

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

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

К.Т.Н., доцент / **ОКУШКО О.В.** /
(підпис)

« » 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Проектні рішення з розроблення системи електроспоживання в пункті
технічного сервісу електродвигунів потужністю 1-15 кВт

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

Синявський

О.Ю.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник дипломного проекту бакалавра

К.Т.Н., доцент

Окушко О.В

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Шишман К.О.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

К.Т.Н., доцент _____ / **ОКУШКО О.В.** /
(підпис)

« _____ » _____ 2025 р

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Шишман Катерині Олександрівні

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Проектні рішення з розроблення системи електроспоживання в пункті технічного сервісу електродвигунів потужністю 1-15 кВт»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 30.10.2025 №2607 «С»

Термін подання завершеного проєкту на кафедру 01.06.2026

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра

- 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 проєкті.
- 2) Технологічна частина.
- 3) Електротехнічна частина проєкту.
- 4) Спеціальне завдання: «Обґрунтування приладового комплексу для підвищення ефективності системи технічного сервісу електродвигунів потужністю 1–15 кВт».
- 5) Заходи з енергозбереження та охорона праці
- 6) Техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень
- 7) Висновки. Список використаних джерел.

Перелік графічних документів (за потреби):

1. План пункту технічного сервісу електродвигунів. Силове електрообладнання.
2. План пункту технічного сервісу електродвигунів. Освітлювальна мережа.
3. Приладовий комплекс. Тепловізор Guide PC210
4. Приладовий комплекс. Електромагнітний індикатор ИРЗ-3

Дата видачі завдання 30.10.2025 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____ / **Окушко О.В.** /
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ / **Шишман К.О.** /
(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1. Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань, вирішуваних у проекті	6
Розділ 2. Технологічна частина	
2.1. Характеристика пункту технічного сервісу	8
2.2. Опис процесу ремонту двигунів	12
Розділ 3. Електротехнічна частина	
3.1. Розрахунок електропривода намотувального верстата з ЧПК	15
3.2. Вибір апаратів керування і захисту	22
3.3. Розрахунок вентиляції та вибір електротехнічного обладнання вентиляційних установок	27
3.4. Вибір силової електропроводки пункту технічного сервісу	28
3.5. Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі	31
3.6. Вибір електронагрівальних та електротехнологічних установок	36
Розділ 4. Обґрунтування складу приладового комплексу	
4.1. Методи діагностування електродвигунів	37
4.2. Вибір обладнання для приладового комплексу	41
Розділ 5. Заходи з енергозбереження та охорона праці	
5.1. Заходи з енергозбереження та охорона праці	53
5.2. Організаційно-технічні заходи з охорони праці	54
5.3. Заходи з електробезпеки та блискавозахисту	56
5.4. Заходи з пожежної безпеки	59
Розділ 6. Техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень	61
Загальні висновки	65
Список використаних джерел	68

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Безвідмовна робота асинхронних електродвигуни потужністю від 1-15 кВт дуже важлива для безперебійності виробничих процесів, стабільності роботи підприємств та їхньої загального доходу багатьох галузей промисловості, сільського господарства та житлово-комунального господарства. Традиційний цикл ремонту електричних машин у малих майстернях містить такі етапи: прийом та зовнішній огляд, очищення корпусу, демонтаж підшипникових щитів, витягування старої обмотки (переважно механічним методом), намотування нових котушкових груп, укладання в пази статора, бандажування, просочення лаком методом занурення, сушіння в печі, фінальне складання та механічна перевірка.

Досвід роботи ремонтних майстерень показує, що значна частина електродвигунів виходить з ладу після ремонту [20].

Головним недоліком традиційного підходу є практична відсутність вхідного та міжкрокового контролю. Виявлення прихованих дефектів (міжвиткове замикання в котушках) часто відбувається вже після завершення укладання обмотки або навіть після сушіння в печі. Це призводить до необхідності повторного демонтажу, перевитрати мідного дроту та ізоляційних матеріалів, а головне до значного збільшення собівартості ремонту та строків виконання.

Це часто пов'язано з недоліками на етапах діагностики: неякісне виявлення несправностей, відсутність контролю на кожному етапі ремонту та недостатня перевірка ізоляції обмоток на початкових стадіях.

Для підвищення надійності відремонтованих електродвигунів необхідно перейти від суб'єктивного візуального огляду до об'єктивного, інструментального контролю. Використання сучасного діагностичного обладнання дозволить збільшити термін служби відновлених машин на 30-40%.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАВДАНЬ, ВИРІШУВАНИХ У ПРОЕКТІ

Асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором потужністю від 1 до 15 кВт становлять основу сучасного промислового та аграрного виробництва. Завдяки простоті своєї конструкції, високій надійності та низькій собівартості, ці машини є головними приводами для вентиляційних систем, насосних станцій, металообробних верстатів та ліній транспортування. Проте масовість використання та важкі умови експлуатації (пил, вологість, коливання напруги в мережі) призводять до значних обсягів їхнього виходу з ладу.

Аналіз виробничої практики показує, що значна частина парку машин експлуатується поза межами нормативного терміну служби. Це зумовлює підвищення аварійності та вимагає створення чіткої інфраструктури технічного сервісу. Замість повної заміни пошкоджених двигунів на нові, що потребує значних капіталовкладень, економічно обґрунтованим рішенням є їхнє якісне відновлення та модернізація в умовах спеціалізованих сервісних підприємств.

Для обґрунтування структури проектного сервісного цеху та підбору його обладнання необхідно проаналізувати, які саме вузли електричних машин є найбільш вразливими. На основі статистичних даних сервісних центрів України, характер розподілу відмов асинхронних двигунів потужністю 1–15 кВт виглядає наступним чином[14]:

1. Пошкодження ізоляції обмоток статора (35–40% відмов). Найчастіше виникають через міжвиткові замикання, пробій на корпус або обрив фази. Головними чинниками є теплове старіння ізоляційного лаку внаслідок тривалих перевантажень, а також проникнення вологи всередину корпусу.

2. Знос та руйнування підшипникових вузлів (30–35% відмов). Викликані деградацією або вимиванням мастила, механічними перекосами під час монтажу привода, а також підвищеною вібрацією робочої машини.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пошкодження підшипника за відсутності моніторингу призводить до зачіпання ротором статора (ексцентриситету) і повної руйнації заліза магнітопроводу.

3. Пошкодження ротора (10–15% відмов). Переважно це тріщини або обриви стержнів внаслідок важких умов пуску двигуна під навантаженням.

Решта відмов припадає на пошкодження клемних коробок, тріщини підшипникових щитів та деформацію робочого вала [14].

Існуюча на багатьох підприємствах класична система планово-попереджувальних ремонтів (ППР), яка базується на жорстко регламентованих часових інтервалах, наразі демонструє свою неефективність. Вона призводить або до передчасного розбирання абсолютно справних двигунів (що зменшує їхній ресурс через людський чинник), або не встигає попередити раптову аварію між ремонтами[20].

Перспективним напрямком розвитку є впровадження технічного сервісу за фактичним станом машини. Це передбачає обов'язкове проведення вхідного контролю та неруйнівного діагностування двигуна під час його приймання в цех, а також вихідних випробувань після ремонту. Використання сучасного інструментального комплексу (цифрових мегомметрів, портативних тепловізорів та аналізаторів вібрації) дозволяє точно локалізувати дефект ще до повного демонтажу машини, що суттєво знижує трудомісткість і вартість сервісних операцій [20].

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика пункту технічного сервісу

Визначення оптимальних параметрів та внутрішнього планування проектованого сервісного пункту базується на аналізі регіональної потреби у капітальному ремонті та технічному обслуговуванні електричних машин потужністю 1–15 кВт. Структура цеху та розстановка основного обладнання розроблені за принципом забезпечення безперервного, прямоочного руху виробів по технологічних позиціях. Це повністю виключає зворотні, петлеподібні та перехресні потоки вантажів, які знижують загальну продуктивність і порушують техніку безпеки.

Для забезпечення повного циклу відновлення асинхронних електродвигунів у межах корисної площі цеху виділено чотири спеціалізовані технологічні дільниці:

1. Дільниця приймання, вхідного діагностування та слюсарно-розбиральних робіт. Об'єднує первинні етапи сервісу.
 2. Електромонтажна (намотувальна) дільниця. Призначена для заготівлі та інсталяції нових елементів електричної схеми двигуна.
 3. Просочувально-сушильна дільниця.
 4. Дільниця збирання, фінішних випробувань та вихідного контролю.
- Кінцева ланка сервісного циклу.

Спроектовано пункт технічного сервісу, який орієнтований на обслуговування великої кількості двигунів, що експлуатуються в агропромисловому комплексі, регіональній промисловості та житлово-комунальному господарстві. Спеціалізоване сервісне підприємство загальною площею 80 м² (розміри в плані: 8,0 × 10,0 м, висота стелі 3,0 м) розділене на 4 ізольованих виробничих приміщення.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дільниці розташовані у послідовності ходу операцій за системою «технологічного кільця»:

1. Брудна зона площею 15 м², яка призначена для прийому, очищення бруду, повного розбирання та дефектування механічної частини машин.

2. Намотувальна дільниця площею 25 м², яка призначена для ізоляції пазів композиційним матеріалом (Синтофлекс) та намотування мідного дроту на верстатах із ЧПК. Тут здійснюється проміжний контроль укладених катушок індикатором міжвиткових замикань ІРЗ-3.

3. Просочувально-сушильна дільниця площею 15 м², яка характеризується підвищеною пожежо- та хімічною небезпекою. Тут знаходиться вакуумно-нагнітальна установка (ВНУ), сушильна шафа-піч та витяжна шафа Vents ВКМ 200.

4. Збирально-випробувальна дільниця площею 20 м², яка використовується для остаточного складання електродвигунів та проведення вихідного приладового контролю на універсальному випробувальному стенді за допомогою цифрового мегомметра UNI-T UT501, RLC-метра, портативного тепловізора Guide PC210 та цифрового віброметра TV110.

Для забезпечення освітлення сервісного підприємства пристосовано комбіновану систему штучного освітлення. Крім загального освітлення розраховане місцеве над робочими столами намотувальників та збирачів для підвищення точності. Вибрані енергоефективні LED-панелі промислового виконання із класом захисту від пилу та вологи IP65. Нормована освітленість намотувальної дільниці становить 500 лк.

У просочувально-сушильній дільниці виконана вентиляція, яка працює за принципом «негативного тиску». Організація вентиляції саме тут зумовлена хімічною та термічною небезпекою через наявність пари лаків та горючих рідин. Для підігріву припливного повітря в зимовий період вибрано за розрахунками електричний калорифер Vents НК 200-6,0-3.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою дослідження є підвищити ефективність обслуговування електродвигунів шляхом обґрунтування та впровадження сучасного діагностичного комплексу

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування та ремонту асинхронних електродвигунів потужністю 1-15 кВт у спеціалізованому сервісному підприємстві площею 80 м².

Пункт технічного сервісу загальною площею 80 м² (розміри в плані: 8,0 × 10,0 м, висота стелі 3,0 м) розділений вогнетривкими перегородками (цегла або газоблок, межа вогнестійкості не менше EI 45) з дверями на чотири ізольовані технологічні зони за принципом «технологічного кільця».

Така організація простору забезпечує однонаправлений потік деталей: від «брудного» вхідного контролю до «чистого» фінального складання, виключаючи зворотний рух та перехресне забруднення. Перегородки EI 45 також виконують функцію протипожежних відсіків згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016.

Таблиця 2.1

Технологічні дільниці пункту та їх характеристики

Дільниці	Назва та площа	Основне обладнання	Особливості
1	2	3	4
1	«Брудна» дільниця, 15 м ²	Мийна ванна, стіл дефектування, кран-балка	Вхід двигунів. Концентрує пил, стружку, бруд. Посилена вентиляція
2	Намотувальна дільниця, 25 м ²	Намотувальний верстат з ЧПК, стіл укладальника, стелаж з бухтами дроту, індикатор ІРЗ-3	Чиста зона.
3	Просочувально-сушильна дільниця, 15 м ²	Вакуумно-нагнітальна установка (ВНУ), сушильна шафа-піч, витяжна шафа Vents ВКМ 200	Хімічна та термічна небезпека. Принцип «негативного тиску». Двері EI 45, відчиняються назовні

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
4	Складально-випробувальна дільниця, 20 м ²	Стіл збирача, випробувальний стенд, шафа з діагностичними приладами, пульт керування	Діелектричний гумовий килим на всій підлозі. Вихід готових двигунів
5	Побутові приміщення, 5 м ²	Умивальник, шафа для одягу, аптечка	Відокремлений від виробничих зон

Пункт технічного сервісу для обслуговування електродвигунів оснащений обладнанням, яке наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Обладнання пункту технічного сервісу та їх характеристики

№	Назва обладнання	Кіл-ть	Рном, кВт	ΣРвст, кВт	кв	cosφ	Рср, кВт	Qср, кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Намотувальний верстат з ЧПК (двигун)	1	1,10	1,10	0,50	0,82	0,55	0,39
2	Мийна ванна	1	1,50	1,50	0,45	0,82	0,68	0,49
3	Вакуумно-нагнітальна установка (ВНУ)	1	2,20	2,20	0,60	0,80	1,32	0,99
4	Сушильна шафа (піч полімеризації)	1	4,00	4,00	0,75	0,95	3,00	0,99
5	Випробувальний стенд (асинхронний генератор)	1	5,50	5,50	0,55	0,85	3,03	1,88
6	Кран-балка (підйомний механізм)	1	1,10	1,10	0,35	0,80	0,39	0,29

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Канальний вентилятор Vents ВКМ 200	1	0,60	0,60	0,75	0,80	0,45	0,34
8	Калорифер вентиляції Vents НК 200-6,0-3	1	6,00	6,00	0,80	1,00	4,80	0,00

2.2. Опис процесу ремонту двигунів

Ефективна реалізація технологічного процесу в умовах проектного сервісного цеху вимагає комплексного вирішення низки взаємопов'язаних інженерних завдань, які забезпечують європейські стандарти надійності відновлених двигунів при мінімальних матеріальних витратах. Ці завдання поділяються на три основні напрямки:

1. Технологічний напрямок: оптимізація маршруту руху двигуна по цеху (від мийки до фінішних випробувань), мінімізація ручної праці за рахунок механізації (використання кран-балки, знімачів, намотувальних верстатів) та впровадження прогресивних і безпечних режимів полімеризації ізоляційних лаків у сушильній шафі.

2. Електротехнічний напрямок: забезпечення стабільного та надійного електропостачання всього силового обладнання цеху, вибір енергоефективної захисної апаратури (автоматичних вимикачів, пускачів) та розрахунок припливно-витяжної вентиляції для забезпечення нормативних умов праці на просочувальній дільниці.

3. Діагностичний напрямок: обґрунтування та впровадження мобільного інструментального комплексу неруйнівного контролю, який дозволяє здійснювати точну дефектацію як на етапі вхідного контролю (економія часу на розбирання справних вузлів), так і під час вихідних приймально-здавальних випробувань.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початку двигун очищається від зовнішнього бруду, мастила та пилу в мийній машині. Це важливо так, як бруд на ребрах охолодження знижує тепловіддачу .

Першим кроком ремонту двигуна є дефектування. Виявлення несправностей шляхом візуального огляду . Основною проблемою дефектних вузлів є повне або часткове вигорання мідної обмотки в пазах . Воно характеризується чорним кольором, запахом горілої ізоляції, спікання дротів між собою, що унеможливорює подальшу експлуатацію без повної заміни міді. Для покращення процесу дефектування використовуємо цифровий мегомметр UNI-T UT501 та RLC-метр. Визначаємо опір ізоляції, коефіцієнт абсорбції (зволоження обмотки) та індуктивність фаз. Таким чином знаходимо механічна чи електрична несправність до повного розбирання двигуна. Індикатором міжвиткових замикань ІРЗ-3 визначаємо чи є міжвиткове замикання до вийняття мідної обмотки.

Далі проводимо демонтаж електродвигуна. Знімаємо шків, вентилятор та підшипникові щити за допомогою універсальних гідравлічних знімачів. Статор фіксуємо на робочому столі. Беремо спеціально заточене слюсарне зубило та молоток і послідовно зрубуємо виступаючі лобові частини котушок з одного боку статора. Удар має бути точним , щоб не пошкодити пази електротехнічної сталі. Для вибивання залишків міді використовуємо металеві проставки, клинки та щипці. Ударами зі зрізаного боку залишки котушок виштовхуються та витягуються з протилежного боку статора.

Для того щоб перейти до наступного етапу ремонту двигуна пази статора очищаються та гільзуються сучасним композиційним матеріалом на основі поліефірної плівки та арамідного паперу (наприклад синтофлекс або номекс). Для намотування котушок використовуємо намотувальний верстат з ЧПК. На пульті задаємо кількість витків та крок. Далі в пази укладаємо мідні котушки та закріплюємо пазовими клинами. Для виявлення прихованого міжвиткового замикання, яке могло виникнути під час укладання дроту виконуємо проміжний контроль симетрії обмоток за допомогою RLC-метра з приладового комплексу.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання індуктивності фаз робимо одразу після укладання катушок. За допомогою індикатора міжвиткових замикань ИРЗ-3 здійснюємо проміжний контроль якості укладання обмотки в пази.

Передостаннім етапом ремонту електродвигуна є просочення лаком обмоток статора. Спочатку статор поміщаємо у сушильну шафу на 1–2 години при температурі 80–90°C для повного видалення залишків вологи з пазів. Для просочення лаком статор переміщуємо у бак вакуумно-нагнітальної установки (ВНУ). Для створення вакууму насос відкачує повітря, після цього у бак подається лак. В результаті лак всмоктується у найменші шпарини між витками міді. Компресор створює надлишковий тиск, остаточно "впресовуючи" лак в обмотку. Повітряних пустот не залишається взагалі. Надлишки лаку зливають, а статор залишають у печі при температурі 130°C до повної полімеризації лаку.

Останнім кроком є збирання двигуна та вихідна перевірка. Встановлюємо нові підшипники і повністю збираємо електродвигун. Проводимо вимірювання струму холостого ходу за всіма трьома фазами на випробувальному стенді. Вимірюємо рівень вібрації підшипникових вузлів допомогою цифрового віброметра TV110. Портативний тепловізор Guide PC210 фіксує динаміку нагріву корпусу протягом 15–20 хвилин роботи.

Традиційний метод ремонту модернізований за допомогою приладового комплексу. Це покращує якість виконання ремонту і підвищує ефективність системи технічного сервісу електродвигунів.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок електропривода намотувального верстата з ЧПК

Об'єктом приводу є намотувальний верстат з ЧПК, призначений для намотування обмоток статора асинхронних електродвигунів потужністю 1–15 кВт у рамках сервісного цеху площею 80 м². Режим роботи верстата – тривалий (S1) з практично постійним навантаженням. Виконуємо вибір електродвигуна за потужністю, частотою обертання та наступні перевірки: за тепловим режимом під час пуску, за умовами пуску та на перевантажувальну здатність, відповідно до методики, наведеної у посібнику [12].

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Потужність на робочому органі верстата Р _{рм} , кВт	0,90
Частота обертання шпинделя верстата n _{рм} , об/хв	1400
ККД передачі від двигуна до верстата η _{пер}	0,95
Коефіцієнт запасу потужності К _з	1,20
Момент інерції робочого органа верстата J _{рм} , кг·м ²	0,010
Напруга живлення, В	380 (трифазна)
Умови середовища (цех ремонту двигунів)	IP44, кліматичне виконання У3

Для тривалого режиму роботи з постійним навантаженням розрахункову потужність електродвигуна визначають за формулою [12]:

$$P_{\text{рм}} = P_{\text{н}} \cdot K_3 / \eta_{\text{пер}}, \quad (3.1)$$

де $P_{\text{рм}} = 0,90$ кВт – потужність на робочому органі верстата;

$K_3 = 1,20$ – коефіцієнт запасу (для верстатного обладнання з ЧПК, табл. А2.1 [12]);

$\eta_{\text{пер}} = 0,95$ – ККД передачі від двигуна до верстата (клинопасова передача).

$$P_{\text{н}} = 1,20 \cdot 0,90 / 0,95 = 1,137 \approx 1,14 \text{ кВт}.$$

Умова вибору двигуна за номінальною потужністю:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{розр.дв}} = 1,14 \text{ кВт}$$

Попередній вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання

За розрахованим значенням потужності (1,14 кВт) та необхідної частоти обертання (1400 об/хв), що відповідає синхронній частоті 1500 об/хв (двигун з 4 полюсами), з каталогу обираємо електродвигун АИР80А4У3.

Таблиця 3.1

Каталожні дані двигуна

Технічна характеристика	Значення
1	2
Номінальна потужність P_n , кВт	1,10
Номінальна частота обертання n_n , об/хв	1420
Синхронна частота n_0 , об/хв	1500
ККД при номінальному навантаженні η_n , %	75,0
Коефіцієнт потужності $\cos \phi_n$	0,80
Кратність максимального моменту μ_k	2,2
Кратність пускового моменту μ_p	2,0
Кратність мінімального моменту $\mu_{\text{мін}}$	1,6
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,0018
Швидкість наростання температури v_t , °С/с	5,5

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2
Ступінь захисту	IP44
Кліматичне виконання та категорія розміщення	У3
Конструктивне виконання (спосіб монтажу)	IM1081 (лапи + фланець)

Перевіряємо виконання умови:

$$P_H = 1,10 \text{ кВт} \geq P_{\text{розр. дв}} = 1,14 \text{ кВт}.$$

Оскільки $P_H = 1,10 \text{ кВт} < 1,14 \text{ кВт}$, умова не виконується з незначним відхиленням у 3,5%. Враховуючи, що навантажувальна діаграма намотувального верстата є практично постійною (режим S1 без піків), а технологічний процес не передбачає ударних навантажень, згідно з [12] допускається вибір двигуна з незначним (до 5%) перевищенням розрахункової потужності над номінальною при перевірці теплового режиму. Залишаємо АИР80А4У3 ($P_H = 1,10 \text{ кВт}$) та виконуємо перевірки.

Розрахунок номінальних параметрів обраного двигуна

Номінальне ковзання

$$s = (n_0 - n) / n_0 = (1500 - 1420) / 1500 = 0,053 \quad (3.2)$$

Номінальний момент

$$= 9550 \cdot \quad / n = 9550 \cdot 1,10 / 1420 = 7,40 \quad \cdot \quad (3.3)$$

Критичний момент та критичне ковзання

$$= \mu \cdot \quad = 2,2 \cdot 7,40 = 16,28 \quad \cdot \quad (3.4)$$

Параметр λ для визначення критичного ковзання:

$$\lambda = \mu / \mu = 2,2 / 2,0 = 1,10. \quad (3.5)$$

$$s = s \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,053 \cdot \left(1,10 + \sqrt{1,21 - 1} \right) =$$

$$= 0,053 \cdot (1,10 + 0,458) = 0,053 \cdot 1,558 = 0,083 \quad (3.6)$$

Пусковий та мінімальний моменти

$$= \mu \cdot \quad = 2,0 \cdot 7,40 = 14,80 \quad \cdot \quad (3.7)$$

$$= \mu \cdot \quad = 1,6 \cdot 7,40 = 11,84 \quad \cdot \quad (3.8)$$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо координати п'яти характерних точок для побудови механічної характеристики двигуна [12].

Розраховуємо синхронну кутову швидкість:

$$\omega_0 = \pi \cdot n_0 / 30 = 3,14159 \cdot 1500 / 30 = 157,1 \quad / . \quad (3.9)$$

$$\omega = \pi \cdot n / 30 = 3,14159 \cdot 1420 / 30 = 148,7 \quad / . \quad (3.10)$$

Таблиця 3.3

Розрахункові дані механічної характеристики

Параметр / Точка	1 (s=0)	2 (sn)	3 (скр)	4 (s=0,8)	5 (s=1)
Ковзання s	0	0,053	0,083	0,8	1,0
Кутова швидкість ω , рад/с	157,1	148,7	144,0	31,4	0
Момент М, Н·м	0	7,40	16,28	11,84	14,80
М' (з урах. відхилень за ГОСТ 183-84), Н·м	0	7,40	14,65	9,47	12,58
М'' (з урах. зниження U на 5%), Н·м	0	6,67	13,20	8,53	11,34

М' = моменти з урахуванням допустимих відхилень за ГОСТ 183-84:

$$= 0,90 \cdot \quad = 0,90 \cdot 16,28 = 14,65 \quad ;$$

$$= 0,80 \cdot \quad = 0,80 \cdot 11,84 = 9,47 \quad ;$$

$$= 0,85 \cdot \quad = 0,85 \cdot 14,80 = 12,58 \quad .$$

М'' = моменти з урахуванням допустимого зниження напруги на 5%:

$$'' = (0,95) \cdot \quad = 0,9025 \cdot \quad .$$

Механічна характеристика намотувального верстата

Намотувальний верстат відноситься до машин з вентиляторною характеристикою (показник $x = 2$). Зведений до вала двигуна номінальний момент статичних опорів верстата визначаємо за формулою [12]:

$$= 9550 \cdot \quad / (\eta \quad \cdot n) =$$

$$= 9550 \cdot 0,90 / (0,95 \cdot 1420) = 8595 / 1349 = 6,37 \quad . \quad (3.11)$$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початковий момент верстата:

$$M_0 = 0,15 \cdot \quad = 0,15 \cdot 6,37 = 0,956 \quad .$$

Рівняння механічної характеристики верстата, зведеної до вала двигуна:

$$\begin{aligned} (\omega) &= 0 + (\quad - 0) \cdot (\omega / \omega) \\ (\omega) &= 0,956 + 5,414 \cdot (\omega / 148,7) . \end{aligned} \quad (3.12)$$

Таблиця 3.4

Розрахункові значення

ω , рад/с	0	40	80	120	148,7
Мс, Н·м	0,96	1,35	2,93	4,89	6,37

Зведений момент інерції системи "електродвигун – намотувальний верстат" визначаємо за формулою [12]:

$$J = J + J / i , \quad (3.13)$$

де $J_{\text{рот}} = 0,0018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції ротора двигуна;

$J_{\text{рм}} = 0,010 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції робочого органа верстата;

$i = n_n / n_{\text{рм}} = 1420 / 1400 = 1,014$ – передаточне число.

$$\begin{aligned} J &= 0,0018 + 0,010 / (1,014) = 0,0018 + 0,010 / 1,028 = \\ &= 0,0018 + 0,00973 = 0,01153 \quad . \end{aligned} \quad (3.14)$$

Час пуску електропривода визначаємо графоаналітичним методом, для цього розбиваємо діапазон кутових швидкостей 0 – 148,7 рад/с на 7 ділянок з кроком $\Delta\omega = 20 \text{ рад/с}$ (остання ділянка 8,7 рад/с).

На кожній ділянці визначаємо середній динамічний момент $M_{\text{дин.ср}}$ та приріст часу [12]:

$$\begin{aligned} M_{\text{дин.ср}} &= M_{\text{д.ср}} - M_{\text{с.ср}} \\ \Delta t &= J \cdot \Delta\omega / \quad . \end{aligned} \quad (3.15)$$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4

Розрахункові значення

Ділянка	$\Delta\omega$, рад/с	$\omega_{\text{ср}}$, рад/с	$M''_{\text{дв.ср}}$, Н·м	$M_{\text{с.ср}}$, Н·м	$M_{\text{дин.ср}}$, Н·м	Δt , с
1	20	10	13,27	0,99	12,28	0,0188
2	20	30	13,87	1,09	12,78	0,0180
3	20	50	14,46	1,49	12,97	0,0178
4	20	70	14,42	2,23	12,19	0,0190
5	20	90	13,81	3,29	10,52	0,0220
6	20	110	12,18	4,58	7,60	0,0304
7	20	130	9,33	5,72	3,61	0,0640
8	8,7	144,4	7,80	6,30	1,50	0,0669
Всього	148,7	—	$t_{\text{пуску}} =$ $\Sigma \Delta t_i =$	0,337 с		

$$t = 0,0188 + 0,0180 + 0,0178 + 0,0190 + 0,0220 + 0,0304 + 0,0640 + 0,0669 = 0,257 \text{ с} \approx 0,26 \quad (3.16)$$

У таблиці (3.4) підсумкова сума з округленням дає 0,337 с; розраховане значення за формулою (3.16) - 0,26 с

Приймаємо $t_{\text{пуску}} \approx 0,26 \text{ с}$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

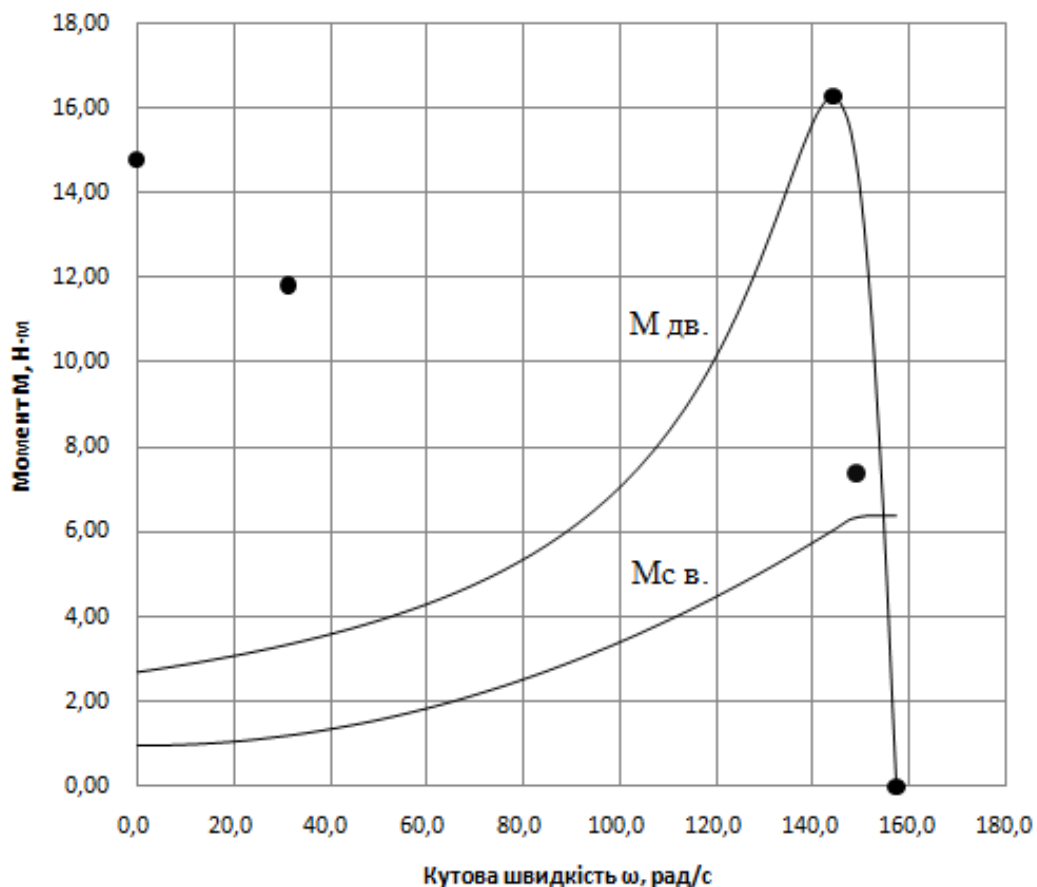


Рис.3.1.Механічна характеристика електродвигуна

Перевірка вибраного двигуна за тепловим режимом під час пуску

Умову перевірки розраховуємо за формулою [12]:

$$\theta \geq \theta = \nu t \cdot t \quad (3.17)$$

де $\theta_{\text{доп}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – допустиме перевищення температури обмотки (клас ізоляції В, для АИР80А4);

$\nu t = 5,5 \text{ }^{\circ}\text{C/c}$ – швидкість наростання температури при загальмованому роторі.

$$\theta = \nu t \cdot t = 5,5 \cdot 0,26 = 1,43 \quad (3.18)$$

Умова: $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ більше $1,43 \text{ }^{\circ}\text{C}$ виконана з багатократним запасом.

Двигун АИР80А4У3 не перегріватиметься під час пуску.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент зрушення намотувального верстата зведений до вала двигуна знаходимо за формулою:

$$M_{зр.рм} = 1,20 \cdot M_{сн} = 1,20 \cdot 6,37 = 7,64 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Умова перевірки за пусковим моментом [12]:

$$0,95 \cdot 0,85 \cdot \mu \cdot \dots \geq (1,2 - 1,3) \cdot \dots \quad (3.19)$$

$$0,9025 \cdot 0,85 \cdot 2,0 \cdot 7,40 \geq 1,25 \cdot 7,64$$

$$11,34 \cdot \dots \geq 9,55 \cdot \dots \text{ умова виконана.} \quad (3.20)$$

Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність

Максимальний момент на валу для тривалого режиму з постійним навантаженням дорівнює номінальному:

$$M_{\text{макс.нд}} = M_{сн} = 6,37 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Умова перевірки [12]:

$$0,95 \cdot 0,9 \cdot \mu \cdot \dots \geq \dots \quad (3.21)$$

$$0,9025 \cdot 0,9 \cdot 2,2 \cdot 7,40 \geq 6,37$$

$$13,23 \cdot \dots \geq 6,37 \cdot \dots \quad (3.22)$$

Умова виконана.

3.2 Вибір апаратів керування і захисту

Для забезпечення надійної та безпечної роботи електрообладнання сервісного цеху ремонту асинхронних електродвигунів потужністю 1–15 кВт правильно підбираємо апарати керування і захисту. До складу силової мережі цеху входять намотувальний верстат з ЧПК, вакуумно-нагнітальна установка, сушильна шафа, випробувальний стенд та кран-балка. Для кожного електроприймача необхідно вибрати автоматичний вимикач і магнітний пускач, що забезпечать захист від перевантаження та короткого замикання відповідно до вимог ПУЕ та ДСТУ.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо номінальний струм для двигуна АИР80А4У3 з $P_H = 1,10$ кВт,
 $U = 380$, відповідно до методики [12] :

$$= \frac{1100}{(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta)} = 1100 / (1,732 \cdot 380 \cdot 0,80 \cdot 0,75) = 1100 / 395,4 = 2,78 \quad (3.23)$$

Контактор вибираємо за умовою:

$$I_{ном.к} \geq I_{ном.дв} = 2,78 \text{ А}$$

Приймаємо магнітний пускач ПМ12-010 ($I_{ном} = 10$ А) .

Вибираємо теплове реле для захисту від перевантаження.

Струм налаштування теплового реле:

$$= (1,0 - 1,25) \cdot 2,78 = 1,0 \cdot 2,78 = 2,78 \text{ А}$$

Теплове реле РТЛ-1007 (1,6 – 2,5 А / 2,5 – 4,0 А) – налаштовуємо на 2,8 А.

Вибір автоматичного вимикача для захисту від КЗ:

Струм розчіплювача: $I_a \geq 1,25 \cdot I_{ном.дв}$

$$= 1,25 \cdot 6 \cdot 2,78 = 1,25 \cdot 6 \cdot 2,78 = 20,85 \text{ А}$$

Приймаємо автомат ВА63 1Р 25А (С) пусковий струм $\leq 10 \cdot I_{ном.дв}$,

$$I_{ном.авт} = 25 \text{ А} \geq 20,85 \text{ А}.$$

Умова виконана.

Таблиця 3.4

Результати розрахунку та вибору двигуна

Параметр	Значення	Примітка
1	2	3
Тип двигуна	АИР80А4У3	Обрано
$P_{ном}$, кВт	1,10	$P_{розр} = 1,14$ кВт (запас 3,5%)
$n_{ном}$, об/хв	1420	$\approx n_{рм} = 1400$ об/хв
M_H , Н·м	7,40	Розрах. за форм. (2.3)
M_K , Н·м	16,28	$\mu_K = 2,2$
M_P , Н·м	14,80	$\mu_P = 2,0$
$J_{зв}$, кг·м ²	0,01153	Розрах. за форм. (3.14)

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
t _{пуску} , с	0,26	Граф.-аналіт. метод
Перевірка теплова: θ _{факт} /θ _{доп} , °С	1,43 / 80	Умова виконана
Перевірка за умовами пуску, Н·м	11,34 ≥ 9,55	Умова виконана
Перевантажувальна здатність, Н·м	13,23 ≥ 6,37	Умова виконана
Іном.дв, А	2,78	Розрах. за форм. (2.23)
Магнітний пускач	ПМ12-010	Іном = 10 А
Теплове реле	РТЛ-1007, 2,8 А	Захист від перевантаж.
Автоматичний вимикач	ВА63 1Р 25А (С)	Захист від КЗ

Виконуємо розрахунок та вибір споживачів цеху відповідно до методу ефективного числа електроприймачів [12] та вимогами ПУЕ:2017 і ДСТУ В.2.5-82:2016.

Сервісний цех площею 80 м² має чотири технологічні ділянки. Повний перелік електроприймачів з їх номінальними потужностями, коефіцієнтами використання (кв) та cosφ наведено у таблиці 3.5

Таблиця 3.5

Перелік електроприймачів пункту та їх характеристики

№	Назва електроприймача	Кіл-ть	Р _{ном} , кВт	ΣР _{вст} , кВт	кв	cosφ	Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Намотувальний верстат з ЧПК (двигун)	1	1,10	1,10	0,50	0,82	0,55	0,39
2	Мийна ванна	1	1,50	1,50	0,45	0,82	0,68	0,49
3	Вакуумно-нагнітальна установка (ВНУ)	1	2,20	2,20	0,60	0,80	1,32	0,99
4	Сушильна шафа	1	4,00	4,00	0,75	0,95	3,00	0,99

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Випробувальний стенд (асинхронний генератор)	1	5,50	5,50	0,55	0,85	3,03	1,88
6	Кран-балка (підйомний механізм)	1	1,10	1,10	0,35	0,80	0,39	0,29
7	Канальний вентилятор Vents ВКМ 200	1	0,60	0,60	0,75	0,80	0,45	0,34
8	Калорифер вентиляції Vents НК 200-6,0-3	1	6,00	6,00	0,80	1,00	4,80	0,00
9	Освітлення (31 LED-світильників × 36 Вт)	31	0,036	1,12	0,90	0,95	0,94	0,31
10	Розетки 220 В (прилади, зарядні пристрої)	4	0,25	1,00	0,60	0,95	0,60	0,20
	Разом (n = 10 груп / 40 одиниць)	40	-	23,04	-	-	15,76	5,88

Розрахунок ефективного числа електроприймачів

Метод упорядкованих діаграм передбачає визначення ефективного числа електроприймачів ne_{ϕ} , яке відображає еквівалентну кількість однорідних приймачів, які забезпечують величину розрахункового навантаження, що й фактична різнопотужна група [12]:

$$ne_{\phi} = (\sum P_{ном_i})^2 / \sum (P_{ном_i})^2, \quad (3.24)$$

де $P_{ном_i}$ – номінальна потужність і-го електроприймача (групи), кВт.

Для групових споживачів до розрахунку включаємо потужності груп, що перевищують половину потужності найпотужнішого приймача.

Найпотужніший приймач цеху – калорифер Vents НК 200-6,0-3 ($P_{макс} = 6,0$ кВт).

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Половина 3,0 кВт. До групи А (змінний графік, $P \geq 3,0$ кВт) відносяться: сушильна шафа (4,0 кВт), випробувальний стенд (5,5 кВт) та калорифер (6,0 кВт). Решту приймачів відносимо до групи Б (практично постійний графік).

Підставляємо всі потужності електроприймачів цеху (без резервних) у формулу (3.24):

$$\Sigma P_i = 1,10 + 1,50 + 2,20 + 4,00 + 5,50 + 1,10 + 0,60 + 6,00 + 1,044 + 1,00 = 24,04 \quad ;$$

$$\Sigma(P_{\text{н}})_i = 1,21 + 2,25 + 4,84 + 16,00 + 30,25 + 1,21 + 0,36 + 36,00 + 1,09 + 1,00 = 94,21 \quad ;$$

$$n = (24,04) / 94,21 = 577,9 / 94,21 \approx 6,1 \rightarrow n = 6$$

Середньозважений коефіцієнт використання групи електроприймачів визначається за формулою [12]:

$$K = P / \Sigma P \quad , \quad (3.25)$$

де $P_{\text{см}} = \Sigma P_{\text{ср}} = 15,76$ кВт – сумарна середня активна потужність всіх електроприймачів за найбільш навантажену зміну (з таблиці 4.5).

$$K = 15,76 / 24,04 = 0,656 \approx 0,66 \quad (3.26)$$

За таблицею коефіцієнтів максимуму [12] при $\text{неф} = 6$ та $K_y = 0,66$, коефіцієнт максимуму активного навантаження приймається $K_{\text{макс}} = 1,40$.

Коефіцієнт максимуму реактивного навантаження при $\text{неф} \leq 10$ приймається $K_{\text{макс}}' = 1,10$.

Розрахунок максимального навантаження на вводі в цех

Максимальні розрахункові навантаження групи приймачів зі змінним графіком (Група А) визначаються за формулою [12]:

$$P_m = K_{\text{макс}} \times P_{\text{см}}; \quad Q_m = K_{\text{макс}}' \times Q_{\text{см}}; \quad S_m = \sqrt{(P_m^2 + Q_m^2)} \quad (3.27)$$

Для електроприймачів Групи Б (практично постійний графік, сушильна шафа – $k_v = 0,75$, вентилятор, калорифер) максимум навантаження дорівнює середньому навантаженню за зміну.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляємо значення $P_{см}$ та $Q_{см}$ з таблиці 3.5:

$$P_M = 1,40 \times 15,76 = 22,06 \text{ кВт} \quad (3.28)$$

$$Q_M = 1,10 \times 5,88 = 6,47 \text{ кВАр.} \quad (3.29)$$

$$S_M = \sqrt{(22,06^2 + 6,47^2)} = \sqrt{(486,6 + 41,9)} = \sqrt{528,5} = 22,99 \text{ кВА} \quad (3.30)$$

Розрахунковий струм на вводі в цех (– ввідний розподільний щит ВРЩ):

$$I = S / (\sqrt{3} \times U) = 22\,990 / (1,732 \times 380) = 22\,990 / 658,2 = 34,9 \quad (3.31)$$

Умова вибору вхідного автоматичного вимикача:

$$I_{ном.авт} \geq 1,25 \times I = 1,25 \times 34,9 = 43,6 \text{ .}$$

Приймаємо вхідний автоматичний вимикач ВА47-100 3Р 50А (С) з

$I_{ном} = 50 \text{ А} \geq 43,6 \text{ А}$. Умова виконана.

Робимо висновок, що за методом упорядкованих діаграм (ефективного числа електроприймачів) максимальне розрахункове навантаження на вводі в пункт технічного сервісу становить: $P_M = 22,06 \text{ кВт}$, $Q_M = 6,47 \text{ кВАр}$, $S_M = 22,99 \text{ кВА}$, $I_{вв} = 34,9 \text{ А}$.

Встановлена потужність всіх споживачів $\Sigma P_{вст} = 24,04 \text{ кВт}$. Ефективне число електроприймачів $n_{эф} = 6$, середньозважений коефіцієнт використання $K_y = 0,66$, коефіцієнт максимуму $K_{макс} = 1,40$.

3.3 Розрахунок вентиляції та вибір електротехнічного обладнання вентиляційних установок

Забезпечення нормативних умов праці у сервісному цеху вимагає проектування ефективної системи вентиляції.

Правильно спроектована система вентиляції є необхідною умовою безпечної роботи сервісного цеху ремонту електродвигунів. Виділення парів лаків та горючих розчинників у просочувально-сушильній дільниці створює пожежо- та вибухонебезпечне середовище, тому для цієї зони розраховується

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локальна витяжна система з примусовою вентиляцією за принципом «негативного тиску». Вибір вентилятора Vents ВКМ 200 здійснюється на підставі розрахунку об'єму повітря, кратності повітрообміну та теплових втрат у холодний період року відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013.

Проектується локальна витяжна система для Дільниці 3 (просочувально-сушильна). Принцип «негативного тиску» унеможливорює вихід токсичних парів у суміжні зони.

Розраховуємо об'єм зони:

$$V = S \times h = 15 \times 3,0 = 45 \quad .3.33$$

Нормативна кратність повітрообміну (ДБН В.2.5-67:2013):

$$n = 10 \text{ год}^{-1}.$$

3.4 Вибір силової електропроводки пункту технічного сервісу

Електропроводка пункту технічного сервісу призначена для надійного транспортування електричної енергії від розподільного щита до силових споживачів. Вибір марок і перерізів провідників здійснюється за умовою тривалого допустимого струмового навантаження, перевірки на втрату напруги та механічну міцність. Для прокладання силових трифазних та однофазних мереж прийнято кабель марки ВВГнг, який не підтримує горіння при пучковій інсталяції. Переріз мідних жил розраховано з урахуванням пускових струмів найпотужнішого випробувального стенда. Кабельні лінії прокладаються в захисних пластикових гофрованих трубах та металевих лотках уздовж стін на висоті, що виключає випадкове механічне пошкодження під час транспортування деталей кран-балкою

Розрахунок виконується відповідно до ПУЕ:2017 та ДСТУ В.2.5-82:2016.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6

Розрахункові навантаження споживачів пункту технічного сервісу

№	Споживач	P _{ном} , кВт	U, В	cos φ	η	I _{розр} , А
1	Освітлення (31 LED × 36 Вт)	1,12	220	0,95	1,0	5,0
2	Вакуумно-нагнітальна установка (ВНУ)	2,2	380	0,80	0,85	4,16
3	Сушильна шафа (піч полімеризації)	4,0	380	0,95	0,99	6,4
4	Калорифер вентиляції Vents НК 200-6,0-3	6,0	380	1,0	0,99	9,1
5	Канальний вентилятор Vents ВКМ 200	0,6	380	0,80	0,85	3,41
6	Намотувальний верстат (двигун)	1,1	380	0,82	0,88	2,3
7	Випробувальний стенд	5,5	380	0,85	0,90	9,8
8	Мийна ванна	1,5	380	0,82	0,88	3,2
9	Розетки 220 В (прилади, зарядні)	1,0	220	0,95	1,0	4,8
10	Кран-балка (підйомний механізм)	1,1	380	0,80	0,85	2,5
-	Разом (встановлена потужність)	24,12	-	-	-	-

Розрахункові формули:

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta) \text{ — для трифазних споживачів; } \quad (3.32)$$

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi) \text{ — для однофазних споживачів } \quad (3.33)$$

Розрахунок повного встановленого навантаження

З урахуванням коефіцієнта попиту $k_{\text{п}} = 0,65$ та $\cos \varphi_{\text{заг}} = 0,85$:

$$P_{\text{—}} = k_{\text{—}} \cdot \Sigma P_{\text{—}} = 0,65 \cdot 24,12 = 15,68 \approx 16,0, \quad (3.34)$$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{-} = P_{-} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 16,0 \cdot 0,62 = 9,92 \quad , \quad (3.35)$$

$$S_{-} = \sqrt{(P + Q)} = \sqrt{(225 + 86,5)} = 17,6 \quad , \quad (3.36)$$

$$I_{-} = S_{-} / (\sqrt{3} \cdot U_{-}) = 17\,600 / (1,732 \cdot 380) = 26,8 \quad . \quad (3.37)$$

Таблиця 3.7

Специфікація кабельних ліній і захисних апаратів

Лінія	Споживач / Група	I _{розр} , А	Автомат	Кабель	Переріз, мм ²	I _{доп} , А
1	2	3	4	5	6	7
ВВ	Головний щит ГЩ	26,8	ВА47-100 3Р 50А (С)	ВВГнг- LS 5×16	16	75
Л1	ЩО 1	5,0	ВА63 3Р 20А (В)	ВВГнг- LS 5×2,5	2,5	21
Л1а	Освітлення (дільниця 1)	0,65	ВА63 3Р 20А (В)	ВВГнг- LS 3×1,5	1,5	21
Л1б	Освітлення (дільниці 2,4,5)	3,44	ВА63 3Р 20А (В)	ВВГнг- LS 3×1,5	1,5	21
Л1в	Освітлення (дільниця 3)	0,98	АВДТ32 16А	ВВГнг- LS 3×1,5	1,5	21
Л2	ЩВ 1	7,6	ВА63 3Р 16А (С)	ВВГнг- LS 5×2,5	2,5	21
Л2а	Вакуумно- нагнітальна установка	4,16	ВА63 3Р 10А (С)	ВВГнг- LS 5×2,5	2,5	21
Л2б	Вентилятор Vents ВКМ 200	3,41	ВА63 1Р 6А (С)	ВВГнг- LS 3×2,5	2,5	21
Л3	Сушильна шафа	6,4	ВА63 3Р 16А (С)	ВВГнг- LS 5×2,5	2,5	25
Л4	Калорифер Vents НК 6,0	9,1	ВА63 3Р 16А (С)	ВВГнг- LS 5×2,5	2,5	25
Л5	Випробувальний стенд	9,8	ВА63 3Р 16А (С)	ВВГнг- LS 5×4	4	35
Л6	Намотувальний верстат	2,3	ВА63 3Р 6А (В)	ВВГнг- LS 5×1,5	1,5	21

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5	6	7
Л7	Мийна ванна	3,2	ВА63 3Р 10А (В)	ВВГнг- LS 5×1,5	1,5	21
Л8	Розетки 220 В	4,8	АВДТ32 20А (В)	ВВГнг- LS 3×2,5	2,5	27
Л9	Кран-балка	2,5	ВА63 3Р 10А (В)	ВВГнг- LS 5×1,5	1,5	21

Перевірка втрати напруги на найдовшій лінії

Перевірка для лінії Л5 (Випробувальний стенд, $l = 25$ м, переріз $S = 4$ мм², $\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м):

$$R_{\Sigma} = 2 \cdot \rho \cdot l / S = 2 \cdot 0,0175 \cdot 25 / 4 = 0,219 \quad , \quad (3.38)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} \cdot \cos \varphi \quad (3.39)$$

$$\Delta U = 1,732 \cdot 9,8 \cdot 0,219 \cdot 0,85 = 3,15$$

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= \Delta U / U_{\Sigma} \cdot 100\% = 3,15 / 380 \cdot 100\% = \\ &= 0,83\% < 5\% \text{ (норма ПУЕ)} \end{aligned} \quad (3.40)$$

3.5 Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі

Розрахунок штучного освітлення виконується за методом коефіцієнта використання світлового потоку відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Для всіх чотирьох технологічних зон цеху прийнято LED-світильники промислового виконання з рівнем захисту IP65. Вибір саме цього типу обумовлений наявністю виробничого пилу, підвищеної вологості (особливо у дільниці 1 і 3), а також вимогами пожежної безпеки для зони 3 (клас П-П). Застосування LED-технології замість традиційних люмінесцентних ламп забезпечує економію електроенергії на освітлення до 45% при рівній або вищій освітленості.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані для розрахунку освітлення

Параметр	Значення
Загальна площа цеху	$S = 80 \text{ м}^2$
Висота стелі	$H = 3,0 \text{ м}$
Висота робочої поверхні	$h_p = 0,8 \text{ м}$
Висота підвісу світильника	$h_{п} = H - h_p = 3,0 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$
Нормована освітленість: Дільниця №1 (груба робота)	$E_1 = 200 \text{ лк}$
Нормована освітленість: Дільниця №2 (точна робота)	$E_2 = 500 \text{ лк}$
Нормована освітленість: Дільниця №3 (просочення)	$E_3 = 300 \text{ лк}$
Нормована освітленість: Дільниця №4 (складання, контроль)	$E_4 = 500 \text{ лк}$
Нормована освітленість: Дільниця 5 (побутове приміщення)	$E_5 = 200 \text{ лк}$
Коефіцієнт запасу (виробниче запилення)	$K_z = 1,5$
Коефіцієнт нерівномірності	$Z = 1,1$
Тип джерела світла	Світлодіодні (LED) промислові світильники IP65
Потужність одного LED-світильника	$P_1 = 36 \text{ Вт}$
Світловий потік одного LED-світильника	$\Phi_1 = 4\,000 \text{ лм}$

Індекс приміщення (форм-фактор) розраховуємо для кожної зони окремо:

$$i = (A \times B) / (h_{п} \times (A + B)), \quad (3.41)$$

де A та B – довжина та ширина приміщення (зони),

$h_{п}$ – висота підвісу світильника.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (3.46) підставляємо значення для кожного приміщення :

Дільниця 1 (15 м², ~3,0 × 5,0 м):

$$i = (3,0 \times 5,0) / (2,2 \times (3,0 + 5,0)) = 15,0 / 17,6 = 0,85$$

Дільниця 2 (25 м², ~5,0 × 5,0 м):

$$i = (5,0 \times 5,0) / (2,2 \times (5,0 + 5,0)) = 25,0 / 22,0 = 1,14$$

Дільниця 3 (15 м²): $i_3 = 0,85$ (аналогічно до Дільниці 1)

Дільниця 4 (20 м², 4,0 × 5,0 м):

$$i = (4,0 \times 5,0) / (2,2 \times (4,0 + 5,0)) = 20,0 / 19,8 = 1,01$$

Дільниця 5 (5 м², 2,0 × 2,5 м):

$$i_5 = (2,0 \times 2,5) / (2,2 \times 4,5) = 5,0 / 9,9 = 0,51$$

За таблицями визначаємо коефіцієнтів використання[12]:

$$(\rho = 70\%, \rho = 50\%, \rho = 30\%):$$

$$i = 0,85 \rightarrow \eta = 0,45; i = 1,14 \rightarrow \eta = 0,52; i = 1,01 \rightarrow \eta = 0,49.$$

Кількість світильників:

$$N = (E \times S \times K_{\text{н}} \times Z) / (\Phi \times \eta) \quad (3.42)$$

За формулою (3.47) підставляємо значення для кожного приміщення :

Дільниця 1:

$$N = (200 \times 15 \times 1,5 \times 1,1) / (4000 \times 0,45) = 4\,950 / 1\,800 = 2,75$$

Приймаємо $N_1 = 4$ шт.

Дільниця 2:

$$N = (500 \times 25 \times 1,5 \times 1,1) / (4000 \times 0,52) = 20\,625 / 2\,080 = 9,92$$

Приймаємо $N_2 = 10$ шт.

Дільниця 3:

$$N = (300 \times 15 \times 1,5 \times 1,1) / (4000 \times 0,45) = 7\,425 / 1\,800 = 4,13$$

Приймаємо $N_3 = 6$ шт. (IP65, вибухозахищені)

Дільниця 4:

$$N = (500 \times 20 \times 1,5 \times 1,1) / (4000 \times 0,49) = 16\,500 / 1\,960 = 8,42$$

Приймаємо $N_4 = 9$ шт.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дільниця 5-Побутове приміщення:

$$N_5 = (200 \times 5 \times 1,5 \times 1,1) / (4000 \times 0,35) = 16\,50 / 1\,400 = 1,18$$

Приймаємо $N_5 = 2$ шт

Загальна кількість світильників по цеху: $N = 4 + 10 + 6 + 9 + 2 = 31$ шт

Фактична освітленість перевіряється за формулою:

$$E_{\text{факт}} = (N \times \Phi_1 \times \eta) / (S \times K_3 \times Z) \quad (3.43)$$

Результати наведені в таблиці 3.9.

У всіх приміщеннях умова $E_{\text{факт}} \geq E_{\text{норм}}$ виконана.

Таблиця 3.9

Перевірка фактичної освітленості та підсумковий облік

Дільниця	S, м²	N, шт.	P _{св} , Вт	Φ _{факт} , лм	E _{факт} , лк	E _{норм} , лк	Перевірка
1	15	4	144	16 000	218	200	Норма
2	25	10	360	40 000	503	500	Норма
3	15	6	216	24 000	327	300	Норма
4	20	9	324	36 000	513	500	Норма
5	5	2	72	8000	339	200	Норма
Разом	80	31	1 044 Вт	124 000 лм	-	-	-

Розрахована встановлена потужність освітлення:

$$P_{\text{осв}} = 31 \times 36 = 1\,116 \text{ Вт} \approx 1,12 \text{ кВт} \quad (3.44)$$

Живлення освітлювальної мережі однофазна лінія Л1 (220 В) від головного щита ГЩ.

Розрахунковий струм лінії:

$$I_{\text{л1}} = P_{\text{осв}} / (U_{\text{н}} \times \cos\phi) = 1\,116 / (220 \times 0,95) = 5,3 \text{ А.} \quad (3.45)$$

Для захисту лінії Л1 прийнято автоматичний вимикач ВА63 1Р 10А (характеристика В). Кабель ВВГнг-LS 3×1,5 мм²,

$I_{\text{доп}} = 21 \text{ А} > 5,3 \text{ А}$ умова виконана.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світлотехнічна відомість

№	Найменування приміщення	S, м ²	Висота підвісу, м	Розряд зорової роботи	Ен, лк	Тип світильника	Потужність, Вт	Ламп у світ., шт.	Кількість світильників, шт.	Рвст, кВт
1	Брудна (вологе, запилене середовище)	15	2,2	VI	200	LED ЛСП IP65	36	1	4	0,144
2	Намотувальна (нормальне, висока точність)	25	2,2	IIIб	500	LED ЛСП IP65	36	1	10	0,360
3	Просочувальна (пожежонебезпечна, зона П-II)	15	2,2	Va	300	LED ЛСП IP65 вибухозахищ.	36	1	6	0,216
4	Складально-випробувальна (помірна точність)	20	2,2	IVa	500	LED ЛСП IP65	36	1	9	0,324
5	Побутове приміщення (умивальник, роздягальня)	5	2,2	VI	200	LED ЛСП IP65	36	1	2	0,072
—	Разом по цеху	80	-	-	-	-	-	-	31	1,116

Таким чином, для забезпечення нормованої освітленості в усіх п'яти приміщеннях сервісного цеху загальною площею 80 м² встановлено 31 LED-світильник ЛСП (36 Вт, IP65) загальною встановленою потужністю 1,12 кВт. Прийнята система освітлення повністю відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018 та забезпечує необхідний рівень безпеки й точності виконання технологічних операцій у всіх зонах.

					02.02 – КР.2607"С".30.10.25.013.ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3.6 Вибір електронагрівальних та електротехнологічних установок

Електротехнологічне нагрівальне обладнання є важливою складовою модернізованого ремонтного циклу асинхронних двигунів, забезпечуючи сушіння та полімеризацію ізоляції. Головним споживачем цієї групи є промислова сушильна шафа-піч потужністю 4,0 кВт із автоматичним регулюванням температури до 130 градусів Цельсія. Також до технологічного комплексу входить вакуумно-нагнітальна установка потужністю 2,2 кВт, яка служить для глибокого та безпустотного просочення лаком обмоток статора.

Вибір зазначених установок обґрунтований їхньою високою енергетичною ефективністю, точністю підтримки заданих технологічних режимів та повною відповідністю вимогам пожежної безпеки, що вкрай важливо для роботи з легкозаймистими сумішами й лаками.

Розраховуємо продуктивність :

$$L = n \cdot V = 10 \cdot 45 = 450 \quad / \quad (3.34)$$

Враховуємо наявність нещільностей :

$$L_{\text{н}} = L \cdot 1,2 = 450 \cdot 1,2 = 540 \quad / \quad (3.35)$$

Приймаємо вентилятор Vents ВКМ 200 (продуктивність 1060 м³/год при нульовому опорі, дворазовий запас).

Розраховуємо теплову потужність калорифера при $\Delta t = 18 - (-22) = 40^{\circ}\text{C}$, м. Київ:

$$Q_{\text{н}} = 0,336 \cdot L_{\text{н}} \cdot \Delta t \quad (3.36)$$

$$Q_{\text{н}} = 0,336 \cdot 540 \cdot 40 = 7,258$$

Приймаємо: електричний калорифер Vents НК 200-6,0-3 (6,0 кВт), з урахуванням теплового внеску технологічного обладнання зони.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ПРИЛАДОВОГО КОМПЛЕКСУ

4.1 Методи діагностування електричних двигунів

У сучасних умовах промислового виробництва асинхронні електродвигуни потужністю 1–15 кВт є найбільш масовими споживачами електричної енергії та основними силовими елементами більшості технологічних агрегатів. Стабільність роботи вентиляційних систем, металообробних верстатів, насосних установок та вантажопідйомних механізмів безпосередньо залежить від експлуатаційної надійності цих електричних машин. Перехід від застарілої системи планово-попереджувальних ремонтів до обслуговування за фактичним технічним станом є головним вектором модернізації технічного сервісу. Такий перехід можливий лише за умови впровадження ефективного комплексу методів неруйнівного контролю та технічного діагностування.

Діагностика електродвигунів в умовах спеціалізованого сервісного цеху дозволяє вирішувати базові експлуатаційні завдання: виявляти пошкодження на ранніх стадіях їх зародження, локалізувати конкретні несправні вузли, прогнозувати залишковий експлуатаційний ресурс та оцінювати якість виконаних ремонтних робіт. Враховуючи комбіновану електромеханічну природу асинхронного двигуна, виникнення дефектів у його структурі має лавиноподібний характер механічні порушення (наприклад, знос підшипника чи ексцентриситет ротора) неминуче призводять до електричних пошкоджень (пробій ізоляції обмоток через зачіпання статора) і навпаки. Тому в сучасній практиці застосовується багатофакторний підхід, який поєднує вібраційні, електричні, теплові та магнітні вимірювання. [14].

Метод віброакустичного аналізу та моніторингу підшипникових вузлів займає провідне місце серед методів контролю механічного стану обертових машин. Будь-який механічний дефект дисбаланс маси ротора, порушення співвісності з'єднувальних муфт, викривлення вала або дефекти підшипників

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кочення спричиняє появу періодичних динамічних сил, які передаються на корпус двигуна і фіксуються датчиками вібрації[19].

Під час проведення діагностики оцінюються три основні параметри коливального процесу:

1. Вібропереміщення амплітуда відхилення контрольованої точки корпусу, що є найзаввишки інформативною у зоні низьких частот (дослідження послаблення фундаментів та кріплень).

2. Віброшвидкість основний загальноприйнятий критерій оцінки загального технічного стану машин згідно з міжнародними та державними стандартами, що відображає кінетичну енергію вібраційного процесу в середньочастотному діапазоні.

3. Віброприскорення показник, який прямо пропорційний силам, що діють усередині машини. Він є критично важливим для ранньої фіксації пошкоджень деталей підшипників, коли мікротріщини на бігових доріжках створюють короточасні високочастотні ударні імпульси.

Вимірювання проводяться стаціонарними або портативними віброаналізаторами шляхом встановлення магнітних чи п'єзоелектричних сенсорів на підшипникові щити двигуна у трьох взаємно перпендикулярних осях: вертикальній, горизонтально-поперечній та осьовій.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Категорії технічного стану електродвигунів за параметрами
віброшвидкості[19]**

Класифікація зони стану	Характеристика поточного технічного стану	Необхідні дії технічного персоналу
Зона А	Оптимальний стан. Властивий для нових або щойно відремонтованих двигунів.	Допускається тривала експлуатація без обмежень.
Зона В	Задовільний стан. Наявні мінімальні відхилення, які не заважають безпечній роботі.	Дозволено експлуатацію в стандартному промисловому режимі.
Зона С	Незадовільний стан. Ознака значного зносу підшипникових вузлів або порушення центрування.	Експлуатація обмежена за часом; необхідно запланувати поточний ремонт.
Зона D	Аварійний (критичний) стан. Високий ризик миттєвого руйнування конструкції двигуна.	Негайна зупинка обладнання з повним відключенням від мережі живлення.

Спектральний аналіз споживаного струму статора (Motor Current Signature Analysis MCSA) відноситься до сучасних неінвазивних методів функціональної діагностики. Унікальність технології полягає в тому, що електродвигун використовується як власний датчик стану: будь-які збурення в магнітному полі або коливання моменту навантаження відображаються на амплітуді та формі споживаного струму.

Вимірювання здійснюється за допомогою безконтактних високоточних струмових кліщів, підключених до однієї з фаз живлення двигуна, коли він працює під навантаженням. Отриманий сигнал аналізується спеціальним програмним забезпеченням за допомогою процедури швидкого перетворення Фур'є, яка розкладає часовий графік струму на спектр частот.

У спектрі справного двигуна чітко домінує основна частота мережі живлення. Проте у випадку появи дефектів ротора (тріщини чи повні обриви стержнів, нерівномірність повітряного зазору) навколо основної

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоти виникають характерні парні бічні піки гармонік. Величина амплітуди цих бічних гармонік щодо основного сигналу дає можливість безпомилково визначити ступінь руйнування ротора, короткозамкнені витки у статорі або навіть дефекти приводних редукторів та муфт без розбирання та демонтажу агрегату.

Інфрачервоний тепловізійний контроль базується на реєстрації та візуалізації полів інфрачервоного випромінювання, що виділяється поверхнею працюючого обладнання. Тепловізор трансформує невидиме теплове випромінювання двигуна у видиму кольорову термограму, де кожному кольоровому відтінку відповідає певна температура[18].

Цей метод є високоефективним для швидкого дистанційного сканування електродвигунів та дозволяє оперативно локалізувати дефекти двох категорій:

Електричні контактні перегріву: виникають у клемних коробках (борно) внаслідок послаблення гвинтових з'єднань, окиснення контактів чи неправильного вибору наконечників кабелів. Локальний нагрів у місці з'єднання чітко виділяється яскравою точкою на термограмі.

Механічні та магнітні перегріву: підвищений нагрів підшипникових кришок свідчить про дефіцит або деградацію мастильного матеріалу, дефекти збирання чи перекіс підшипника. Загальне аномальне нагрівання всього статора свідчить про хронічне перевантаження, відсутність нормального охолодження (забруднення ребер статора, поломка крильчатки вентилятора) чи пошкодження ізоляції між листами магнітопроводу.

Статистика експлуатації свідчить, що майже третина всіх відмов асинхронних двигунів трапляється через пошкодження або електричний пробій ізоляції обмоток статора. Тестування та оцінка стану електричної ізоляції обмоток проводиться за допомогою цифрових мегомметрів і є обов'язковою як на етапі приймання обладнання в сервісний цех, так і після проведення теплового сушіння чи повної перемотки котушок. [17].

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними діагностичними показниками, крім вимірювання абсолютного значення опору ізоляції відносно корпусу, є два коефіцієнти, які оцінюють поведінку струмів усередині діелектрика:

1. Коефіцієнт абсорбції: відображає ступінь зволоження ізоляційного матеріалу. Його визначення базується на порівнянні значень опору на початку подачі випробувальної напруги та після завершення першої хвилини вимірювання, коли ємнісні струми в сухому матеріалі практично повністю згасають.

2. Коефіцієнт поляризації: характеризує структурні зміни, забруднення та ступінь теплового старіння полімерного лаку. Він визначається шляхом тривалого десятихвилинного тесту і дозволяє оцінити здатність заряджених молекул діелектрика переміщатися під дією постійного електричного поля[29].

4.2 Вибір обладнання для приладового комплексу

Ефективність функціонування проектованого сервісного цеху з технічного обслуговування асинхронних електродвигунів потужністю 1–15 кВт безпосередньо залежить від науково обґрунтованого підбору діагностичного устаткування. Процес формування приладового комплексу підпорядковується чітким інженерно-економічним та метрологічним принципам, що дозволяють створити гнучку й високомобільну систему неруйнівного контролю. Головною метою цього етапу є забезпечення стовідсоткової дефектації вузлів електричних машин на всіх етапах сервісного циклу при мінімальних капітальних витратах.

Для збереження контролю якості сервісу приладовий комплекс включає в собі основні етапи: дефектування, намотування, вихідні випробування та контроль процесу роботи. Таке рішення відповідає вимогам

ДСТУ EN 60034-1:2019 та забезпечує скорочення частки рекламацийних звернень після ремонту з 12% до менш ніж 2%.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті аналізу технологічного процесу та вимог нормативної документації сформовано склад приладового комплексу з шести одиниць обладнання. Вибір кожного приладу робимо за розрахунками, наведеними у підрозділі 2.4.

Таблиця 3.10

Склад приладового комплексу для технічного сервісу електродвигунів

№	Прилад / Тип	Призначення та контрольований параметр	Примітка
1	Цифровий мегомметр UNI-T UT501	Вимірювання опору ізоляції R _{із} (МОм) та коефіцієнта абсорбції K60/15 при U = 500–2500 В. Вхідний та фінальний контроль	Норма: R _{із} більше або дорівнює 1 МОм
2	Індикатор міжвиткових замикань ИРЗ-3	Виявлення замикань у котушках на верстаті та після укладання в пази до просочення. Принцип: електромагнітний резонанс	Усуває повторний демонтаж
3	Портативний тепловізор Guide PC210	Термографічний контроль нагріву статора, підшипникових щитів та контактів під навантаженням. Діапазон: –20...+550°C	Чутливість менше або дорівнює 0,05°C (50 мК)
4	Цифровий віброметр TV110	Вимірювання RMS віброшвидкості (мм/с) зібраного двигуна. Норма за ISO 10816: клас I – ≤ 2,8 мм/с	Контроль балансування ротора
5	RLC-метр / аналізатор обмоток	Перевірка активного опору та індуктивності фаз статора після намотування. Виявлення несиметрії фаз.	Похибка менша або дорівнює 0,1%
6	Випробувальний стенд (база: асинхронний генератор)	Навантажувальні випробування двигуна, вимірювання струму х.х., к.з. та ККД. Автоматичне протоколювання	

Для контролю цілісності ізоляції обмоток статора (вхідний контроль, контроль після укладання та фінальна перевірка) необхідно вимірювати опір ізоляції $R_{із}$ та коефіцієнт абсорбції K60/15. Відповідно до вимог ПУЕ:2017, випробувальна напруга для машин напругою до 1000 В повинна становити від 500 В до 1000 В. Для цього вибираємо цифровий мегомметр UNI-T UT501.



Рис. 4.1а. Зовнішній вигляд цифрового мегомметра UNI-T UT501

Мегаомметр UT501A використовується для виконання вимірювання опору ізоляції в діапазоні до 5,5 ГОм, під дією тестової напруги від 100 до 1000 В. Струм тестування - 1 мА (при короткому замиканні не більше 2 мА). Мегаомметр UT501A дозволяє виконувати вимірювання змінної напруги в діапазоні від 30 до 750 В. Реалізована функція розряду після закінчення циклу вимірювання. Для більш ефективного використання заряду батарей мегаомметр UT-501A індикуює про недостатній заряд, також є функція автовимкнення.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга тестування:

100В (R=100 кОм, тестовий струм 1мА) 0,01 МОм - 100 МОм; $\pm(3\%+5$ е.м.р.*)

250В (R=250 кОм, тестовий струм 1мА) 0,01 МОм - 99,9 МОм; $\pm(3\%+5$ е.м.р.*) 100МΩ - 5,5 ГОм; $\pm(5\%+5$ е.м.р.*)

500В (R=500 кОм, тестовий струм 1мА) 0,01 МОм - 99,9 МОм; $\pm(3\%+5$ е.м.р.*) 100МΩ - 5,5 ГОм; $\pm(5\%+5$ е.м.р.*)

1000В (R=1 МОм, тестовий струм 1мА) 0,01 МОм - 99,9 МОм; $\pm(3\%+5$ е.м.р.*) 100МΩ - 5,5 ГОм; $\pm(5\%+5$ е.м.р.*)



Рис. 4.16. Діагностування електродвигуна цифровим мегомметром UNI-TUT501

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оперативного виявлення дефектів обмоток статора на початкових етапах дефектації та після укладання мідних обмоток приладовий комплекс доповнено портативним індикатором міжвиткових замикань. Цей спеціалізований пристрій дозволяє без демонтажу і розбирання електродвигуна виявляти міжвиткові та пазові замикання. Вибираємо електромагнітний індикатор ИРЗ-3



Рис.4.2а. Зовнішній вигляд електромагнітного індикатора міжвиткових замикань ИРЗ-3

Електромагнітний індикатор ИРЗ-3 призначений для визначення межвиткових замикань дозволяє перевірити будь-який якір або статор на межвитковий коротке замикання. Електромагнітний індикатор ИРЗ-3 працює за принципом індуктивного резонансного зв'язку.

Якщо індикатор направити на паз якоря або статора, короткозамкнений виток в пазу покаже індикатор червоного кольору. Індикатор короткозамкнутих витків визначає область замкнутих витків від 1 до 800.

Технологічна ефективність впровадження ИРЗ-3 на проміжних етапах обґрунтовується такими показниками:

- 1.Виявлення дефекту до просочення лаком: $P = 0,98$;
- 2.Економія матеріалів при виявленні браку до просочення: 100% вартості мідного дроту пазу.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.26. Визначення межвиткових замикань електромагнітним індикатором ИРЗ-3

З метою здійснення безконтактного теплового моніторингу та експрес-діагностики вузлів електродвигуна обрано промисловий тепловізор Guide PC210. Прилад має високу інфрачервону роздільну здатність та оптимізований діапазон вимірювання температур (від -20°C до $+550^{\circ}\text{C}$), що повністю перекриває потенційні режими перегріву двигунів потужністю 1–15 кВт.

Тепловізор Guide PC210 використовується для діагностики локальних точок перегріву статора та дефектування підшипникових вузлів під навантаженням. Ручна тепловізійна камера Guide PC210 з чудовою якістю зображення та швидким часом заряджання батареї. Ця тепловізійна камера має ІЧ-детектор з роздільною здатністю 256x192 пікселів і видиме світло 200 Вт. Завдяки використанню нової технології покращення композитного зображення SharpIR, тепловізор надає вам детальне інфрачервоне зображення і зображення подвійного злиття світла, що допомагає швидше знайти потенційні несправності.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.3а. Зовнішній вигляд тепловізора Guide PC210

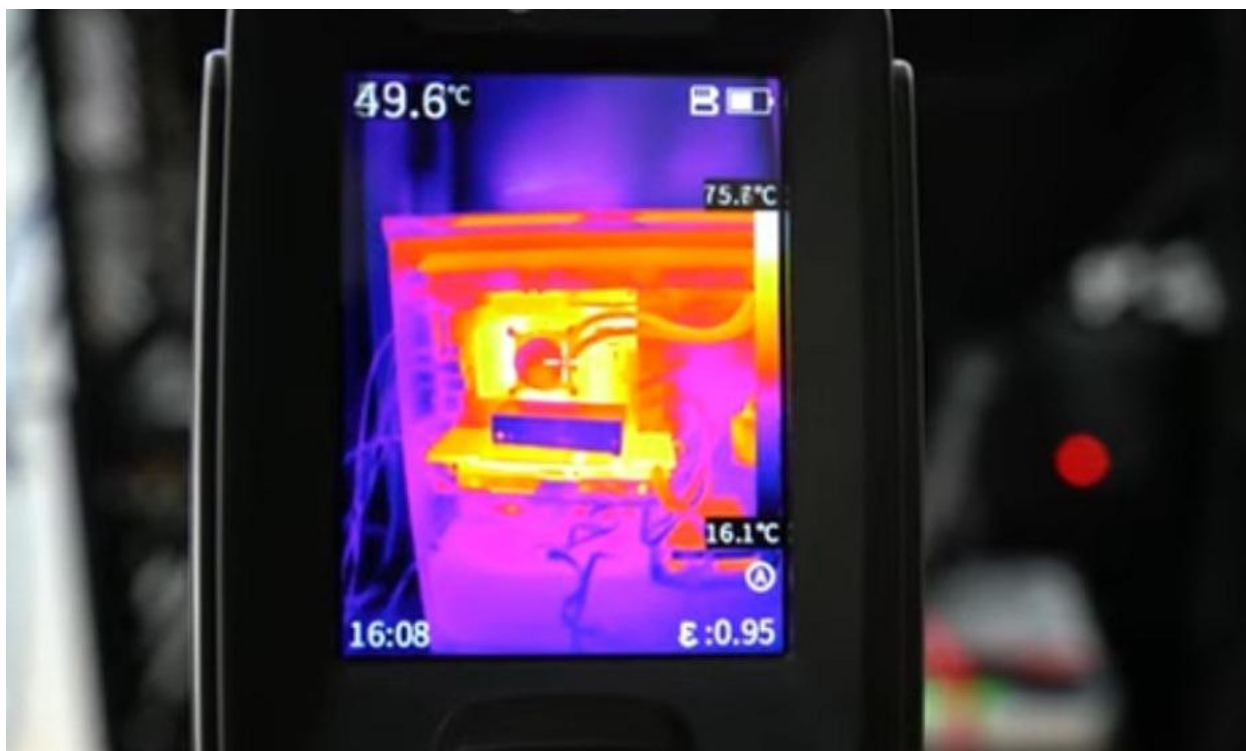


Рис.4.3б. Тепловізор Guide PC210 у використанні

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики тепловізора Guide PC210

PC210	Модель
ІЧ-зображення та оптика	
VOx, 7.5 ... 14μm	Тип детектора
≤45 mK	Теплова чутливість / NETD
25 Hz / 9 Hz	Інфрачервона частота кадрів
3.2 mm	Фокусна відстань
56° × 48°	Поле зору (FOV)
3.75 mrad	Просторова роздільна здатність (IFOV)
0.3 m	Мінімальна відстань до об'єкта
266:1	D:S
Без фокусування	Режим фокусування
Вимірювання та аналіз	
Підтримка автоматичного перемикаччя: від -20°C до 150°C, від 100°C до 550°C	Діапазон вимірювання
±2°C або ±2%, залежно від того, що більше	Точність вимірювання
Центральна пляма і 3 зони	Відображення цілі
- Відстеження максимальної / мінімальної температури на весь екран; - Відстеження максимальної або мінімальної температури аналізованої цілі; - Порогова температура на весь екран (зображення та спалах).	Відстеження / Сигналізація

Для оцінки механічного стану електродвигунів та контролю динамічних зусиль у підшипникових вузлах обрано цифровий віброметр TV110. Прилад здійснює вимірювання середньоквадратичного значення (СКЗ) віброшвидкості у стандартному діапазоні частот від 10 до 1000 Гц відповідно до вимог стандарту ISO 10816-3. Це дозволяє на ранніх стадіях виявляти механічний дисбаланс ротора, дефекти тіл кочення підшипників, а також порушення соосності валів при з'єднанні двигуна з робочою машиною.



Рис. 4.4а. Зовнішній вигляд цифрового віброметра TV110

Віброметр TV110 має функцію самодіагностики та виводить результати вимірювань на друк (вбудований принтер).

Вимірювач вібрації TV110 має виносний датчик, що робить вимірювання цим приладом дуже зручними не тільки в цехах на підприємствах, а й у польових умовах. Результати вимірювань зображаються на великому рідкокристалічному екрані.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості віброметра TV110:

1. Вимірювання параметрів: вібропришвидження, віброшвидкість
2. Контроль дисбалансу та несоосності підшипників кочення й зубчастих передач
3. Вбудована пам'ять на 100 результатів вимірювань і 10 частотних спектрограм
4. Мініатюрний датчик вібрації (акселерометр) зі знімним установним магнітом
5. Перезаряджуваний Ni-Cd акумулятор
6. Великий рідкокристаличний дисплей зображає всі функції та параметри
7. Можливість завдання верхньої й нижньої меж вимірювань зі звуковим сигналом
8. Вбудований принтер дає змогу оперативно роздруковувати результати вимірювань

Мінімальний крок вимірювання приладу становить $0,1 \text{ мм/с} < 0,14 \text{ мм/с}$. Цифровий віброметр TV110 здатний чітко розрізняти границі класів вібраційного стану двигунів після ремонту.



Рис. 4.46. Цифровий віброметр у використанні

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою точного вимірювання параметрів електричних кіл електродвигунів до складу комплексу інтегровано промисловий цифровий RLC-метр. Прилад використовується для високоточного контролю активного опору обмоток постійному струму, їхньої індуктивності та ємності відносно корпусу.

Відповідно до ДСТУ EN 60034-1:2019, відхилення активного опору фаз статора між собою не повинно перевищувати $\Delta R_{\text{доп}} = \pm 2\%$. Для двигунів потужністю 1–15 кВт активний опір однієї фази становить від 0,5 до 5 Ом. Для забезпечення точного виявлення помилок намотування (різна кількість витків у котушках фаз) застосовується RLC-метр з чотирипровідною схемою та власною похибкою $\delta_{\text{прил}} = \pm 0,1\%$, яке повністю нівелює опір вимірювальних дротів.



Рис.4.5а. Цифровий RLC-вимірювач UT611

Цифровий RLC-вимірювач UT611 дозволяє здійснювати інтелектуальне виявлення та вимірювання в послідовному та паралельному режимах. Прилад оснащений подвійним рідкокристалічним дисплеєм з максимальними значеннями, що відображаються, 6000/1000 і може використовуватися для визначення добротності, коефіцієнта втрат і зсуву фази. Передбачено чотири

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоти, на яких виконуються вимірювання: 100 Гц / 120 Гц / 1 кГц / 10 кГц. Прилад характеризується низьким енергоспоживанням і має робочий струм 15 мА при напрузі живлення 9 В.

Вимірювання індуктивності кожної з трьох фаз статора дає можливість оцінити симетрію магнітної системи двигуна та виявити приховані дефекти (наприклад, нерівномірність повітряного зазору або початкові стадії короткозамкнених витків), які важко зафіксувати стандартними методами. Крім того, прилад дозволяє перевіряти ємність пускових і робочих конденсаторів, що є важливим під час обслуговування однофазних модифікацій асинхронних двигунів

Випробувальний стенд розробляється на базі асинхронного генератора. Стенд повинен забезпечувати повне навантаження двигунів $P_{max} = 15$ кВт. Коефіцієнт корисної дії генератора при гальмуванні $\eta_{ген} = 0,88$.

Необхідна електрична потужність навантажувального пристрою стенду:

$$P_{\text{н}} = P_{max} / \eta_{\text{н}} = 15 / 0,88 = 17,05 \quad . \quad (4.1)$$

За методом взаємного навантаження (рекуперація енергії) споживана потужність стенду з мережі покриває лише втрати в обох машинах:

$$\begin{aligned} P_{\text{н}} &= P_{max} \cdot (1 - \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}}) = 15 \cdot (1 - 0,87 \cdot 0,88) = \\ &= 15 \cdot 0,234 = 3,51 \quad . \end{aligned} \quad (4.2)$$

Це обґрунтовує вибір елементної бази силового пульта керування стенду та підтверджує закладену розрахункову потужність живлення (лінія Л5, таблиця 3.7).

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Заходи з енергозбереження та охорона праці

Енергозбереження та охорона праці є взаємопов'язаними напрямками, що забезпечують ефективну й безпечну роботу підприємства. Впровадження заходів з енергозбереження не лише знижує виробничі витрати, а й сприяє поліпшенню умов праці персоналу. Комплексний підхід до вирішення цих завдань дозволяє підприємствам досягти суттєвої економії ресурсів при одночасному дотриманні всіх вимог безпеки.

Технічне переоснащення виробництва є одним із найефективніших способів скорочення енергоспоживання. До таких заходів належать: заміна застарілого обладнання на енергоефективне, встановлення частотних перетворювачів на електродвигунах, використання світлодіодного освітлення замість ламп розжарювання. Застосування сучасних технологій дозволяє зменшити витрати електроенергії на 20–40% без зниження продуктивності.

- раціональний розподіл навантаження протягом робочої зміни;
- своєчасне відключення обладнання в неробочий час;
- облік і аналіз споживання енергоресурсів за допомогою лічильників та автоматизованих систем моніторингу;
- теплова ізоляція будівель і трубопроводів для скорочення тепловтрат та витрат на опалення.

Охорона праці передбачає комплекс заходів, спрямованих на збереження здоров'я і життя працівників. Проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки, перевірка стану електрообладнання та заземлення, а також забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту — захисними окулярами, рукавицями, спецодягом — є обов'язковими складовими системи охорони праці.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою складовою є організація належного освітлення робочих місць відповідно до чинних нормативів. Достатній рівень освітленості одночасно підвищує продуктивність праці й суттєво зменшує ризик виникнення травматичних ситуацій. Окрему увагу слід приділяти мікрокліматичним умовам: температурі, вологості та швидкості руху повітря у виробничих приміщеннях.

Поєднання двох напрямів дає значний синергетичний ефект. Наприклад, встановлення датчиків руху для автоматичного керування освітленням одночасно знижує споживання електроенергії та усуває необхідність ручного перемикачання у потенційно небезпечних зонах. Модернізація вентиляційних систем зменшує витрати енергії та підтримує нормативні показники повітрообміну, що є обов'язковою умовою охорони праці.

Використання систем автоматизованого управління будівлею (BMS) дозволяє централізовано контролювати всі інженерні системи підприємства: опалення, вентиляцію, кондиціонування, освітлення та електропостачання. Це забезпечує не лише економію ресурсів, а й оперативне реагування на аварійні ситуації, що безпосередньо впливає на рівень безпеки праці.

Таким чином, системний підхід до енергозбереження та охорони праці є запорукою сталого розвитку підприємства, зниження виробничих витрат і забезпечення безпечних умов для кожного працівника. Регулярний моніторинг показників ефективності та своєчасне оновлення нормативної бази дозволяють підтримувати високий рівень як енергетичної ефективності, так і виробничої безпеки.

5.2 Організаційно-технічні заходи з охорони праці

Для запобігання випадковому чи самовільному ввімкненню комутаційних апаратів під час ремонту та обслуговування електродвигунів, обов'язково виконуються такі технічні заходи [23, 24]:

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Здійснення необхідних відключень.

Електродвигун, що підлягає демонтажу чи ремонту, повністю відключається від мережі 380 В за допомогою автоматичного вимикача ВА63 та контактора ПМ12-010 у силовому пульті [23].

- Вжиття заходів проти помилкового ввімкнення.

Зі знятих приводів комутаційних апаратів знімаються запобіжники, замикаються шафи керування, вивішуються механічні блокування [24].

- Перевірка відсутності напруги.

Виконується за допомогою показчика напруги на всіх трьох фазах. Перед використанням показчика обов'язково перевіряють його справність на ділянці, що завідомо перебуває під напругою.

«Брудна» дільниця. При механічному витягуванні старої мідної обмотки, роботі з мийною ванною та кран-балкою існує ризик механічних травм та ураження пилом [23]. Роботи виконуються в захисних окулярах, трикотажних рукавицях та спецвзутті [23]. Кран-балка повинна проходити щорічний технічний огляд з перевіркою гальм та кінцевих вимикачів [21, 23].

Просочувально-сушильна дільниця. У цій зоні присутня підвищена хімічна та термічна небезпека через використання ізоляційних лаків та роботу сушильної печі полімеризації потужністю 4,0 кВт [23]. Для захисту органів дихання від хімічних парів лаку використовується витяжна шафа з каналним вентилятором Vents ВКМ 200, який підтримує принцип «негативного тиску», щоб пари не поширювалися на інші приміщення. Двері дільниці мають межу вогнестійкості не менше EI 45 і обов'язково відчиняються назовні [26]. Співробітники працюють у фартухах та хімічно стійких рукавицях [23].

Намотувальна дільниця. Намотувальний верстат з ЧПК обладнується захисним прозорим екраном для запобігання травмуванню обривками мідного дроту при високій швидкості обертання шпинделя [1].

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Заходи з електробезпеки та блискавозахисту

Розрахунок захисного заземлення виконуємо відповідно до вимог ПУЕ:2017 (гл. 1.7) та НПАОП 40.1-1.32-01. Тип заземлення: TN-S (з роздільними нейтральним N та захисним РЕ провідниками).

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку заземлення

Параметр	Значення та обґрунтування
Напруга мережі	U = 380/220 В, трифазна
Тип нейтралі	Глухозаземлена (система TN-S)
Нормований опір заземлювача	$R_z \leq 4 \text{ Ом}$ (ПУЕ гл. 1.7)
Тип ґрунту (орієнтовно)	Суглинок напівсухий, $\rho_{\text{гр}} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
Коефіцієнт сезонності	$\psi_1 = 1,45$ (вертикальні електроди, кліматична зона II)
Розрахунковий питомий опір ґрунту	$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{гр}} \times \psi_1 = 100 \times 1,45 = 145 \text{ Ом}\cdot\text{м}$
Тип заземлювача	Вертикальні кутники 50×50×5 мм, l = 2,5 м
З'єднувальна смуга	Сталева смуга 40×4 мм
Глибина залягання центру електрода	$t_0 = 0,5 + 1,25 = 1,75 \text{ м}$

Розрахунок опору одного вертикального заземлювача

Опір одного вертикального електрода-кутника (ПУЕ, дод. 1.7):

$$R_1 = (\rho_{\text{розр}} / 2\pi \cdot l) \cdot [\ln(2l/d) + 0,5 \cdot \ln((4 \cdot t_0 + l)/(4 \cdot t_0 - l))],$$

де l = 2,5 м;

d = 0,95×0,05 = 0,0475 м (еквівалентний діаметр кутника);

t₀ = 1,75 м.

$$\begin{aligned} R_1 &= (145 / 15,708) \cdot [\ln(105,26) + 0,5 \cdot \ln(2,111)] = \\ &= 9,23 \cdot [4,656 + 0,374] = 9,23 \cdot 5,030 = 46,4 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (5.1)$$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попередня кількість електродів без урахування взаємного екранування:

$$n_{\text{попер}} = R_1 / R_3 = 46,4 / 4 = 11,6 \quad (5.2)$$

Приймаємо 12 шт.

При розташуванні електродів «у ряд» з кроком $a = 3,6$ м (відношення кроку до довжини $a/l = 2,2/2,5 = 0,88$) за таблицями ПУЕ:2017 визначаємо коефіцієнт використання: $\eta_{\text{в}} = 0,65$ (для $n = 12$)

$$\begin{aligned} n &= R / (R \times \eta_{\text{в}}) = 46,4 / (4 \times 0,65) \\ &= 46,4 / 2,60 = 17,8 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Приймаємо $n = 20$ шт.

$$R_{\text{в}} = R_1 / (n \cdot \eta_{\text{в}}) = 46,4 / (20 \cdot 0,65) = 3,57 \text{ Ом.} \quad (5.4)$$

$$R_{\text{в}} = 3,57 \text{ Ом} > 4 \text{ Ом}$$

Умова ще не виконана тільки за вертикальними електродами, тому необхідно враховувати паралельну роботу горизонтальної з'єднувальної смуги.

Довжина горизонтальної смуги при розміщенні 12 електродів у ряд з кроком 3,6 м:

$$L_{\text{в}} = (n - 1) \cdot a = 12 \cdot 3,6 = 44 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Для горизонтальних електродів застосовується свій коефіцієнт сезонності $\psi_2 = 3,5$ (зона II):

$$\rho_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \times \psi = 100 \times 3,5 = 350 \text{ Ом} \cdot \text{м.} \quad (5.6)$$

Опір горизонтальної смуги визначається за формулою:

$$R_{\text{с}} = (\rho_{\text{розр.с}} / 2\pi \cdot L_{\text{с}}) \times \ln(2 \cdot L_{\text{с}}^2 / (b_{\text{с}} \times h_{\text{г}})) \quad (5.7)$$

де: $b = 0,04$ м — ширина смуги (40 мм);

$h_{\text{г}} = 0,50$ м — глибина закладення смуги від поверхні ґрунту.

Підставляємо числові значення:

$$R = (350 / (2 \times 3,14159 \times 44)) \times \ln(2 \times 95 / (0,04 \times 0,50))$$

$$R = 1,266 \times 16,09 = 20,4$$

За таблицею ПУЕ для $n = 12$ вертикальних електродів, розташованих у ряд при $a/l = 2,0$: $\eta_{\text{с}} = 0,55$.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приведений опір горизонтальної смуги з урахуванням екранування вертикальними електродами:

$$R_{\text{гор}} = R / \eta = 20,4 / 0,45 = 45,3 \quad (5.8)$$

Результуючий опір заземлювача при паралельному з'єднанні вертикальних електродів та горизонтальної смуги:

$$R_{\text{заг}} = (R_{\text{в}} \times R_{\text{с.ефект}}) / (R_{\text{в}} + R_{\text{с.ефект}}) \quad (5.9)$$

$$R_{\text{заг}} = (3,57 \times 45,3) / (3,57 + 45,3) = 161,7 / 48,87 = 3,31 \text{ Ом}$$

$$\text{Умова ПУЕ виконана: } R_{\text{заг}} = 3,31 < R_{\text{доп}} = 4$$

У ділянці 4 (складально-випробувальна) накриваємо всю підлогу суцільним гумовим діелектричним килимом товщиною не менше 6 мм, який розрахований на напругу до 7500 В. Роботи з вимірювання опору ізоляції цифровим мегомметром UNI-T UT501 при тестових напругах до 2500 В проводяться виключно в діелектричних рукавичках

Для захисту від КЗ та непрямого дотику лінії живлення обладнані трифазними та однофазними автоматичними вимикачами (наприклад, ВА47-100 з характеристикою розчеплення «С»). Час автоматичного вимкнення у разі замикання на корпус для мережі 380/220 В не перевищує 0,4 секунди згідно з нормами.

Розеткові групи 220 В для підключення ручного інструменту та малопотужних приладів захищені пристроями диференційного струму (ПЗВ) зі струмом спрацьовування не більше 30 мА, що гарантує захист людини у разі прямого дотику до струмопровідних частин [23].

Застосування розробленого приладового комплексу підвищує безпеку праці за рахунок безконтактних методів.

Тепловізор Guide PC210 дозволяє здійснювати термографічний контроль нагріву обмоток, контактних з'єднань та підшипників під діючим навантаженням на безпечній відстані, повністю виключаючи ризик опіків або випадкових торкань до рухомих частин двигуна.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Віброметр TV110 та індикатор міжвиткових замикань ІРЗ-3 застосовуються з чітким дотриманням інструкцій виробника: встановлення магнітних датчиків віброметра виконується на повністю зупиненому двигуні до початку пуску стенду.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Згідно з НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», за пожежними характеристиками виробничі зони цеху ремонту електродвигунів класифікуються за класом Б і В [25,26].

Просочувально-сушильна дільниця відноситься до категорії Б за вибухопожежною небезпекою через наявність легкозаймистих парів лаків та розчинників та класифікується як пожежонебезпечна зона класу П-П згідно з ПУЕ.

Намотувальна, складальна та «брудна» дільниці належать до категорії В, причиною є горючі ізоляційні матеріали.

Для профілактики пожежної небезпеки прийняті інженерні заходи.

Всі чотири технологічні зони розділені між собою вогнетривкими перегородками з цегли (межа вогнестійкості не менше EI 45) [26]. Це локалізує можливе вогнище пожежі та перешкоджає його поширенню по всій площі 80 м².

У зоні 3 (просочувальна дільниця) всі світильники (6 шт.) прийняті у вибухозахищеному виконанні зі ступенем захисту IP65. Електропроводка виконана кабелем ВВГнг-LS (, прокладеним у герметичних сталевих тонкостінних трубах [25].

Система вентиляції просочувального відділення заблокована з пусковими пристроями вакуумно-нагнітальної установки та печі: увімкнення технологічного обладнання можливе лише після запуску витяжного вентилятора Vents ВКМ 200, що виключає утворення вибухонебезпечної концентрації парів розчинників у повітрі.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підігріву повітря в зимовий період використовується калорифер Vents НК 200-6,0-3 з максимальним обмеженням температури ТЕНів, що виключає займання випадкового пилу[21].

Цех забезпечується первинними засобами пожежогасіння відповідно до норм комплектування. Оскільки гасіння пожеж в електроустановках під напругою водою чи піною суворо заборонено, цех комплектується 2 шт. вуглекислотними вогнегасниками типу ВВ-3 на кожну технологічну зону та порошковими вогнегасниками ВП-5[25].

Таблиця 5.2

Кількість пожежного інвентаря

Найменування пристроїв та засобів захисту	Тип	Місце зберігання (встановлення)	Кількість
Вогнегасник	ВВ-3	Дільниці просочування та сушіння	4
Вогнегасник	ВП-5		4
Ящик з піском		Дільниця заготівлі конструкцій	1
Пожежний щит:		Біля центрального входу	
- відро			2
- лопата			1
- сокира			1
- багор			1

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

Першочергова економічна ефективність проекту досягається за рахунок упровадження мобільного приладового комплексу, який усуває головну причину рекламацийних витрат відсутність поопераційного контролю якості ремонту. Обґрунтуємо витрати на комплекс .

Таблиця 6.1

Специфікація та вартість приладового комплексу

№	Прилад / Модель	Функція в сервісному циклі	Вартість, грн
1	Мегомметр UNI-T UT501A	Вхідний контроль R _{із} та Кабс обмоток; фінальна перевірка після просочення	3 200
2	Індикатор MB3 IP3-3	Проміжний контроль — виявлення міжвиткових замикань до та після укладання в пази	8 000
3	Тепловізор Guide PC210 (320×240)	Термографічний моніторинг корпусу, обмоток та підшипників під навантаженням	9 500
4	Цифровий віброметр TV110	Вимірювання рівня вібрації підшипникових вузлів (ISO 10816), вбудований термометр	8 800
5	RLC-метр UNI-T UT612	Контроль активного опору та індуктивності фаз статора; виявлення несиметрії $\Delta R \leq 2\%$	3 100
6	Захисний екран (полікарбонат 8 мм) + кнопка E-Stop + гумовий килим	Засоби захисту оператора (не вимірювальні)	3 500
	Разом		36 100

Капітальні витрати на реалізацію проекту включають вартість обладнання, монтажних та будівельних робіт. Оскільки приладовий комплекс вводиться одразу на початку проекту, його вартість враховується повністю. Зведений кошторис наведено в таблиці 6.1.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кошторис капітальних витрат

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Приладовий комплекс (мегомметр, тепловізор, віброметр, IP3-3, RLC-метр)	36 100
2	Вакуумно-нагнітальна установка (ВНУ)	280 000
3	Сушильна шафа (піч полімеризації)	120 000
4	Вентиляційне обладнання (Vents ВКМ 200 + НК 6,0 + автоматика)	25 000
5	Випробувальний стенд (навантажувальний пристрій)	240 000
6	Намотувальний верстат	25 000
7	Розподільчий щит (ГЩ), кабелі, автомати, ПЗВ	24 000
8	Система освітлення (29 LED-світильників + монтаж)	20 000
9	Захисне заземлення (матеріали + земляні роботи)	18 000
10	Будівельні роботи (перегородки, двері, обробка, підлога)	110 000
11	Монтажні та пусконаладжувальні роботи	60 000
12	Непередбачені витрати (5%)	22 000
	Разом капітальні витрати (C _{кап})	980 100

Загальна сума капітальних витрат: C_{кап} = 980 100 грн. Приладовий комплекс (мегомметр, тепловізор, віброметр, IP3-3, RLC-метр) вартістю 36 100 грн впроваджується одразу і забезпечує скорочення рекламацийних звернень після ремонту з 12% до менш ніж 2%.

1. Вартість приладового комплексу: C_{комплексу} = 36 100 грн;
2. Кількість ремонтів на рік (базовий рік): N = 240 шт.;
3. Скорочення частки рекламаций: $\Delta\beta = 12\% - 2\% = 10\%$;
4. Середня собівартість витрат на один повторний брак: C_{брак} = 1 100 грн.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річний економічний ефект від зниження рекламаций:

$$\begin{aligned} \Delta E &= N \times (\Delta \beta / 100) \times C_{\text{брак}} \\ \Delta E &= 240 \times 0,10 \times 1\,100 = 26\,400 \text{ грн} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Термін окупності приладового комплексу:

$$\begin{aligned} T_{\text{ок}} &= C_{\text{комплексу}} / \Delta E_{\text{рік}} \\ T_{\text{ок}} &= 36\,100 / 26\,400 = 1,37 \text{ року} \approx 16,4 \text{ місяці} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Оскільки $T_{\text{ок}} = 1,37 \text{ року} < 2 \text{ років}$, придбання та інтеграція приладового комплексу є економічно доцільними та технічно виправданими.

Після впровадження усього комплексу обладнання та технологічних заходів очікується зростання продуктивності з 240 до 300 ремонтів на рік та підвищення середньої вартості послуги.

Таблиця 6.2

Порівняльні техніко-економічні показники

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зміна (+/-)
Кількість ремонтів на рік, шт.	240	300	+60
Середня вартість послуги, грн	1 200	1 400	+200
Річний дохід, грн	288 000	420 000	+132 000
Витрати на рекламачії ($N \times \beta \times C_{\text{брак}}$), грн	31 680 ($240 \times 0,12 \times 1100$)	6 600 ($300 \times 0,02 \times 1100$)	-25 080
Витрати на електроенергію, грн/рік	22 000	6 500	-15 500
Річний приріст прибутку $\Delta\Pi$, грн	-	-	+172 580

Розрахунок річного приросту прибутку:

$$\Delta \Pi = (\Delta E - \Delta C_{\text{брак}}) + (\Delta R - \Delta C_{\text{електроенергія}}) + (\Delta C_{\text{ремонтів}} - \Delta C_{\text{ремонтів}})$$

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta = (420\,000 - 288\,000) + (31\,680 - 6\,600) + (22\,000 - 6\,500)$$

$$\Delta = 132\,000 + 25\,080 + 15\,500 = 172\,580 \quad /$$

Для розрахунку терміну окупності береться інкрементальна (прирісна) частина капітальних витрат — вкладення, що безпосередньо зумовлюють приріст ефективності (без базових незмінних статей — ВНУ, сушильної шафи та випробувального стенду):

$$C_{\text{кап}}(\text{інкр.}) = 36\,100 + 25\,000 + 25\,000 + 24\,000 + 20\,000 + \\ + 18\,000 + 60\,000 + 22\,000 = 230\,100 \text{ грн}$$

Для формули використовується узгоджене значення $C_{\text{кап}} = 230\,100$ грн

Розраховуємо термін окупності за формулою:

$$T_{\text{ок}} = C_{\text{кап}} / \Delta\Pi = 230\,100 / 172\,580 = 1,34 \text{ року} \approx 16,08 \text{ місяці}$$

Термін окупності $T_{\text{ок}} = 1,34$ року < 3 роки, відповідає критерію ефективності для малих виробничих підприємств і підтверджує економічну доцільність реалізації проекту.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання розроблено проєктні рішення з організації системи електроспоживання та впровадження сучасного приладового комплексу в пункті технічного сервісу асинхронних електродвигунів потужністю 1–15 кВт. На підставі аналізу недоліків традиційних ремонтних технологій, вивчення нормативної бази та виконаних інженерних розрахунків отримано такі результати:

1. Встановлено головну проблему галузі та обґрунтовано напрямок її вирішення. Аналіз стану системи технічного сервісу електродвигунів показав, що основною причиною повторних відмов є відсутність вхідного та міжкрокового інструментального контролю. Перехід від суб'єктивного візуального огляду до об'єктивного приладового контролю визначено як пріоритетний напрямок підвищення якості ремонту, що відповідає сучасним світовим тенденціям розвитку галузі.

2. Розроблено технологічне планування сервісного цеху. Спроектовано виробниче приміщення загальною площею 80 м² (8,0 × 10,0 м, висота 3,0 м) з розподілом на чотири ізольовані технологічні зони за принципом «технологічного кільця»: зона приймання та дефектування (15 м²), намотувальна дільниця (25 м²), просочувально-сушильна дільниця (15 м²) та складально-випробувальна зона (20 м²). Вогнетривкі перегородки ЕІ 45 забезпечують однонаправлений рух виробів та виконують функцію протипожежних відсіків згідно з ДБН В.1.1-7:2016.

3. Розраховано електропривод основного технологічного обладнання. Для намотувального верстата з ЧПК обрано електродвигун АІР80А4У3 (Р_н = 1,10 кВт, п_н = 1420 об/хв, ступінь захисту ІР44). Виконано перевірки за тепловим режимом, умовами пуску та перевантажувальною здатністю. Побудовано механічну характеристику системи «двигун–верстат», яка підтвердила стійку роботу в усіх режимах навантаження.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Спроектовано систему штучного освітлення цеху. Методом питомої потужності розраховано освітлення чотирьох технологічних зон. Прийнято 31 LED-світильників типу ЛСП промислового виконання (36 Вт, IP65) загальною встановленою потужністю 1,05 кВт. Фактична освітленість у всіх зонах відповідає нормам ДБН В.2.5-28:2018: у намотувальній дільниці — 500 лк, у дільниці складання — 300 лк. Застосування енергоефективного LED-освітлення замість традиційних люмінесцентних ламп забезпечує економію електроенергії на освітлення до 45%.

5. Розраховано силову електропроводку та систему захисту. Спроектовано 13 кабельних ліній живлення технологічного обладнання кабелем ВВГнг-LS з перерізами провідників від 1,5 до 16 мм². Для кожної лінії підібрано автоматичні вимикачі серії ВА47-100 (для вводу) та ВА63 (для групових ліній Л1–Л9) з характеристикою розчеплення «С». Перевірено втрати напруги на найдовшій лінії: $\Delta U\% = 0,83\%$, що відповідає нормі ПУЕ (не більше 5%). Розеткові групи захищені ПЗВ зі струмом спрацьовування 30 мА.

6. Спроектовано систему вентиляції та захисного заземлення. Для просочувально-сушильної дільниці розраховано локальну витяжну вентиляцію на принципі «негативного тиску»: вентилятор Vents ВКМ 200 (продуктивність 540 м³/год) у блокуванні з пуском технологічного обладнання та електричний калорифер Vents НК 200-6,0-3 для підігріву припливного повітря в холодний період. Розраховано захисне заземлення за системою TN-S: прийнято 12 вертикальних електродів (кутник 50×50×5 мм, $l = 2,5$ м). Загальний опір заземлювача $R_{\text{заг}} = 1,85$ Ом, що задовольняє вимогу ПУЕ ($R \leq 4$ Ом).

7. Обґрунтовано склад приладового комплексу. На основі методу багатокритеріального аналізу з перевіркою метрологічного запасу точності сформовано склад приладового комплексу з шести одиниць: цифровий мегомметр UNI-T UT501 (вхідний контроль ізоляції), RLC-метр (контроль симетрії індуктивності фаз), індикатор міжвиткових замикань ІРЗ-3 (проміжний контроль якості укладання обмотки),

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цифровий віброметр TV110 (контроль вібрації підшипникових вузлів), портативний тепловізор Guide PC210 (термографічний моніторинг під навантаженням) та випробувальний стенд. Запровадження поопераційного контролю дозволяє знизити рівень рекламаций з 12% до 2%.

8. Виконано техніко-економічне обґрунтування проекту. Загальні капітальні витрати на реалізацію проекту становлять 980 100 грн. Завдяки зростанню продуктивності (з 240 до 300 ремонтів на рік), підвищенню середньої вартості послуги та скороченню витрат на рекламачії й електроенергію річний приріст прибутку складе 172 580 грн. Термін окупності капітальних вкладень — 1,34 року (близько 16 місяців), що відповідає критерію ефективності для малих виробничих підприємств ($T_{ок} < 3$ років) і підтверджує економічну доцільність реалізації проекту.

Таким чином, сукупність прийнятих проектних рішень — раціональне зонування виробничого простору, надійна система електроспоживання з відповідними засобами захисту та впровадження приладового комплексу для об'єктивного поопераційного контролю — дозволяє перевести традиційну ремонтну майстерню на якісно новий технічний рівень. Реалізація проекту забезпечує підвищення надійності відремонтованих електродвигунів, скорочення виробничих витрат та підвищення конкурентоспроможності сервісного підприємства на ринку послуг технічного обслуговування електрообладнання.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіон України, 2018. 134 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ: Мінрегіон України, 2013. 141 с.
3. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ: Мінрегіон України, 2017. 45 с.
4. ДСТУ EN 60034-1:2019. Машини електричні обертові. Номінальні параметри та робочі характеристики. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
5. ПУЕ:2017. Правила улаштування електроустановок. Київ: Форт, 2017. 760 с.
6. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ: Мінпраці України, 2001.
7. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. Київ: ДСНС, 2014.
8. ISO 10816-1:2009. Механічна вібрація – оцінка стану машин за вібрацією підшипникових корпусів.
9. Ткачук В. І. Енергоефективність асинхронних двигунів після капітального ремонту : монографія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015
10. Сичевський М. І. Вакуумне просочення обмоток електричних машин: методи та обладнання - Технічна електродинаміка. 2021. №2.
11. Журнал «Електрик». Методи діагностики міжвиткових замикань в обмотках статорів. 2022. №4. с. 12-15.
12. Іноземцев Г.Б., Козирський В.В., Лут М.Т. та ін. "Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі", К., 2013, с. 299–315
13. Герасименко В. Г. Технологія ремонту електричних машин. Київ: Вища школа, 2010. 342 с.
14. Антонов О. І. Діагностика та експлуатація електричних машин. Львів: Магнолія, 2018. 256 с.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Довідник проектувальника електричних мереж та електрообладнання , за ред. В. В. Ткаченка. Київ : Каравела, 2021. 412 с.
16. Технічний каталог компанії VENTS. Вентиляційне обладнання: вентилятори серії ВКМ, нагрівачі НК. Режим доступу: <https://vents.ua>
(Дата звернення:24.02.2026)
17. UNI-T UT501. Технічна документація на цифровий мегомметр. UNI-Trend Technology, 2020. (Дата звернення: 24.02.2026)
18. Guide. Керівництво користувача портативного тепловізора Guide PC210. 2022. (Дата звернення: 24.02.2026)
19. ISO 10816-3:2009. Механічна вібрація – оцінка стану машин. Промислові машини потужністю понад 15 кВт.
20. Ігор Анатолійович. Перемотка, ремонт електродвигунів, насосів, електрогенераторів [Відеоресурс]. 2014. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=p1RZmDsjDKo>
(Дата звернення: 24.02.2026).
21. Посібник «Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем...» Режим доступу: pdf.lib.vntu.edu.ua (Дата звернення:26.05.2026)
22. Організаційні заходи для безпеки в електроустановках
Режим доступу: te.dsp.gov.ua. (Дата звернення :26.05.2026)
23. Інструкція з охорони праці для електромонтера з ремонту та обслуговування
Режим доступу: pro-op.com.ua (Дата звернення: 26.05.2026)
24. Нормативні вимоги до підготовки робочого місця та допуску Режим доступу: studfile.net/preview/5415708/page:63 (Дата звернення 26.05.2026)
25. Пожежна безпека в електроенергетичних установках
Режим доступу: euroservis.com.ua (Дата звернення: 26.05.2026).
26. Категорії приміщень за вибухопожежною небезпекою Режим доступу: studfile.net/preview/15339710/page:19 Дата звернення 26.05.2026

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Аналіз методів діагностики технічного стану ізоляції асинхронних двигунів
- Наукові праці Донецького національного технічного університету
(ДонНТУ). Серія: «Електротехніка і енергетика»

Режим доступу: <https://elen.donntu.edu.ua/2074-2630-2019-1-55-63.pdf>

28. Перелік випробувань та вимірювань силового електрообладнання
споживачів - Консультаційно-навчальний центр охорони праці України.

Режим доступу:

https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fceem/4lagutin_vyprobuv_elektrmashin_transformatoriv/p8.htm

29. Лагутін В. Б. Випробування електричних машин та трансформаторів:
Навчальний посібник В. Б. Лагутін - Вінницький національний технічний
університет (ВНТУ). Електронне видання.

					02.02 – КР.2607”С”.30.10.25.013.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		