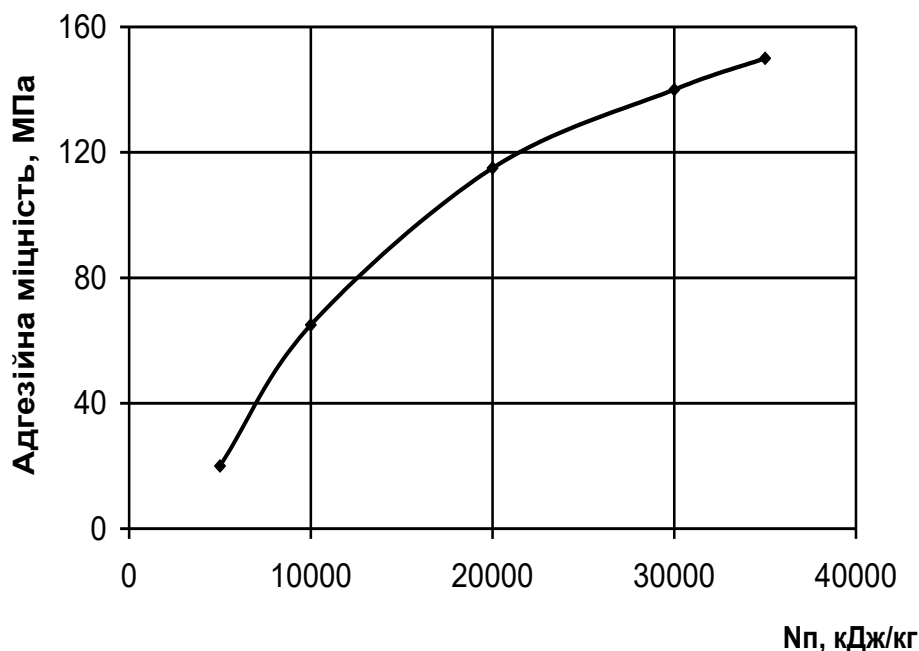


Рис. 4.5. Вплив питомої потужності дуги плазмотрону N_n на адгезійну міцність $F_{зч}$.

4.4 Способи поліпшення якості покриття при газоплазмовому напилюванні

Для забезпечення високої міцності зчеплення газоплазмових покриттів з основою технологічний процес їх нанесення повинен відповідати двом основним умовам: по-перше, створювати передумови для ефективної хімічної взаємодії напилених частинок з поверхнею основи, а по-друге, забезпечувати максимально можливу релаксацію внутрішніх напружень у зоні з'єднання. Реалізація цих умов досягається шляхом застосування комплексу спеціальних технологічних прийомів і методів.

Розроблені теоретичні підходи до аналізу механізму утворення сил зчеплення між напиленими частинками та поверхнею основи дозволили сформулювати низку рекомендацій щодо підвищення міцності з'єднання плазмових покриттів з основою. Переважна більшість таких заходів спрямована на інтенсифікацію міжатомної взаємодії в процесі формування покриття. Практична реалізація цих методів приводить або до підвищення температури контакту T_k , або до зменшення енергії активації міжатомної взаємодії.

На якість покриття при газоплазмовому напилюванні істотно впливають такі технологічні операції:

- підготовка порошкових матеріалів;
- підготовка поверхні основи перед напилюванням;
- вплив на процес формування та міцність зчеплення безпосередньо під час напилювання;
- подальша обробка газоплазмових покриттів.

У сучасних установках плазмового напилювання (додаток Б) отримання якісних металевих покриттів забезпечується при використанні вузьких фракцій порошоків із розмірами частинок 40...80 мкм. Для керамічних матеріалів, особливо оксидних композицій, спостерігається тенденція до застосування більш дрібнодисперсних порошоків із розмірами частинок близько 10 мкм.

Аналіз сучасних уявлень про механізм взаємодії напилених частинок з основою дозволяє сформулювати такі висновки:

1. Хімічна взаємодія між напиленими частинками та поверхнею основи значною мірою визначає міцність зчеплення газоплазмових покриттів. Кінетика даного процесу лімітується стадією активації поверхні основи.

2. Наявні експериментальні дані щодо міцності зчеплення газоплазмових покриттів недостатньо повно відображають основні закономірності формування з'єднання матеріалів у процесі напилювання.

3. На сьогодні відсутні достатньо обґрунтовані кількісні оцінки впливу стану поверхні основи — дислокаційної структури, рівня внутрішніх напружень, наявності поверхневих плівок тощо — на міцність зчеплення покриттів.

На нашу думку, найбільш перспективним підходом до дослідження процесів газоплазмового напилювання є поєднання поглибленого теоретичного аналізу фізико-хімічних явищ, що супроводжують формування покриттів контакт-деталей, із застосуванням методів регресійного аналізу та математичного моделювання.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Визначення категорій та класів виробничих приміщень

Рівень безпеки виробничого персоналу та сільськогосподарських тварин значною мірою залежить від кваліфікації електротехнічного персоналу та належного виконання вимог електробезпеки під час монтажу, технічного обслуговування й експлуатації електроустановок.

Питання охорони праці тісно пов'язані із забезпеченням пожежної безпеки та блискавкозахисту, оскільки пожежі на виробничих об'єктах і грозові розряди становлять небезпеку не лише для матеріальних цінностей, але й для життя та здоров'я людей.

З урахуванням фактичного стану охорони праці в господарстві у проєкті передбачено комплекс заходів, спрямованих на усунення небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Зокрема, вибрано необхідні засоби індивідуального захисту, виконано розрахунок заземлювального пристрою споживчої трансформаторної підстанції, розроблено систему блискавкозахисту СТС ЕО, а також підібрано первинні засоби пожежогасіння.

На даний час у господарстві приділяється значна увага питанням охорони праці, створенню безпечних та комфортних умов праці й відпочинку працівників.

На кожному виробничому об'єкті призначаються відповідальні особи за дотримання правил техніки безпеки.

Працівники, діяльність яких пов'язана з використанням шкідливих речовин, проходять періодичні медичні огляди. Персонал забезпечується спеціальним одягом та необхідними засобами індивідуального захисту. Разом із тим, випадки порушення вимог техніки безпеки все ще мають місце, що іноді призводить до виробничого травматизму та зниження працездатності працівників.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

У зв'язку з цим у господарстві необхідно посилити увагу до питань охорони праці, організації навчання персоналу та підвищення контролю з боку відповідальних осіб за дотриманням вимог техніки безпеки під час виконання виробничих процесів.

Станція технічного сервісу (СТС ЕО) включає виробничі та побутові приміщення, які загалом забезпечують належні умови праці та відпочинку персоналу.

Характеристика виробничих приміщень станції за вибухо- та пожежонебезпекою, ступенем вогнестійкості та небезпекою ураження електричним струмом наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Категорії приміщень, виробництв, класи виробничих зон та санітарний клас станції технічного сервісу

Найменування приміщення	Площа, м ²	Категорія приміщень			
		за умовами навколишнього середовища	за ступенем ураження ел.струмом	за ступенем вогнестійкості	за надійністю електропостачання
Бокс для стоянки автомобіля	54,1	сухе	без підвищеної безпеки	В	ІІІ
Дільниця фарбування	11,5	сухе	без підвищеної безпеки	А	ІІ
Дільниця просочування і сушіння	17,6	сухе	з підвищеною небезпекою	А	ІІ
Склад	34,7	сухе	без підвищеної безпеки	В	ІІ
Ремонтно монтажна дільниця	67,3	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ
Дільниця заготівлі конструкцій	35,5	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ
Кабінет майстра	9,3	сухе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
Венткамера	56,0	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ
Електрощитова	10,0	сухе	з підвищеною небезпекою	В	ІІ

Побутові приміщення:					
- кімнати спецодягу	18,0	сухе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
- душова	5,25	особливо вологе	з підвищеною небезпекою	Д	ІІІ
- тамбур	10,4	сухе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ
- санвузол	9,0	вологе	без підвищеної безпеки	Д	ІІІ

За технологією виконуваних робіт персонал СТС ЕО має справу з такими агресивними речовинами як кислота, луг, сульфат свинцю (при обслуговуванні та ремонті акумуляторних батарей), а також розчинниками, лаками та емалями (при ремонті електродвигунів і пускозахисної апаратури).

Характеристика окремих виробничих приміщень щодо можливої дії шкідливих та небезпечних факторів на людину наведена у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Перелік небезпечних та шкідливих виробничих чинників на станції

Найменування приміщень	Небезпечні та шкідливі виробничі чинники						
	рухомі машини та механізми	висока загазованість	високий рівень шуму	висока вологість повітря	хімічні та токсичні речовини	фізичні перевантаження персоналу	високий рівень напруги в електромережі
Дільниця просочування та сушіння	-	+	-	+	+	+	+
Дільниця фарбування	-	+	-	+	+	+	+
Ремонтно-монтажна дільниця	+	+	+	-	-	+	+
Витратний склад	-	-	-	-	-	-	-
Дільниця заготівлі конструкцій	+	+	+	-	-	+	+

5.2 Розробка комплексу заходів щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих чинників

5.2.1 Організаційні та технічні заходи щодо усунення небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Передбачені у проекті організаційно-

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						62
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

технічні заходи спрямовані на зниження рівня небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також на забезпечення безпечних умов праці персоналу під час експлуатації технологічного та електротехнічного обладнання.

До основних заходів, передбачених проектом, належать:

- захист працівників від контакту з рухомими та обертовими частинами машин і механізмів шляхом встановлення спеціальних захисних огорожень;
- запобігання виникненню вибухонебезпечних ситуацій у приміщеннях просочування, сушіння та фарбування за рахунок застосування вибухозахисних світильників і прокладання електропроводки у сталевих трубах;
- видалення з виробничих приміщень шкідливих газів, випарів та пилу, а також забезпечення надходження свіжого повітря шляхом облаштування припливно-витяжної вентиляції з використанням витяжних і припливних вентиляторів;
- захист будівлі від прямих ударів блискавки шляхом встановлення блискавкоприймальної сітки на покрівлі споруди;
- захист персоналу від ураження електричним струмом за рахунок виконання захисного заземлення та занулення металевих неструмовідних частин електрообладнання, а також застосування електрозахисних засобів;
- забезпечення необхідного рівня пожежної безпеки шляхом оснащення приміщень пожежними кранами та вогнегасниками відповідного типу;
- створення належних умов праці на робочих місцях завдяки встановленню систем місцевого освітлення.

5.2.2 Вибір індивідуальних засобів захисту.

Безпечне виконання робіт працівниками енергетичної служби господарства забезпечується не лише впровадженням організаційних і технічних заходів, але й використанням ефективних засобів індивідуального захисту.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						63
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Потребу у захисних засобах, спеціальному одязі, взутті та інших засобах індивідуального захисту визначають з урахуванням чисельності обслуговуючого персоналу, кількості виробничих дільниць та специфіки виконуваних робіт [20]. Також необхідна кількість засобів захисту визначається залежно від форми організації обслуговування електрообладнання та типу захисних засобів, обсягу робіт з технічного обслуговування електрообладнання в умовних одиницях, кількості встановлених електродвигунів тощо.

Результати виконаних розрахунків наведені в табл. 5.3.

5.3 Пожежна безпека

На підставі аналізу категорій виробництва та виробничих приміщень за вибухо- і пожежонебезпекою проектом передбачено застосування комплексу технічних рішень, спрямованих на мінімізацію ймовірності виникнення пожеж та вибухів.

Для своєчасного виявлення і ліквідації осередків займання проектом передбачено:

- встановлення у виробничих приміщеннях комбінованих пожежних сповіщувачів, які реагують на підвищення температури;
- обладнання приміщень спеціальними ящиками для зберігання використаного обтирального матеріалу та ганчір'я;
- розміщення вимикачів у найбільш пожежонебезпечних приміщеннях на зовнішніх стінах;
- автоматичне вимикання електрообладнання у разі виникнення пожежі.

Крім того, проектом передбачено можливість автоматичного та дистанційного вимикання вентиляційних систем у випадку пожежі, а також блокування вмикання зварювального і зарядного обладнання без попереднього запуску вентиляційної системи.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						64
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розрахунок необхідної кількості захисних засобів на один рік для СТС ЕО

Назва захисних засобів	Марка, тип	Кількість
1. Показчик напруги комбінований	УНК-0,4	4
2. Показчик напруги понад 1000 В у комплекті з універсальною штангою	УВНБУ-6-35	1
3. Сигналізатор напруги індивідуальний касковий	СНИК 6 - 10	2
4. Ізолювальні кліщі	КИ-1000	3
5. Струмовимірювальні кліщі	Ц-4501	3
6. Килимки діелектричні	-	4
7. Переносне захисне заземлення	ПЗЗ-1,5	2
8. Переносне захисне заземлення для ПЛ напругою до 1 кВ, виконаних самоутримними ізольованими проводами(СПП)	ЗПЛ-1 СИП	2
9. Монтерські лази	КЛМ-1	2
10. Запобіжний монтерський пояс з сумкою електромонтера	ПМ-НЛЖ	2
11. Рукавички діелектричні безшовні		4 пари
12. Діелектричні калоші	-	4 пари
13. Комплект інструменту із ізольованими рукоятками до 1000 В	КСИ-2	4
14. Попереджувальні плакати та знаки безпеки для електроустановок	-	по 4 кожного знаку

Результати розрахунку потрібної кількості засобів пожежогасіння наведено в табл. 5.4.

Проводиться розрахунок необхідної кількості води:

$$Q = \frac{3600 \cdot g \cdot t_n}{1000} \quad (5.2)$$

де t_n - тривалість пожежі;

g - витрати води на 1 пожежу, $g = 10$.

$$Q = \frac{3600 \cdot 10 \cdot 1}{1000} = 360 \text{ м}^3.$$

На території розташована пожежна водойма об'ємом 500 м³. Під'їзд до будівлі забезпечений в будь - яку пору року. Для евакуації людей передбачено запасні виходи.

Розрахунок потрібної кількості засобів пожежогасіння

Найменування засобу пожежогасіння	Тип, марка	Кількість	Місце встановлення
Пінні вогнегасники	ОХП	3	біля входу в майстерню на щиті
Ящики з піском, багри, лопати		2	
Хімічні, пінні вогнегасники	ОХП	3	приміщення кувальні, електрозварна
Ящики з піском, лопати		2	
Вогнегасник	ОХП	3	дільниця миття
Вогнегасник хімічний	ОХП	2	аккумуляторна
Вогнегасник кислотний	ОУ-5	2	
Вогнегасник хімічний	ОХП	2	дільниця фарбування
Ящики з піском, лопата		2	

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи розроблено основні технічні рішення щодо підвищення енергоефективності обладнання та електрифікації технологічних процесів станції технічного сервісу. Виконано вибір апаратів керування і захисту, зокрема електромагнітного пускача типу ПМЛ, електротеплового реле типу РТЛ, автоматичного вимикача ВА47Г-29-34, а також комплектних пристроїв керування типу ПР8501. Крім того, сформовано основні положення електротехнологічного комплексу для відновлення контактних систем електричних апаратів.

Проведено перевірку параметрів електродвигунів приводів технологічного обладнання станції технічного сервісу енергообладнання та обґрунтовано вибір асинхронного електродвигуна серії 5А.

Проектом передбачено виконання освітлювальної мережі кабелем типу АВРГ, прокладеним на тросі. Як освітлювальний щиток прийнято щит типу ОЩВ 25-6, укомплектований автоматичними вимикачами ВА47-29-12.

Встановлено, що на якість газоплазмового покриття суттєво впливають теплова та кінетична енергія частинок порошкового матеріалу, їх геометричні розміри, форма та хімічний склад. До основних чинників, що визначають процес формування металевого покриття, належать конструктивні особливості плазмотрону, фізико-хімічні й теплофізичні характеристики матеріалів, а також гранулометричний склад і форма порошку або проводу.

Показником ефективності процесу напилювання є коефіцієнт використання порошку η , який визначається як відношення маси сформованого покриття m_n до маси порошкового матеріалу m_p , що подається у газовий струмінь.

Для електрообладнання станції визначено обсяги робіт з технічного обслуговування та ремонту, а також розраховано необхідну чисельність обслуговуючого персоналу. На основі отриманих результатів складено графіки технічного обслуговування і поточного ремонту енергетичного обладнання виробничих об'єктів.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						67
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Закон України «Про ринок електричної енергії». В редакції від 29 грудня 2019 року, підстава №394-IX. Відомості Верховної Ради, 2017, № 27-28, ст.312.

2 Закон України «Про енергозбереження». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, №15, ст.126).

3 Закон України №555-IV від 20.02.2003 р. «Про альтернативні джерела енергії».

4 ДБН А.2.2. –1 – 2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище(ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.

5 ДБН А.2.2. –3 – 2012 Склад та зміст проектної документації.

6 ДБН В.2.5. – 23 – 2003. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Державний комітет України з будівництва та архітектури. – К.: 2004. – 128 с.

7 ДБН В.2.5-27-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

8 Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Харків: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.

9 ДНАОП 0.00.–1.32–01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок.–К.: ПП «Фірма Гранмна», 2001.–117 с.

10 Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 91 від 13.02.2012 та № 905 від 16.11.2012) Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 березня 2012 р. за № 350/20663.

11 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказ Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 №4. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10.02.98 за № 93/2533ДНАОП 0.00.–1.32–01.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						68
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ПП „Фірма Гранмна”, 2001. – 117 с.

12 Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий / Госагропром СССР. - М.: ВО Агропромиздат, 1987. - 191 с.

13 Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. 2-е вид., перероб. і доп. / Г.Б.Іноземцев, В.В.Козирський, М.Т.Лут, І.П.Радько, О.Ю. Синявський. – К.: Вид – во ТОВ «АграрМедіаГруп», 2014. – 526 с.

14 Лут М.Т. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ / М.Т.Лут, О.В.Мірошник, І.М.Трунова. – Харків, Факт, 2008. – 438 с.

15 Безпека праці в сільських електроустановках: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / М.Т.Лут, І.П.Радько, В.Г.Тракай, А.І.Чміль. – К.: Вид – во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 430 с.

16 Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник / Б.В.Клименко. – Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.

17 Червінський Л.С. Электричне освітлення та опромінення: Посібник / Л.С.Червінський, Л.О.Сторожук. – К.: Вид–во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 214с.

18 Пускачі електромагнітні низьковольтні. Загальні технічні умови ГОСТ 2491 – 82 (СТ СЭВ 5535-86). – [Чинний від 1984–01–01], –М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 23 с. – (Міждержавний стандарт).

19 Контактори електромагнітні низьковольтні. Загальні технічні умови. ДСТУ 2846-94 (ГОСТ 11206-93). – [Чинний від 1996–01–01], – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 19с. – (Національний стандарт України).

20 Апарати електричні низьковольтні. Методи випробувань. ДСТУ 2993 - 95 (ГОСТ 2933 - 93). – [Чинний від 1996–01–01], – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 56с. – (Національний стандарт України).

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						69
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

21 Апарати комутаційні низьковольтні. Загальні технічні умови. ДСТУ 3020-95 (ГОСТ 12434-93). – [Чинний від 1996–01–71], – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 21с. – (Національний стандарт України).

22 Лут М.Т. Технології обслуговування та ремонту енергообладнання й засобів автоматизації / М.Т.Лут, І.П.Радько, С.М.Волошин.-К.: Вид– во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 878 с.

23 Кузнецов В. Д., Пащенко В. М. Фізико-хімічні основи створення покриттів: Навчальний посібник для студентів спеціальності «Технологія і устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій». Нац. техн. ун-т «КПІ» – К.: 1999. – 176 с.

24 Розробка та застосування технології обладнання та матеріалів для газотермічних процесів нанесення захисних покриттів: Тез. докл. научно-практ. конф. Мінськ, 5-6 червня 1990 г. / АН БРСР. ФТІ і ін. – Мінськ, 1990. – 72с.

25 Кадиров В.Х. Високоенергетичні процеси газоплазмового напилення. – К.:1995. – 52 с. (ІПМ).

26 Теорія та практика газоплазмового напилення / П.А.Вітязь, В.С.Івашко і ін. – Мінськ: Навука і тэхніка, 1993. – 295 с.

					02.02-КР.2607«С».2025.10.30.009.ПЗ	Лист
						70
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А.1

Таблиця А.1

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

№ п/п	Найменування обладнання	Тип, ГОСТ	Габарити, мм	Кількість, шт.	Встановлена потужність, кВт
1	2	3	4	5	6
1	Камера для фарбування	К0.00.000.ЦИТЕПр. в-ва	1832x920x1726	1	
2	Фарборозпилювач	СО-71А		1	
3	Шафа сушильна	СНОЛ-3,5Х3,5 35/343	1400x350	1	40
4	Шафа сушильна	ЦЕП-282А		1	7,5
5	Ванна для миття (рухома)	ОМ-1316	1250x620x960	2	
6	Шафа витяжна для сушильного бака	ШВ.00.000.ЦИТЕП	1530x1270x2560	1	
7.	Таль рухома черв'якова	ГОСТ 1106-74		1	
8	Ванна для нагрівання підшипників	ОКС-1513	1360x500x850	1	30
9	Пристрій для миття заглибних насосів	ОРГ-4990	1200x500x1000	1	3,5
10	Установка для миття		1000x500x1000		3,72
11	Стенд для ремонту ПРА		1540x900x1270	1	4,5
12	Стенд для ремонту і перевірки опромінювальних і освітлювальних установок	Э37Н.000.ВНИИПЭ М с.г.	1600x900x1300	1	2,2
14	Компресор гаражний рухомий	Модель 1136В2		1	1,5
15	Верстат станда для ремонту асинхронних двигунів	Э36ИВНИИПЭМ с.г.		1	
16	Силовий пункт станда	Э40Н ВНИИПЭМ с.г.	510x260x600	1	30
17	Верстат слюсарний	5105.000.ГОСНИТИ	1500x600x600	6	

Продовження табл. А.1.

1	2	3	4	5	6
18	Верстат настільний свердильний	НС-12А		1	0,6
19	Прес гідравлічний	2153 Ми		1	0,8
20	Стіл монтажний металічний	ОРФ 1468-01 ГОСНИТИ	1200x800x600	1	
21	Кран підвісний	0,5-51-4,5-6- 2201.380 ГОСТ 7890-76		1	1,23
22	Кран консольно-поворотний	ОПТ-1153		1	0,87
23	Трансформатор пайки мідних проводів	ОСЗ-3105	400x500x500	1	3,0
24	Стіл для електрозварювальних робіт	ОКС-7523	1100x750x715	1	
25	Трансформатор зварювальний рухомий	ТД-300-2У2 5157.000	640x490x715	1	19,4
26	Верстат обдирувально-шліфувальний	ЗБ534	1000x665x1230	1	4,6
27	Установка пиловловлююча	ЗИЛ-900М		1	1,5
28	Гідравлічна установка для згинання труб	РТГ-2		1	

Перелік інструментів для оснащення СТС ЕО і пересувної електролабораторії

№ п/п	Найменування обладнання	Тип, марка	Кількість	
			на ПТОРЕ	на електро- лабораторію
1	2	3	4	5
1	Прилад комбінований	Ц4313	2	1
2	Фазовказівник універсальний	Ц517	1	1
3	Кліщі електровимірювальні	Ц4501	1	1
4	Мегаомметр	М01100/3-4	1	1
5	Секундомір електричний	ПВ-5311	1	1
6	Манометр пружинний	МО	1	1
7	Вимірювач опору заземлення (з комплектом обладнання П412ВМ)	М416	-	1
8	Термометр лабораторний	ТЛЗ-4	1	1
9	Міст постійного струму	Р333	-	1
10	Динамометр	ДПУ-0,001	1	1
11	Тахометр часовий зразковий	715СК	1	1
12	Люксметр	Ю-16	1	1
13	Вакуумметр	ВО1215	1	1
14	Термометр опору платиновий	ТСА-309	1	1
15	Переносний вимірювальний комплект	К-506	1	-
16	Амперметр	Э39 (0,5-10А)	1	-
17	Вольтметр	Э59 (0-150- 300-600)	1	-
18	Прилад для вимірювання опору петлі "фаза-нуль"	М417	-	1
19	Набір інструменту для механіка	ПІМ-582А	1	1
20	Тиски паралельні	ГОСТ 4045-77	1	-

Норми резервного запасу електрообладнання в господарстві

Найменування електрообладнання	Категорія надійності електропостачання	Кількість обладнання однакового типорозміру шт.	Норма запасу		
			% від експлуатаційного парку	мінімальна кількість, шт.	оптимальна кількість, шт.
1	2	3	4	5	6
1. Електродвигуни 3 ^х фазні асинхронні n ₀ =3000 об/хв., потужність, кВт					
до 1,1		38	4	2	3
до 3,0		21	8	1	2
до 5,5		13	4	2	3
до 11,0		7	8	1	2
до 22,5		5	10	0	1
до 40,0		1	10	0	1
n ₀ =1500 об/хв., потужність, кВт					
до 1,1		22	4	2	3
до 3,0		9	4	2	3
до 5,5		5	4	2	2
до 11,0		4	4	2	1
до 22,5		1	4	2	1
n ₀ =1000 об/хв., потужність, кВт					
до 1,1		9	8	1	1
до 3,0		5	4	2	1
до 5,5		2	8	1	1
до 11,0		1	10	0	0
до 22,5		0	10	0	0
n ₀ =750 об/хв., потужність, кВт					
до 1,1		0	10	0	0
до 3,0		2	10	0	0
до 5,5		0	8	1	0
до 11,0		0	10	0	0
2. Електромагнітні пускачі ном. струм, А	I-II-III				
до 3		203	4	3	8
до 10		218	4	3	8
до 25		399	4	3	16
до 50		76	6	1	5
до 100		11	10	0	1

1	2	3	4	5	6
3. Автоматичні вимикачі на номінальний струм, А	I-II-III				
до 50		345	3	2	10
до 100		126	5	1	6
4. Рубильники та перемикачі на ном. струм, А	I-II-III				
до 100		90	4	1	4
до 250		55	4	1	2
5. Вимикачі пакетні	I-II-III	87	4	1	3
6. Кнопки керування, універсальні ключі та перемикачі	I-II-III	514	3	2	15
7. Реле теплові	I-II-III				
- двох полюсні		244	5	1	12
- трьохполюсні		374	5	1	18
8. Електро-термічне обладнання	I-II-III				
- електро-нагрівачі місткістю 200 л		25	5	1	1
- установки електро-калориферні потужністю 40кВт	II-III	24	5	1	1
9. Прилади для вимірювання і регулювання температури та тиску	II-III	10	10	1	1
10. Прилади для вимірювання рівня рідини	II-III	7	5		0

Додаток Б.2

Таблиця Б.2

Технічні характеристики установок для газоплазмового напилювання

Показник	УМП-5	УМП-6	УПУ-3	УН108.УХЛ4
1. Потужність плазмотрону, кВт	40	30	30	120
2. Продуктивність по напиленому матеріалу (тверді сплави), кг/год.	5	7	3,5	14
3. Плазмоутворюючі гази	азот, аргон, водень		аргон, водень	азот, повітря, пропан-бутан
4. Витрати плазмоутворюючих газів, м³/год	до 3,5	до 4,0	до 10	азот, повітря – 3-10; пропан-бутан – 2-6
5. Тиск газу, кПа	400–500	400–500	500–600	–
6. Ресурс електродів при номінальному режимі, годин	до 10	до 20	до 10	–
7. Маса установки без джерела струму, кг	120	265	200	–