

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

П О Я С Н Ю В А Л Ь Н А З А П И С К А

до дипломного проєкту
освітнього ступеня "Бакалавр"

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Виконав: студент 3го скороченого курсу, групи АІС-4-23
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ КОСТИРЯ Олег Сергійович

Керівник: _____ ЧЕРНІЙ Олександр Анатолійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Костири Олегу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології ремонту електродвигунів промислового призначення

керівник роботи Черній Олександр Анатолійович, ст. викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«5» травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 5.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Огляд стану питання в галузі технічного обслуговування та ремонту електричних машин промислового призначення. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз господарської діяльності підприємства та передумови проєктування дільниці з ремонту агрегатів паливної системи. 2. Обґрунтування виробничої програми та проєктування дільниці з ремонту агрегатів паливної системи. 3. Розробка конструкції стенду для притирки плунжерних пар паливних насосів. 4. Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування проєкту. Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Тема проекту (A1). 2. Технологічне планування (A1). 3. Креслення загального виду (A1). 4. Складальне креслення і деталювання (A1). 5. Електрична схема (A1). 6. Економічні показники (A1). 7. Висновки (A1)

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 1.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 10.05.2026	
2	Технологічний	до 15. 05.2026	
3	Конструкційний	до 22.05.2026	
4	Охорона праці	до 25.05.2026	
5	Економічний	до 1.06.2026	
6	Графічна частина	до 10.06.2026	

Студент

_____ (підпис) Костиця О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис) Черній О.А.
(прізвище та ініціали)

[illegible]

РЕФЕРАТ

Костиря, О. (2026). *Удосконалення технології ремонту електродвигунів промислового призначення: Дипломний проєкт* (Невидан. бакалавр. кваліфікац. робота). ДДАЕУ, Дніпро, Україна. 64 с.

У дипломному проєкті розглянуто питання підвищення ефективності ремонту електродвигунів промислового призначення в умовах ремонтної дільниці підприємства. Обґрунтовано актуальність удосконалення технологічного процесу, оскільки якість дефектування, розбирання, відновлення обмоток, складання, випробування та балансування роторів безпосередньо впливає на надійність електричних машин після ремонту.

У роботі проаналізовано виробничу діяльність підприємства, стан матеріально-технічної бази та особливості організації ремонту електрообладнання. Розроблено удосконалений технологічний процес ремонту електродвигунів, визначено трудомісткість робіт, кількість виробничих працівників, потребу в обладнанні та площу дільниці. У конструктивній частині запропоновано балансувальний стенд для роторів електродвигунів, виконано розрахунок приводу, пасової передачі та перевірку основних параметрів конструкції.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці під час ремонту електрообладнання та роботи на балансувальному стенді. У техніко-економічній частині визначено доцільність упровадження запропонованих рішень з урахуванням сучасного рівня цін, капіталовкладень, оплати праці та вартості електроенергії. Розрахунки показали, що проєкт забезпечує підвищення організаційної та економічної ефективності ремонтних робіт, а очікувана рентабельність становить близько 40 %.

Ключові слова: електродвигун, ремонт, електрообладнання, технологічний процес, дефектування, балансування ротора, балансувальний стенд, трудомісткість, охорона праці, економічна ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧИХ УМОВ ТА СТАНУ РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	10
1.1. Аналіз виробничої діяльності підприємства.....	10
1.2. Матеріально-технічна база ремонтної служби	11
1.3. Умови експлуатації електродвигунів та режим роботи підприємства	12
1.4. Аналіз існуючого технологічного процесу ремонту електродвигунів	13
1.5. Обґрунтування теми дипломного проєкту	15
2. ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ З РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	18
2.1. Технологічний процес ремонту електродвигунів	18
2.2. Розрахунок річної програми ремонтної дільниці	22
2.3. Визначення трудомісткості капітального і поточного ремонтів	24
2.4. Розподіл трудомісткості за видами ремонтних робіт	25
2.5. Розрахунок чисельності виробничого персоналу	26
2.6. Розрахунок і добір ремонтно-технологічного обладнання	27
2.7. Визначення виробничої площі дільниці	31
2.8. Висновок до розділу	32
3. РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ РОТОРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	34
3.1. Огляд існуючих конструкцій балансувальних стендів	34
3.2. Будова та призначення проєктованого стенда.....	36
3.3. Розрахунок основних деталей і вузлів стенда	39
3.3.1. Розрахунок електродвигуна приводу	39

	7
3.3.2. Розрахунок пасової передачі.....	40
3.3.3. Перевірочний розрахунок паса	45
3.4. Висновок	46
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
4.1. Загальні відомості з охорони праці на підприємстві і при ремонті електрообладнання.....	47
4.2. Вимоги охорони праці при роботі на спроектованому балансувальному стенді.....	48
4.3. Висновок	51
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДІЛЬНИЦІ	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
ЛІТЕРАТУРА	61
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво значною мірою залежить від надійної роботи електроприводів, основою яких є електродвигуни різної потужності та конструктивного виконання. Вони застосовуються у приводах насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів, верстатного обладнання, підйомно-транспортних машин, дробарок, млинів та іншого технологічного устаткування. Від справності електродвигунів безпосередньо залежать безперервність виробничого процесу, енергоефективність обладнання, рівень витрат на експлуатацію та безпека праці персоналу.

В умовах інтенсивної експлуатації електродвигуни промислового призначення працюють під дією значних механічних, теплових, електричних та вібраційних навантажень. На їх технічний стан впливають запиленість виробничого середовища, підвищена вологість, коливання напруги живлення, часті пуски, перевантаження, недостатнє охолодження, зношування підшипникових вузлів і старіння ізоляції обмоток. Унаслідок цього виникають міжвиткові замикання, пробой ізоляції, перегрівання статора, пошкодження підшипників, порушення посадкових місць, дисбаланс ротора та інші несправності, які призводять до простоїв обладнання й додаткових виробничих витрат.

Підвищення надійності електродвигунів неможливе без раціональної організації їх технічного обслуговування та ремонту. Особливого значення набуває не тільки своєчасне виявлення дефектів, а й удосконалення технології ремонтних робіт, яка має забезпечувати якісне розбирання, очищення, дефектацію деталей, контроль стану обмоток та ізоляції, відновлення механічних елементів, заміну підшипників, сушіння і просочення обмоток, складання та випробування електродвигуна після ремонту. Недотримання послідовності технологічних операцій або використання застарілого обладнання знижує ресурс відремонтованих машин і збільшує ймовірність повторних відмов.

На багатьох підприємствах ремонт електродвигунів виконується в умовах обмеженого оснащення ремонтних дільниць. Частина операцій проводиться вручну або із застосуванням універсального обладнання, яке не завжди забезпечує необхідну точність, продуктивність та стабільну якість ремонту. Особливо це стосується операцій дефектації, сушіння обмоток, перевірки електричних параметрів, контролю ізоляції, балансування обертових частин і випробування електродвигунів під навантаженням. Тому актуальним є обґрунтування таких технологічних рішень, які дають змогу скоротити тривалість ремонту, підвищити його якість, зменшити трудомісткість робіт і забезпечити безпечні умови праці ремонтного персоналу.

Актуальність теми дипломного проєкту полягає в необхідності вдосконалення технології ремонту електродвигунів промислового призначення з урахуванням реальних умов роботи ремонтної дільниці, характерних дефектів електричних машин та потреби підприємств у швидкому відновленні працездатності виробничого обладнання. Раціонально організований ремонт дозволяє продовжити строк служби електродвигунів, зменшити витрати на придбання нових машин, підвищити коефіцієнт технічної готовності обладнання та забезпечити стабільну роботу технологічних ліній.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності ремонту електродвигунів промислового призначення шляхом удосконалення технологічного процесу, обґрунтування виробничої програми ремонтної дільниці та впровадження раціональних організаційно-технічних рішень.

Таким чином, удосконалення технології ремонту електродвигунів промислового призначення є важливим напрямом підвищення ефективності експлуатації виробничого обладнання. Розроблення обґрунтованих технологічних і організаційних рішень у межах дипломного проєкту дозволить сформувати раціональну ремонтну дільницю, забезпечити належний рівень якості ремонту та підвищити технічну готовність електрообладнання підприємства.

1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧИХ УМОВ ТА СТАНУ РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1. Аналіз виробничої діяльності підприємства

Електродвигуни промислового призначення є одними з найбільш поширених елементів електроприводів у виробничих системах. Вони застосовуються для привода насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів, металорізальних верстатів, дробарок, підйально-транспортного обладнання та інших машин, від безперебійної роботи яких залежить ритмічність технологічного процесу. Тому технічний стан електродвигунів безпосередньо впливає на надійність виробництва, енергоефективність обладнання, собівартість продукції та рівень безпеки праці.

Для виконання дипломного проєкту як виробничу основу прийнято ремонтну службу підприємства, що експлуатує силове електрообладнання та виконує роботи з технічного обслуговування, поточного і відновного ремонту електричних машин. У структурі такого підприємства значну частину обладнання становлять асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, які працюють у складі технологічних ліній, допоміжних систем, вентиляційних установок, насосних агрегатів і ремонтно-механічного обладнання.

Характерною особливістю експлуатації промислових електродвигунів є поєднання електричних, механічних і теплових навантажень. На ресурс машини впливають тривалість роботи під навантаженням, частота пусків, наявність перевантажень, якість живлення, температурний режим, запиленість приміщень, вологість, стан підшипникових вузлів і правильність центрування з приводною машиною. За таких умов навіть незначне відхилення в роботі двигуна може призвести до прискореного старіння ізоляції, підвищення вібрації, перегріву, пошкодження підшипників або виходу з ладу обмоток.

Виробнича діяльність ремонтної служби повинна бути спрямована не лише на усунення вже наявних відмов, а й на попередження аварійних зупинок. Для цього необхідно організувати систематичне технічне обслуговування, своєчасну діагностику, дефектацію вузлів, контроль опору ізоляції, перевірку підшипників, оцінювання стану обмоток і виконання ремонтних операцій відповідно до технологічних вимог. Раціональна організація цих робіт дає можливість зменшити простої обладнання та підвищити коефіцієнт технічної готовності електроприводів.

1.2. Матеріально-технічна база ремонтної служби

Матеріально-технічна база підприємства включає виробничі приміщення, ремонтні пости, складські зони, допоміжні служби та комплект обладнання для виконання ремонтних і контрольних-випробувальних робіт. До складу ремонтної бази доцільно віднести дільницю розбирання і очищення електродвигунів, дефектувальну зону, обмотувальну дільницю, місце для просочення та сушіння обмоток, механічну дільницю, складально-випробувальний пост і склад запасних частин та електротехнічних матеріалів.

Для ремонту електродвигунів промислового призначення важливе значення має наявність спеціалізованого оснащення: стендів для розбирання та складання електричних машин, пристроїв для випресовування і напресовування підшипників, підйомно-транспортних засобів, верстатів для обробки валів і посадкових поверхонь, обладнання для перемотування котушок, сушильних шаф, ванн або установок для просочення, мегомметрів, приладів для вимірювання активного опору обмоток, індикаторів биття, віброметрів і стендів для випробування на холостому ході.

Наявна ремонтна база, як правило, дозволяє виконувати значну частину операцій власними силами. Разом з тим у багатьох майстернях спостерігається недостатня спеціалізація робочих місць, зношеність частини обладнання, відсутність чітко визначеної послідовності контролю якості після кожної

основної операції, а також недостатній рівень механізації окремих процесів. Через це ремонт електродвигунів часто виконується не як плановий технологічний процес, а як сукупність окремих операцій, що залежать від досвіду конкретного виконавця.

Удосконалення матеріально-технічної бази має передбачати раціональне розміщення обладнання, розмежування чистих і забруднених зон, створення окремого місця для електричних вимірювань, забезпечення безпечного транспортування важких електродвигунів та впровадження пристроїв, які полегшують розбирання, складання і контроль деталей. Такий підхід підвищує продуктивність праці та зменшує ймовірність повторного пошкодження вузлів під час ремонту.

1.3. Умови експлуатації електродвигунів та режим роботи підприємства

Електродвигуни промислового призначення працюють у різних умовах, які суттєво впливають на їхній технічний стан. У виробничих цехах вони можуть експлуатуватися при підвищеній запиленості, зміні температури повітря, дії вологи, вібрацій, ударних навантажень і технологічних забруднень. Особливо несприятливими є режими з частими пусками, короткочасними перевантаженнями, тривалою роботою в умовах недостатнього охолодження, а також експлуатація при порушенні центрування з робочою машиною.

Режим роботи підприємства визначає інтенсивність використання електрообладнання та періодичність його обслуговування. Виробничі дільниці можуть працювати за однозмінним або двозмінним графіком, а окремі технологічні агрегати - безперервно. Для електродвигунів, що входять до складу безперервних технологічних ліній, особливо важливим є планування ремонтів у періоди зупинки обладнання, оскільки аварійний вихід двигуна з ладу призводить до простою не тільки одного агрегату, а й суміжних виробничих операцій.

У процесі експлуатації найбільш поширеними несправностями електродвигунів є зниження опору ізоляції, міжвиткові замикання, пошкодження вивідних кінців обмотки, зношування підшипників, збільшення радіального або осьового люфту, порушення балансування ротора, пошкодження посадкових місць під підшипники, деформація вентилятора та забруднення каналів охолодження. Частина таких відмов може бути виявлена на ранній стадії за допомогою діагностування, що підтверджує необхідність переходу від ремонту за фактом відмови до планово-попереджувальної системи обслуговування.

Організація ремонту має враховувати реальні умови роботи двигуна, його потужність, відповідальність агрегату, тривалість попередньої експлуатації та результати вимірювання технічних параметрів. Однакова періодичність обслуговування для нового електродвигуна і двигуна, який неодноразово проходив ремонт, не завжди є обґрунтованою. Тому при складанні графіків технічного обслуговування доцільно використовувати не тільки нормативні строки, а й фактичний технічний стан електричної машини.

1.4. Аналіз існуючого технологічного процесу ремонту електродвигунів

Ремонт електродвигуна може виконуватися безпосередньо на місці його встановлення або в умовах спеціалізованої ремонтної дільниці. На місці експлуатації доцільно проводити зовнішній огляд, очищення, перевірку підключення, вимірювання опору ізоляції, контроль нагрівання, вібрації та стану підшипників. Якщо виявлені пошкодження потребують розбирання, перемотування, механічної обробки або повного випробування, електродвигун передають до ремонтної майстерні.

Типовий технологічний процес ремонту електродвигуна включає приймання та первинну діагностику, очищення від пилу і бруду, від'єднання вивідних проводів, демонтаж підшипникових щитів, зняття ротора, дефектацію деталей, перевірку обмоток, ремонт або заміну підшипників, відновлення

ізоляції, перемотування або ремонт обмотки статора, просочення і сушіння, складання, мащення підшипникових вузлів, контроль електричних параметрів, випробування на холостому ході, фарбування та підготовку двигуна до встановлення на робоче місце.

Під час ремонту особливу увагу необхідно приділяти стану ізоляційної системи. Зниження опору ізоляції може бути наслідком зволоження, старіння лакового покриття, перегріву, забруднення обмоток або механічного пошкодження провідників. У разі значного пошкодження обмотки виконують її видалення, виготовлення нових котушок, укладання в пази, з'єднання секцій, бандажування, просочення електроізоляційним лаком і сушіння за встановленим режимом. Недотримання технології просочення та сушіння призводить до зниження електричної міцності ізоляції й скорочення ресурсу відремонтованого двигуна.

Механічна частина ремонту пов'язана з перевіркою вала, ротора, підшипникових щитів, посадкових поверхонь, шпонкових пазів і вентиляційних елементів. За потреби виконують правку або шліфування вала, відновлення посадкових місць, заміну підшипників, очищення вентиляційних каналів і балансування ротора. Після складання обов'язковими є контроль легкості обертання, відсутності сторонніх шумів, вимірювання струму холостого ходу, перевірка нагрівання та оцінювання рівня вібрації.

Елементи технологічного процесу ремонту електричних машин наведено на (рис. 1.1). Ілюстрації відображають основні етапи роботи з електродвигунами: розбирання, дефектацію ротора і статора, виконання обмотувальних операцій, підготовку до просочення та складання електричної машини після ремонту.

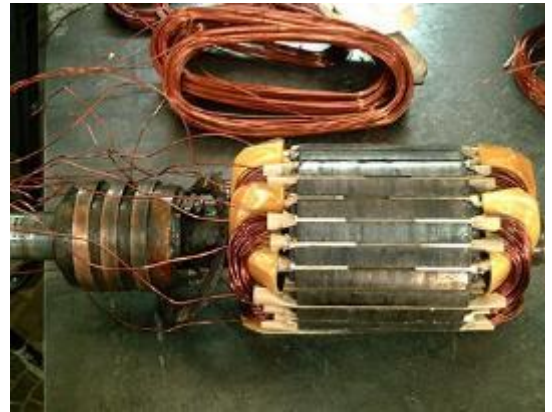


Рисунок 1.1 – Елементи технологічного процесу ремонту електричних машин

1.5. Обґрунтування теми дипломного проєкту

Аналіз виробничих умов показує, що електродвигуни промислового призначення є відповідальними елементами обладнання, а їхній технічний стан суттєво впливає на стабільність роботи підприємства. Водночас існуюча організація ремонту не завжди забезпечує достатній рівень технологічності,

контролю якості та плановості виконання робіт. Частина ремонтних операцій виконується за спрощеною схемою, окремі робочі місця недостатньо оснащені спеціальними пристроями, а діагностування не завжди використовується як основа для прийняття рішення про обсяг ремонту.

Проблемним питанням залишається відновлення електродвигунів після тривалої експлуатації, коли одночасно проявляються електричні та механічні дефекти. У таких випадках недостатньо лише замінити підшипники або виконати перемотування обмотки. Необхідно забезпечити повну дефектацію, правильний вибір електроізоляційних матеріалів, дотримання режимів просочення і сушіння, контроль посадкових поверхонь, якісне складання та випробування двигуна після ремонту. Саме тому удосконалення технології ремонту електродвигунів є актуальним завданням для ремонтної служби підприємства.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності ремонту електродвигунів промислового призначення шляхом удосконалення технологічного процесу, раціональної організації робочих місць, підбору обладнання та розробки засобів технічного оснащення для виконання ремонтних операцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати виробничі умови експлуатації електродвигунів промислового призначення та характерні причини їх відмов;
- оцінити стан наявної ремонтної бази і виявити недоліки існуючої організації ремонту;
- обґрунтувати раціональну послідовність технологічного процесу ремонту електродвигунів;
- розрахувати виробничу програму, річну трудомісткість робіт і потребу у виробничих працівниках;
- підібрати основне технологічне обладнання, пристрої, інструмент і контрольно-вимірювальні прилади;
- розробити або удосконалити засіб технічного оснащення для виконання ремонтних операцій;

- запропонувати заходи з охорони праці під час ремонту і випробування електродвигунів;

- визначити техніко-економічну доцільність запропонованих рішень.

Отже, тема дипломного проєкту є практично значущою, оскільки її реалізація дозволяє підвищити якість ремонту електродвигунів, зменшити тривалість простоїв виробничого обладнання, забезпечити кращий контроль технічного стану електричних машин і підвищити надійність їх подальшої експлуатації.

2. ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ З РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1. Технологічний процес ремонту електродвигунів

Технологічний процес ремонту електродвигунів промислового призначення доцільно будувати як послідовність взаємопов'язаних операцій, що забезпечують відновлення електричних, механічних та ізоляційних параметрів машини до рівня, достатнього для її подальшої безпечної експлуатації. На відміну від разового усунення несправності, організований ремонт повинен включати приймання, очищення, діагностування, дефектацію, відновлення деталей, складання, випробування та документальне оформлення результатів.

Під час капітального ремонту електродвигун повністю розбирають, перевіряють стан корпусу, підшипникових щитів, вала, підшипникових вузлів, вентилятора, клемної коробки, обмоток статора і ротора. За необхідності виконують перемотування обмоток, відновлення ізоляції, ремонт посадкових поверхонь, заміну підшипників, балансування ротора, просочення та сушіння обмоток. Узагальнену схему технологічного процесу наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 - Схема технологічного процесу ремонту електродвигуна

Приймання електродвигуна в ремонт починають із зовнішнього огляду. Машину очищують від пилу, мастила та технологічних забруднень, після чого

перевіряють цілісність корпусу, підшипникових щитів, кріпильних елементів, клемної коробки, заземлювального контакту та вентиляційних каналів. Особливу увагу звертають на ознаки перегріву, підгоряння ізоляції, механічні пошкодження, підтікання мастила, надмірний шум або сліди вібраційного руйнування.

Ремонт підшипникових щитів передбачає усунення тріщин, відновлення посадкових місць під підшипники та перевірку співвісності. Невеликі тріщини заварюють із подальшим зачищенням шва та контролем геометрії. Якщо посадочні поверхні мають зношення, овальність або задири, їх відновлюють наплавленням, металізацією, втулюванням або механічною обробкою до ремонтного розміру.

Вал ротора контролюють на наявність вигину, зносу шийок, конусності, овальності, подряпин та забоїн. Невеликі дефекти усувають шліфуванням і поліруванням, а при значному зменшенні діаметра посадкові поверхні відновлюють металізацією або наплавленням з наступною механічною обробкою. Зігнуті вали правлять на пресі з обов'язковим контролем биття.

Підшипники кочення при виявленні зносу доріжок, тіл кочення, підвищеного люфту, шуму або слідів перегріву, як правило, не ремонтують, а замінюють новими. Підшипник добирають за маркуванням, розмірами та умовами роботи електродвигуна. Для підшипників ковзання ремонт здебільшого зводиться до відновлення або заміни втулок і вкладишів, а також до перевірки якості мастильних каналів.

У машин з колекторним вузлом перевіряють стан колектора, щіткотримачів, щіток і контактних з'єднань. Незначні підгари усувають шліфуванням, а при наявності кільцевих канавок, підвищеного биття або нерівномірного зносу виконують проточку колектора з мінімальним зняттям шару міді. Послідовність операцій при обробці робочої поверхні колектора наведено на рис. 2.2.

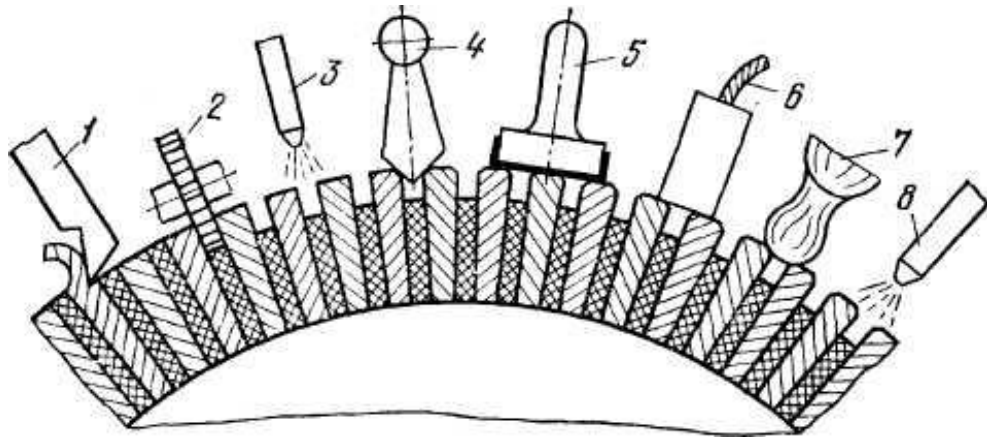


Рисунок 2.2 - Послідовність операцій при обробці робочої поверхні колектора:

- 1 - обточування; 2 - продорожування; 3, 8 - продування стисненим повітрям;
 4 - зняття фасок; 5 - шліфування і полірування; 6 - притирання щіток;
 7 - очищення дрантям

Після проточки ізоляцію між колекторними пластинами продорожують на задану глибину. Для малих машин вона становить орієнтовно 0,5...0,8 мм, для середніх - 1,0...1,5 мм, для великих - до 2 мм. Надмірне заглиблення небажане, оскільки в канавках накопичується щітковий пил, що може спричинити міжпластинне замикання. Схему правильного та неправильного продорожування наведено на рис. 2.3.

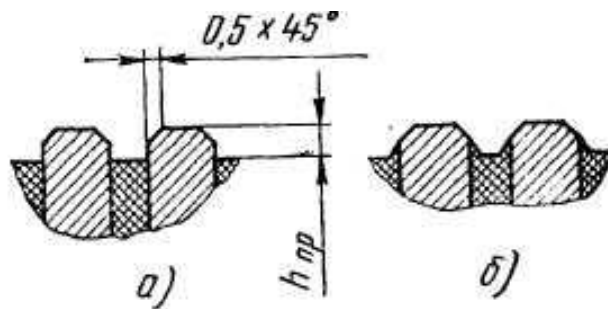


Рисунок 2.3 - Правильне (а) і неправильне (б) продорожування колектора

Демонтаж пошкоджених обмоток виконують після розбирання машини. При цьому потрібно зберігати інформацію про схему з'єднання, кількість пазів, крок обмотки, розташування виводів, тип проводу, ізоляційні матеріали та конструкцію бандажів. Для машин старих серій доцільно складати ескіз обмотки з нумерацією пазів і позначенням початків та кінців фаз.

Видалення пошкодженої ізоляції може здійснюватися безполуменим випалюванням у спеціальних печах при температурі 350...400 °С або механічним витягуванням провідників після розрізання лобових частин. При ремонті роторів зі стрижневою обмоткою мідні стрижні бажано зберігати для повторного використання, тому їх витягують із пазів без пошкодження та після відновлення ізоляції встановлюють у ті самі пази.

Сушіння та просочення обмоток є важливими операціями, що визначають надійність відремонтованого електродвигуна. Перед просоченням обмотки висушують у печах при температурі 100...120 °С або за допомогою інфрачервоного нагріву. Просочення виконують зануренням у лак або іншим способом, який забезпечує проникнення складу в пори ізоляції. Для двигунів, що працюють у вологому, запиленому або хімічно активному середовищі, доцільно застосовувати дво- або триразове просочення.

Складання електродвигуна виконують у зворотній послідовності: встановлюють ротор у статор, монтують підшипники та підшипникові щити, закріплюють вентилятор і кожух, перевіряють легкість обертання ротора вручну, виконують електричні з'єднання та остаточну перевірку. Після складання машина повинна пройти приймально-здавальні випробування.

До обов'язкових післяремонтних випробувань належать вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу та між фазами, вимірювання опору обмоток постійному струму, дослід холостого ходу, перевірка роботи підшипникових вузлів, контроль нагрівання, випробування електричної міцності ізоляції та, за потреби, дослід короткого замикання. Результати випробувань вважають задовільними, якщо не спостерігається пробою ізоляції, надмірного нагрівання, підвищеної вібрації, шуму або відхилення електричних параметрів від допустимих значень.

2.2. Розрахунок річної програми ремонтної дільниці

Річна програма ремонтної дільниці визначається з урахуванням кількості електродвигунів у кожній групі, тривалості ремонтного циклу, періодичності поточних ремонтів та умов експлуатації. Для промислових електродвигунів важливо враховувати не тільки встановлену потужність, а й частоту обертання, режим роботи, характер навантаження та умови виробничого середовища.

Тривалість роботи між двома капітальними ремонтами визначаємо за формулою:

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{табл}} \cdot \beta_{\text{к}} \cdot \beta_{\text{р}} \cdot \beta_{\text{и}} \cdot \beta_{\text{о}} \cdot \beta_{\text{с}} \quad (2.1)$$

Тривалість роботи між двома поточними ремонтами визначаємо за формулою:

$$t_{\text{пл}} = t_{\text{табл}} \cdot \beta_{\text{к}} \cdot \beta_{\text{р}} \cdot \beta_{\text{и}} \cdot \beta_{\text{о}'} \cdot \beta_{\text{с}} \quad (2.2)$$

де $T_{\text{пл}}$ - тривалість періоду між капітальними ремонтами, міс.;

$t_{\text{пл}}$ - тривалість періоду між поточними ремонтами, міс.;

$T_{\text{табл}}$, $t_{\text{табл}}$ - табличні значення ремонтного циклу; $\beta_{\text{к}}$ - коефіцієнт, що враховує характер навантаження;

$\beta_{\text{р}}$ - коефіцієнт змінності роботи;

$\beta_{\text{и}}$ - коефіцієнт використання;

$\beta_{\text{о}}$, $\beta_{\text{о}'}$ - коефіцієнти, що враховують призначення електродвигуна;

$\beta_{\text{с}}$ - коефіцієнт умов експлуатації.

Для прийнятих умов роботи електродвигунів приймаємо: $\beta_{\text{к}} = 1$; $\beta_{\text{р}} = 1$; $\beta_{\text{и}} = 0,8$; $\beta_{\text{о}} = 0,85$; $\beta_{\text{о}'} = 0,7$; $\beta_{\text{с}} = 1$. Тоді:

$$T_{\text{пл}} = 16 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 10,88 \text{ міс.}$$

$$t_{\text{пл}} = 9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 = 5,04 \text{ міс.}$$

$$T_{\text{р}} = \frac{10,88}{12} = 0,90 \text{ року}; \quad t_{\text{р}} = \frac{5,04}{12} = 0,42 \text{ року}$$

Кількість електродвигунів, що щорічно проходять капітальний ремонт у кожній групі, визначаємо за формулою:

$$a_{i \text{ кр}} = \frac{A_i}{T_i} \quad (2.3)$$

Кількість електродвигунів, що щорічно проходять поточний ремонт у кожній групі, визначаємо за формулою:

$$a_{i \text{ тр}} = \frac{A_i}{t_i} \quad (2.4)$$

де A_i - кількість електродвигунів відповідної групи, шт.;

T_i - середня тривалість капітального ремонтного циклу, років;

t_i - середня тривалість поточного ремонтного періоду, років.

Для групи електродвигунів потужністю 0,55 кВт з частотою обертання 3000 хв-1 одержуємо:

$$a_{0,55 \text{ кр}} = \frac{46}{0,90} = 51,1 \text{ маш.}$$

$$a_{0,55 \text{ тр}} = \frac{46}{0,42} = 109,5 \text{ маш.}$$

Для інших груп розрахунки виконані аналогічно. Результати наведено в додатку А.

Сумарну кількість електродвигунів, що щорічно потребують ремонту, визначаємо за формулою:

$$a_p = \sum a_{i \text{ кр}} + \sum a_{i \text{ тр}} \quad (2.5)$$

$$a_p = 3200,0 + 6857,1 = 10057,1 \text{ маш.}$$

Отримане значення характеризує загальну потенційну потребу в ремонті. Фактична програма проекрованої ділянки приймається з урахуванням власних потреб підприємства, можливості виконання сторонніх замовлень, наявного

обладнання і виробничих площ. Для подальших розрахунків приймаємо річну трудомісткість робіт, що припадає на проектувану ділянку, 22000 люд.·год.

2.3. Визначення трудомісткості капітального і поточного ремонтів

Трудомісткість ремонту залежить від потужності електродвигуна, його конструктивного виконання, частоти обертання, виду ремонту та стану вузлів після експлуатації. Для розрахунку використовуємо нормативну трудомісткість з урахуванням поправочного коефіцієнта на частоту обертання.

Трудомісткість капітального ремонту електродвигуна визначаємо за формулою:

$$M_i = M_{i \text{ баз}} \cdot K_n \quad (2.6)$$

Трудомісткість поточного ремонту визначаємо за формулою:

$$m_i = m_{i \text{ баз}} \cdot K_n \quad (2.7)$$

де M_i і m_i - трудомісткість капітального та поточного ремонту відповідно, люд.·год.; $M_{i \text{ баз}}$ і $m_{i \text{ баз}}$ - базові нормативні трудомісткості; K_n - коефіцієнт, що враховує частоту обертання електродвигуна.

Для електродвигуна $P = 0,55$ кВт, $n = 3000$ хв-1 приймаємо $K_n = 1,1$. Тоді:

$$M_{0,55} = 8,0 \cdot 1,1 = 8,8 \text{ люд.·год.}$$

$$m_{0,55} = 1,45 \cdot 1,1 = 1,6 \text{ люд.·год.}$$

Зведені результати визначення трудомісткості капітального і поточного ремонтів наведено в додатку Б.

Річну трудомісткість капітальних ремонтів за кожною групою визначаємо за формулою:

$$T_{\text{кр } i} = a_{i \text{ кр}} \cdot M_i \quad (2.8)$$

Річну трудомісткість поточних ремонтів за кожною групою визначаємо за формулою:

$$T_{\text{тр } i} = a_{i \text{ тр}} \cdot m_i \quad (2.9)$$

Загальна річна трудомісткість ремонтних робіт становить:

$$T_p = \sum T_{\text{кр } i} + \sum T_{\text{тр } i} \quad (2.10)$$

Для електродвигуна $P = 0,55 \text{ кВт}$, $n = 3000 \text{ хв-1}$:

$$T_{\text{кр } 0,55} = 51,1 \cdot 8,8 = 449,8 \text{ люд.} \cdot \text{год.}$$

$$T_{\text{тр } 0,55} = 109,5 \cdot 1,6 = 175,2 \text{ люд.} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунку річної трудомісткості за всіма групами електродвигунів наведено в додатку В.

2.4. Розподіл трудомісткості за видами ремонтних робіт

Для раціональної організації ділянки загальну трудомісткість ремонту розподіляють за основними технологічними операціями. Такий розподіл дає змогу визначити потребу в робочих місцях, обладнанні, оснащенні та персоналі відповідної кваліфікації наведено у додатку Д. Оскільки проєктована ділянка не буде виконувати повний обсяг усіх ремонтів, для подальших техніко-організаційних розрахунків приймаємо річну виробничу програму в обсязі 22000 люд.·год. Такий обсяг відповідає можливостям виробничої бази, забезпечує завантаження обладнання і дозволяє виконувати як власні ремонти, так і частину робіт для сторонніх замовників.

2.5. Розрахунок чисельності виробничого персоналу

Кількість основних виробничих робітників визначаємо за річною трудомісткістю робіт і дійсним фондом часу одного робітника.

$$N_{\text{осн}} = \frac{T_p}{F_d \cdot K_v} \quad (2.11)$$

де $N_{\text{осн}}$ - кількість основних робітників, осіб;

T_p - річна трудомісткість робіт, люд.·год.;

F_d - дійсний річний фонд часу одного робітника, $F_d = 1820$ год.;

K_v - коефіцієнт виконання норм, $K_v = 1,1$.

$$N_{\text{осн}} = \frac{22000}{1820 \cdot 1,1} = 10,98 \approx 11 \text{ осіб}$$

Приймаємо 11 основних виробничих робітників.

Кількість допоміжних робітників визначаємо за формулою:

$$N_{\text{доп}} = (0,15 \dots 0,18) \cdot N_{\text{осн}} \quad (2.12)$$

$$N_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 11 = 1,65 \approx 2 \text{ особи}$$

Кількість інженерно-технічних працівників визначаємо за формулою:

$$N_{\text{ітп}} = (0,08 \dots 0,12) \cdot (N_{\text{осн}} + N_{\text{доп}}) \quad (2.13)$$

$$N_{\text{ітп}} = 0,10 \cdot (11 + 2) = 1,3 \approx 1 \text{ особа}$$

Кількість службовців визначаємо за формулою:

$$N_{\text{сл}} = (0,015 \dots 0,025) \cdot (N_{\text{осн}} + N_{\text{доп}}) \quad (2.14)$$

$$N_{\text{сл}} = 0,02 \cdot (11 + 2) = 0,26 \text{ особи}$$

Приймаємо 0,25 ставки службовця, функції якого можуть суміщатися з обліково-диспетчерською роботою.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу визначаємо за формулою:

$$N_{\text{моп}} = (0,01 \dots 0,015) \cdot (N_{\text{осн}} + N_{\text{доп}}) \quad (2.15)$$

$$N_{\text{моп}} = 0,015 \cdot (11 + 2) = 0,20 \text{ особи}$$

Для забезпечення санітарного стану та допоміжного обслуговування приймаємо 1 працівника, який може виконувати роботи також на суміжних ділянках підприємства додаток Г.

2.6. Розрахунок і добір ремонтно-технологічного обладнання

Добір обладнання виконуємо з урахуванням технологічного процесу, річної програми, маси ремонтіваних деталей, тривалості операцій, коефіцієнта використання обладнання та необхідності резервування робочих місць для стабільної роботи ділянки.

Кількість мийних машин періодичної дії визначаємо за формулою:

$$S_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{м}} \cdot t}{\Phi_{\text{до}} \cdot g \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{ч}}} \quad (2.16)$$

де $Q_{\text{м}}$ - загальна маса деталей, що підлягають миттю, кг; t - час миття однієї партії, год.; $\Phi_{\text{до}}$ - дійсний річний фонд часу обладнання, год.; g - маса деталей одного завантаження, кг; $\eta_{\text{м}}$ - коефіцієнт завантаження мийної машини за масою; $\eta_{\text{ч}}$ - коефіцієнт використання машини за часом.

Масу деталей, що підлягають миттю, визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{м}} = \beta_{\text{м}} \cdot G_{\text{дв}} \cdot a_{\text{р}} \quad (2.17)$$

$$S_{\text{м}} = \frac{0,7 \cdot 430 \cdot 10057,1 \cdot 0,5}{2020 \cdot 750 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = 1,56$$

Приймаємо 2 мийні машини періодичної дії.

Кількість ванн для виварювання та миття дрібних деталей визначаємо за формулою:

$$S_v = \frac{Q_v}{\Phi_{до} \cdot q \cdot \eta_m \cdot \eta_{ч}} \quad (2.18)$$

де Q_v - маса деталей, що підлягають миттю у ванні, кг; q - продуктивність ванни, кг/год. За розрахунком і з урахуванням технологічної необхідності приймаємо 1 мийну ванну.

Кількість металорізальних верстатів визначаємо за формулою:

$$S_{ст} = \frac{T_{ст} \cdot K_n}{\Phi_{до} \cdot \eta_{ст}} \quad (2.19)$$

$$S_{ст} = \frac{2860 \cdot 1,2}{2070 \cdot 0,86} = 1,93$$

За розрахунком мінімально необхідно 2 верстати, однак для виконання різних операцій механічного відновлення приймаємо 4 одиниці металорізального обладнання.

- Токарний верстат;
- Свердлильний верстат;
- Фрезерний верстат;
- Шліфувальний верстат.

Кількість випробувальних стендів визначаємо за формулою:

$$S_{вип} = \frac{a_{вип} \cdot t_{вип} \cdot c}{\Phi_{до} \cdot \eta_{вип}} \quad (2.20)$$

де $a_{вип}$ - кількість електродвигунів, що проходять обкатування і випробування;

$t_{\text{вип}}$ - тривалість випробування одного двигуна, год.;

c - коефіцієнт, що враховує повторні випробування;

$\eta_{\text{вип}}$ - коефіцієнт використання стенда.

Приймаємо 2 стенди: один для діагностування, другий для обкатування та приймально-здавальних випробувань.

Кількість сушильних печей визначаємо за формулою:

$$S_{\text{п}} = \frac{T_{\text{п}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.21)$$

Трудовісткість робіт, що припадає на сушіння і нагрівання, визначаємо за формулою:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{р}} \cdot p_{\text{п}} \quad (2.22)$$

$$S_{\text{п}} = \frac{22000 \cdot 0,075}{1987} = 0,83$$

Приймаємо 1 сушильну піч. Для нагрівання обмоток і термічної підготовки ізоляційних матеріалів також приймаємо 1 піч.

Кількість столів для розбирання та складання електродвигунів визначаємо за формулою:

$$S_{\text{рс}} = \frac{T_{\text{рс}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.23)$$

$$S_{\text{рс}} = \frac{22000 \cdot 0,19}{2070} = 2,02$$

Приймаємо 2 столи для розбирання і складання електродвигунів.

Кількість балансувальних столів визначаємо за формулою:

$$S_{\text{бал}} = \frac{T_{\text{бал}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.24)$$

$$S_{\text{бал}} = \frac{22000 \cdot 0,025}{2070} = 0,26$$

Приймаємо 1 балансувальний стіл.

Кількість робочих столів для виконання обмотувальних і складальних операцій визначаємо за формулою:

$$S_{\text{скл}} = \frac{T_{\text{скл}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.25)$$

$$S_{\text{скл}} = \frac{22000 \cdot 0,925}{2070} = 9,83$$

Приймаємо 10 робочих столів.

Кількість напівавтоматів ПР-160 для рядового намотування котушок визначаємо за формулою:

$$S_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.26)$$

$$S_{\text{пр}} = \frac{22000 \cdot 0,45}{2070} = 4,78$$

Приймаємо 5 напівавтоматів ПР-160.

Кількість намотувальних верстатів ТТ-22 визначаємо за формулою:

$$S_{\text{нв}} = \frac{T_{\text{нв}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.27)$$

$$S_{\text{нв}} = \frac{22000 \cdot 0,45}{2070} = 4,78$$

Приймаємо 5 намотувальних верстатів ТТ-22.

Кількість бандажувальних верстатів визначаємо за формулою:

$$S_{\text{б}} = \frac{T_{\text{б}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.28)$$

$$S_{\text{б}} = \frac{22000 \cdot 0,14}{2070} = 1,49$$

З урахуванням паралельного виконання робіт та необхідності резерву приймаємо 5 бандажирувальних верстатів.

Кількість пристосувань для продорожування колекторів визначаємо за формулою:

$$S_{\text{прод}} = \frac{T_{\text{прод}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.29)$$

$$S_{\text{прод}} = \frac{22000 \cdot 0,075}{2070} = 0,80$$

Приймаємо 1 пристосування для продорожування колекторів.

Кількість масляних ванн для підігріву підшипників до температури близько 90 °С визначаємо за формулою:

$$S_{\text{мв}} = \frac{T_{\text{мв}}}{\Phi_{\text{до}}} \quad (2.30)$$

$$S_{\text{мв}} = \frac{22000 \cdot 0,192}{2070} = 2,04$$

Приймаємо 2 масляні ванни.

2.7. Визначення виробничої площі ділянки

Площу ремонтної ділянки визначаємо за площею, зайнятою обладнанням, з урахуванням робочих зон, проходів, місць складування деталей і вимог безпеки праці. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$F_{\text{діл}} = F_{\text{обл}} \cdot \sigma_{\text{п}} \quad (2.31)$$

де $F_{\text{діл}}$ - загальна площа ділянки, м²;

$F_{\text{обл}}$ - сумарна площа, зайнята обладнанням, м²;

$\sigma_{\text{п}}$ - коефіцієнт, що враховує робочі зони, проходи та місця обслуговування обладнання.

$$F_{\text{діл}} = 61,2 \cdot 3,5 = 214,2 \text{ м}^2$$

Отже, для розміщення основного ремонтно-технологічного обладнання, робочих місць і проходів приймаємо площу ділянки 214 м². Ділянку доцільно поділити на зони приймання і дефектації, розбирання та миття, механічного відновлення, обмотувальних робіт, сушіння і просочення, складання, балансування, випробування та зберігання готових електродвигунів.

2.8. Висновок до розділу

У розділі виконано технологічне та організаційне обґрунтування ділянки з ремонту електродвигунів промислового призначення. Розроблено послідовність технологічного процесу ремонту, що охоплює приймання, очищення, розбирання, дефектацію, ремонт механічних вузлів, відновлення обмоток, сушіння, просочення, складання, балансування та післяремонтні випробування.

За результатами розрахунків визначено потенційну річну потребу в ремонті електродвигунів, розраховано трудомісткість капітального і поточного ремонтів, встановлено річну виробничу програму проектованої ділянки на рівні 22000 люд.·год. Для виконання цієї програми прийнято 11 основних виробничих робітників, 2 допоміжних робітників, 1 інженерно-технічного працівника та необхідний допоміжний персонал.

Підібрано основне ремонтно-технологічне обладнання: мийні машини, мийну ванну, металорізальні верстати, випробувальні стенди, сушильні печі,

столи для розбирання і складання, балансувальне обладнання, напівавтомати та верстати для обмотувальних операцій, бандажирувальні верстати, пристосування для продорожування колекторів і масляні ванни для підігріву підшипників. Розрахункова виробнича площа ділянки становить 214 м², що забезпечує можливість раціонального розміщення обладнання та організації безпечних умов праці.

3. РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ РОТОРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

3.1. Огляд існуючих конструкцій балансувальних стендів

У процесі ремонту електродвигунів промислового призначення важливим етапом є перевірка механічної частини ротора. Після заміни підшипників, відновлення посадкових поверхонь, ремонту вентилятора або виконання інших складально-розбірних операцій може виникати залишкова неврівноваженість. Вона спричиняє підвищену вібрацію, додаткові навантаження на підшипникові вузли, шум, нагрівання та прискорене зношування деталей електричної машини.

Для усунення цієї проблеми використовують балансувальні стенди різних конструкцій. У машинобудуванні поширені універсальні верстати для балансування валів, колінчастих валів, карданних передач, робочих коліс, роторів і якорів електричних машин. Їх конструкція залежить від маси деталі, діапазону довжин, допустимої частоти обертання, способу вимірювання вібрації та прийнятого методу компенсації дисбалансу.

Одним із поширених типів обладнання є стенд для балансування карданних і колінчастих валів, який наведено на рис. 3.1. Такі стенди мають достатню жорсткість, дві опори та привід для обертання деталі. Водночас вони орієнтовані переважно на автомобільні або транспортні агрегати, тому їх застосування для роторів електродвигунів є обмеженим.



Рисунок 3.1 - Верстат для балансування карданних і колінчастих валів

Основними технічними характеристиками такого верстата є найбільша маса балансованої деталі до 100 кг, найбільший діаметр деталі близько 190 мм, двоопорна схема встановлення та потужність приводу близько 4,0 кВт. Для ремонтної дільниці електродвигунів це обладнання є не цілком раціональним, оскільки конструкція не враховує особливостей роторів електричних машин, а діапазон застосування обмежений формою та способом закріплення деталі.

Іншим варіантом є стенд для балансування деталей типу вал (рис. 3.2). Його перевагою є можливість роботи з довгомірними деталями, проте він розрахований на значні габарити та масу. Переналагодження такого стенда для ремонту електродвигунів потребує додаткового часу, а потужність приводу є надмірною для більшості роторів промислових електродвигунів малої та середньої потужності.



Рисунок 3.2 - Стенд для балансування деталей типу вал

На рис. 3.3 показано стенд для балансування валів і роторів. Конструктивно він ближчий до обладнання, яке може застосовуватися в електроремонтній майстерні, оскільки дозволяє встановлювати ротор між опорами та приводити його в обертання від електродвигуна. Недоліком такого рішення є порівняно складне налагодження під конкретний тип ротора та використання індикаторів годинникового типу, які ускладнюють точне вимірювання коливань при підвищених частотах обертання.



Рисунок 3.3 - Стенд для балансування валів та роторів

Аналіз існуючих конструкцій показує, що для умов дільниці з ремонту електродвигунів доцільно застосувати спеціалізований стенд, розрахований саме на ротори електричних машин. Такий стенд повинен мати достатню жорсткість, просту систему встановлення ротора, можливість регулювання опор за довжиною вала, безпечний пасовий привід, засоби вимірювання коливань та зручний доступ до місць закріплення балансувальних вантажів.

3.2. Будова та призначення проєктованого стенда

Проектований стенд призначений для статичного та динамічного балансування роторів електродвигунів після виконання ремонтних операцій. Балансування необхідне для виявлення та усунення невідновленості мас, яка виникає внаслідок нерівномірного зношування деталей, ремонтного відновлення посадкових поверхонь, заміни вентилятора, неточного складання або наявності залишкових дефектів ротора.

Невідновленість ротора є однією з основних причин появи вібрації під час роботи електричної машини. Під дією відцентрових сил зростають навантаження на підшипники, погіршується робота ізоляційної системи, підвищується шум і можливе руйнування кріплень або фундаменту. Тому після

ремонті ротор доцільно перевіряти на спеціальному стенді до остаточного складання електродвигуна.

Стенд складається з рами, електродвигуна приводу, пасової передачі, передньої та задньої стійок, опорних центрів, підшипникового вузла, тримачів датчиків і вимірювальних датчиків. Конструкція забезпечує встановлення ротора між опорами, обертання його з необхідною частотою та реєстрацію коливань у площинах, де визначається дисбаланс. Загальний вигляд проєктованого стенда наведено на рис. 3.4.

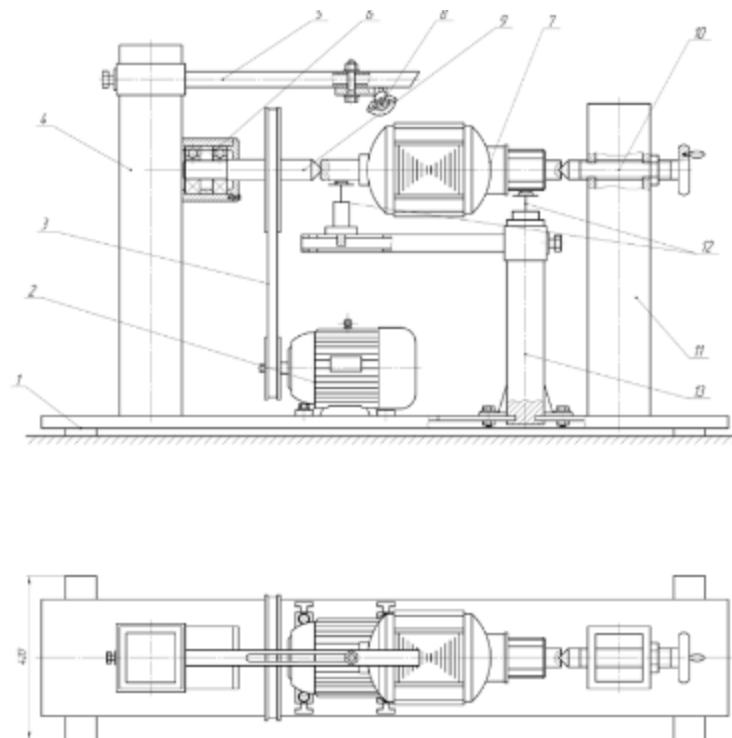


Рисунок 3.4 - Проєктований стенд для балансування роторів електродвигунів
1 - рама; 2 - електродвигун; 3 - пасова передача; 4 - стійка; 5 - тримач датчика; 6 - підшипниковий вузол; 7 - ротор; 8 - датчик; 9 - центр привідний; 10 - задня бабка; 11 - задня стійка; 12 - датчики; 13 - тримач датчиків.

Принцип роботи стенда полягає в тому, що ротор встановлюють у центрах або на опорах, після чого за допомогою пасової передачі надають йому обертального руху. При наявності дисбалансу виникають коливання, які сприймаються датчиками. За величиною коливань визначають площину та місце встановлення коригувального вантажу. Після закріплення вантажу виконують

повторну перевірку, доки залишкова вібрація не буде перебувати у допустимих межах.

Для коротких роторів тихохідних електродвигунів може застосовуватися статичне балансування. У цьому разі ротор встановлюють шийками вала на призми. Після декількох перекочуввань визначають найважчу точку, яка щоразу займає нижнє положення. Коригувальний вантаж розміщують у точці, діаметрально протилежній важкій частині. Балансування вважають правильним, якщо ротор після зупинки залишається у стані байдужої рівноваги в будь-якому положенні.

Для роторів електродвигунів з частотою обертання понад 1000 хв-1 доцільніше застосовувати динамічне балансування. У цьому випадку неврівноваженість усувають у двох площинах, оскільки кожен торець ротора може мати власну амплітуду биття. Динамічне балансування складається з вимірювання початкової амплітуди коливань, визначення місця розміщення пробного вантажу, підбору маси коригувального вантажу та перевірки залишкової неврівноваженості.

Масу врівноважувального вантажу визначають методом обходу пробним вантажем. Для цього бокову поверхню ротора умовно поділяють на декілька рівних частин, у кожній точці тимчасово закріплюють пробний вантаж і вимірюють амплітуду коливань. Найдоцільнішим місцем для остаточного встановлення вантажу є точка, у якій амплітуда коливань має мінімальне значення. Масу врівноважувального вантажу визначають за формулою:

$$Q = P \cdot \frac{K_0}{K_0 - K_{min}} \quad (3.1)$$

де Q - маса врівноважувального вантажу, кг; P - маса пробного вантажу, кг; K_0 - початкова амплітуда коливань до встановлення пробного вантажу; K_{min} - мінімальна амплітуда коливань при обході пробним вантажем.

Після закінчення балансування однієї сторони ротора аналогічні дії виконують для другої сторони. Балансування вважають задовільним, якщо

відцентрова сила залишкової неврівноваженості не перевищує допустимого значення. Практично це можна контролювати за амплітудою залишкових коливань, яку визначають за виразом:

$$K = (1 \dots 1,25) \cdot \frac{B_0}{900} \quad (3.2)$$

де K - допустима амплітуда залишкових коливань головки стенда; B_0 - маса балансованого ротора, т.

Після підбору вантажу його надійно закріплюють на роторі зварюванням або гвинтовим з'єднанням. Кріплення повинно витримувати дію відцентрових сил під час роботи електродвигуна. Після остаточного закріплення коригувального вантажу ротор повторно встановлюють на стенд і проводять контрольне балансування.

3.3. Розрахунок основних деталей і вузлів стенда

3.3.1. Розрахунок електродвигуна приводу

Потужність електродвигуна приводу стенда залежить від моменту, необхідного для обертання ротора, кутової швидкості привідного вала та втрат у передачі. Частота обертання електродвигуна повинна забезпечувати необхідну швидкість обертання ротора під час балансування і водночас не створювати надмірних динамічних навантажень на конструкцію стенда.

Необхідну потужність на привідному валу визначаємо за формулою [15]:

$$P_{\text{ст}} = T \cdot \omega \quad (3.3)$$

де $P_{\text{ст}}$ - потужність, необхідна для приводу стенда, кВт; T - обертовий момент, кН·м; ω - кутова швидкість привідного вала, с-1.

$$P_{\text{ст}} = 0,005 \cdot 157 = 0,785 \text{ кВт}$$

Кутову швидкість визначаємо через частоту обертання привідного вала:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (3.4)$$

де n - частота обертання привідного вала стенда, хв-1.

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ с}^{-1}$$

Загальний коефіцієнт корисної дії приводу визначаємо з урахуванням втрат у пасовій передачі та підшипниках кочення:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{п.п}} \cdot \eta_{\text{п.к}} \quad (3.5)$$

де $\eta_{\text{п.п}}$ - коефіцієнт корисної дії пасової передачі; $\eta_{\text{п.к}}$ - коефіцієнт корисної дії підшипників кочення. Приймаємо $\eta_{\text{п.п}} = 0,97$, $\eta_{\text{п.к}} = 0,99$.

$$\eta_{\text{заг}} = 0,97 \cdot 0,99 = 0,96$$

Необхідну потужність електродвигуна визначаємо за формулою:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{ст}}}{\eta_{\text{заг}}} \quad (3.6)$$

$$P_{\text{дв}} = \frac{0,785}{0,96} = 0,82 \text{ кВт}$$

За отриманим значенням потужності та необхідною частотою обертання приймаємо трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором номінальною потужністю 0,8 кВт і номінальною частотою обертання 1500 хв-1. Такий двигун забезпечує привід стенда в заданому режимі та має достатню конструктивну простоту для експлуатації в умовах ремонтної дільниці.

3.3.2. Розрахунок пасової передачі

Для передавання обертального руху від електродвигуна до привідного вала стенда приймаємо пасову передачу. Вона забезпечує плавність ходу, знижує

ударні навантаження, частково гасить вібрації та є простою в обслуговуванні.
Розрахунок виконуємо для плоского прогумованого паса.

Діаметр ведучого шківa визначаємо за умовою:

$$d_1 \geq 70\delta \quad (3.7)$$

де d_1 - діаметр ведучого шківa, мм; δ - товщина паса, мм. Приймаємо $\delta = 2,2$ мм.

$$d_1 \geq 70 \cdot 2,2 = 154 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра ведучого шківa $d_1 = 160$ мм.

Діаметр веденого шківa визначаємо за формулою:

$$d_2 = u \cdot d_1 \cdot (1 - \varepsilon) \quad (3.8)$$

де d_2 - діаметр веденого шківa, мм; u - передаточне число пасової передачі;
 ε - коефіцієнт ковзання паса, $\varepsilon = 0,01 \dots 0,02$. Приймаємо $u = 2$, $\varepsilon = 0,01$.

$$d_2 = 2 \cdot 160 \cdot (1 - 0,01) = 316,8 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_2 = 320$ мм.

Фактичне передаточне число визначаємо за формулою:

$$u_{\phi} = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (3.9)$$

$$u_{\phi} = \frac{320}{160 \cdot (1 - 0,01)} = 2,02$$

Відхилення фактичного передаточного числа від заданого перевіряємо за формулою:

$$\Delta u = \frac{u_{\phi} - u}{u} \cdot 100 \% \leq 3 \% \quad (3.10)$$

$$\Delta u = \frac{2,02 - 2}{2} \cdot 100 \% = 1 \% \leq 3 \%$$

Отже, прийняті діаметри шківів забезпечують допустиме відхилення передаточного числа.

Орієнтовну міжосьову відстань визначаємо за залежністю:

$$a \geq 1,5 \cdot (d_1 + d_2) \quad (3.11)$$

$$a \geq 1,5 \cdot (160 + 320) = 720 \text{ мм}$$

Розрахункову довжину паса визначаємо за формулою:

$$l = 2a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} \quad (3.12)$$

$$l = 2 \cdot 720 + \frac{3,14}{2} \cdot (320 + 160) + \frac{(320 - 160)^2}{4 \cdot 720} = 2202,5 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартну довжину паса $l = 2200 \text{ мм}$.

Міжосьову відстань уточнюємо за стандартною довжиною паса:

$$a = \frac{1}{8} \cdot [A + \sqrt{A^2 - 8(d_2 - d_1)^2}] \quad (3.13)$$

$$A = 2 \cdot l - \pi(d_2 + d_1)$$

$$a = 718,7 \text{ мм}$$

Для подальших розрахунків приймаємо $a = 719 \text{ мм}$.

Кут обхвату ведучого шківа пасом визначаємо за формулою:

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{57^\circ \cdot (d_2 - d_1)}{a} \quad (3.14)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{57^\circ \cdot (320 - 160)}{719} = 167,3^\circ$$

Кут обхвату α_1 повинен бути не меншим за 150° . Отримане значення $\alpha_1 = 167,3^\circ$ відповідає цій вимозі.

Швидкість паса визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 10^3} \leq [V] = 35 \text{ м/с} \quad (3.15)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 1500}{60 \cdot 10^3} = 12,6 \text{ м/с}$$

Колова сила в пасовій передачі визначається за формулою:

$$F_t = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{V} \quad (3.16)$$

$$F_t = \frac{0,8 \cdot 10^3}{12,6} = 63,4 \text{ Н}$$

Допустиму питому колову силу визначаємо за формулою:

$$[K_n] = [K_0] \cdot \prod C_i \quad (3.17)$$

де $[K_0]$ - допустима приведена питома колова сила, $[K_0] = 1,95 \text{ Н/мм}^2$; C_i - поправні коефіцієнти, що враховують умови роботи пасової передачі. Приймаємо $C_\theta = 1$; $C_\alpha = 0,98$; $C_v = 0,6$; $C_p = 1$; $C_d = 1,2$; $C_F = 0,85$.

$$[K_n] = 1,95 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,85 = 1,17 \text{ Н/мм}^2$$

Необхідну ширину паса визначаємо за формулою:

$$b = \frac{F_t}{\delta \cdot [K_n]} \quad (3.18)$$

$$b = \frac{63,4}{2,2 \cdot 1,17} = 24,6 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартну ширину паса $b = 25 \text{ мм}$.

Площу поперечного перерізу паса визначаємо за формулою:

$$A = \delta \cdot b \quad (3.19)$$

$$A = 2,2 \cdot 25 = 55 \text{ мм}^2 \quad (3.20)$$

Силу попереднього натягу паса визначаємо за формулою:

$$F_0 = A \cdot \sigma_0 \quad (3.21)$$

де σ_0 - попереднє напруження паса, Н/мм². Приймаємо $\sigma_0 = 2 \text{ Н/мм}^2$.

$$F_0 = 55 \cdot 2 = 110 \text{ Н}$$

Сили натягу ведучої та веденої гілок паса визначаємо за формулами:

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2} \quad (3.22)$$

$$F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2} \quad (3.23)$$

$$F_1 = 110 + \frac{63,4}{2} = 141,7 \text{ Н}$$

$$F_2 = 110 - \frac{63,4}{2} = 78,3 \text{ Н}$$

Силу тиску паса на вал визначаємо за формулою:

$$F_{\text{оп}} = 2 \cdot F_0 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \quad (3.24)$$

$$F_{оп} = 2 \cdot 110 \cdot \sin\left(\frac{167,3^\circ}{2}\right) = 218,6 \text{ Н}$$

Отримана сила враховується при виборі підшипників та перевірці міцності елементів привідного вузла.

3.3.3. Перевірочний розрахунок паса

Перевірку міцності паса виконуємо за максимальним напруженням у перерізі ведучої гілки. Умова міцності має вигляд:

$$\sigma_{max} = \sigma_i + \sigma_u + \sigma_v \leq [\sigma]p \quad (3.25)$$

де σ_i - напруження розтягу, Н/мм²; σ_u - напруження згину, Н/мм²; σ_v - напруження від відцентрових сил, Н/мм²; $[\sigma]p$ - допустиме напруження для матеріалу паса.

Напруження розтягу визначаємо за формулою:

$$\sigma_i = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2A} \quad (3.26)$$

$$\sigma_i = \frac{110}{55} + \frac{63,4}{2 \cdot 55} = 2,6 \text{ Н/мм}^2$$

Напруження згину визначаємо за формулою:

$$\sigma_u = E_u \cdot \frac{\delta}{d_1} \quad (3.27)$$

де E_u - модуль поздовжньої пружності при згині для прогумованих пасів. Приймаємо $E_u = 90 \text{ Н/мм}^2$.

$$\sigma_u = 90 \cdot \frac{2,2}{160} = 1,23 \text{ Н/мм}^2$$

Напруження від відцентрових сил визначаємо за формулою:

$$\sigma_v = \rho \cdot V^2 \cdot 10^{-6} \quad (3.28)$$

де ρ - густина матеріалу паса, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

$$\sigma_v = 1000 \cdot 12,6^2 \cdot 10^{-6} = 0,16 \text{ Н/мм}^2$$

Максимальне напруження у пасі становить:

$$\sigma_{max} = 2,6 + 1,23 + 0,16 = 3,99 \text{ Н/мм}^2$$

Оскільки $\sigma_{max} = 3,99 \text{ Н/мм}^2$ менше допустимого напруження $[\sigma]_p = 8 \text{ Н/мм}^2$, міцність паса забезпечується. Прийнята пасова передача може використовуватися у конструкції стенда для балансування роторів електродвигунів.

3.4. Висновок

Проведено розрахунок приводу стенда. Визначено потужність, необхідну для обертання ротора, яка становить 0,785 кВт, розраховано кутову швидкість привідного вала 157 с-1 та загальний коефіцієнт корисної дії приводу 0,96. За результатами розрахунку прийнято асинхронний електродвигун номінальною потужністю 0,8 кВт і частотою обертання 1500 хв-1.

Для пасової передачі прийнято ведучий шків діаметром 160 мм, ведений шків діаметром 320 мм, стандартну довжину паса 2200 мм і ширину паса 25 мм. Кут обхвату ведучого шківа становить $167,3^\circ$, що перевищує мінімально допустиме значення. Розрахована колова сила дорівнює 63,4 Н, а сила тиску паса на вал - 218,6 Н.

Перевірочний розрахунок показав, що максимальне напруження у пасі становить $3,99 \text{ Н/мм}^2$, що менше допустимого значення 8 Н/мм^2 . Отже, прийняті параметри приводу та пасової передачі є працездатними, а розроблений стенд доцільно використовувати для балансування роторів електродвигунів після ремонту.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні відомості з охорони праці на підприємстві і при ремонті електрообладнання

Охорона праці на підприємстві, де виконуються роботи з ремонту електродвигунів промислового призначення, є складовою частиною організації виробництва. Її основне завдання полягає у створенні безпечних умов для виконання дефектування, розбирання, відновлення, складання, балансування та післяремонтних випробувань електричних машин. При організації таких робіт необхідно керуватися Законом України «Про охорону праці», правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів, правилами технічної експлуатації електроустановок і вимогами стандартів щодо безпечності електрообладнання машин [1-4].

Ремонт електродвигунів належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки працівник може одночасно зазнавати впливу електричної напруги, рухомих частин машин, підвищеної температури, пилу, шуму, вібрації, мастильних матеріалів, лаків і розчинників. Найбільш небезпечними операціями є перевірка електричних параметрів, випробування ізоляції підвищеною напругою, знімання та напресування підшипників, переміщення важких роторів, сушіння й просочування обмоток, а також контроль роботи електродвигуна після ремонту.

Відповідальність за безпечний стан робочих місць покладається на керівника підприємства, керівників дільниць і відповідальних осіб, призначених наказом. До самостійної роботи допускають працівників, які пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж, навчання безпечним методам праці, перевірку знань та мають відповідну групу з електробезпеки. На робочих місцях повинні бути інструкції з охорони праці, попереджувальні плакати, справні засоби пожежогасіння, аптечка та необхідні засоби індивідуального захисту.

Робоча зона електроремонтної дільниці має утримуватися в чистоті. Проходи біля верстатів, сушильного обладнання, випробувального поста і

балансувального стенда не допускається захаращувати деталями, кабелями, інструментом або тарою. Корпуси, вали, ротори, підшипникові щити та інші деталі необхідно розміщувати на стелажах або підставках, що виключають їх падіння. Важкі деталі переміщують тільки справними вантажопідіймальними засобами, із застосуванням стропів, які відповідають масі вантажу.

Перед ремонтом електродвигун повинен бути відключений від мережі, а на апараті керування необхідно вивісити заборонний плакат. Після вимкнення перевіряють відсутність напруги, від'єднують живильні проводи, маркують виводи і за потреби виконують заземлення. Розбирання двигуна проводять послідовно, із застосуванням справних знімачів, ключів, пресів та інших пристроїв. Забороняється знімати підшипники ударами по валу, користуватися пошкодженим інструментом або залишати ротор у нестійкому положенні.

Під час вимірювання опору ізоляції, перевірки обмоток і випробування електродвигуна після ремонту необхідно огорожувати небезпечну зону та не допускати сторонніх осіб до обладнання. Працівник не повинен торкатися корпусу, виводів, затискачів і кабелів, якщо установка перебуває під напругою. У разі появи запаху нагрітої ізоляції, іскріння, підвищеного шуму, вібрації або нагрівання підшипників випробування негайно припиняють.

При виконанні просочувальних робіт необхідно враховувати пожежну небезпеку лаків і розчинників. Просочувальні ванни та сушильні шафи повинні бути обладнані вентиляцією й розміщені на безпечній відстані від відкритого вогню та іскроутворювального обладнання. Лакофарбові матеріали зберігають у закритій тарі, а працівники користуються спецодягом, рукавицями, захисними окулярами та за необхідності засобами захисту органів дихання.

4.2. Вимоги охорони праці при роботі на спроектованому балансувальному стенді

Спроектований балансувальний стенд призначений для контролю та усунення неврівноваженості роторів електродвигунів після ремонту. Його

конструкція включає раму, електродвигун приводу, пасову передачу, опорні стійки, підшипникові вузли, привідний центр, задню бабку, тримачі та датчики контролю коливань. Під час роботи ротора виникають небезпечні фактори: захоплення одягу обертовими частинами, руйнування або сходження паса, виліт погано закріпленого вантажу, підвищена вібрація, шум і небезпека ураження електричним струмом.

До роботи на стенді допускають працівників, які вивчили його будову, порядок пуску і зупинки, технологію балансування та правила користування вимірювальними приладами. Працівник повинен знати допустиму масу ротора, спосіб його встановлення, правила кріплення пробних і постійних балансувальних вантажів, а також місце розташування аварійного вимикача. Забороняється працювати на стенді без інструктажу, при несправних огороженнях або без перевірки надійності встановлення ротора.

Перед початком роботи необхідно оглянути раму, опори, кріплення, підшипникові вузли, пасову передачу, датчики, заземлення, пускову апаратуру і кнопку аварійної зупинки. Пас не повинен мати тріщин, розшарувань і слідів значного зносу. Ротор перед установленням очищують від мастила й бруду, перевіряють стан шийок вала, посадкових місць, вентилятора та інших деталей. У зоні обертання не повинно бути інструменту, сторонніх предметів або незакріплених елементів.

Установлення ротора на стенд виконують лише після повної зупинки приводу та вимкнення живлення. Якщо маса ротора значна, потрібно застосовувати кран-балку, таль або інший вантажопідіймальний пристрій. Під час стропування забороняється перебувати під піднятим вантажем, підтримувати його руками знизу або залишати у підвішеному стані без потреби. Після встановлення ротор повинен вільно обертатися в опорах без перекосу, зачіпання за елементи стенда і надмірного осьового зміщення.

Пробний пуск стенда виконують на мінімально можливій частоті обертання, перебуваючи поза площиною обертання ротора. Під час пуску контролюють рівномірність обертання, роботу пасової передачі, показання

датчиків, відсутність стороннього шуму, биття і різкого збільшення вібрації. Якщо виникає ненормальна робота, стенд негайно зупиняють, чекають повної зупинки ротора, відключають живлення і тільки після цього виконують огляд.

Під час балансування методом обходу вантажем пробний вантаж закріплюють так, щоб він не міг зміститися або відірватися під дією відцентрових сил. Не допускається використовувати випадкові предмети, дріт, ненадійні хомути або інші тимчасові кріплення, які не забезпечують міцної фіксації. Після кожної зміни положення вантажу запуск виконують тільки після перевірки кріплення, закриття огорожень і видалення інструменту із зони стенда. Остаточний вантаж закріплюють зварюванням або гвинтовим з'єднанням згідно з технологією.

Працівник повинен користуватися застібнутим спецодягом без звисаючих частин, захисними окулярами, а за необхідності протишумовими навушниками. Волосся має бути прибрано під головний убір. Забороняється працювати в рукавицях поблизу відкритих обертових частин, нахилитися над ротором, передавати інструмент через зону обертання, виконувати вимірювання вручну, торкатися паса, шківів, ротора і датчиків під час роботи стенда або гальмувати ротор сторонніми предметами.

Електрична частина стенда повинна мати справну ізоляцію, захисне заземлення, пускозахисну апаратуру та аварійне вимкнення. Корпус електродвигуна, металева рама і шафа керування мають бути приєднані до захисного провідника. У разі пошкодження ізоляції, запаху гару, іскріння, перегрівання електродвигуна або самовільного вимкнення захисту роботу припиняють до повного усунення несправності.

Після завершення балансування стенд вимикають, очікують повної зупинки ротора, від'єднують живлення, безпечно знімають ротор і прибирають робоче місце. Інструмент, пробні вантажі та вимірювальні пристрої розміщують у відведених місцях. Про всі виявлені дефекти стенда, пошкодження паса, нестійку роботу датчиків або підвищену вібрацію працівник повідомляє керівника робіт.

4.3. Висновок

У розділі розглянуто основні вимоги охорони праці при ремонті електродвигунів промислового призначення та експлуатації спроектованого балансувального стенда. Встановлено, що безпечне виконання робіт забезпечується справністю обладнання, підготовкою персоналу, дотриманням правил електробезпеки, правильним застосуванням вантажопідіймальних засобів, використанням засобів індивідуального захисту і підтриманням порядку на робочих місцях.

Особливу увагу приділено небезпечним факторам під час балансування роторів: обертовим частинам, пасовій передачі, можливого вильоту вантажу, шуму, вібрації та електричній небезпеці. Запропоновані вимоги до підготовки стенда, встановлення ротора, пробного пуску, кріплення балансувальних вантажів і завершення роботи дозволяють знизити ризик травмування працівників і забезпечити якісне післяремонтне обслуговування електродвигунів.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДІЛЬНИЦІ

Техніко-економічний розрахунок виконано для дільниці з ремонту електродвигунів промислового призначення. Метою розрахунку є визначення необхідного обсягу капіталовкладень, річних експлуатаційних витрат, собівартості одного умовного ремонту, прибутку, рентабельності та строку окупності запропонованих проектних рішень.

Вихідні дані. Площа дільниці становить 216 м², річна трудомісткість робіт - 22 000 люд.-год, що відповідає 73,3 умовним ремонтам за рік. Для придбання, монтажу та введення в експлуатацію ремонтно-технологічного обладнання, оснащення робочих місць, облаштування вентиляції, електроживлення, вимірювальних засобів, інструменту і пристроїв приймаємо капіталовкладення у розмірі 3 800 000 грн.

Середню годинну тарифну ставку виробничого робітника приймаємо 140 грн/год. Вартість електроенергії прийнято 11 грн за 1 кВт·год. Сумарну встановлену потужність обладнання дільниці приймаємо 20 кВт.

Річний фонд заробітної плати з нарахуваннями визначаємо за формулою:

$$З_{\text{заг}} = З_{\text{о}} + З_{\text{дод}} + З_{\text{н}} \quad (5.1)$$

де $З_{\text{заг}}$ - заробітна плата з нарахуваннями за рік, грн;

$З_{\text{о}}$ - основна заробітна плата, грн;

$З_{\text{дод}}$ - додаткова заробітна плата, грн;

$З_{\text{н}}$ - нарахування на заробітну плату, грн.

Основну заробітну плату визначаємо за виразом:

$$З_{\text{о}} = Н_{\text{з}} \cdot Т_{\text{заг}} \quad (5.2)$$

$$З_{\text{о}} = 140 \cdot 22\,000 = 3\,080\,000 \text{ грн.}$$

Додаткову заробітну плату приймаємо у розмірі 10 % від основної заробітної плати:

$$З_{\text{дод}} = 0,10 \cdot 3\,080\,000 = 308\,000 \text{ грн.}$$

Нарахування на оплату праці приймаємо за ставкою єдиного соціального внеску 22 %:

$$Зн = 0,22 \cdot (3\,080\,000 + 308\,000) = 745\,360 \text{ грн.}$$

Тоді річний фонд заробітної плати з нарахуваннями становитиме:

$$Ззаг = 3\,080\,000 + 308\,000 + 745\,360 = 4\,133\,360 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на ремонтно-технологічне обладнання розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{Б \cdot НА}{100} \quad (5.3)$$

де Б - балансова вартість обладнання та робіт з організації ділянки, грн;

НА - норма амортизації, %.

Норму амортизації приймаємо 15 %.

$$A = \frac{3\,800\,000 \cdot 15}{100} = 570\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт і підтримання працездатності обладнання визначаємо у розмірі 10 % від капіталовкладень:

$$P_o = \frac{Б \cdot Н_p}{100} \quad (5.4)$$

$$P_o = \frac{3\,800\,000 \cdot 10}{100} = 380\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на запасні частини та комплектувальні матеріали для забезпечення роботи ділянки приймаємо у розмірі 12 % від вартості обладнання:

$$C_{зп} = \frac{Б \cdot Н_c}{100} \quad (5.5)$$

$$C_{зп} = \frac{3\,800\,000 \cdot 12}{100} = 456\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонтні матеріали, ізоляційні матеріали, лаки, мастильні матеріали, мийні засоби, провідникову продукцію, кріпильні елементи та інші витратні матеріали приймаємо на рівні 55 % від річного фонду оплати праці з нарахуваннями:

$$C_m = 0,55 \cdot Z_{заг} \quad (5.6)$$

$$C_m = 0,55 \cdot 4\,133\,360 = 2\,273\,348 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію розраховуємо з урахуванням установленної потужності ремонтно-технологічного обладнання, часу його роботи, потужності освітлення та вартості електроенергії:

$$E = N_{об} \cdot t_{об} \cdot П + N_{осв} \cdot t_{осв} \cdot П \quad (5.7)$$

де $N_{об}$ - сумарна встановлена потужність обладнання, кВт;

$t_{об}$ - річний фонд роботи обладнання, год;

$N_{осв}$ - потужність освітлювального обладнання, кВт;

$t_{осв}$ - тривалість роботи освітлення протягом року, год;

$П$ - вартість електроенергії, грн/кВт·год.

$$E = (20 \cdot 1\,500 \cdot 11) + (2,5 \cdot 2\,070 \cdot 11) = 386\,925 \text{ грн.}$$

Інші витрати включають придбання та заміну спецодягу, засобів індивідуального захисту, дрібного інструменту, витрати на охорону праці, протипожежні заходи, обслуговування вентиляції, метрологічну перевірку вимірювальних приладів і організаційні потреби дільниці. Їх приймаємо у розмірі 3 % від суми основних поточних витрат:

$$C_{ін} = (Z_{заг} + A + P_o + C_{зп} + C_m + E) \cdot 0,03 \quad (5.8)$$

$$C_{ін} = (4\,133\,360 + 570\,000 + 380\,000 + 456\,000 + 2\,273\,348 + 386\,925) \cdot 0,03 = 245\,989 \text{ грн.}$$

Загальні річні витрати на роботу дільниці визначаємо як суму всіх складових:

$$З_p = З_{заг} + A + P_o + C_{зп} + C_m + E + C_{ін} \quad (5.9)$$

$$З_p = 4\,133\,360 + 570\,000 + 380\,000 + 456\,000 + 2\,273\,348 + 386\,925 + 245\,989 = 8\,445\,622 \text{ грн.}$$

Витрати на один умовний ремонт електродвигуна визначаємо за формулою:

$$З_{од} = \frac{З_p}{n} \quad (5.10)$$

$$З_{од} = \frac{8\,445\,622}{73,3} = 115\,220 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення, що припадають на один умовний ремонт, становлять:

$$КВ = \frac{К}{n} \quad (5.11)$$

$$КВ = \frac{3\,800\,000}{73,3} = 51\,842 \text{ грн.}$$

Приведені затрати на одиницю продукції визначаємо з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності капітальних вкладень 0,15:

$$З_{п} = З_{од} + 0,15 \cdot КВ \quad (5.12)$$

$$З_{п} = 115\,220 + 0,15 \cdot 51\,842 = 122\,996 \text{ грн.}$$

Повну цехову собівартість одного умовного ремонту визначаємо з урахуванням накладних витрат:

$$C = Z_{од} + K_n \cdot Z_{од} \quad (5.13)$$

де K_n - коефіцієнт, який враховує накладні витрати. Для розрахунку приймаємо $K_n = 0,10$.

$$C = 115\,220 + 0,10 \cdot 115\,220 = 126\,742 \text{ грн.}$$

Для забезпечення економічної доцільності проекту та рентабельності близько 40 % договірну вартість одного умовного ремонту промислового електродвигуна приймаємо на рівні 177 500 грн. Такий рівень ціни враховує дефектацію, розбирання, ремонт або заміну вузлів, відновлення ізоляції, балансування ротора, післяремонтні випробування, витрати на енергоносії, матеріали та оплату праці.

Прибуток на один умовний ремонт визначаємо за формулою:

$$ПР = Ц - C \quad (5.14)$$

$$ПР = 177\,500 - 126\,742 = 50\,758 \text{ грн.}$$

Рентабельність виконання ремонтних робіт визначаємо відношенням прибутку до повної цехової собівартості:

$$R = \frac{ПР}{C} \cdot 100 \% \quad (5.15)$$

$$R = \frac{50\,758}{126\,742} \cdot 100 = 40,0 \%$$

Річний прибуток ділянки становитиме:

$$ПР_p = ПР \cdot n \quad (5.16)$$

$$\text{Прр} = 50\,758 \cdot 73,3 = 3\,720\,566 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних вкладень визначаємо як відношення суми капіталовкладень до річного прибутку діляниці:

$$O_k = \frac{K}{\text{Прр}} \quad (5.17)$$

$$O_k = \frac{3\,800\,000}{3\,720\,566} = 1,02 \text{ року.}$$

Основні техніко-економічні показники проектних рішень наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Техніко-економічні показники проекту

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Значення
1	Площа діляниці	м ²	216
2	Річна трудомісткість ремонтних робіт	люд.-год	22 000
3	Кількість умовних ремонтів за рік	шт.	73,3
4	Капіталовкладення	грн	3 800 000
5	Тарифна годинна ставка робітника	грн/год	140
6	Сумарна потужність обладнання	кВт	20
7	Вартість електроенергії	грн/кВт·год	11
8	Річний фонд заробітної плати з нарахуваннями	грн	4 133 360
9	Витрати на електроенергію	грн	386 925
10	Загальні річні витрати	грн	8 445 622
11	Повна цехова собівартість одного умовного ремонту	грн	126 742
12	Договірна вартість одного умовного ремонту	грн	177 500
13	Прибуток на один умовний ремонт	грн	50 758
14	Річний прибуток діляниці	грн	3 720 566

15	Рентабельність ремонтних робіт	%	40,0
16	Строк окупності капіталовкладень	року	1,02

Висновок. За результатами техніко-економічної оцінки встановлено, що удосконалення технології ремонту електродвигунів промислового призначення є економічно доцільним. При капіталовкладеннях 3800000 грн, річній трудомісткості 22000 люд.-год і виконанні 73,3 умовних ремонтів за рік повна цехова собівартість одного умовного ремонту становить 126742 грн. За прийнятої договірної вартості 177500 грн прибуток з одного умовного ремонту становить 50758 грн, річний прибуток дільниці - 3720566 грн, рентабельність - 40,0 %, а строк окупності капіталовкладень - 1,02 року. Отже, запропоновані проектні рішення забезпечують достатній економічний ефект і можуть бути рекомендовані до впровадження у виробничих умовах підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті на тему «Удосконалення технології ремонту електродвигунів промислового призначення» вирішено комплекс завдань, спрямованих на підвищення якості ремонту, скорочення простоїв обладнання та забезпечення надійної роботи електричних машин у виробничих умовах. Під час аналізу встановлено, що основними причинами відмов електродвигунів є пошкодження ізоляції обмоток, знос підшипникових вузлів, дефекти валів і роторів, порушення балансування та погіршення умов охолодження.

Обґрунтовано необхідність удосконалення технології ремонту електродвигунів у межах спеціалізованої ремонтної дільниці. Запропоновано послідовність робіт, яка включає приймання агрегату в ремонт, очищення, розбирання, дефектацію деталей, перевірку обмоток і механічних вузлів, відновлення або заміну пошкоджених елементів, сушіння та просочення обмоток, складання, балансування ротора і післяремонтні випробування. Така організація процесу дозволяє підвищити якість ремонту та зменшити ймовірність повторних відмов.

У технологічній частині визначено річний обсяг робіт, трудомісткість ремонту, потребу в обладнанні та виробничих ресурсах. Для розрахунків прийнято річну трудомісткість 22000 люд.-год, що відповідає 73,3 умовним ремонтам. Підібране технологічне обладнання забезпечує виконання основних операцій з ремонту, контролю, складання і випробування електродвигунів промислового призначення, що створює умови для раціонального використання ремонтної бази підприємства.

У конструктивному розділі розроблено стенд для балансування роторів електродвигунів. Запропонована конструкція пристосована до умов електроремонтної дільниці та дозволяє зменшити вібрацію ротора після ремонту. Розрахунком обґрунтовано основні параметри приводу і пасової передачі: прийнято електродвигун потужністю 0,8 кВт, діаметри шківів 160 і 320 мм,

швидкість паса 12,6 м/с. Перевірка міцності паса підтвердила працездатність прийнятих конструктивних рішень.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні фактори при ремонті електрообладнання та роботі на балансувальному стенді: ураження електричним струмом, контакт з обертовими частинами, виліт незакріплених елементів, шум, вібрація та пожежна безпека. Запропоновано заходи безпеки: заземлення обладнання, застосування захисних кожухів, перевірка кріплення ротора, використання засобів індивідуального захисту, дотримання порядку пуску та зупинки стенда.

Економічними розрахунками підтверджено доцільність впровадження проєктних рішень. З урахуванням сучасного рівня цін капіталовкладення прийнято у розмірі 3,8 млн грн, тарифну годинну ставку робітника – 140 грн/год, вартість електроенергії – 11 грн/кВт·год, сумарну потужність обладнання – 20 кВт. За результатами розрахунку рентабельність становить близько 40 %, а строк окупності капітальних вкладень – приблизно 1,02 року. Отже, запропонована технологія ремонту є технічно обґрунтованою, безпечною для виконання та економічно ефективною для підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтегрований звіт ДТЕК 2016 Фінансові та нефінансові результати, [Електронний ресурс]: режим доступу <http://www.dtek.com/> 101 с.
2. [Електронний ресурс]: режим доступу <http://kartagoroda.com.ua/>.
3. [Електронний ресурс]: режим доступу Центральний район (Дніпро) <https://ru.wikipedia.org/wiki>
4. Бондар В.М. Практична електротехніка для робітничих професій: [Підруч. для учнів проф.-навч. закладів з різноманіт. галузей пром.-сті та побут, обслуг] / Бондар В.М., Гаврилюк В.А., та ін. - К.: Веселка, 1997. - 191 с.
5. Єгоров Г.П. Пристрій, монтаж, експлуатація та ремонт промислових електроустановок [Підручник для професійно-технічних учбових закладів та підгот. робітників на виробі] / Єгоров Г.П., Коварський О.І. М., "Вища школа", 1972 (І кв.) 352 с. з ілл.
6. Череп А.А. Аналітичне дослідження надійності електрообладнання машинно-тракторного парку та шляхи її підвищення [Текст] / А.А. Череп, Є.В. Калганков // Zbior artykułow naukowych. Konferencji Miedzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Inżynieria i technologia. Współczesne tendencje w nauce i edukacji». Warszawa: Sp. zo.o. «Diamond trading tour»: 2016. – С. 19–23.
7. Кисаримов Р.А. Довідник електрика / Кисаримов Р.А. К.: Веселка, 1998. - 253 с.
8. Крючков І.П. Електрична частина електростанцій і підстанцій. Довідкові матеріали для курсового та дипломного проектування [Навч. посібник для електроенергетичних спеціальностей ВНЗ] / Крючков І.П., Кувшинський М.М., Неклепаєв Б.М.; За ред. Б.М. Неклепаєва - 3-тє изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1978 - 300 с.
9. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

10. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ. — 2013. — №108. — С. 133-142.

11. Ремонт машин. Дипломне проектування: навчально-методичний посібник / [Кобець А.С., Дирда В.І., Сокол С.П та ін.]. — Дніпропетровськ: Журфонд, 2016. — 284 с.

12. Проектування сервісних підприємств ремонту машин та агрегатів АПК: навчальний посібник / [Дирда В.І., Калганков Є.В., Мельянцов П.Т. та інші] — Д.: «Герда», 2014. — 100 с.

13. [Електронний ресурс]: режим доступу <http://energo.ucoz.ua/publ/32-1-0>.

14. [Електронний ресурс]: режим доступу <http://electromash.com/catalog/oborudovanie-dlya-remonta-elektrovdigatelej-do-100-kvt/04.02.29-standart-universalnyj>

15. Кагадій С.В. Основи механіки матеріалів і конструкцій: навчальний посібник / Кагадій С.В., Демяненко А.Г., Гурідова В.О. — Дніпропетровськ : Вид-во Свідлер А.Л., 2011. — 416 с.

16. Деталі машин: підручник / [Дирда В.І., Овчаренко Ю.М., Рижков Є.І. та ін.]. — Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2010. — 308 с.

17. Годяєв С. Г. Методичні вказівки до написання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах студентів інженерно-технологічного факультету, ОКР бакалавр за напрям підготовки: 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва». / С.Г. Годяєв, Л.Д. Устимович. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. — 21 с.

18. Лебеденко О.В. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних проектів і робіт для студентів факультету механізації сільського господарства, (кафедра надійності і ремонту машин) за напрямом підготовки "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / Лебеденко О.В. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. — 16 с.

19. Калганков Є.В. Проектування ремонтно-технологічної документації / Є.В. Калганков, М.Г. Зайцев. Дніпро. ДДАЕУ, 2016. – 48 с.
20. Пат. № 144310 Україна, G01N 3/56 (2006.01) Машина тертя / Калганков Є.В.; Грачова В.М.; Косенко А.В. - u202001408; заявл. 20.03.2020; опубл. 25.09.2020, бюл. № 18; 4 с.
21. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. – 2010. – С. 84–87.
22. Aliiev, E., Chernii, O., & Kalhankov, Y. (2024). Experimental testing of the quality of elastomeric seals of the o-ring type of modern auto-tractor internal combustion engines. National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines, (54), 63–76. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.63-76>
23. Kalhankov, Ye.V.(2017), “Features of fractal analysis of fractured surfaces of the rubber liners, which work in conditions of abra-sive and fatigue wear”, Geo-Technical Mechanics, no. 133, pp. 66-74.

ДОДАТКИ

Перв. примен.				
Справ. №				
Подп. и дата				
Взам. инв. №				
Инв. № дубл.				
Подп. и дата				
Инв. № подл.				

Потужність Р, кВт	Число обертів двигунів n, хв-1	Кількість машин, що проходять капіталь-ний ремонт, шт.	Кількість машин, що проходять поточний ремонт, шт.
Для електродвигунів з n=3000 об/хв			
0,55	3000	51,1	109,5
0,75	3000	52,2	111,9
1,10	3000	53,3	114,3
1,50	3000	54,4	116,7
2,20	3000	55,6	119,1
3,00	3000	56,7	121,4
4,00	3000	57,8	123,8
5,50	3000	58,9	126,2
7,50	3000	60,0	128,6
11,0	3000	61,1	130,9
15,0	3000	62,2	133,9
18,5	3000	63,3	135,7
22,0	3000	64,4	138,1
30,0	3000	65,6	140,5
37,0	3000	66,7	142,9
Для електродвигунів з n=1500 об/хв			
0,55	1500	66,7	142,9
0,75	1500	65,6	140,5
1,10	1500	64,4	138,1
1,50	1500	63,3	135,7
2,20	1500	62,2	133,9
3,00	1500	61,1	130,9
4,00	1500	60,0	128,6
5,50	1500	58,9	126,2
7,50	1500	57,8	123,8
11,0	1500	56,7	121,4
15,0	1500	55,6	119,1
18,5	1500	54,4	116,7
22,0	1500	53,3	114,3
30,0	1500	52,2	111,9
37,0	1500	51,1	109,5
Для електродвигунів з n=1000 об/хв			
0,55	1000	40,0	85,7

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Костирига О.С.		
Проб.		Черний О.А.		
Н.контр.		Ивлева В.В.		
Утв.		Дудин В.Ю.		

46ДП.195 000. 000

Додаток А

Лит.

Лист

Листов

1

2

ДДАЕУ

Копировал

Формат А4

Потужність Р, кВт	Число обертів двигунів n, хв-1	Кількість машин, що проходять капітальний ремонт, шт.	Кількість машин, що проходять поточний ремонт, шт.
0,75	1000	41,1	88,1
1,10	1000	42,2	90,5
1,50	1000	43,3	92,9
2,20	1000	44,4	95,2
3,00	1000	45,6	97,6
4,00	1000	46,7	100,0
5,50	1000	47,8	102,4
7,50	1000	48,9	104,8
11,0	1000	50,0	107,1
15,0	1000	51,1	109,5
18,5	1000	52,2	111,9
22,0	1000	53,3	114,3
30,0	1000	54,4	116,7
37,0	1000	55,6	119,1
Для електродвигунів з n=750 об/хв			
0,55	750	55,6	119,1
0,75	750	54,4	116,7
1,10	750	53,3	114,3
1,50	750	52,2	111,9
2,20	750	51,1	109,5
3,00	750	50,0	107,1
4,00	750	48,9	104,8
5,50	750	47,8	102,4
7,50	750	46,7	100,0
11,0	750	45,6	97,6
15,0	750	44,4	95,2
18,5	750	43,3	92,9
22,0	750	42,2	90,5
30,0	750	41,1	88,1
37,0	750	40,0	85,7
Разом	Разом:	3200,0	6857,1

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

46ДП.195 000. 000	Лист
	2

Перв. примен.	Стор. №	Потужність P , кВт	Число обертів двигунів n , хв-1	Трудомісткість капітального ремонту M , люд.год.	Трудомісткість поточного ремонту m , люд.год.
		1	2	3	4
		Для електродвигунів з $n=3000$ об/хв			
		0,55	3000	8,8	1,6
		0,75	3000	8,8	1,6
		1,10	3000	9,6	1,6
		1,50	3000	9,6	1,6
		2,20	3000	10,4	2,4
		3,00	3000	10,4	2,4
		4,00	3000	12,0	2,4
		5,50	3000	12,0	2,4
		7,50	3000	16,0	3,2
		11,0	3000	21,6	4,8
		15,0	3000	21,6	4,8
		18,5	3000	25,6	5,6
		22,0	3000	25,6	5,6
		30,0	3000	32,0	6,4
		37,0	3000	37,6	8,0
		Для електродвигунів з $n=1500$ об/хв			
		0,55	1500	12,1	2,2
		0,75	1500	12,1	2,2
		1,10	1500	13,2	2,2
		1,50	1500	13,2	2,2
		2,20	1500	14,3	3,3
		3,00	1500	14,3	3,3
		4,00	1500	16,5	3,3
		5,50	1500	16,5	3,3
		7,50	1500	22,0	4,4
		11,0	1500	29,7	6,6
		15,0	1500	29,7	6,6
18,5	1500	35,2	7,7		
22,0	1500	35,2	7,7		
30,0	1500	44,0	8,8		
37,0	1500	51,7	11,0		
Для електродвигунів з $n=1000$ об/хв					
0,55	1000	12,1	2,2		
0,75	1000	12,1	2,2		

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	46ДП.195 000. 000		
Разраб.	Костиця О.С.			Додаток Б		
Проб.	Черний О.А.					
Н.контр.	Івлєв В.В.			ДДАЕУ		
Утв.	Дудін В.Ю.					

Лист	Лист	Листов
1	1	2

<i>Потужність Р, кВт</i>	<i>Число обертів двигунів n, хв-1</i>	<i>Трудомісткість капітального ремонту М, люд. год.</i>	<i>Трудомісткість поточного ремонту m, люд. год.</i>
1	2	3	4
1,10	1000	13,2	2,2
1,50	1000	13,2	2,2
2,20	1000	14,3	3,3
3,00	1000	14,3	3,3
4,00	1000	16,5	3,3
5,50	1000	16,5	3,3
7,50	1000	22,0	4,4
11,0	1000	29,7	6,6
15,0	1000	29,7	6,6
18,5	1000	35,2	7,7
22,0	1000	35,2	7,7
30,0	1000	44,0	8,8
37,0	1000	51,7	11,0
<i>Для електродвигунів з n=750 об/хв</i>			
0,55	750	13,2	2,4
0,75	750	13,2	2,4
1,10	750	14,4	2,4
1,50	750	14,4	2,4
2,20	750	15,6	3,6
3,00	750	15,6	3,6
4,00	750	18,0	3,6
5,50	750	18,0	3,6
7,50	750	24,0	4,8
11,0	750	32,4	7,2
15,0	750	32,4	7,2
18,5	750	38,4	8,4
22,0	750	38,4	8,4
30,0	750	48,0	9,6
37,0	750	56,4	12,0

И-д. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	И-д. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

46ДП.195 000. 000

Лист
2

Копировал

Формат А4

Період, примеч.																																																																																																																																																								
Спроб. №																																																																																																																																																								
Підп. і дата																																																																																																																																																								
Взам. инв. №																																																																																																																																																								
Підп. і дата																																																																																																																																																								
Инв. № подл.																																																																																																																																																								
<table><tr><th>Потужність Р, кВт</th><th>Число обертів двигунів n, хв-1</th><th>Трудомісткість капітального ремонту, люд. год</th><th>Трудомісткість поточного ремонту, люд. год</th></tr><tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><td colspan="4">Для електродвигунів з n=3000 об/хв</td></tr><tr><td>0,55</td><td>3000</td><td>449,8</td><td>175,2</td></tr><tr><td>0,75</td><td>3000</td><td>459,6</td><td>179,0</td></tr><tr><td>1,10</td><td>3000</td><td>512,0</td><td>182,9</td></tr><tr><td>1,50</td><td>3000</td><td>522,7</td><td>186,7</td></tr><tr><td>2,20</td><td>3000</td><td>577,8</td><td>285,7</td></tr><tr><td>3,00</td><td>3000</td><td>589,3</td><td>291,4</td></tr><tr><td>4,00</td><td>3000</td><td>693,3</td><td>297,1</td></tr><tr><td>5,50</td><td>3000</td><td>706,7</td><td>302,9</td></tr><tr><td>7,50</td><td>3000</td><td>960,0</td><td>411,4</td></tr><tr><td>11,0</td><td>3000</td><td>1320,0</td><td>628,6</td></tr><tr><td>15,0</td><td>3000</td><td>1344,0</td><td>640,0</td></tr><tr><td>18,5</td><td>3000</td><td>1621,3</td><td>760,0</td></tr><tr><td>22,0</td><td>3000</td><td>1649,8</td><td>773,3</td></tr><tr><td>30,0</td><td>3000</td><td>2097,8</td><td>899,0</td></tr><tr><td>37,0</td><td>3000</td><td>2506,7</td><td>1142,9</td></tr><tr><td colspan="4">Для електродвигунів з n=1500 об/хв</td></tr><tr><td>0,55</td><td>1500</td><td>806,7</td><td>314,3</td></tr><tr><td>0,75</td><td>1500</td><td>793,2</td><td>309,0</td></tr><tr><td>1,10</td><td>1500</td><td>850,7</td><td>303,8</td></tr><tr><td>1,50</td><td>1500</td><td>836,0</td><td>298,6</td></tr><tr><td>2,20</td><td>1500</td><td>889,8</td><td>440,0</td></tr><tr><td>3,00</td><td>1500</td><td>873,9</td><td>432,1</td></tr><tr><td>4,00</td><td>1500</td><td>990,0</td><td>424,3</td></tr><tr><td>5,50</td><td>1500</td><td>971,7</td><td>416,4</td></tr><tr><td>7,50</td><td>1500</td><td>1271,1</td><td>544,8</td></tr><tr><td>11,0</td><td>1500</td><td>1683,0</td><td>801,4</td></tr><tr><td>15,0</td><td>1500</td><td>1650,0</td><td>785,7</td></tr><tr><td>18,5</td><td>1500</td><td>1916,4</td><td>898,3</td></tr><tr><td>22,0</td><td>1500</td><td>1877,3</td><td>880,0</td></tr><tr><td>30,0</td><td>1500</td><td>2297,8</td><td>984,8</td></tr><tr><td>37,0</td><td>1500</td><td>2642,4</td><td>1204,8</td></tr><tr><td colspan="4">Для електродвигунів з n=1000 об/хв</td></tr><tr><td>0,55</td><td>1000</td><td>484,0</td><td>188,6</td></tr><tr><td>0,75</td><td>1000</td><td>497,4</td><td>193,8</td></tr></table>					Потужність Р, кВт	Число обертів двигунів n, хв-1	Трудомісткість капітального ремонту, люд. год	Трудомісткість поточного ремонту, люд. год	1	2	3	4	Для електродвигунів з n=3000 об/хв				0,55	3000	449,8	175,2	0,75	3000	459,6	179,0	1,10	3000	512,0	182,9	1,50	3000	522,7	186,7	2,20	3000	577,8	285,7	3,00	3000	589,3	291,4	4,00	3000	693,3	297,1	5,50	3000	706,7	302,9	7,50	3000	960,0	411,4	11,0	3000	1320,0	628,6	15,0	3000	1344,0	640,0	18,5	3000	1621,3	760,0	22,0	3000	1649,8	773,3	30,0	3000	2097,8	899,0	37,0	3000	2506,7	1142,9	Для електродвигунів з n=1500 об/хв				0,55	1500	806,7	314,3	0,75	1500	793,2	309,0	1,10	1500	850,7	303,8	1,50	1500	836,0	298,6	2,20	1500	889,8	440,0	3,00	1500	873,9	432,1	4,00	1500	990,0	424,3	5,50	1500	971,7	416,4	7,50	1500	1271,1	544,8	11,0	1500	1683,0	801,4	15,0	1500	1650,0	785,7	18,5	1500	1916,4	898,3	22,0	1500	1877,3	880,0	30,0	1500	2297,8	984,8	37,0	1500	2642,4	1204,8	Для електродвигунів з n=1000 об/хв				0,55	1000	484,0	188,6	0,75	1000	497,4	193,8
Потужність Р, кВт	Число обертів двигунів n, хв-1	Трудомісткість капітального ремонту, люд. год	Трудомісткість поточного ремонту, люд. год																																																																																																																																																					
1	2	3	4																																																																																																																																																					
Для електродвигунів з n=3000 об/хв																																																																																																																																																								
0,55	3000	449,8	175,2																																																																																																																																																					
0,75	3000	459,6	179,0																																																																																																																																																					
1,10	3000	512,0	182,9																																																																																																																																																					
1,50	3000	522,7	186,7																																																																																																																																																					
2,20	3000	577,8	285,7																																																																																																																																																					
3,00	3000	589,3	291,4																																																																																																																																																					
4,00	3000	693,3	297,1																																																																																																																																																					
5,50	3000	706,7	302,9																																																																																																																																																					
7,50	3000	960,0	411,4																																																																																																																																																					
11,0	3000	1320,0	628,6																																																																																																																																																					
15,0	3000	1344,0	640,0																																																																																																																																																					
18,5	3000	1621,3	760,0																																																																																																																																																					
22,0	3000	1649,8	773,3																																																																																																																																																					
30,0	3000	2097,8	899,0																																																																																																																																																					
37,0	3000	2506,7	1142,9																																																																																																																																																					
Для електродвигунів з n=1500 об/хв																																																																																																																																																								
0,55	1500	806,7	314,3																																																																																																																																																					
0,75	1500	793,2	309,0																																																																																																																																																					
1,10	1500	850,7	303,8																																																																																																																																																					
1,50	1500	836,0	298,6																																																																																																																																																					
2,20	1500	889,8	440,0																																																																																																																																																					
3,00	1500	873,9	432,1																																																																																																																																																					
4,00	1500	990,0	424,3																																																																																																																																																					
5,50	1500	971,7	416,4																																																																																																																																																					
7,50	1500	1271,1	544,8																																																																																																																																																					
11,0	1500	1683,0	801,4																																																																																																																																																					
15,0	1500	1650,0	785,7																																																																																																																																																					
18,5	1500	1916,4	898,3																																																																																																																																																					
22,0	1500	1877,3	880,0																																																																																																																																																					
30,0	1500	2297,8	984,8																																																																																																																																																					
37,0	1500	2642,4	1204,8																																																																																																																																																					
Для електродвигунів з n=1000 об/хв																																																																																																																																																								
0,55	1000	484,0	188,6																																																																																																																																																					
0,75	1000	497,4	193,8																																																																																																																																																					
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">46ДП.195 000. 000</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td rowspan="4">Додаток В</td><td>Лит.</td><td>Лист</td><td>Листов</td></tr><tr><td>Разраб.</td><td></td><td>Костиця О.С.</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>Проб.</td><td></td><td>Черній О.А.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Н.контр.</td><td></td><td>Івлєв В.В.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Утв.</td><td></td><td>Людін В.Ю.</td><td></td><td></td><td>Копирвал</td><td colspan="3">Формат А4</td></tr></table>										46ДП.195 000. 000			Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Додаток В	Лит.	Лист	Листов	Разраб.		Костиця О.С.				1	2	Проб.		Черній О.А.						Н.контр.		Івлєв В.В.						Утв.		Людін В.Ю.			Копирвал	Формат А4																																																																																																				
					46ДП.195 000. 000																																																																																																																																																			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Додаток В	Лит.	Лист	Листов																																																																																																																																																
Разраб.		Костиця О.С.					1	2																																																																																																																																																
Проб.		Черній О.А.																																																																																																																																																						
Н.контр.		Івлєв В.В.																																																																																																																																																						
Утв.		Людін В.Ю.			Копирвал	Формат А4																																																																																																																																																		

Потужність Р, кВт	Число обертів двигунів n, хв-1	Трудомісткість капітального ремонту, люд. год	Трудомісткість поточного ремонту, люд. год
1	2	3	4
1,10	1000	557,3	199,0
1,50	1000	572,0	204,3
2,20	1000	635,6	314,3
3,00	1000	651,4	322,1
4,00	1000	770,0	330,0
5,50	1000	788,3	337,9
7,50	1000	1075,6	461,0
11,0	1000	1485,0	707,1
15,0	1000	1518,0	722,9
18,5	1000	1838,2	861,7
22,0	1000	1877,3	880,0
30,0	1000	2395,6	1026,7
37,0	1000	2872,2	1309,5
Для електродвигунів з n=750 об/хв			
0,55	750	733,3	285,7
0,75	750	718,7	280,0
1,10	750	768,0	274,3
1,50	750	752,0	268,6
2,20	750	797,3	394,3
3,00	750	780,0	385,7
4,00	750	880,0	377,1
5,50	750	860,0	368,6
7,50	750	1120,0	480,0
11,0	750	1476,0	702,9
15,0	750	1440,0	685,7
18,5	750	1664,0	780,0
22,0	750	1621,3	760,0
30,0	750	1973,3	845,7
37,0	750	2256,0	1028,6
Разом	Разом	72218,7	32170,5
М. ☐ ТР	☐ ТР	104389,1	104389,1

Инд. № подл.	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

46ДП.195 000. 000

Лист

2

Копіював

Формат А4

Стор. №	Пер. прим.	Вид робіт	Трудом істкість, люд. год.	Трудом істкість, люд. год.	Трудо місткість, люд. год.
		Очищення двигуна	722,2	321,7	1,0
		Розбирання, зняття підшипників, мийка вузлів і деталей, дефектовка	722,9	321,1	10,0
		Механічна обробка і зварювальні роботи	10110,6	4503,8	14,0
		Видалення обмотки статора, чищення пазів статора	5416,4	-	7,5
		Відновлення посадкових місць, напресування підшипників	1805,5	804,3	2,5
		Балансування ротора	1805,5	804,3	2,5
		Виготовлення і укладання обмотки, формування і бандажування лобових частин, прожка і ізоляція схеми	32498,4	-	45,0
		Просочення і сушіння обмотки	3610,9	-	5,0
		Складання двигуна	6680,2	2975,8	9,25
Нанесення гальванічних покриттів, фарбування двигуна	2347,1	1045,5	3,25		
Разом		72218,7	13672,5	100	

Розподіл основних робітників за професіями

Професії	Кількість, в %	Робітників, чол.
Електрообмотчики	40	5
Електрослюсарі	37	5
Електромонтери іспитової станції	3	1
Верстатники	5	1
Пропитчики	4	1
Інші	11	1

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Костиця О.С.		
Проб.		Черний О.А.		
Н.контр.		Юлев В.В.		
Утв.		Дудін В.Ю.		

46ДП.195 000. 000

Додаток Г

Лит.

Лист

Листов

1

ДДАЕУ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: студент 3го скороченого курсу,
групи АІС-4-23
Костиця Олег Сергійович

Керівник: старший викладач
Черній Олександр Анатолійович

Дніпро - 2026

