

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет (ННІ) енергетики, автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій
(назва кафедри)

(підпис) Окушко О.В.
(ПІБ)

“ ____ ” _____ 20__ р.

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА)**

на тему: **«Підвищення ефективності діагностування асинхронних двигунів
потужністю до 11 кВт»**

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

Гарант освітньої програми

Кандидат технічних наук, Доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Окушко Олександр Володимирович
(ПІБ)

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
(Керівник дипломного проєкту бакалавра)**

Кандидат технічних наук, Доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Чуєнко Роман Миколайович
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Кузнецов Артем Вікторович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

						Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет (ННІ) енергетики, автоматики і енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

(на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту)

Кузнецову Артему Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра)

«Підвищення ефективності діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» червня 2025 р. № 12

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру _____

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра)

Трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором потужністю до 11 кВт; нормативно-технічна документація щодо експлуатації та технічного обслуговування електричних машин; характеристики режимів роботи електроприводів; методи контролю опору ізоляції, фазних струмів, температурного стану та вібрації; сучасні засоби діагностування електрообладнання; вимоги з електробезпеки та охорони праці.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз умов експлуатації асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт та обґрунтувати необхідність удосконалення їх діагностування.
2. Розробити технологічний процес діагностування асинхронних двигунів.
3. Виконати проєктування пункту технічного обслуговування та обґрунтувати його організацію.
4. Обрати засоби вимірювання та діагностичне обладнання.

						Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Виконати розрахунок електричних навантажень, робочих і пускових струмів електродвигунів.
6. Провести вибір кабельних ліній живлення та апаратів захисту.
7. Розробити комплексний метод діагностування та структурну схему діагностичного стенда.
8. Оцінити ефективність запропонованої технології діагностування.
9. Розробити заходи з охорони праці та електробезпеки під час виконання діагностичних робіт.

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Структурна схема пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів.
2. Технологічна карта діагностування асинхронного двигуна.
3. Графік орієнтовного місячного потоку електродвигунів, що надходять на діагностування.
4. Діаграма структури причин відмов асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт.
5. Графік залежності робочого струму від номінальної потужності двигуна.
6. Схема діагностичного стенда.

Дата видачі завдання «__» _____ 20 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____
(підпис)

Чуєнко Р.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Кузнецов А.В.
(прізвище та ініціали студента)

						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.....	9
1.1 Аналіз умов експлуатації асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт та обґрунтування необхідності удосконалення їх діагностування	9
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1 Вихідні дані до проєктування пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів.....	13
2.2 Організація пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів	16
2.3 Розроблення технологічного процесу діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт.....	17
2.4 Вибір засобів вимірювання та діагностичного обладнання	19
2.5 Розроблення технологічної карти діагностування асинхронного двигуна	21
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	24
3.1 Розрахунок електричних навантажень пункту технічного обслуговування.....	24
3.2 Розрахунок робочих струмів асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт.....	25
3.3 Розрахунок пускових струмів та перевірка режимів пуску електродвигунів.....	27
3.4 Вибір кабельних ліній живлення діагностичного обладнання та електродвигунів.....	28
3.5 Вибір автоматичних вимикачів, магнітних пускачів і теплових реле	29
3.6 Перевірка апаратів захисту за умовами спрацювання при струмах короткого замикання.....	30

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7 Розрахунок захисного заземлення електрообладнання пункту технічного обслуговування	31
РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПОТУЖНІСТЮ ДО 11 КВТ	33
4.1 Обґрунтування вибору комплексного методу діагностування асинхронних двигунів.....	33
4.2 Розрахунок параметрів контролю опору ізоляції обмоток електродвигуна	34
4.3 Оцінка симетрії фазних струмів та виявлення електричних несправностей.....	35
4.4 Розрахунок теплового режиму асинхронного двигуна під час діагностування.....	35
4.5 Розроблення структурної схеми діагностичного стенда	36
4.6 Оцінка ефективності запропонованої технології діагностування ...	37
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ	39
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у пункті технічного обслуговування.....	39
5.2 Вимоги електробезпеки під час діагностування асинхронних двигунів	41
5.3 Організаційні та технічні заходи безпечного виконання робіт.....	43
5.4 Пожежна безпека пункту технічного обслуговування.....	44
5.5 Заходи безпеки під час роботи з електровимірювальними приладами та діагностичним стендом	46
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

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

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота: 51 с., 6 рис., 16 табл., 25 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: асинхронний двигун, діагностування, технічне обслуговування, опір ізоляції, фазні струми, вібраційний контроль, тепловізійний контроль, електропривод, діагностичний стенд, електробезпека.

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування та діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт.

Предметом дослідження є методи, засоби та технологічні операції контролю електричних, теплових і механічних параметрів асинхронних двигунів.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розроблення технологічних рішень щодо підвищення ефективності діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт у пункті технічного обслуговування на основі комплексного контролю ізоляції, фазних струмів, температурного стану, вібрації та режимів роботи електродвигуна.

У роботі проведено аналіз умов експлуатації асинхронних двигунів та визначено основні причини їх відмов. Розроблено технологічний процес діагностування, обґрунтовано організацію пункту технічного обслуговування, виконано вибір вимірювального та діагностичного обладнання. Запропоновано комплексний метод діагностування із застосуванням контролю опору ізоляції, аналізу фазних струмів, тепловізійного та вібраційного контролю, а також розроблено структурну схему діагностичного стенда.

У результаті виконання роботи встановлено, що запропонована технологія дозволяє скоротити тривалість діагностування, підвищити продуктивність пункту технічного обслуговування та забезпечити більш раннє виявлення прихованих дефектів електродвигунів.

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

ВСТУП

Асинхронні електродвигуни є основою електроприводів більшості технологічних машин, що застосовуються у виробничих, ремонтних, комунальних та сільськогосподарських об'єктах. Двигуни потужністю до 11 кВт використовуються для приводу вентиляторів, насосів, компресорів, транспортерів, зерноочисних машин, дробарок, змішувачів, верстатного обладнання та допоміжних механізмів. Надійність роботи таких двигунів безпосередньо впливає на безперервність технологічного процесу, якість виконання операцій та рівень експлуатаційних витрат.

Умови роботи асинхронних двигунів малої та середньої потужності часто є складними. На електродвигуни діють пил, волога, коливання температури, механічна вібрація, перевантаження, часті пуски, зниження або перекіс напруги живлення. У разі несвоєчасного виявлення дефектів відбувається перегрів обмоток, прискорене старіння ізоляції, зношування підшипників, погіршення електромагнітних параметрів і зростання аварійності електроприводу.

Традиційна система технічного обслуговування часто обмежується зовнішнім оглядом, перевіркою нагрівання корпусу та вимірюванням опору ізоляції. Такий підхід не завжди дозволяє своєчасно виявити міжвиткові пошкодження, погіршення підшипникових вузлів, порушення симетрії фазних струмів, ослаблення контактних з'єднань або перевантаження електродвигуна. Тому актуальним є впровадження комплексної технології діагностування, яка поєднує електричні, теплові та вібраційні методи контролю.

Актуальність теми роботи полягає у необхідності підвищення ефективності діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт в умовах пункту технічного обслуговування шляхом раціональної організації діагностичних операцій, вибору вимірювальних засобів, скорочення тривалості перевірок і підвищення достовірності оцінювання технічного стану електродвигунів.

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

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування та діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт. Предметом дослідження є методи, засоби та технологічні операції контролю електричних, теплових і механічних параметрів асинхронних двигунів у пункті технічного обслуговування.

Метою роботи є розроблення технологічних рішень щодо підвищення ефективності діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт у пункті технічного обслуговування на основі комплексного контролю ізоляції, фазних струмів, температурного стану, вібрації та режимів роботи електродвигуна.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати аналіз умов експлуатації асинхронних двигунів; визначити типові несправності та діагностичні ознаки; сформувати вихідні дані до проєктування пункту технічного обслуговування; розробити технологічний процес діагностування; вибрати засоби вимірювання; скласти технологічну карту перевірки асинхронного двигуна; обґрунтувати очікуване скорочення трудомісткості та підвищення достовірності діагностування.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої технології для організації пункту технічного обслуговування електродвигунів, зменшення кількості аварійних відмов, скорочення простоїв технологічного обладнання та підвищення надійності електроприводів.

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

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1.1 Аналіз умов експлуатації асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт та обґрунтування необхідності удосконалення їх діагностування

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором потужністю до 11 кВт належать до найбільш поширених електричних машин у виробничих електроприводах. Вони характеризуються простою конструкцією, достатньою механічною міцністю, високою надійністю та відносно невисокою вартістю. Разом з тим робота таких двигунів у реальних умовах супроводжується значною кількістю факторів, що погіршують їх технічний стан і потребують системного діагностування.

У пункті технічного обслуговування доцільно розглядати асинхронний двигун не лише як окрему електричну машину, а як елемент електроприводу, що взаємодіє з мережею живлення, пускозахисною апаратурою, кабельною лінією, робочою машиною та механічною передачею. Тому діагностування повинно охоплювати не тільки перевірку обмоток і підшипників, а й контроль режимів живлення, якості контактних з'єднань, теплового стану та фактичного навантаження.

Для двигунів потужністю до 11 кВт типовими є режими тривалої роботи з періодичними пусками, короткочасними перевантаженнями і нерівномірним навантаженням. У сільськогосподарському виробництві та ремонтних майстернях додатково проявляються несприятливі умови: підвищена запиленість, вологість, наявність агресивних домішок, коливання напруги та сезонність навантаження. Саме ці фактори зумовлюють необхідність періодичного контролю стану ізоляції, підшипникових вузлів, фазних струмів і температури корпусу.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1

Основні об'єкти застосування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт

Обладнання	Типовий діапазон потужності, кВт	Режим роботи	Основні навантажувальні фактори	Контрольовані параметри
Вентилятори та димососи	0,75–7,5	тривалий	пил, нагрів, перекіс фаз	струм, температура, вібрація
Насоси систем водопостачання	1,1–11	тривалий/повторний	перевантаження, волога	опір ізоляції, струм, нагрів
Транспортери і шнеки	1,5–11	повторно-короточасний	часті пуски, заклинювання	пусковий струм, нагрів, вібрація
Верстатне обладнання	0,55–5,5	змінний	ударні навантаження	струм, шум, стан підшипників
Дробарки та подрібнювачі	4–11	важкий пуск	підвищений момент, вібрація	пусковий режим, температура

Як видно з таблиці 1.1, навіть для однакового діапазону потужності умови роботи двигунів істотно відрізняються. Електродвигуни вентиляторів працюють переважно у тривалому режимі, але чутливі до забруднення каналів охолодження. Двигуни транспортерів і шнеків частіше працюють з різкими змінами навантаження, тому для них важливими є контроль пускового струму та температурного режиму. Для насосних агрегатів суттєве значення має вологість середовища, що погіршує стан ізоляції обмоток.

Найбільш небезпечними для асинхронних двигунів є дефекти, які розвиваються поступово і тривалий час не призводять до повної відмови. До них належать старіння ізоляції, ослаблення контактних з'єднань, забруднення вентиляційних каналів, зростання вібрації підшипникових вузлів, перекіс фазних струмів і порушення теплового режиму. У разі відсутності діагностування такі дефекти переходять у аварійні відмови.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типові несправності асинхронних двигунів і діагностичні ознаки

Несправність	Ймовірна причина	Діагностична ознака	Метод контролю	Наслідок без ремонту
Зниження опору ізоляції	зволоження, старіння, перегрів	Різ нижче допустимого рівня	мегомметр 500/1000 В	пробій ізоляції
Міжвиткове пошкодження	локальний перегрів, дефект емалі	зростання струму однієї фази, нагрів	аналіз струмів, тепловізор	перегорання обмотки
Зношування підшипників	недостатнє мащення, пил	вібрація, шум, нагрів щита	віброметр, акустичний контроль	заклинювання ротора
Перекіс фазної напруги	погані контакти, нерівномірність мережі	несиметрія струмів	аналізатор мережі, кліщі	перегрів обмоток
Забруднення охолодження	пил, засмічення ребер корпусу	підвищена температура корпусу	тепловізійний контроль	старіння ізоляції
Ослаблення контактів	вібрація, нагрів клем	локальна гаряча зона	тепловізор, огляд клемника	оплавлення ізоляції

Для узагальнення причин відмов у роботі прийнято орієнтовну структуру дефектів, характерну для електродвигунів малої та середньої потужності. Найбільшу частку становлять пошкодження підшипникових вузлів та погіршення ізоляції обмоток. Структура типових відмов показана на рисунку 1.1.



Рис. 1.1 – Орієнтовна структура причин відмов асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт

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

Підвищення ефективності діагностування досягається не тільки за рахунок використання сучасних приладів, а й завдяки правильному поєднанню діагностичних операцій у єдину технологічну послідовність. Для оцінювання ефекту від удосконалення процесу застосовується показник відносного скорочення тривалості діагностування:

$$K_t = ((t_{icn} - t_{уд}) / t_{icn}) \cdot 100 \% \quad (1.1)$$

де K_t – відносне скорочення тривалості діагностування, %;

t_{icn} – тривалість діагностування за існуючою схемою, хв;

$t_{уд}$ – тривалість діагностування за удосконаленою схемою, хв.

Для діагностування одного двигуна існуюча схема передбачає орієнтовну тривалість $t_{icn} = 72$ хв, а удосконалена технологія після оптимізації операцій – $t_{уд} = 45$ хв. Тоді:

$$K_t = ((72 - 45) / 72) \cdot 100 = 37,5 \% \quad (1.2)$$

Отже, запропонований підхід дозволяє скоротити тривалість діагностування приблизно на 37,5 % без зменшення кількості контрольованих параметрів. Це підтверджує доцільність розроблення технологічної частини, у якій буде визначено вихідні дані, склад поста, діагностичне обладнання та технологічну карту перевірки асинхронного двигуна.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вихідні дані до проєктування пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів

Вихідні дані до проєктування пункту технічного обслуговування формуються з урахуванням номенклатури електродвигунів, умов їх експлуатації, кількості двигунів, що підлягають діагностуванню, прийнятих методів контролю та вимог електробезпеки. Для розроблення технології приймаються трифазні асинхронні двигуни напругою 380 В, частотою 50 Гц, потужністю від 0,55 до 11 кВт, які працюють у складі електроприводів виробничого обладнання.

Пункт технічного обслуговування повинен забезпечувати приймання електродвигуна, очищення, зовнішній огляд, вимірювання опору ізоляції, перевірку цілісності обмоток, контроль фазних струмів, пробний пуск, тепловізійний огляд, вібраційний контроль і оформлення результатів діагностування. Основні вихідні дані наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Вихідні дані до проєктування пункту технічного обслуговування

Показник	Позначення	Прийняте значення	Примітка
Тип електродвигунів	-	трифазні асинхронні з короткозамкненим ротором	електроприводи до 11 кВт
Номінальна напруга	U _n	380 В	мережа 0,4 кВ
Частота мережі	f	50 Гц	промислова частота
Діапазон потужностей	P _n	0,55–11 кВт	діагностована група
Кількість двигунів на місяць	N _{міс}	25–45 шт.	сезонна зміна навантаження
Тривалість зміни	T _{зм}	480 хв	8 год
Коефіцієнт використання часу	k _в	0,85	з урахуванням підготовчих операцій
Допустима тривалість діагностування	t _д	45 хв	після удосконалення
Режим роботи поста	-	однозмінний	за потреби – двозмінний

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

Для технологічних і подальших електротехнічних розрахунків приймається типовий ряд двигунів потужністю 0,55; 1,1; 2,2; 4,0; 5,5; 7,5 та 11 кВт. Орієнтовні електричні параметри наведено у таблиці 2.2. Їх використання дозволяє попередньо оцінити діапазон робочих струмів, вимоги до вимірювального обладнання та діапазони налаштування захисної апаратури.

Таблиця 2.2

Орієнтовні параметри асинхронних двигунів, що підлягають діагностуванню

P _n , кВт	U _n , В	η	cosφ	n, об/хв	Орієнтовний I _n , А
0.55	380	0.70	0.72	1400	1.7
1.1	380	0.75	0.76	1420	2.9
2.2	380	0.80	0.80	1430	5.2
4	380	0.84	0.82	1450	8.8
5.5	380	0.86	0.84	1450	11.6
7.5	380	0.88	0.85	1460	15.2
11	380	0.90	0.86	1460	21.6

Номінальний струм трифазного асинхронного двигуна для попереднього вибору діапазону вимірювання визначається за залежністю:

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi), \quad (2.1)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна, Вт;

U_n – лінійна напруга мережі, В;

η – коефіцієнт корисної дії;

cosφ – коефіцієнт потужності.

Для двигуна потужністю 11 кВт при η = 0,90 та cosφ = 0,86 робочий струм становить:

$$I_n = 11000 / (1,732 \cdot 380 \cdot 0,90 \cdot 0,86) = 21,6 \text{ А}$$

Отже, засоби вимірювання струму повинні забезпечувати надійний контроль робочих струмів щонайменше до 25–30 А, а для аналізу пускових режимів – до 150–180 А з урахуванням кратності пускового струму.

						Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

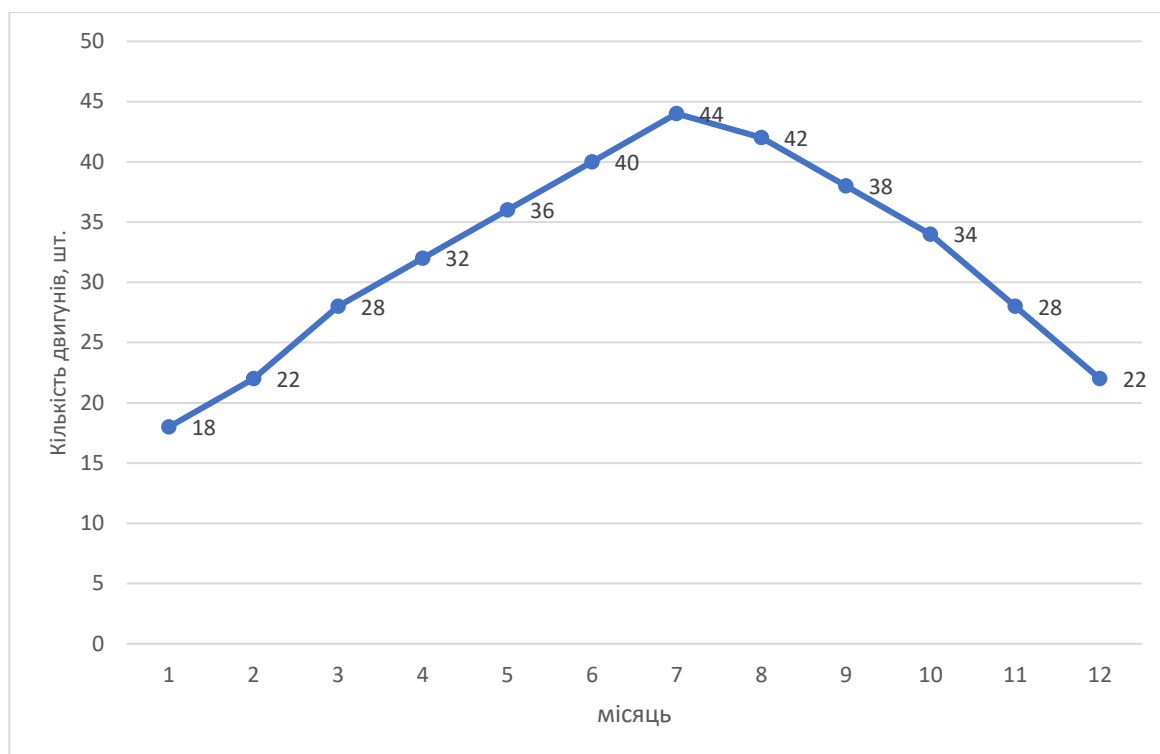


Рис. 2.1 – Орієнтовний місячний потік електродвигунів, що надходять на діагностування

Як видно з рисунка 2.1, найбільша кількість електродвигунів надходить на діагностування в літній період, причому максимальне значення спостерігається у липні та становить близько 44 одиниць. Така тенденція може бути пов'язана зі збільшенням інтенсивності роботи виробничого обладнання в цей час, що призводить до підвищення навантаження на електроприводи та зростання ймовірності виникнення несправностей. Починаючи із серпня, кількість двигунів, що потребують діагностування, поступово зменшується, а найнижчі показники характерні для зимових місяців. Наведена динаміка свідчить про доцільність планування технічного обслуговування та забезпечення необхідного резерву діагностичного обладнання саме в періоди найбільшого навантаження на ремонтні служби.

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

2.2 Організація пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів

Пункт технічного обслуговування асинхронних двигунів призначений для виконання діагностичних, профілактичних і підготовчих операцій без повного перемотування електричної машини. Його доцільно організовувати як окрему дільницю ремонтної майстерні з поділом на функціональні зони: приймання та первинного огляду, очищення, електричних вимірювань, пробного пуску, тепловізійного і вібраційного контролю, оформлення документації та зберігання справних двигунів. Розміщення обладнання повинно забезпечувати послідовний рух двигуна без зустрічних потоків. Спочатку двигун надходить у зону приймання, після чого очищується від пилу та забруднень, проходить зовнішній огляд, електричні вимірювання, пробний пуск і комплексну оцінку технічного стану. За результатами діагностування двигун спрямовується на поточне обслуговування, ремонт або повертається в експлуатацію.

Таблиця 2.3

Функціональні зони пункту технічного обслуговування

Зона	Основне призначення	Обладнання	Площа, м ²	Вимоги
Приймання та огляд	реєстрація двигуна, візуальний контроль	стіл, стелаж, журнал	6	достатнє освітлення
Очищення	видалення пилу, огляд корпусу	щітки, пилосос, компресор	8	місцева витяжка
Електричні вимірювання	Різ, цілісність обмоток, струми	мегомметр, мультиметр, кліщі	10	ізольоване робоче місце
Пробний пуск	перевірка ходу, шуму, струмів	діагностичний стенд, захист	12	огороження і заземлення
Тепловий і віброконтроль	виявлення нагріву та вібрації	тепловізор, віброметр	8	стабільний режим роботи
Оформлення результатів	протокол, рішення про ремонт	ПК, архів, принтер	6	збереження даних

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

Загальна площа пункту технічного обслуговування визначається як сума площ функціональних зон з урахуванням коефіцієнта запасу на проходи, зберігання оснащення та безпечне переміщення двигунів:

$$S_{\text{ПТО}} = k_s \cdot \Sigma S_i \quad (2.2)$$

де $S_{\text{ПТО}}$ – потрібна площа пункту, м^2 ;

S_i – площа окремої функціональної зони, м^2 ;

k_s – коефіцієнт запасу площі.

За сумарної площі зон $\Sigma S_i = 50 \text{ м}^2$ і $k_s = 1,20$ маємо:

$$S_{\text{ПТО}} = 1,20 \cdot 50 = 60 \text{ м}^2$$

Отже, для організації пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів до 11 кВт доцільно передбачити приміщення площею близько 60 м^2 . Така площа забезпечує розміщення діагностичного стенда, вимірювальних приладів, робочих столів, засобів очищення і зон тимчасового зберігання електродвигунів.

2.3 Розроблення технологічного процесу діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт

Технологічний процес діагностування повинен забезпечувати достатню повноту контролю за мінімальної тривалості виконання операцій. Для цього перевірки групуються у логічну послідовність: підготовка двигуна, зовнішній огляд, контроль ізоляції, перевірка обмоток, пробний пуск, вимірювання робочих струмів, тепловий контроль, вібраційний контроль і оформлення висновку. Удосконалення процесу полягає у паралельному використанні електричних, теплових і механічних діагностичних ознак. На відміну від спрощеної перевірки, коли двигун оцінюється лише за опором ізоляції та зовнішнім станом, комплексна технологія дозволяє виявити приховані дефекти під навантаженням або під час пробного пуску.

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Послідовність технологічного процесу діагностування

№	Операція	Контрольований параметр	Засіб контролю	Час, хв	Результат
1	Приймання та ідентифікація	паспортні дані	журнал, шильдик	3	картка двигуна
2	Очищення і зовнішній огляд	корпус, клемник, вентилятор	огляд, інструмент	7	видимі дефекти
3	Вимірювання опору ізоляції	Rіз	мегомметр	8	оцінка ізоляції
4	Перевірка обмоток	симетрія опорів	омметр/ мікроомметр	7	стан фаз
5	Пробний пуск	струм, шум, обертання	стенд, кліщі	8	роботоздатність
6	Тепловізійний контроль	температура корпусу і клем	тепловізор	5	гарячі зони
7	Вібраційний контроль	вібрація підшипників	віброметр	5	стан підшипників

Сумарна тривалість діагностування одного двигуна визначається як сума тривалостей окремих операцій:

$$t_d = \sum t_i \quad (2.3)$$

За даними технологічної послідовності:

$$t_d = 3 + 7 + 8 + 7 + 8 + 5 + 5 + 2 = 45 \text{ хв}$$

Порівняння з існуючою схемою діагностування наведено на рисунку 2.2. Найбільше скорочення часу досягається за рахунок чіткої послідовності операцій, попередньої підготовки вимірювальних приладів і введення типового протоколу, у якому фіксуються всі контрольовані параметри.



Рис. 2.2 – Порівняння тривалості діагностичних операцій за існуючою та удосконаленою схемою

					Арк.
					18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Змінна продуктивність пункту технічного обслуговування визначається за формулою:

$$N_{зм} = (T_{зм} \cdot k_v) / t_d \quad (2.4)$$

де $N_{зм}$ – кількість двигунів, що можуть бути продіагностовані за зміну, шт.;
 $T_{зм}$ – тривалість зміни, хв; k_v – коефіцієнт використання робочого часу;
 t_d – тривалість діагностування одного двигуна, хв. Для існуючої схеми при $t_d = 72$ хв:

$$N_{зм.існ} = (480 \cdot 0,85) / 72 = 5,67 \approx 5 \text{ двиг./зміну}$$

Для удосконаленої схеми при $t_d = 45$ хв:

$$N_{зм.уд} = (480 \cdot 0,85) / 45 = 9,07 \approx 9 \text{ двиг./зміну}$$

Отже, продуктивність пункту технічного обслуговування може зрости з 5 до 9 двигунів за зміну, тобто приблизно у 1,6–1,8 раза залежно від фактичної складності дефектів і стану двигуна.

2.4 Вибір засобів вимірювання та діагностичного обладнання

Вибір засобів вимірювання виконується за принципом достатності для контролю основних дефектів асинхронного двигуна. Обладнання повинно забезпечувати перевірку електричної міцності ізоляції, фазних опорів, робочих і пускових струмів, напруги живлення, температурного стану, механічної вібрації та частоти обертання.

Для двигунів до 11 кВт доцільно застосовувати компактний діагностичний комплект, що може бути розміщений на одному посту. Його основу становлять мегомметр, цифровий мультиметр, струмовимірювальні кліщі, аналізатор параметрів мережі, тепловізор, віброметр, тахометр і діагностичний стенд із захисною апаратурою.

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5

Засоби вимірювання та діагностичне обладнання

Прилад або обладнання	Контрольований параметр	Діапазон / вимога	Призначення
Мегомметр 500/1000 В	опір ізоляції	0,1–1000 МОм	оцінка стану ізоляції обмоток
Цифровий мультиметр	напруга, опір, цілісність кіл	до 600 В	контроль клемника та допоміжних кіл
Струмові кліщі	робочі та пускові струми	0–200 А	оцінка навантаження і симетрії фаз
Аналізатор мережі	U, I, cosφ, P, перекид фаз	3×380 В	контроль якості живлення
Тепловізор	температура корпусу, клем, підшипників	-20...250 °С	пошук локального перегріву
Віброметр	віброшвидкість, віброприскорення	до 20 мм/с	оцінка стану підшипників
Тахометр	частота обертання	0–3000 об/хв	перевірка ковзання
Стенд пробного пуску	робочий режим двигуна	0,55–11 кВт	безпечний пуск та вимірювання параметрів

Комплект приладів повинен забезпечувати не лише вимірювання окремих величин, а й формування діагностичного висновку. Наприклад, зниження опору ізоляції свідчить про зволоження або старіння обмоток, підвищення струму однієї фази – про несиметрію або міжвиткове пошкодження, локальний нагрів клемника – про поганий контакт, а зростання вібрації – про зношення підшипників або дисбаланс ротора.

Таблиця 2.6

Діагностичні критерії оцінювання технічного стану електродвигуна

Параметр	Нормальний стан	Попереджувальний стан	Несправний стан	Рішення
Опір ізоляції	$R_{iz} \geq 1 \text{ МОм}$	0,5–1 МОм	$R_{iz} < 0,5 \text{ МОм}$	сушіння або ремонт
Несиметрія фазних струмів	до 5 %	5–10 %	понад 10 %	перевірка обмоток і мережі
Температура корпусу	до 70 °С	70–80 °С	понад 80 °С	зупинка, пошук причини
Віброшвидкість	до 2,8 мм/с	2,8–4,5 мм/с	понад 4,5 мм/с	перевірка підшипників
Пусковий струм	5–7 I_n	7–8 I_n	понад 8 I_n	перевірка навантаження і ротора
Шум і биття	відсутні	помірні	значні	ремонт механічної частини

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

Дані таблиці 2.6 свідчать, що комплексна оцінка технічного стану електродвигуна повинна здійснюватися за сукупністю кількох діагностичних параметрів. Найбільш інформативними показниками є опір ізоляції, рівень несиметрії фазних струмів, температура корпусу та віброшвидкість, оскільки їх відхилення від нормативних значень безпосередньо вказують на розвиток електричних або механічних дефектів.

Використання наведених критеріїв дає змогу своєчасно виявляти потенційні несправності, переходити від аварійного до планово-попереджувального обслуговування та зменшувати ризик раптового виходу обладнання з ладу.

Це, у свою чергу, сприяє підвищенню надійності роботи електроприводів і скороченню витрат на їх ремонт та експлуатацію.

2.5 Розроблення технологічної карти діагностування асинхронного двигуна

Технологічна карта є основним документом, що регламентує послідовність виконання діагностичних операцій, склад обладнання, нормативну тривалість робіт, виконавця та результат контролю.

Її використання дозволяє уніфікувати процес перевірки двигунів різної потужності, зменшити кількість пропущених дефектів і забезпечити зіставність результатів повторних вимірювань.

Карта діагностування складається для типового трифазного асинхронного двигуна потужністю до 11 кВт, що надходить до пункту технічного обслуговування після експлуатації або перед повторним введенням у роботу. Якщо під час виконання операцій виявляються критичні дефекти, подальший пробний пуск не проводиться до усунення небезпечного стану.

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічна карта діагностування асинхронного двигуна потужністю до 11 кВт

№	Операція	Обладнання та контрольовані параметри	Норма часу, хв	Результат
1	Приймання двигуна, запис паспортних даних	журнал; P_n , U_n , I_n , n , тип захисту	3	картка двигуна
2	Очищення корпусу і вентиляційних каналів	щітка, пілосос, компресор; стан корпусу і вентилятора	7	двигун підготовлено
3	Зовнішній огляд клемної коробки	інструмент, ліхтар; клема, ізоляція, з'єднання	4	виявлені видимі дефекти
4	Вимірювання опору ізоляції	мегомметр; R_{iz} між обмотками і корпусом	8	протокол R_{iz}
5	Перевірка опору фазних обмоток	омметр або мультиметр; R_A , R_B , R_C	5	оцінка симетрії обмоток
6	Пробний пуск без навантаження	стенд, захист, кліщі; I_0 , шум, обертання	8	оцінка робочого ходу
7	Тепловізійний контроль	тепловізор; температура корпусу, клем і підшипників	5	теплова карта
8	Вібраційний контроль	віброметр; v_{rms} , шум підшипників	5	оцінка механічної частини
9	Прийняття рішення	протокол; категорія технічного стану	5	допуск до експлуатації або ремонт

За результатами технологічної карти двигун відноситься до однієї з трьох категорій технічного стану: справний і допускається до експлуатації; працездатний, але потребує профілактичного обслуговування; несправний і

підлягає ремонту. Такий підхід дозволяє не лише виявити наявний дефект, а й прийняти обґрунтоване рішення щодо подальшої експлуатації двигуна.

Таблиця 2.8

**Очікувані показники ефективності удосконаленої технології
діагностування**

Показник	Існуюча організація	Удосконалена організація	Зміна
Тривалість діагностування одного двигуна	72 хв	45 хв	-37,5 %
Продуктивність за зміну	5 двигунів	9 двигунів	+80 %
Кількість контрольованих параметрів	4–5	9–10	зростання повноти контролю
Виявлення прихованих дефектів	обмежене	розширене	тепловий і віброконтроль
Документування результатів	журнал огляду	типовий протокол	порівнянність вимірювань

Технологічна частина роботи визначає вихідні дані, структуру пункту технічного обслуговування, послідовність діагностування, склад вимірювального обладнання та технологічну карту перевірки асинхронного двигуна. Запропонована організація дозволяє підвищити продуктивність поста, зменшити тривалість діагностування та забезпечити комплексний контроль електричного, теплового і механічного стану електродвигуна. Одержані результати є основою для подальшої електротехнічної частини, у якій будуть розраховані струми, пускові режими, кабельні лінії, апарати захисту та заземлення пункту технічного обслуговування.

РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок електричних навантажень пункту технічного обслуговування

Електротехнічна частина виконується для пункту технічного обслуговування, у якому проводиться діагностування, контроль ізоляції, перевірка фазних струмів, пробний пуск і короткочасне навантажувальне випробування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт. Розрахунок електричних навантажень потрібний для вибору живильної лінії, захисної апаратури, розподільчого щита та перевірки умов безпечної роботи обладнання.

У розрахунку враховано, що на діагностичному стенді одночасно перевіряється один електродвигун максимальної потужності. Інші електроприймачі працюють у допоміжному режимі, тому для них приймаються коефіцієнти використання. Такий підхід не завищує навантаження, але забезпечує достатній резерв для нормальної роботи пункту технічного обслуговування.

Таблиця 3.1

Розрахункові електроприймачі пункту технічного обслуговування

Електроприймач	Руст, кВт	кв	Рр, кВт
Діагностичний стенд для перевірки АД до 11 кВт	11.00	0.90	9.90
Компресорна установка продування і очищення	2.20	0.60	1.32
Витяжна вентиляція робочої зони	0.37	1.00	0.37
Розеткова група електроінструменту	1.20	0.50	0.60
Вимірювальні прилади, ПК, освітлення стенда	0.30	1.00	0.30
Освітлення пункту технічного обслуговування	0.60	1.00	0.60
Разом	15,67	—	13.09

Розрахункова активна потужність пункту визначається як сума встановлених потужностей електроприймачів з урахуванням коефіцієнтів використання:

$$P_p = \sum (P_{уст,i} \cdot k_{в,i}) \quad (3.1)$$

Для прийнятого складу обладнання одержуємо: $P_p = 11,0 \cdot 0,90 + 2,2 \cdot 0,60 + 0,37 \cdot 1,0 + 1,20 \cdot 0,50 + 0,30 \cdot 1,0 + 0,60 \cdot 1,0 = 13,09$ кВт.

$$Q_p = \sum (P_{уст,i} \cdot k_{в,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) \quad (3.2)$$

З урахуванням коефіцієнтів потужності електроприймачів реактивна потужність становить $Q_p = 8,17$ квар. Повна розрахункова потужність визначається за виразом:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2} \quad (3.3)$$

$S_p = \sqrt{(13,09)^2 + (8,17)^2} = 15,43$ кВА. Середній коефіцієнт потужності пункту становить $\cos \varphi_{сер} = P_p / S_p = 13,09 / 15,43 = 0,85$.

$$I_p = S_p \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U_n) \quad (3.4)$$

За напруги живлення $U_n = 380$ В розрахунковий струм вводу дорівнює $I_p = 15,43 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 380) = 23,44$ А. Для ввідної лінії пункту доцільно прийняти апарат захисту з номінальним струмом 32 А та резервом за допустимим струмом кабельної лінії.

3.2 Розрахунок робочих струмів асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт

Робочі струми асинхронних двигунів визначаються для ряду типорозмірів, що найчастіше надходять на пункт технічного обслуговування. Розрахунок виконується за номінальною потужністю на валу, коефіцієнтом корисної дії та коефіцієнтом потужності двигуна.

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_H = P_2 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta \cdot \cos\varphi) \quad (3.5)$$

Для двигуна потужністю 11 кВт при $\eta = 0,89$ та $\cos\varphi = 0,85$ робочий струм становить:

$$I_H = 11 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,85) = 22.09 \text{ А.}$$

Таблиця 3.2

Результати розрахунку робочих струмів асинхронних двигунів

P2, кВт	η	$\cos\varphi$	I _H , А
1.5	0.80	0.78	3.65
2.2	0.82	0.80	5.10
3.0	0.84	0.80	6.78
4.0	0.85	0.82	8.72
5.5	0.86	0.82	11.85
7.5	0.88	0.84	15.42
11.0	0.89	0.85	22.09

З таблиці 3.2 видно, що для двигунів потужністю до 11 кВт робочий струм не перевищує 22,1 А. Саме це значення приймається основним при виборі силової частини діагностичного стенда, контактора, теплового реле, автоматичного вимикача та кабельної лінії до місця випробування.

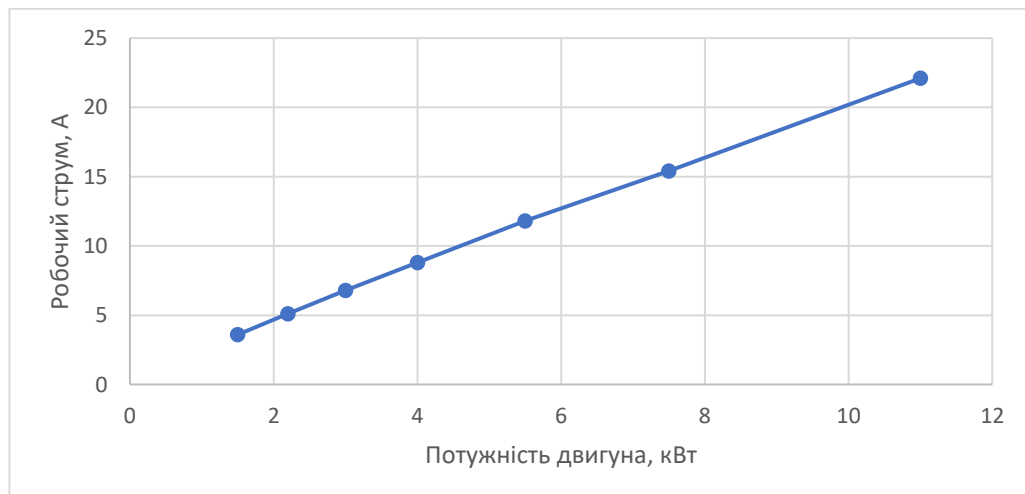


Рис. 3.1 – Залежність робочого струму асинхронного двигуна від номінальної потужності

Як видно з рисунка 3.1, між номінальною потужністю асинхронного двигуна та величиною його робочого струму існує стійка пряма залежність: зі збільшенням потужності зростає і споживаний струм.

Для двигунів малої потужності (1,5–4 кВт) робочий струм перебуває в межах 3,6–8,8 А, тоді як для двигунів середньої потужності (5,5–11 кВт) він досягає 11,8–22,1 А.

Отримана залежність підтверджує правильність вибору діапазону вимірювання діагностичного обладнання та дозволяє обґрунтувати параметри силових елементів стенда. Крім того, наведений графік може бути використаний для оперативного визначення очікуваного робочого струму двигуна залежно від його номінальної потужності під час проведення діагностичних випробувань.

3.3 Розрахунок пускових струмів та перевірка режимів пуску електродвигунів

Під час діагностування необхідно забезпечити короткочасний пробний пуск електродвигуна без помилкового спрацювання захисту та без надмірного просідання напруги.

Для двигунів до 11 кВт найбільш несприятливим є прямий пуск, тому розрахунок виконується для двигуна максимальної потужності.

$$I_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} \quad (3.6)$$

Для прямого пуску приймаємо $k_{\text{п}} = 6,5$. Тоді $I_{\text{п}} = 6,5 \cdot 22,09 = 143,6$ А.

При пуску за схемою «зірка-трикутник» пусковий струм орієнтовно становить 48,6 А, при застосуванні пристрою плавного пуску - 66,3 А, а при частотному пуску - близько 33,1 А.

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

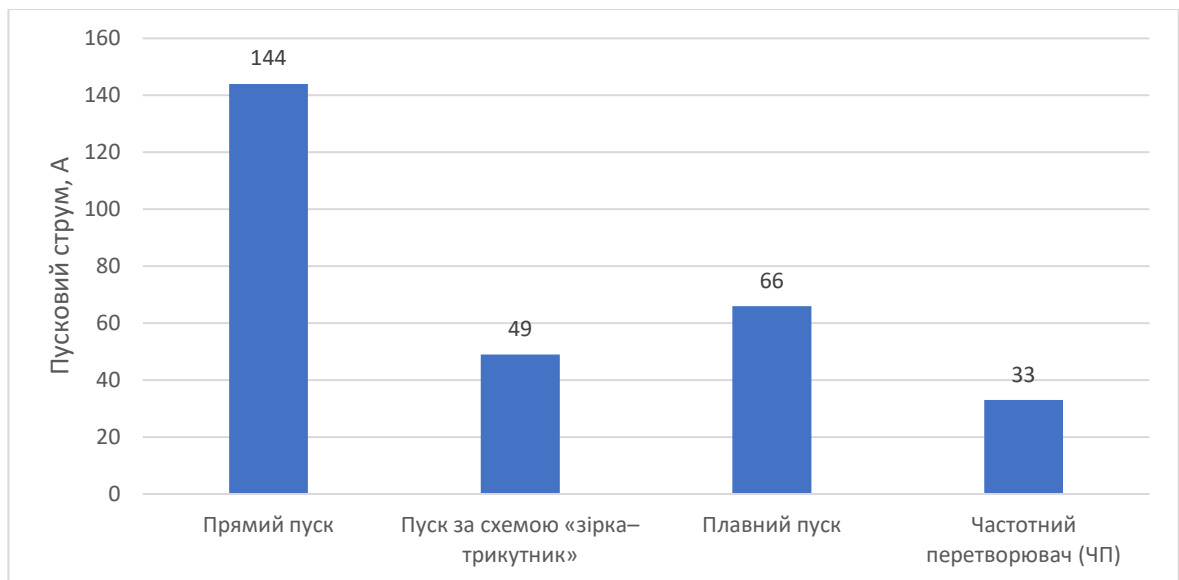


Рис. 3.2 – Порівняння пускових струмів двигуна 11 кВт для різних способів пуску

Для перевірки режиму пуску визначається втрата напруги у лінії до стенда. Розрахунок виконано для мідного кабелю перерізом 4 мм², довжиною 25 м, $r_0 = 4,61$ Ом/км, $x_0 = 0,08$ Ом/км.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi) / 1000 \quad (3.7)$$

У номінальному режимі $\Delta U = 3.79$ В, що становить 1.00 % від напруги мережі. При прямому пуску $\Delta U_{\text{п}} = 24.63$ В, або 6.48 %. Для електродвигуна 11 кВт прямий пуск допустимий лише за достатньої жорсткості мережі, тому для діагностичного стенда доцільно передбачити плавний або частотний пуск, при якому просідання напруги зменшується до 2.99 %.

3.4 Вибір кабельних ліній живлення діагностичного обладнання та електродвигунів

Кабельні лінії вибираються за трьома умовами: за допустимим тривалим струмом, за втратою напруги та за відповідністю апаратам захисту. Для живлення діагностичного стенда приймається мідний кабель з негорючою

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

ізоляцією, оскільки пункт технічного обслуговування належить до виробничих приміщень з підвищеними вимогами до пожежної безпеки кабельних трас.

Для лінії діагностичного стенда розрахунковий струм становить $I_n = 22,09$ А. Приймаємо кабель ВВГнг-LS 5×4 мм² з допустимим струмом не менше 30 А. Умова вибору за нагріванням виконується:

$$I_{\text{доп}} = 30 \text{ А} > I_n = 22,09 \text{ А}.$$

Перевірка за втратою напруги у номінальному режимі також виконується: $\Delta U\% = 1.00\%$, що менше допустимого значення 5 %. Отже, переріз 4 мм² достатній для живлення стенда на відстані до 25 м. Для ввідної лінії пункту при $I_p = 23.44$ А приймається кабель ВВГнг-LS 5×6 мм² з допустимим струмом близько 40 А.

3.5 Вибір автоматичних вимикачів, магнітних пускачів і теплових реле

Комутаційні та захисні апарати вибираються за номінальною напругою, робочим струмом, категорією застосування, здатністю витримувати пускові струми та вимикальною здатністю при короткому замиканні. Для силового кола діагностичного стенда необхідно забезпечити як захист кабелю, так і захист двигуна під час випробування.

Номінальний струм автоматичного вимикача для стенда приймається 32 А. Це значення більше робочого струму двигуна 11 кВт і менше допустимого струму прийнятої лінії з урахуванням умов прокладання.

Для уникнення небажаного відключення під час короткочасного пуску приймається характеристика С або D залежно від фактичної жорсткості мережі. Магнітний пускач вибирається за категорією АС-3 на струм не менше 25 А, а теплове реле - з діапазоном регулювання 20–25 А.

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

Прийняті кабельні лінії та апарати захисту

Ділянка	Розрахунковий струм, А	Кабель	Захист
Ввід пункту ТО	23.44	ВВГнг-LS 5×6 мм ²	QF 3P C32–40 А
Діагностичний стенд 11 кВт	22.09	ВВГнг-LS 5×4 мм ²	QF 3P C32 А, КМ АС-3 25 А
Компресор 2,2 кВт	5,10	ВВГнг-LS 5×1,5 мм ²	QF 3P C10 А
Освітлення та вимірювальні кола	до 6,0	ВВГнг-LS 3×1,5 мм ²	QF 1P C10 А

Таблиця 3.3 подана як підсумок вибору, а основні перевірки наведені розрахунками. Для двигуна 11 кВт робочий струм 22,09 А не перевищує допустимого струму кабелю 5×4 мм² і номінальних струмів контактора та теплового реле. Теплове реле налаштовується на струм, близький до фактичного номінального струму двигуна, тобто 22–23 А.

3.6 Перевірка апаратів захисту за умовами спрацювання при струмах короткого замикання

Перевірка апаратів захисту виконується для підтвердження, що автоматичні вимикачі мають достатню вимикальну здатність і забезпечують надійне автоматичне вимикання пошкодженої ділянки. Для розрахунку приймається живлення пункту від трансформатора 10/0,4 кВ потужністю 160 кВА з напругою короткого замикання $u_k = 4,5\%$.

Номінальний струм трансформатора на стороні 0,4 кВ становить $I_{тр} = 160/(\sqrt{3} \cdot 0,4) = 230,9$ А. Струм трифазного короткого замикання на шинах низької напруги:

$$I_{к.ш} = I_{тр} \cdot 100 / u_k \quad (3.8)$$

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

$I_{к.ш} = 230.9 \cdot 100 / 4,5 = 5.13$ кА. Для кінця лінії діагностичного стенда враховується опір трансформатора та опір кабелю довжиною 25 м. Еквівалентний опір трансформатора $Z_T = 0.045$ Ом, активний опір кабельної лінії $R_L = 0.115$ Ом.

$$I_{к.к} = U / (\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}) \quad (3.9)$$

Орієнтовний струм КЗ у кінці лінії стенда становить $I_{к.к} = 400 / (\sqrt{3} \cdot (0.045 + 0.115)) = 1.44$ кА. Це значення достатнє для спрацювання електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача С32, а вимикальна здатність автоматів повинна бути не меншою за 6 кА. Для ввідного автоматичного вимикача доцільно приймати вимикальну здатність 10 кА.

3.7 Розрахунок захисного заземлення електрообладнання пункту технічного обслуговування

Захисне заземлення пункту технічного обслуговування виконується для металевих корпусів діагностичного стенда, електродвигунів, шафи керування, компресора, вентилятора та металевих конструкцій. Приймається допустимий опір заземлювального пристрою $R_{доп} = 4$ Ом.

Для розрахунку приймаються вертикальні сталеві електроди довжиною 3 м і діаметром 16 мм, питомий опір ґрунту $\rho = 60$ Ом·м, кількість електродів $n = 6$. Опір одного вертикального електрода визначається за спрощеною інженерною залежністю:

$$R_1 = \rho / (2\pi l) \cdot [\ln(2l/d) - 1] \quad (3.10)$$

$R_1 = 60 / (2\pi \cdot 3) \cdot [\ln(2 \cdot 3 / 0,016) - 1] = 15.68$ Ом. З урахуванням коефіцієнта використання вертикальних електродів $\eta_v = 0,65$ опір групи електродів:

$$R_v = R_1 / (n \cdot \eta_v) \quad (3.11)$$

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$R_v = 15.68 / (6 \cdot 0.65) = 4.02 \text{ Ом}$. Горизонтальний заземлювач приймається у вигляді сталевий смуги, його розрахунковий опір приймається $R_r = 17 \text{ Ом}$. Загальний опір заземлювального пристрою:

$$R_z = R_v \cdot R_r / (R_v + R_r) \quad (3.12)$$

$R_z = 4.02 \cdot 17 / (4.02 + 17) = 3.25 \text{ Ом}$. Оскільки $R_z = 3.25 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$, умова електробезпеки виконується. Прийнятий заземлювальний пристрій можна використовувати для захисного заземлення електрообладнання пункту технічного обслуговування.

Отримані результати розрахунку підтверджують, що запропонована конструкція заземлювального пристрою забезпечує необхідний рівень електробезпеки під час експлуатації обладнання пункту технічного обслуговування. Загальний опір заземлення становить 3,25 Ом, що є меншим за нормативно допустиме значення 4 Ом, а отже, у разі виникнення пошкодження ізоляції або пробією напруги на корпус обладнання забезпечуватиметься надійне відведення струму в землю та спрацювання захисної апаратури.

Використання системи захисного заземлення такого типу сприятиме підвищенню безпеки праці персоналу, який виконує діагностування асинхронних двигунів, а також зменшенню ризику ураження електричним струмом і пошкодження дорогоцінного діагностичного обладнання. Прийняті параметри заземлювального пристрою відповідають вимогам чинних норм і можуть бути рекомендовані для практичного впровадження на пункті технічного обслуговування електродвигунів потужністю до 11 кВт.

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

РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПОТУЖНІСТЮ ДО 11 КВТ

4.1 Обґрунтування вибору комплексного методу діагностування асинхронних двигунів

Ефективність діагностування асинхронних двигунів визначається не кількістю окремих перевірок, а здатністю технології швидко виявити несправність, визначити її характер і прийняти рішення щодо подальшої експлуатації або ремонту. Для двигунів потужністю до 11 кВт доцільним є комплексний метод, що поєднує електричні, теплові та механічні ознаки технічного стану.

Удосконалена технологія діагностування повинна включати такі обов'язкові операції: зовнішній огляд і перевірку клемної коробки; вимірювання опору ізоляції; контроль опору обмоток постійному струму; пробний пуск; вимірювання фазних струмів; контроль температури корпусу та підшипникових вузлів; вимірювання рівня вібрації; оформлення протоколу з висновком про технічний стан двигуна. Такий порядок дає можливість виявляти як електричні, так і механічні дефекти без повного розбирання двигуна.

Таблиця 4.1

Контрольовані параметри удосконаленої технології діагностування

Параметр	Метод контролю	Діагностичний висновок
Опір ізоляції обмоток	мегаомметр 500 В	зволоження, старіння або пошкодження ізоляції
Опір фазних обмоток	мікроомметр / омметр	обрив, міжвитковий дефект, поганий контакт
Фазні струми	кліщі або аналізатор мережі	перекіс фаз, перевантаження, дефект обмотки
Температура корпусу	тепловізор / пірометр	перегрів, недостатнє охолодження
Вібрація підшипників	віброметр	знос підшипників, дисбаланс, неспіввісність

На відміну від спрощеного підходу, коли перевіряється лише запуск двигуна та відсутність видимого нагрівання, комплексний метод формує числовий діагностичний профіль. Це дозволяє порівнювати результати між ремонтами і виявляти поступове погіршення стану ізоляції, підшипників або контактних з'єднань.

4.2 Розрахунок параметрів контролю опору ізоляції обмоток електродвигуна

Контроль опору ізоляції є першою обов'язковою електричною перевіркою, оскільки запуск двигуна з пошкодженою або зволоженою ізоляцією може спричинити пробій обмотки. Для двигунів напругою 0,4 кВ вимірювання виконується мегаомметром на 500 В між обмотками та корпусом, а також між окремими фазними обмотками.

Оцінювання стану ізоляції доцільно виконувати не тільки за абсолютним значенням R_{60} , а й за коефіцієнтом абсорбції, який характеризує процес поляризації діелектрика. Він визначається за формулою:

$$K_{\text{абс}} = R_{60} / R_{15} \quad (4.1)$$

За результатами контрольного вимірювання прийнято $R_{15} = 18 \text{ МОм}$, $R_{60} = 32 \text{ МОм}$. Тоді $K_{\text{абс}} = 32/18 = 1.78$. Оскільки коефіцієнт абсорбції більший за 1,3, ізоляція має задовільний стан і не потребує сушіння перед пробним пуском. Якщо R_{60} менше 1 МОм або $K_{\text{абс}}$ наближається до 1, двигун необхідно направити на сушіння або ремонт обмотки.

Для підвищення достовірності результатів опір ізоляції фіксується у протоколі разом із температурою навколишнього повітря. Повторні вимірювання для одного двигуна повинні виконуватися за однакової схеми підключення, оскільки зміна схеми вимірювання ускладнює порівняння результатів.

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

4.3 Оцінка симетрії фазних струмів та виявлення електричних несправностей

Після перевірки ізоляції двигун запускається на холостому ходу або під контрольованим навантаженням. Одним із найбільш інформативних показників є симетрія фазних струмів. Значне відхилення струму однієї фази від середнього значення може свідчити про міжвиткове замикання, пошкодження контактного з'єднання, перекіс напруги живлення або нерівномірність магнітної системи.

$$\delta_I = (I_{max} - I_{cp}) / I_{cp} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Для справного двигуна при виміряних струмах $I_A = 22,8$ А, $I_B = 23,1$ А, $I_C = 22,5$ А середній струм становить $I_{cp} = 22.80$ А, а несиметрія $\delta I = 1.32$ %. Таке значення не перевищує прийнятої межі 10 % і відповідає справному електричному стану.

Для двигуна з дефектом прийнято $I_A = 22,0$ А, $I_B = 27,2$ А, $I_C = 21,6$ А. У цьому випадку $I_{cp} = 23.60$ А, $\delta I = 15.25$ %. Значення перевищує допустиму межу, тому двигун не допускається до тривалої роботи і потребує додаткової перевірки обмоток та контактних з'єднань.

Оцінка фазних струмів є важливою саме для пункту технічного обслуговування, оскільки вона виконується швидко і не потребує розбирання двигуна. У поєднанні з вимірюванням опору обмоток цей метод дозволяє відокремити несправність двигуна від дефекту живильної мережі або комутаційної апаратури.

4.4 Розрахунок теплового режиму асинхронного двигуна під час діагностування

Тепловий контроль під час діагностування потрібний для виявлення перевантаження, порушення охолодження, підвищеного тертя в підшипниках і

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нерівномірного нагрівання корпусу. Розрахунок виконується для двигуна потужністю 11 кВт, який є найбільш навантаженим серед розглянутих типорозмірів.

$$P_{\text{втр}} = P_2 \cdot (1/\eta - 1) \quad (4.3)$$

Втрати потужності двигуна при $\eta = 0,89$ становлять $P_{\text{втр}} = 11 \cdot (1/0,89 - 1) = 1.36$ кВт. Саме ця потужність перетворюється на теплоту в сталі, міді обмоток, підшипниках і вентиляційних втратах.

Температурний процес під час короткочасного випробування можна оцінити за аперіодичною залежністю першого порядку:

$$\theta(t) = \theta_{\text{уст}} \cdot (1 - e^{(-t/T_{\text{т}})}) \quad (4.4)$$

За теплового опору $R_{\text{т}} = 38$ К/кВт усталене перевищення температури становить $\theta_{\text{уст}} = 51.7$ К. За тривалості випробування 30 хв і теплової сталої часу $T_{\text{т}} = 45$ хв перевищення температури становить $\theta(30) = 25.1$ К, а температура корпусу при температурі навколишнього середовища 25 °С дорівнює приблизно 50.1 °С.

Отримане значення не є аварійним, однак при фактичному вимірюванні тепловізором необхідно звертати увагу не тільки на абсолютну температуру, а й на локальні перегріті зони. Різниця температур між підшипниковими щитами або окремими ділянками корпусу понад $10\text{--}15$ °С є ознакою дефекту, навіть якщо середня температура корпусу залишається допустимою.

4.5 Розроблення структурної схеми діагностичного стенда

Структурна схема діагностичного стенда повинна бути простою і придатною до реалізації у пункті технічного обслуговування. Основними функціональними блоками стенда є ввідний захист, силовий комутаційний блок, модуль плавного або частотного пуску, вимірювальний блок струму і напруги,

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

блок контролю ізоляції, тепловізійний та вібраційний контроль, робоче місце оператора і журнал результатів.

Силова частина стенда підключається до мережі 380/220 В через автоматичний вимикач і контактор. Двигун підключається через клемну панель із можливістю швидкого приєднання фазних провідників і захисного провідника РЕ. У вимірювальній частині передбачаються трансформатори струму або струмові кліщі, вольтметрові входи, мегаомметр, омметр низьких опорів, віброметр і тепловізор. Результати контролю заносяться до протоколу діагностування.

У графічній частині роботи структурну схему доцільно виконати окремим аркушем без перевантаження дрібними елементами. У пояснювальній записці достатньо показати склад блоків і зв'язок між ними: мережа живлення - захист - пусковий модуль - двигун - вимірювальні датчики - оператор - протокол. Така структура відповідає технології діагностування, розрахованій у розділах 3 і 4, та не потребує складної автоматизованої системи.

4.6 Оцінка ефективності запропонованої технології діагностування

Ефективність запропонованої технології оцінюється за скороченням тривалості діагностування, збільшенням кількості контрольованих параметрів і підвищенням імовірності виявлення несправності до розбирання двигуна. У базовому варіанті перевірка складається переважно із зовнішнього огляду, пробного пуску та суб'єктивної оцінки нагрівання. Удосконалений варіант додає вимірювання ізоляції, симетрії фазних струмів, тепловізійний і вібраційний контроль.

$$E_t = (t_6 - t_y) / t_6 \cdot 100\% \quad (4.5)$$

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо тривалість базового діагностування становить $t_b = 75$ хв, а удосконаленого - $t_u = 48$ хв, то скорочення часу дорівнює $E_t = (75 - 48)/75 \cdot 100 = 36.0$ %.

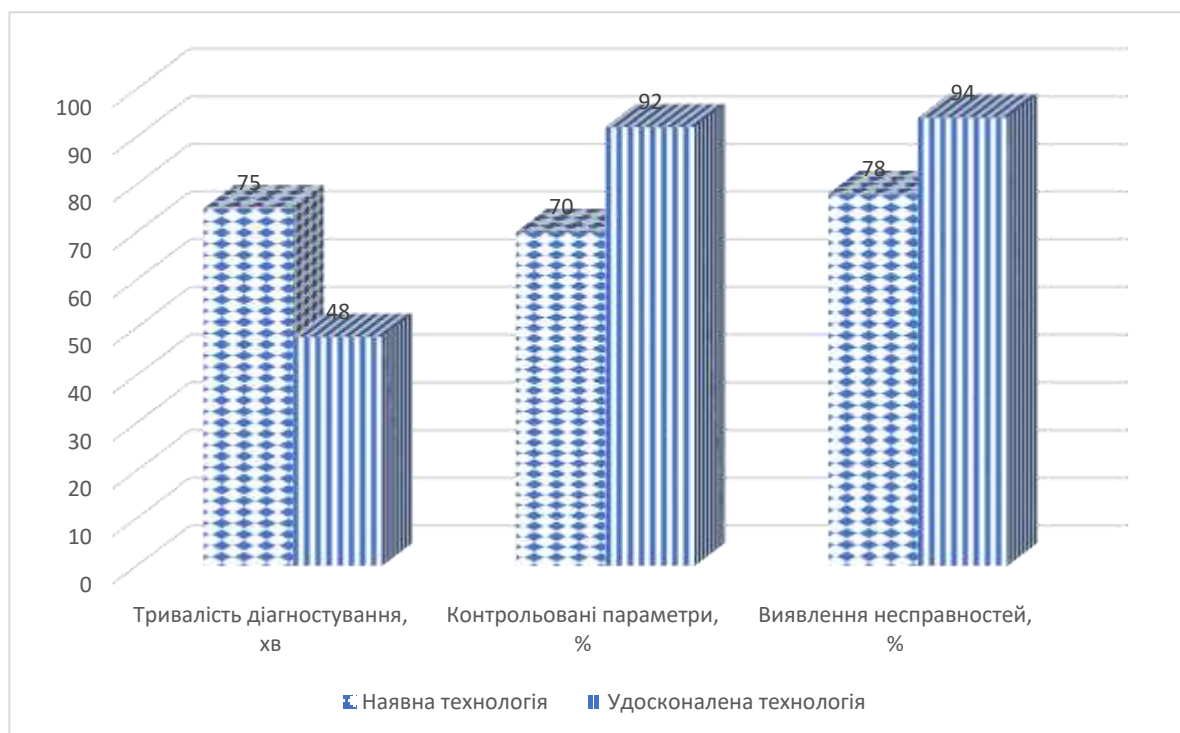


Рис. 4.1 – Порівняння показників базової та удосконаленої технології діагностування

За рахунок застосування комплексного контролю повнота діагностування збільшується з 70 до 92 %, а імовірність виявлення несправності до розбирання двигуна - з 78 до 94 %. Найбільший практичний ефект досягається при виявленні дефектів ізоляції, перекосу фазних струмів, перегріву підшипників і підвищеної вібрації. Це зменшує кількість необґрунтованих розбирань двигунів і підвищує якість ремонтних рішень.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у пункті технічного обслуговування

Пункт технічного обслуговування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт належить до виробничих приміщень, у яких одночасно виконуються електровимірювальні, слюсарні, регулювальні та випробувальні операції. Основними об'єктами робіт є трифазні асинхронні двигуни напругою 380 В, діагностичний стенд, апаратура керування, автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, теплові реле, мегомметри, струмовимірювальні кліщі, тепловізор та вібровимірювальні прилади. Тому система охорони праці повинна враховувати не лише загальні виробничі ризики, а й небезпеки, пов'язані з електричними вимірюваннями, пуском електродвигунів, обертанням ротора та роботою обладнання під навантаженням.

Найбільш небезпечним фактором є можливість ураження електричним струмом при дотику до відкритих струмоведучих частин, пошкоджених проводів, затискачів стенда або металевих корпусів обладнання при порушенні ізоляції. Додаткову небезпеку створюють вимірювання опору ізоляції напругою 500 або 1000 В, оскільки після випробування обмотки двигуна можуть зберігати залишковий заряд. Перед повторним дотиком до виводів двигуна необхідно виконати розрядження обмоток на корпус через заземлювальний провідник.

Під час діагностування двигунів у робочому режимі виникають механічні небезпеки. До них належать контакт із муфтою, валом або вентилятором, захоплення одягу обертовими частинами, вібрація корпусу при пошкодженні підшипників, підвищений шум та нагрівання поверхонь. Окремо враховується пожежна безпека, пов'язана з коротким замиканням, перевантаженням,

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поганим контактом у клемній коробці, перегрівом обмоток або використанням пошкодженого кабелю живлення.

Таблиця 5.1

Основні небезпечні та шкідливі фактори під час діагностування асинхронних двигунів

Фактор	Джерело виникнення	Можливий наслідок	Основний захід захисту
Електричний струм	кола 380/220 В, стенд, кабельні лінії, клемні коробки	ураження струмом, опік, аварійне відключення	захисне заземлення, ПЗВ, закриті клема, перевірка відсутності напруги
Підвищена випробувальна напруга	мегомметр 500/1000 В, перевірка ізоляції	електротравма, залишковий заряд обмоток	розрядження обмоток, попереджувальні плакати, робота двома працівниками
Обертові частини	вал, вентилятор, муфта, випробувальний привод	механічна травма, захоплення одягу	захисні кожухи, огороження, пуск тільки після огляду
Перегрів	обмотки, підшипники, клемні з'єднання	опік, пошкодження ізоляції, пожежа	тепловий контроль, обмеження часу випробування, справні контакти
Шум і вібрація	двигун з дефектами підшипників або небалансом ротора	погіршення умов праці, втома оператора	віброконтроль, обмеження часу роботи, засоби захисту слуху за потреби

Аналіз небезпечних факторів показує, що безпека робіт у пункті технічного обслуговування повинна забезпечуватися поєднанням технічних і організаційних заходів. До технічних заходів належать справна ізоляція, захисне заземлення, автоматичне відключення живлення, огороження обертових частин, аварійна кнопка зупинки стенда, індикація наявності напруги та контроль температури двигуна. До організаційних заходів належать допуск до робіт лише навченого персоналу, оформлення завдання на роботи, проведення інструктажу та ведення журналу діагностування.

5.2 Вимоги електробезпеки під час діагностування асинхронних двигунів

Діагностування асинхронних двигунів виконується в електроустановках до 1000 В, тому персонал повинен дотримуватися вимог правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та правил улаштування електроустановок. Працівник, який самостійно виконує вимірювання та підключення двигуна до стенда, повинен мати відповідну групу з електробезпеки, знати схему стенда, порядок зняття напруги, правила користування електровимірювальними приладами та порядок дій при аварійній ситуації.

Перед початком роботи двигун оглядають зовні, перевіряють цілісність корпусу, клемної коробки, кабельного вводу, захисного провідника та ізоляції з'єднувальних проводів. Підключення двигуна до стенда дозволяється виконувати тільки при вимкненому автоматичному вимикачі та вивішеному попереджувальному плакаті. Після підключення перевіряється правильність схеми з'єднання обмоток, надійність затискання жил, наявність захисного провідника РЕ та відсутність сторонніх предметів біля обертових частин.

Для кількісної оцінки небезпеки дотику розглянемо струм, який може пройти через тіло людини при випадковому дотику до частини обладнання, що опинилася під напругою. Розрахунок виконується за законом Ома:

$$I_{\text{л}} = U_{\text{дот}} / R_{\text{л}} \quad (5.1)$$

де $I_{\text{л}}$ – струм через тіло людини, А; $U_{\text{дот}}$ – напруга дотику, В; $R_{\text{л}}$ – електричний опір тіла людини, Ом.

Для оцінки приймаємо $U_{\text{дот}} = 50$ В та $R_{\text{л}} = 1000$ Ом. Тоді:

$$I_{\text{л}} = 50 / 1000 = 0,05 \text{ А} = 50 \text{ мА}$$

Отримане значення є небезпечним для людини, тому у колах живлення діагностичного стенда доцільно передбачати автоматичне відключення

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

живлення та пристрій захисного вимкнення з номінальним диференціальним струмом 30 мА для розеткових і допоміжних кіл. Умовна напруга, яка відповідає спрацюванню такого захисту при прийнятому опорі тіла людини, становить:

$$U_{ум} = I_{\Delta n} \cdot R_{л} = 0,03 \cdot 1000 = 30 \text{ В} \quad (5.2)$$

Оскільки 30 В менше прийнятого граничного значення 50 В для умов нормальної експлуатації, застосування пристрою захисного вимкнення підвищує рівень електробезпеки оператора під час роботи з переносними приладами та допоміжними колами стенда.

Захисний провідник повинен витримувати термічну дію струму короткого замикання до моменту вимкнення апарата захисту. Мінімальний переріз захисного провідника можна перевірити за адіабатичною залежністю:

$$SPE = I_k \cdot \sqrt{t} / k \quad (5.3)$$

де SPE – мінімальний переріз захисного провідника, мм²; I_k – струм короткого замикання, А; t – час вимкнення, с; k – коефіцієнт матеріалу провідника. Для мідного провідника з ізоляцією ПВХ приймаємо k = 115. За розрахункового струму короткого замикання I_k = 320 А та часу вимкнення t = 0,2 с маємо:

$$SPE = 320 \cdot \sqrt{0,2} / 115 = 1,24 \text{ мм}^2$$

За результатом розрахунку мінімальний потрібний переріз становить 1,24 мм². Для пункту технічного обслуговування приймається мідний захисний провідник перерізом не менше 2,5 мм² при прокладанні у складі кабелю та не менше 4 мм² для окремо прокладеного провідника без механічного захисту. Корпуси діагностичного стенда, електродвигунів, металевих столів, щитів керування і переносних приладів, що мають затискач захисного провідника, повинні бути приєднані до системи захисного заземлення.

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

5.3 Організаційні та технічні заходи безпечного виконання робіт

Безпечне виконання робіт у пункті технічного обслуговування забезпечується правильною організацією робочого місця, послідовністю підготовчих операцій, справністю захисних засобів і контролем дій персоналу. Перед початком зміни відповідальний працівник перевіряє справність стенда, наявність заземлення, роботу кнопки аварійного зупинення, справність огорожень, відсутність пошкоджень кабельних ліній та стан засобів індивідуального захисту.

При діагностуванні двигуна, який був доставлений з виробничої дільниці, спочатку виконується зовнішній огляд і перевірка відсутності вологи, забруднення, механічних пошкоджень та слідів перегріву. Лише після цього допускається вимірювання опору ізоляції. Пуск двигуна на стенді виконується після повідомлення персоналу, перевірки кріплення двигуна та встановлення захисного кожуха. Забороняється торкатися двигуна, клемної коробки або вимірювальних проводів під час роботи стенда.

Таблиця 5.2

Послідовність безпечного виконання діагностичних робіт

Етап	Зміст операції	Контроль безпеки	Відповідальний
Підготовка	огляд двигуна, стенда, кабелю та приладів	стенд знеструмлений, РЕ приєднаний	електромонтер
Підключення	з'єднання виводів двигуна зі стендом	автомат вимкнений, схема перевірена	електромонтер
Вимірювання ізоляції	перевірка опору ізоляції обмоток	після вимірювання обмотки розряджені	оператор стенда
Пробний пуск	короткочасний запуск двигуна без навантаження	кожух встановлений, сторонніх осіб немає	оператор стенда
Робоча перевірка	контроль струму, нагрівання, вібрації, шуму	перевищення параметрів фіксується і двигун вимикається	оператор стенда
Завершення	відключення, оформлення результатів	двигун знеструмлений, клема закриті	відповідальний

До технічних заходів безпеки належать застосування закритих клемних з'єднань, автоматичних вимикачів з відповідною вимикальною здатністю, теплових реле, пристрою аварійного зупинення, сигнальних ламп наявності напруги та захисного заземлення. На діагностичному стенді повинна бути передбачена чітка індикація стану: «мережа», «пуск», «робота», «аварія». Кнопка аварійного зупинення повинна бути доступною оператору без зміни його робочого положення.

Робоче місце повинно бути достатньо освітлене, не захищене запасними частинами та інструментом. Кабелі стенда прокладаються так, щоб виключити їх механічне пошкодження та зачеплення працівником. Забороняється використовувати саморобні подовжувачі, пошкоджені штепсельні з'єднання, прилади з простроченим терміном повірки та двигуни з відкритими або пошкодженими виводами.

5.4 Пожежна безпека пункту технічного обслуговування

Пожежна небезпека пункту технічного обслуговування асинхронних двигунів пов'язана з наявністю електрообладнання, кабельних ліній, ізоляційних матеріалів, мастила у підшипниках, обтиральних матеріалів та можливістю короткого замикання.

Основними причинами виникнення пожежі є перевантаження електричних кіл, ослаблення контактних з'єднань, пошкодження ізоляції, робота двигуна з заклиненим підшипником, перегрів обмоток, неправильне використання переносного інструменту та порушення правил зберігання горючих матеріалів.

Для попередження пожежі електричні кола стенда захищаються автоматичними вимикачами, а двигуни під час випробування контролюються за струмом і температурою. ,

Не допускається тривала робота двигуна з перевищенням номінального струму, запахом перегрітої ізоляції, іскрінням у клемній коробці або появою

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

диму. Після кожного циклу випробування перевіряється температура корпусу і підшипникових вузлів. Якщо температура зростає швидше, ніж у справного двигуна, випробування припиняється, а двигун направляється на ремонт.

У приміщенні пункту технічного обслуговування повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, зокрема вуглекислотний або порошковий вогнегасник для гасіння електрообладнання. Гасіння обладнання, яке перебуває під напругою, водою не допускається. Перед ліквідацією загоряння необхідно вимкнути ввідний автомат стенда або щита живлення, повідомити відповідальну особу та діяти відповідно до інструкції з пожежної безпеки.

Для орієнтовного визначення кількості вогнегасників використовують залежність:

$$n = F / F_{\text{н}} \quad (5.4)$$

де n – розрахункова кількість вогнегасників, шт.; F – площа приміщення пункту технічного обслуговування, м^2 ; $F_{\text{н}}$ – площа, що приймається для одного вогнегасника за локальними нормами підприємства, м^2 . Для приміщення площею $F = 60 \text{ м}^2$ та прийнятого нормативного значення $F_{\text{н}} = 50 \text{ м}^2$ одержуємо:

$$n = 60 / 50 = 1,2$$

Отже, для пункту технічного обслуговування доцільно передбачити не менше двох переносних вогнегасників, розміщених біля виходу та поблизу діагностичного стенда, але не ближче до обладнання, ніж це передбачено інструкцією з пожежної безпеки підприємства. Проходи до вогнегасників, електрощита і виходу повинні залишатися вільними.

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

5.5 Заходи безпеки під час роботи з електровимірювальними приладами та діагностичним стендом

Електровимірювальні прилади, що застосовуються для діагностування асинхронних двигунів, повинні мати справну ізоляцію, цілі щупи, маркування допустимої категорії вимірювання та чинну повірку або калібрування. Перед використанням оператор перевіряє цілісність корпусу приладу, відсутність тріщин на проводах і відповідність межі вимірювання очікуваному значенню параметра. Забороняється перемикати межі вимірювання, змінювати схему підключення або знімати кришки клемної коробки при поданій напрузі.

Під час роботи з мегомметром необхідно попередити працівників про подачу випробувальної напруги, не торкатися виводів двигуна та вимірювальних проводів, а після завершення вимірювання виконати розрядження обмоток. Струмовимірювальні кліщі застосовуються тільки за наявності непошкодженої ізоляції та достатньої відстані між працівником і відкритими струмоведучими частинами. Тепловізійний контроль виконується без дотику до обладнання, при цьому оператор повинен перебувати поза площиною можливого руху обертових частин.

Діагностичний стенд повинен мати жорстко закріплену основу, захисні кожухи обертових частин, клемну панель із закритими струмоведучими частинами, аварійну кнопку зупинки, індикацію наявності напруги і приєднання до контуру захисного заземлення. Під час пуску двигуна працівник повинен знаходитися збоку від осі обертання, не торкатися корпусу двигуна і не виконувати регулювання механічних вузлів до повної зупинки ротора.

Запропоновані заходи охорони праці забезпечують зниження ризику електротравм, механічних ушкоджень, пожежі та помилкових дій оператора. Їх реалізація є обов'язковою умовою безпечного впровадження комплексної технології діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт у пункті технічного обслуговування.

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

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності діагностування асинхронних двигунів потужністю до 11 кВт у пункті технічного обслуговування. Актуальність роботи зумовлена широким використанням таких двигунів у приводах насосів, вентиляторів, транспортерів, верстатів і допоміжного обладнання, а також необхідністю своєчасного виявлення електричних, теплових і механічних несправностей.

У першому розділі проаналізовано умови експлуатації асинхронних двигунів малої та середньої потужності. Встановлено, що основними причинами відмов є погіршення стану ізоляції обмоток, несиметрія фазних струмів, перевантаження, перегрів, пошкодження підшипників, ослаблення контактних з'єднань і порушення умов охолодження. Обґрунтовано необхідність переходу від переважно візуального огляду до комплексного діагностування з контролем електричних, теплових і вібраційних параметрів.

У другому розділі сформовано вихідні дані до проєктування пункту технічного обслуговування, визначено склад діагностичних операцій і запропоновано технологічний процес перевірки двигунів потужністю до 11 кВт. До складу контролю включено зовнішній огляд, вимірювання опору ізоляції, перевірку фазних струмів, контроль нагрівання, оцінку вібрації, перевірку підшипників і формування висновку про технічний стан двигуна.

У третьому розділі виконано електротехнічні розрахунки пункту технічного обслуговування. Розраховано електричні навантаження, робочі та пускові струми двигунів, вибрано кабельні лінії, автоматичні вимикачі, магнітні пускачі й теплові реле, перевірено умови спрацювання апаратів захисту та виконано розрахунок захисного заземлення. Розрахунки підтвердили можливість безпечного підключення і випробування асинхронних двигунів у межах прийнятої потужності.

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У четвертому розділі запропоновано удосконалену технологію діагностування, яка поєднує контроль опору ізоляції, фазних струмів, теплового режиму, вібраційного стану та зовнішніх ознак несправностей. Такий підхід дозволяє скоротити час пошуку дефекту, підвищити достовірність оцінки технічного стану та зменшити ризик повторного виходу двигуна з ладу після ремонту.

У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпеки під час діагностування асинхронних двигунів. Визначено небезпечні фактори, обґрунтовано вимоги електробезпеки, розглянуто порядок безпечного виконання вимірювальних робіт, пожежну безпеку та правила користування електровимірювальними приладами і діагностичним стендом. Виконані розрахунки підтвердили необхідність застосування захисного заземлення, автоматичного відключення живлення та пристроїв захисного вимкнення.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої технології в пунктах технічного обслуговування для перевірки асинхронних двигунів до 11 кВт. Запропоновані рішення дають змогу підвищити якість діагностування, знизити тривалість простоїв обладнання, підвищити надійність електроприводів і забезпечити безпечні умови праці персоналу.

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля України, 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17>.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. Київ : Держнаглядохоронпраці України, 1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Міністерство палива та енергетики України, 2006.
4. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.
5. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/va037282-99>.
6. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0287858-16>.
7. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
8. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
9. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, що забезпечуються кожухами. Код IP. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
10. IEC 60034-1:2022. Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2022. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/65446>.
11. IEC 60034-2-1:2014. Rotating electrical machines. Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests. Geneva : IEC, 2014.

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

12. IEC 60034-5:2020. Rotating electrical machines. Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines. Geneva : IEC, 2020.

13. IEC 60034-30-1:2014. Rotating electrical machines. Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors. Geneva : IEC, 2014.

14. ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration. Measurement and evaluation of machine vibration. Part 1: General guidelines. Geneva : ISO, 2016. URL: <https://www.iso.org/standard/63180.html>.

15. ISO 21940-11:2016. Mechanical vibration. Rotor balancing. Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour. Geneva : ISO, 2016.

16. IEC 60364-4-41:2017. Low-voltage electrical installations. Protection for safety. Protection against electric shock. Geneva : IEC, 2017.

17. IEC 60364-5-54:2011. Low-voltage electrical installations. Selection and erection of electrical equipment. Earthing arrangements and protective conductors. Geneva : IEC, 2011.

18. IEC 60947-2:2019. Low-voltage switchgear and controlgear. Part 2: Circuit-breakers. Geneva : IEC, 2019.

19. IEC 60947-4-1:2018. Low-voltage switchgear and controlgear. Contactors and motor-starters. Geneva : IEC, 2018.

20. Кацман М. М. Електричні машини : підручник. Київ : Вища школа, 2001. 463 с.

21. Бондаренко О. В., Лут М. Т. Електричні машини та електропривод : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2018.

22. Бойко М. Ф. Електропостачання сільського господарства : підручник. Київ : Урожай, 1995. 320 с.

23. Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А. Силовая электроника : учебник. Москва : МЭИ, 2007. 632 с.

24. Федоренко В. Г. Охорона праці в електроустановках : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2012.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Сибікіна Ю. Д. Діагностика електрообладнання : навчальний посібник.
Київ : Кондор, 2016. 232 с.

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		