

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Розробка регламентованих режимів роботи технічного
обслуговування асинхронних двигунів»

КРБ.14ЕЕбд_41.02.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
спеціальності 141
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи *141ЕЕбд_41*
БОНДАРЕВСЬКИЙ Максим

Керівник: канд. фіз.-мат. наук, доцент
СЕМЕНОВ Анатолій

Полтава – 2025 року

ВСТУП

У сучасних умовах агропромислового виробництва все більшої актуальності набуває перехід до інтенсивних технологій вирощування та переробки сільськогосподарської продукції. Однією з ключових умов такого переходу є широке впровадження автоматизації технологічних процесів при зростанні обсягів використання електрообладнання, асинхронних електродвигунів.

За високого рівня електрооснащеності сільськогосподарського виробництва особливого значення набуває питання організації раціонального технічного обслуговування та своєчасного ремонту електродвигунів. Надійна та безперебійна робота асинхронних двигунів забезпечує ефективність технологічних процесів, знижує енергетичні витрати, мінімізує простой обладнання та витрати на капітальні ремонти.

Підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів можливе завдяки впровадженню системи регламентованого технічного обслуговування, яка базується на врахуванні умов експлуатації, використанні якісних електротехнічних матеріалів і дотриманні планово-попереджувального підходу до обслуговування.

У структурі агропромислового комплексу України на рівні областей і районів функціонують спеціалізовані підприємства для обслуговування і ремонту електрообладнання. Однак у більшості випадків їхнє оснащення не відповідає вимогам, необхідним для виконання капітального ремонту силового електрообладнання, зокрема асинхронних двигунів. З огляду на це виникає потреба у розробці ефективних регламентів технічного обслуговування, які можна реалізувати в умовах конкретного підприємства.

Мета роботи - розробити обґрунтовану систему регламентованих режимів технічного обслуговування асинхронних двигунів з урахуванням умов їх експлуатації, з метою забезпечення їх безперебійної, енергоощадної та надійної роботи в агропромисловому комплексі.

Об'єкт розробки - процес технічного обслуговування асинхронних електродвигунів, що застосовуються в сільськогосподарському та промисловому обладнанні.

Предмет розробки – регламентовані режими роботи технічного обслуговування асинхронних електродвигунів, спрямовані на підвищення їхньої надійності, енергоефективності та подовження строку експлуатації.

Методика досліджень. У процесі дослідження застосовувалися аналітичні методи аналізу науково-технічної літератури та нормативно-технічної документації, порівняльний аналіз експлуатаційних характеристик двигунів, а також елементи математичного моделювання для оптимізації періодичності технічного обслуговування.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі: проаналізувати технічні характеристики та умови експлуатації асинхронних електродвигунів; дослідити існуючі методи та режими технічного обслуговування асинхронних двигунів; оцінити вплив технічного обслуговування на надійність та ефективність роботи двигунів з урахуванням умов навантаження, робочого середовища та режиму роботи; розробити регламентовані режими технічного обслуговування, що передбачають оптимальні інтервали і обсяги обслуговування залежно від двигуна та умов експлуатації.

Практична значимість та реалізація досліджень. Розроблені регламенти технічного обслуговування можуть бути впроваджені у практику обслуговування електродвигунів у сільськогосподарських підприємствах з метою зниження простоїв обладнання, скорочення витрат на ремонти та підвищення загальної ефективності експлуатації електроприводних систем. Запропоновані підходи до регламентування можуть бути адаптовані до різних умов роботи електродвигунів і застосовані в службах енергетики та механізації, ремонту електрообладнання в умовах господарства або підприємства.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз та розрахунок об'єму ремонтних робіт електроремонтного підприємства

Річний обсяг робіт електроремонтного підприємства (ЕРП), що функціонує в агропромисловому комплексі, визначається за допомогою показників: номенклатури електрообладнання [1], обсягу ремонтного фонду за рік, а також трудомісткості та вартості виконання ремонтних операцій. Обсяг ремонтного фонду зазвичай обчислюється у формі умовних одиниць ремонту (УОР) або умовних одиниць електрообладнання (УОЕ) [2]. Трудові витрати на виконання ремонтів виражаються в людино-годинах, а загальна вартість — у грошовому еквіваленті (гривнях).

За стандартну одиницю виміру — одну УОР — приймаються трудозатрати на ремонт трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором закритого типу, потужністю 11 кВт, номінальною напругою 220/380 В і синхронною частотою обертання 1460 об/хв. Для такого двигуна характерна трудомісткість у межах 12,5 людино-годин на один ремонт. Інші типи електрообладнання, що використовуються в системах АПК, перераховуються в УОР із застосуванням спеціальних коефіцієнтів або за класифікацією ремонтної складності, що містяться у відповідних технічних довідниках і нормативних документах.

Для проведення розрахунку загального об'єму ремонтного фонду необхідно встановити структуру, типи та кількість електрообладнання [2], яке експлуатується в аграрних підприємствах, організаціях і установах району. У межах курсового або дипломного проекту відповідні дані щодо наявного електрообладнання подаються згідно з технічним завданням на проектування.

Результати розрахунку ремонтного фонду в умовних одиницях ремонту (УОР) наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Розрахунок об'єму ремонтних робіт з врахуванням наявного обладнання

Ремонтний фонд i -ої групи, шт., визначаємо [3]:

$$n_{pi} = 1,2 \frac{n_{Bi}}{T_{ци}}, \quad (1.1)$$

де n_{Bi} - кількість встановленого (використаного) електрообладнання i -ї групи, шт.; $T_{ци}$ - ремонтн. цикл i -ї групи, років. Так для АД з КЗ ротором до 1 кВт, отримаємо:

$$n_{pi} = 1,2 \frac{130}{5} = 31,2 \text{ УОР.}$$

Розрахуємо об'єм ремонтного фонду i -ї групи Q_i , УОР визначаємо:

$$Q_i = k_{pi} n_{pi}, \quad (1.2)$$

де k_{pi} - категорія ремонтної складності i -ої групи, УОР. Так для АД з КЗ ротором до 1 кВт, отримаємо:

$$Q_i = 0,75 \cdot 94,8 = 71,1 \text{ УОР.}$$

Розрахуємо річну виробничу програму ЕРП Q_p , УОР, визначаємо за формулою:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (1.3)$$

$$Q_p = 760,26 + 256,72 + 323,91 + 178,5 + 172,85 + 233,71 + 40,04 = 1965,99 \text{ УОР.}$$

1.2 Розрахунок трудомісткості ремонту електрообладнання і визначення складу ремонтного персоналу

Щорічна трудомісткість ремонтних робіт, що виконується електроремонтним підприємством (ЕРП), розраховується в людино-годинах за формулою [3]:

$$T_p = Q_p \tau_k, \quad (1.4)$$

де τ_k - трудомісткість капітального ремонту одного умовного одиничного ремонту (УОР), чол. · год.

Приймаємо = 12,5 чол. · год.

$$T_p = 1965,99 \cdot 12,5 = 24574,875 \text{ чол. год.}$$

Визначення необхідної чисельності виробничого персоналу N , осіб, здійснюється за формулою:

$$N = \frac{T_p}{\Phi}, \quad (1.5)$$

де Φ - річний фонд робочого часу одного працівника, год.

$$N = \frac{24574,875}{1723,36} = 14,3 \text{ чол.}$$

Приймається $N=14$ осіб.

Річний фонд робочого часу на одного працівника визначаємо за формулою:

$$\Phi = (d_K - d_B - d_C - d_{BП}) \cdot \tau \cdot \eta - \Delta t \cdot d_{ПС}, \quad (1.6)$$

де d_K - загальна кількість календарних днів на рік (365 днів); d_B - кількість вихідних днів у році; $d_B = 104$ днів; d_C - кількість офіційних святкових днів; $d_{BП}$ - тривалість щорічної відпустки, $d_{BП} = 24$ дні; $d_{ПС}$ - кількість скорочених передсвяткових днів; t - тривалість робочої зміни, год (8 годин); Δt - тривалість скорочення робочого часу у передсвяткові дні; η - коефіцієнт ефективного використання робочого часу, який приймається у межах 0,93-0,96.

$$\Phi = (365 - 104 - 10 - 24) \cdot 8 \cdot 0,96 - 2 \cdot 10 = 1723,36 \text{ год.}$$

Показники святкових та скорочених днів уточнюються за календарем поточного року. Тривалість зміни встановлюється як 8 годин. Скорочення робочого часу встановлено на рівні $\Delta t = 2$ год.

Після обчислення кількості необхідного виробничого персоналу формується штатна структура підприємства. Вона включає керівника, обслуговуючий молодший персонал, а також (за потреби) лічильно-контрольних працівників.

У випадку, якщо річна програма підприємства не перевищує 2500 УОР, функції керівника може виконувати технік-електрик. Якщо ж обсяг перевищує вказане значення, до штату включається інженерно-технічний працівник (ІТП). За кожні додаткові 1750 УОР додається ще одна штатна одиниця інженера-електрика.

Молодший обслуговуючий персонал призначається з розрахунку одна штатна одиниця на кожні 650 УОР. Лічильно-контрольний персонал вводиться при річному обсязі понад 2500 УОР – одна штатна одиниця на кожні 2500 УОР.

Виробничий штат ЕРП складається з електрослюсарів, працівників, які займаються ремонтом обмоток, електромонтерів, верстатників та фахівців інших технічних напрямів. Орієнтовний розподіл працівників за спеціальностями представлений у відсотковому співвідношенні: електрослюсарі - 20% загальної чисельності; персонал з ремонту обмоток - 40%; електромонтери - 10%; верстатники - 15%; інші спеціалісти - 15%.

З огляду на обсяг виробничої програми, що не перевищує 2500 УОР, визначено доцільним призначення техника-електрика як керівника підприємства, однієї штатної одиниці молодшого обслуговуючого персоналу, а потреба в лічильно-контрольному персоналі відсутня. Склад необхідного виробничого персоналу представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Склад виробничого персоналу ЕРП господарства

1.3 Вибір типу електроремонтного підприємства та побудова схеми технологічного процесу, компонування виробничих ділянок ЕРП

Тип електроремонтного підприємства (ЕРП) обирається відповідно до річного обсягу виробничої програми. За умови, що річна програма становить 1965,99 умовних одиниць ремонту (УОР), доцільно обрати електроремонтну майстерню, яка відповідає такому рівню завантаження [2].

Технологічний процес ремонту електрообладнання описується послідовністю операцій. Структура технологічного процесу включає всі основні

та допоміжні етапи ремонту і відображає логіку переміщення виробів між дільницями. Візуальне представлення технологічної схеми наведено на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1 - Схема технологічного процесу

Виробничою дільницею вважається функціонально виділена частина площі електроремонтного підприємства, на якій розміщується однотипне обладнання та виконуються певні технологічні операції. Конкретний перелік дільниць визначається на основі обраної схеми технологічного процесу.

Для підприємства, що спеціалізується на ремонті асинхронних електродвигунів, типовий набір дільниць включає:

- розбірно-складальну,
- обмотувальну,
- дільницю просочення і сушки,
- малярну,
- контрольно-випробувальну,
- слюсарно-механічну,
- зварювальну.

У разі ширшого профілю діяльності ЕРП, можливе доповнення структури такими відділеннями, як:

- дільниця ремонту силових трансформаторів,
- ремонтна зона апаратури керування,
- дільниця ремонту зварювальних трансформаторів,
- ремонт побутових та водонагрівальних приладів,
- дільниця ремонту електрообладнання тракторів і автомобілів,
- аккумуляторна.

Крім виробничих зон, проектування ЕРП передбачає побутові та адміністративні приміщення: душові, умивальники, вбиральні, кімнати відпочинку, офіси для інженерно-технічного персоналу та лічильно-контрольних працівників. Також обов'язковими є складські приміщення для зберігання ремонтного фонду, матеріалів, готової продукції та інструменту.

Загальна площа приміщень ЕРП визначається за формулою:

$$F = F_B + F_C + F_{\text{П}}, \quad (1.7)$$

де F_B - площа виробничих приміщень, м²; F_C - площа складських приміщень, м²; $F_{\text{П}}$ - площа побутових приміщень, м².

$$F = 178,91 + 27,73 + 20 = 226,64 \text{ м}^2.$$

Розрахунок площі виробничих приміщень F_B , проводиться за формулою:

$$F_B = \sum_{i=1}^n f_{Bi} \cdot Q_P, \quad (1.8)$$

де f_{Bi} - питома площа i -ї ділянки, м²/УОР.

Значення питомих площ беруться з табличних даних (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 - Перелік ділянок електроремонтної майстерні господарства

Площі, розраховані для виробничих ділянок, представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Площі основних виробничих ділянок ЕПР

Таким, чином загальна площа виробничих приміщень складає:

$$F_B = 0,025 \cdot 1965,99 + 0,01 \cdot 1965,99 + 0,01 \cdot 1965,99 + 0,02 \cdot 1965,99 \\ + 0,008 \cdot 1965,99 + 0,008 \cdot 1965,99 + 0,01 \cdot 1965,99 = 178,91 \text{ м}^2.$$

Питомі площі для ділянок визначаються відповідно до галузевих рекомендацій. За необхідності, у межах ремонтної майстерні допускається об'єднання суміжних ділянок в одне приміщення з метою раціонального використання простору. У випадках, коли обсяг річної програми перевищує 3000 УОР, доцільно передбачити додаткові ділянки.

Загальна площа складських приміщень F_C , визначаємо за формулою:

$$F_C = \sum_{i=1}^n \frac{F_B \cdot f_{Ci}}{100}, \quad (1.9)$$

де f_{ci} - відсоткове співвідношення площі і-го складського приміщення до площі виробничих ділянок.

Значення коефіцієнтів подано у таблиці 1.5.

Загальна площа складських приміщень

$$F_c = \frac{178,91 \cdot 3,3}{100} + \frac{178,91 \cdot 3,8}{100} + \frac{178,91 \cdot 1,7}{100} + \frac{178,91 \cdot 1,7}{100} + \frac{178,91 \cdot 3,8}{100} + \frac{178,91 \cdot 0,5}{100} + \frac{178,91 \cdot 0,7}{100} = 27,73 \text{ м}^2.$$

З метою оптимізації простору в межах одного приміщення об'єднуються наступні складські зони: інструментальний, матеріальний, склад ПММ та господарських матеріалів.

Таблиця 1.5 - Номенклатура складських приміщень ЕРП

Результати розрахунку площ приміщень наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Площі складських приміщень

Площі побутових приміщень визначаються за нормативами на одного працівника: для кімнат ІТП – 5 м²/особу; для приміщень лічильно-контрольного персоналу – 3 м²/особу; гардеробна – 0,05 м²/особу; умивальники – 0,05 м²/особу; кімната відпочинку – 0,5 м²/особу; душова – 1 м² на 15 працівників; туалет – 2,5 м² на 25 працівників.

Загальна площа побутових приміщень повинна відповідати санітарним нормам (не менше 3 м² на особу). Уточнені дані наведено в таблиці 1.7.

Після розрахунків площ здійснюється компонування ремонтного підприємства з урахуванням технологічного процесу. Принцип компонування полягає у забезпеченні зручного вантажопотоку, раціонального розміщення ділянок і відповідності будівельним нормам (ширина кратна 3 або 6 м; співвідношення довжини до ширини — не більше 3:1).

Ділянки поділяються на: основні, через які проходить основний технологічний потік (розбірно-складальна, зварювальна, обмотувальна,

випробувальна тощо); допоміжні, де виконуються другорядні роботи (слюсарна, акумуляторна, побутові зони тощо).

Всі основні зони повинні бути об'єднані відкритим простором без капітальних перегородок для зручності переміщення обладнання. Допоміжні приміщення, навпаки, ізолюються капітальними стінами. Процес планування передбачає: визначення габаритів будівлі; розміщення основних і допоміжних ділянок за ходом технологічного потоку; врахування місць для транспортного забезпечення і побутових зон.

1.4 Вибір і розміщення технологічного обладнання

На основі прийнятої технологічної схеми виконання ремонтних робіт здійснюється добір необхідного технологічного обладнання для електроремонтного підприємства (ЕРП). Обладнання класифікується за функціональним призначенням на п'ять основних категорій:

типове (стандартне) технологічне обладнання;

нестандартне спеціалізоване обладнання;

допоміжний інвентар;

пристрої;

спеціальні інструменти та контрольно-вимірювальні прилади.

Сучасне оснащення електроремонтних майстерень є надзвичайно різноманітним. Воно охоплює транспортні засоби (автомобілі, трактори, електрокари тощо), підйомно-транспортне устаткування (кран-балки, тельфери, мостові крани, консольні підйомники, візки), а також технологічне обладнання різного призначення.

У слюсарно-механічному відділенні використовуються металорізальні верстати: токарні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні, а також ножиці (гільйотинні, дискові) і пресове обладнання для демонтажних робіт.

Обладнання для намотування та ізоляції включає верстати для виготовлення обмоток, пристрої для ізоляції дроту, машини для бандажування лобових частин, клинопреси, поворотні столи тощо. У зоні просочення та сушки

передбачено встановлення печей, камер, ванн для лакування, резервуарів і пульверизаторів.

Для дільниці очищення та розбирання електродвигунів передбачено: мийні машини, пристрої для видалення старих обмоток, компресори, вентиляційне обладнання, печі для випалювання ізоляції та піскоструменеві апарати.

На контрольно-випробувальній станції встановлюють стенди для тестування після ремонту, електровимірювальні прилади, балансувальні машини, а також спеціалізовані установки для перевірки якості виконаних робіт.

Склад обраного технологічного обладнання має відповідати прийнятій номенклатурі ремонтного фонду та технологічному маршруту ремонту.

Обладнання підбирається за типовими каталогами та спеціалізованою технічною літературою. Перелік відібраного устаткування наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Список технологічного обладнання для ЕРП

Усе вибране обладнання розподіляється відповідно до функціонального призначення по дільницях або відділеннях майстерні. Після цього складається план розміщення обладнання, який включає специфікацію й послідовність розміщення.

Під час розстановки устаткування обов'язково враховуються вимоги техніки безпеки та будівельні норми, зокрема:

мінімальна відстань від обладнання до стін — 0,5 м;

ширина проходів між обладнанням — не менше 0,7 м;

ширина проїздів — 1,5–2,0 м.

Після завершення розміщення устаткування уточнюється загальна площа виробничих приміщень. У разі потреби виконується її коригування з урахуванням просторового розміщення обладнання. Приймаємо габарити майстерні: довжина $a=18$ м, ширина $b=12$ м. Отже, уточнена площа становить $F = 216$ м².

Висновки до розділу 1

Проведено оцінку та розрахунок річного обсягу ремонтних робіт у вигляді умовних одиниць ремонту (УОР) для основних типів електрообладнання, яке використовується в агропромисловому комплексі. Загальний обсяг ремонтного фонду склав 1965,99 УОР, що свідчить про значну потребу в плановому технічному обслуговуванні та відновленні електромеханічного устаткування.

Визначено трудомісткість ремонтних операцій та обґрунтовано необхідну чисельність виробничого персоналу. Загальні трудові витрати склали 24574,875 людино-годин, що відповідає потребі у 14 фахівцях різного профілю. Склад персоналу сформовано з урахуванням професійної структури ремонтних підрозділів.

Обрано оптимальний тип електроремонтного підприємства – електроремонтну майстерню, яка повністю відповідає обсягу річної програми ремонту. Розроблено технологічну схему процесу ремонту з поділом на основні та допоміжні дільниці.

Розраховано загальну площу електроремонтного підприємства, що становить 226,64 м², з яких 178,91 м² займають виробничі дільниці, 27,73 м² – складські приміщення, а 20 м² – побутова зона. Просторове планування забезпечує оптимальну організацію технологічного потоку та дотримання санітарно-технічних вимог.

Здійснено підбір та обґрунтування номенклатури технологічного обладнання для кожної дільниці майстерні. Враховано вимоги безпечної експлуатації, ефективного використання площ і відповідності функціональному призначенню. Обладнання згруповано за основними категоріями: стандартне, спеціалізоване, допоміжне, вимірювальне та монтажньо-демонтажне.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

2.1 Визначення площі перерізу елементів магнітного кола

Розрахунок починається з визначення площі паза трапецієподібної форми [5], яка обчислюється за стандартною геометричною формулою:

$$Q_n = 0,5 \cdot (b_1 + b_2) \cdot h \quad (2.1)$$

$$Q_n = 0,5 \cdot (6,1 + 9,2) \cdot 17,8 = 136,17 \text{ мм}^2.$$

Розмір поперечного перерізу спинки статора визначається наступним чином:

$$Q_c = h_c \cdot l_0, \quad (2.2)$$

де: h_c – висота спинки статора, мм; l_0 – активна довжина статора, мм.

З урахуванням конкретних параметрів маємо:

$$h_c = 0,5 \cdot (D_a - D - 2h). \quad (2.3)$$

$$h_c = 0,5 \cdot (225 - 145 - 2 \cdot 17,8) = 22,2 \text{ мм}.$$

$$l_0 = k_c \cdot l_1, \quad (2.4)$$

де $k_c = 0,97$ — коефіцієнт, що враховує втрати площі через ізоляцію між листами осердя, згідно з [1].

$$l_0 = 0,97 \cdot 160 = 155,2 \text{ мм}.$$

$$Q_c = 22,2 \cdot 155,2 = 3445,44 \text{ мм}^2.$$

Далі визначається площа перерізу зубців, що припадають на один полюс:

$$Q_3 = \frac{b_{3c} \cdot z_1 \cdot l_0}{2p}, \quad (2.5)$$

де b_{3c} - середня ширина зубця, мм;

$$b_{3c} = \frac{\pi(D+h_3)}{z_1} - \frac{b_1+b_2}{2}. \quad (2.6)$$

$$h_3 = h + e, \quad (2.7)$$

де h_3 - висота зубця, мм; $h_3 = 17,8 + 1 = 18,8$ мм.

Середня ширина зубця обчислюється за виразом:

$$b_{3c} = \frac{3,14 \cdot (145 + 18,8)}{36} - \frac{6,1 + 9,2}{2} = 6,64 \text{ мм.}$$

Розрахована площа під одним полюсом становить:

$$Q_3 = \frac{6,64 \cdot 36 \cdot 155,2}{4} = 9274,75 \text{ мм}^2.$$

2.2 Вибір типу та схеми обмотки статора

Тип обмотки для асинхронного електродвигуна серії 4А підбирається з урахуванням висоти осі обертання H та кількості полюсів [6]. Оскільки в нашому випадку $H = 132$ мм, а $2p = 4$, доцільно застосувати одношарову концентричну обмотку, згідно з рекомендаціями [7].

На основі вхідних даних (кількість фаз $m_1=3$, кількість пазів $z_1=36$, кількість полюсів $2p=4$) виконується визначення кроку обмотки та розрахунок кількості пазів на полюс на фазу: $q = z_1 / (2p \times m_1)$

Розраховується також повний та скорочений крок обмотки:

$$y = \frac{z_1}{2p} = \frac{36}{4} = 9. \quad (2.8)$$

З врахуванням скорочення приймаємо:

$$y_1 = \frac{36}{4} \cdot 0,83 = 7,5.$$

Приймаємо крок $y=8$.

$$q = \frac{z_1}{m_1 \cdot 2p} = \frac{36}{3 \cdot 4} = 3. \quad (2.9)$$

2.3 Визначення кількості витків фази обмотки статора

Для розрахунку кількості витків у фазі обмотки статора попередньо визначається величина основного магнітного потоку асинхронного електродвигуна [8].

Значення амплітуди магнітного потоку обчислюється за формулою:

$$\Phi = \alpha_{\delta} \cdot \tau \cdot l_1 \cdot B_{\delta}, \quad (2.10)$$

де α_{δ} - коефіцієнт перекриття полюсів (для машин із середнім рівнем насичення приймається 0,7 згідно з [10]); τ - полюсний крок машини, м; B_{δ} – амплітудне значення магнітної індукції в повітряному зазорі, Тл. При цьому

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}. \quad (2.11)$$

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 145}{4} = 113,83 \text{ мм} = 0,114 \text{ м}.$$

Величина магнітної індукції B_{δ} заздалегідь вибирається з урахуванням габариту і числа полюсів АД, $B_{\delta} = 0,89$ Тл згідно з [7]. Обрану величину необхідно перевірити по допустимих значеннях магнітної індукції в зубцях і спинці статора за умовами:

$$B_3 = \frac{B_{\delta} \cdot \tau \cdot l_1}{Q_3} \leq [B_3]_{\text{доп}} \quad (2.12)$$

$B_3 = 1,75$ - допускається з відхиленням від норми (1,8...2,0 Тл);

$$B_c = \frac{\alpha_{\delta} \cdot B_{\delta} \cdot \tau \cdot l_1}{2Q_c} \leq [B_c]_{\text{доп}}. \quad (2.13)$$

$B_c = 1,65$ Тл. що трохи виходить за межі рекомендованого інтервалу (1,4...1,6 Тл), але може бути прийнята за допустимого відхилення.

Основний магнітний потік Φ , Вб:

$$\Phi = 0,7 \cdot 0,114 \cdot 0,16 \cdot 0,89 = 0,01136 = 11,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$$

Після цього розраховується кількість витків на фазу з використанням рівняння ЕРС:

$$E_{1\Phi} = K_E \cdot U_{1\Phi H} = 4,44 \cdot f_1 \cdot K_{об1} \cdot W_1 \cdot \Phi. \quad (2.14)$$

Звідки

$$W_1 = \frac{K_E \cdot U_{1\Phi H}}{4,44 \cdot f \cdot K_{об} \cdot \Phi} \quad (2.15)$$

де K_E - коефіцієнт ЕРС (приймаємо 0,94); $K_{об}$ - коефіцієнт обмотки (приймаємо 0,96); $f = 50$ Гц - частота мережі (50 Гц); $U_{1\Phi H}$ - номінальна фазна напруга, В. Отже, отримане значення становить ≈ 85 витків. Приймаємо $W = 85$ витків на фазу.

2.4 Вибір марки та перерізу обмотувального проводу

Вибір марки проводу базується на вимогах до термостійкості ізоляції. Для двигунів із висотою осі $H = 132$ мм і $2p = 4$ застосовується провід ПЕТВ-2 з класом ізоляції "В" і температурною стійкістю до 130 °С, відповідно до [1].

Ефективна кількість провідників у пазу визначається так:

$$N_{эф} = \frac{6 \cdot a \cdot W}{z_1}, \quad (2.16)$$

де a - число паралельних гілок обмотки [1];

$$N_{эф} = \frac{6 \cdot 2 \cdot 85}{36} = 28,3 \text{ шт.}$$

Переріз і діаметр ізольованого проводу визначається за формулами:

$$q_n = \frac{K_z \cdot Q_n}{N_{эф} \cdot \pi_{эл}} \quad (2.17)$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_n}{\pi}} \quad (2.18)$$

де $K_z = 0,43$ - коефіцієнт заповнення паза (для трапецієдального пазу);

$$q_n = \frac{0,43 \cdot 136,17}{28 \cdot 2} = 1,04 \text{ мм}^2.$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,04}{3,14}} = 1,15 \text{ мм.}$$

Рекомендовано використовувати дріт із діаметром не більше 1,7 мм при ручному укладанні та не більше 1,4 мм при машинному. Відповідно до табличних значень для дроту ПЕТВ-2 приймаємо:

$$d_n=1,15 \text{ мм}, d_z=1,06 \text{ мм}, q_z=0,883 \text{ мм}^2 \text{ (переріз без ізоляції)}.$$

Маса мідного обмотувального проводу без ізоляції, кг

$$G_M = 3 \cdot \gamma \cdot l_{cp} \cdot W_1 \cdot q_\Gamma \cdot n_{ел} \cdot a \cdot 10^{-6}, \quad (2.19)$$

де $\gamma = 8900 \text{ кг/м}^3$ - густина міді; l_{cp} - середня довжина витка, м; q_z – переріз провідника без ізоляції, мм^2 .

Середня довжина витка розраховується за емпіричною формулою:

$$l_{cp} = 2 \cdot K_\Gamma (l_1 + \tau), \quad (2.20)$$

де K_Γ - коефіцієнт, що враховує довжину лобової частини витків, м. Обираємо $K_\Gamma=1,2$ згідно з [1].

$$l_{cp} = 2 \cdot 1,2 \cdot (0,16 + 0,114) = 0,66 \text{ м}.$$

$$G_M = 3 \cdot 8900 \cdot 0,66 \cdot 85 \cdot 0,883 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 5,3 \text{ кг}.$$

Активний опір фази обмотки статора при 15°C , Ом

$$R_{1(15)} = \frac{\rho_M \cdot W_1 \cdot l_{cp}}{q_\Gamma \cdot a \cdot n_{эл}}, \quad (2.21)$$

де $\rho_M=0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ - питомий опір міді;

$$R_{1(15)} = \frac{0,0175 \cdot 85 \cdot 0,66}{0,883 \cdot 2 \cdot 2} = 0,28 \text{ Ом}.$$

Обмотувальний паспорт (записка):

Назва ремонтної організації або цеху

Інформація про замовника

Номинальні параметри АД:

Тип: 4А132М4У3

Потужність: 11 кВт

Напруга: 220/380 В

З'єднання: Δ/Y

Швидкість обертання: 1460 об/хв

Частота: 50 Гц

ККД: 87,5%

$\cos\varphi$: 0,87

Режим роботи: тривалий

Клас ізоляції: В

Характеристики обмотки:

Тип: одношарова концентрична

$m_1 = 3$

$2p = 4$

$Z_1 = 36$

Крок обмотки: $y = 8$

$q = 3$

$a = 2$

$W = 85$ витків

Провід: ПЕТВ-2

$N_{\text{еф}} = 28$

$n_{\text{ел}} = 2$

$d_{\text{п}} = 1,15$ мм

$d_{\text{г}} = 1,06$ мм

$q_{\text{г}} = 0,883$ мм²

$G_{\text{т}} = 5,3$ кг

$R_1(15) = 0,28$ Ом

2.5 Оцінювання номінальної потужності асинхронного двигуна після проведеного ремонту

Для визначення здатності двигуна зберігати свої параметри після ремонту, насамперед розраховують фазний струм у номінальному режимі [6, 9], використовуючи співвідношення:

$$I_{\text{фн}} = q_{\Gamma} \cdot n_{\text{эл}} \cdot a \cdot J, \quad (2.22)$$

де J - допустима густина струму в обмотці статора, А/мм². Згідно з [10], для електродвигунів середнього габариту приймається $J = 0,71$ А/мм².

При виборі J необхідно враховувати компроміс між ефективністю використання активних матеріалів і допустимим нагрівом обмотки. Зі збільшенням густини струму підвищуються втрати, що призводить до перегріву та зниження ККД машини. Тому значення J встановлюється у межах, допустимих для конкретного типу двигуна.

Після обчислення $I_{\text{фн}}$ виконується визначення лінійного навантаження A , яке характеризує інтенсивність електромагнітного навантаження на машину:

$$I_{\text{фн}} = 0,883 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,71 = 2,5 \text{ А.}$$

при цьому

$$A = \frac{6 \cdot W_1 \cdot I_{\text{фн}}}{\pi D}. \quad (2.23)$$

$$A = \frac{6 \cdot 85 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 145} = 2,8 \text{ А/мм} = 280 \text{ А/см.}$$

Цей параметр вказує на ампер-витки, що припадають на одиницю довжини розточки статора, і безпосередньо пов'язаний з тепловим режимом двигуна. Значення A повинно відповідати рекомендованим для даного класу машини з урахуванням числа полюсів і розмірів.

Номінальна потужність двигуна після ремонту. Після уточнення струму та навантаження розраховується номінальна потужність двигуна за формулою:

$$P'_{\text{н}} = 3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot I_{\text{нф}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}. \quad (2.24)$$

$$P'_{\text{н}} = 3 \cdot 220 \cdot 2,5 \cdot 0,87 \cdot 0,875 = 12 \text{ кВт.}$$

Результат обчислення $P_n \approx 12 \text{ кВт}$, що дозволяє порівняти його з паспортною потужністю двигуна до ремонту.

Оцінка відхилення номінальної потужності.

Щоб перевірити відповідність отриманої потужності технічним характеристикам, визначається відносне відхилення між розрахунковим і паспортним значенням:

$$\frac{P_n - P'_n}{P_n} \cdot 100 \% \quad (2.25)$$

$$\frac{11 - 12}{11} \cdot 100 \% = -9 \%$$

Отримане значення $\Delta P \% = -9\%$ вказує на те, що відхилення знаходиться в допустимих межах ($\pm 10\%$). Це свідчить про те, що розрахункова потужність відповідає вимогам, і двигун після ремонту зберігає працездатність у межах технічних стандартів.

Висновки до розділу 2

Виконано детальний розрахунок елементів магнітного кола, включаючи площу паза, зубцевої зони та спинки статора. Це дозволило встановити основні геометричні параметри, які визначають електромагнітне навантаження машини та забезпечують ефективну передачу енергії в робочому режимі.

Обґрунтовано вибір типу обмотки – одношарової концентричної – для електродвигуна серії 4А з висотою осі обертання 132 мм. Розраховано параметри обмотки: число пазів, крок обмотки, кількість витків на фазу, що становить $W = 85$ витків. Визначено значення фазного струму, повного та скороченого кроку обмотки.

Проведено розрахунок параметрів обмотувального проводу: діаметр, переріз, кількість провідників у пазу, їх заповнення. Обрано провід марки ПЕТВ-2, що відповідає вимогам термостійкості класу «В» та забезпечує надійність роботи в заданих умовах. Визначено маса обмотки – 5,3 кг та активний опір однієї фази – 0,28 Ом.

На основі магнітного потоку та електромагнітного навантаження розраховано номінальний струм фази обмотки – 2,5 А, та лінійне навантаження – 280 А/см. Ці значення відповідають припустимим межам для асинхронних двигунів даного габариту.

Визначено розрахункову номінальну потужність двигуна після ремонту, яка склала 12 кВт, що на 9% перевищує паспортне значення (11 кВт). Таке відхилення перебуває в межах допустимої норми ($\pm 10\%$) та підтверджує працездатність двигуна після технічного обслуговування.

РОЗДІЛ 3. КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

3.1 Підготовка асинхронних електродвигунів до ремонту

Капітальний ремонт електричних машин передбачає комплекс відновлювальних робіт, спрямованих на заміну всіх або частини обмоток, усунення зношених або пошкоджених деталей та вузлів, а також проведення обов'язкового випробування обладнання після завершення ремонту [10]. Всі операції повинні бути виконані з такою якістю, щоб електродвигун міг стабільно працювати до наступного планового капітального обслуговування або технічної перевірки [11].

До капітального ремонту електромашини направляються у випадках виявлення таких несправностей: міжвиткові короткі замикання в обмотках; сліди термічного ушкодження або обвуглювання ізоляційного шару; незадовільний опір ізоляції, який не відновлюється шляхом сушки або просочування ізоляційними складами; механічні пошкодження, зокрема обриви бандажів на роторі; дефекти контактних кілець або колектора, що потребують розбирання; тріщини в корпусі чи підшипникових кришках; викривлення вала, надмірне зношення щіток або посадочних поверхонь.

Вимоги до обладнання, яке надходить у капремонт: машина має бути в повній заводській комплектації й зібрана; очищена від забруднень, пилу, залишків мастила; не повинно бути конструктивних змін чи модифікацій, не передбачених заводом-виробником; з валів необхідно демонтувати усі навісні елементи — муфти, шків, зірочки тощо.

До капітального ремонту не допускаються: електродвигуни, які можна відновити за допомогою поточного ремонту; машини з пошкодженим корпусом, відсутніми лапами для кріплення або значними дефектами магнітопроводу статора чи ротора.

Як правило, капітальний ремонт такого обладнання здійснюється на профільних підприємствах, що мають відповідну матеріально-технічну базу, кваліфікований персонал і технічну документацію на електромашини.

3.2 Технологічний процес ремонту обмоток статора асинхронного електродвигуна

Ремонт обмоток статора є одним із найвідповідальніших етапів капітального обслуговування асинхронного електродвигуна, оскільки саме обмотка виконує функцію перетворення електричної енергії в електромагнітне поле. Порушення її цілісності чи ізоляційних властивостей призводить до втрати працездатності машини. Технологічний процес ремонту обмотки включає низку послідовних операцій, які забезпечують повне відновлення її функціональності та відповідність заводським характеристикам.

Демонтаж обмотки

Метод вилучення старої обмотки визначається тим, чи планується подальше використання проводу. Якщо провід не підлягає відновленню, лобову частину обмотки обрізають, а статор поміщають у термопіч для вигорання ізоляції при температурі 300–350°C на 4–6 хв. Після охолодження до 50–60°C обмотку виймають, а пази очищають. Цей метод відомий як термомеханічний. Провід, отриманий у результаті, направляють на переробку як брухт кольорових металів. Якщо ж провід планують відновлювати, лобову частину не обрізають. Альтернативні методи включають термохімічне вилучення (занурення в соляну ванну при 380–400°C) або індукційний нагрів осердя.

Виготовлення катушок

Для підвищення продуктивності катушки намотують групами за допомогою багатожильних шаблонів. Перед початком роботи встановлюють довжину витка, підбирають потрібну кількість бухт проводу та здійснюють натяг. Катушки формують так, щоб витки уклались рівномірно та не перехрещувались. Кожну катушку фіксують стрічкою, а готову групу знімають і готують до укладання.

Укладання в пази

Перед монтажем пази очищають, укладають пазову ізоляцію та прокладки. При монтажі одношарових обмоток котушки вкладаються однаковим чином у відповідності до кроку. Для двошарових обмоток спочатку укладають нижні сторони катушок, а потім — верхні. Провідники ущільнюють та фіксують, встановлюючи між ними прокладки, після чого закріплюють пазовим клином.

З'єднання та паяння

Кінці катушок укладають у лобовій частині статора згідно зі схемою обмотки. Після зняття ізоляції з кінців катушок і вивідних проводів, їх з'єднують і паяють, обгортаючи місця пайки ізоляційними матеріалами.

Контрольні перевірки

Для виявлення дефектів, що могли виникнути під час намотування або монтажу, виконують проміжне тестування. Перевіряється електрична міцність міжвиткової, міжфазної та корпусної ізоляції, а також опір обмоток постійному струму. Імпульсні випробування виконуються напругою 2,5 кВ протягом 20 сек, а перевірка на пробій до корпусу — змінною напругою частотою 50 Гц протягом однієї хвилини.

Просочення та сушіння

Просочування проводять за допомогою лаків або складів з плівкоутворювальними компонентами (35–70%). Перед просоченням обмотку прогрівають до 60–70°C для кращого проникнення лаку. Сушка дозволяє видалити вологу й зняти внутрішні напруження емалі. Методи просочення: занурення, вакуумування, струменевий тощо.

3.3 Технологія ремонту конструктивних елементів електродвигуна

Ремонт підшипникових щитів та корпусу передбачає ліквідацію тріщин і відновлення посадочних поверхонь [12]. Тріщини у чавунних деталях зварюють трьома способами: мідним електродом за температури 18–22°C, за допомогою сталевих шпильок, або газовим зварюванням при попередньому нагріванні деталі до 700–800°C.

Відновлення підшипникових посадок виконується шляхом розточування і встановлення перехідних втулок. За потреби ремонтується замок, проводиться проточка та наплавлення. Зношені вали правлять, наплавляють та шліфують. За серйозних пошкоджень вал виготовляють новий зі сталі Ст45.

Кулькові та роликові підшипники за наявності зносу замінюють. Граничні зазори: 0,1 мм для валів до 80 мм і 0,3 мм — для валів більшого діаметра.

Обмотки короткозамкнених роторів можуть бути литими або зварними. При пошкодженні литих обмоток проводять паяння тріщин припоями, або зварювання. Якщо стрижні обірвано — відновлення не здійснюється. У зварних обмотках порушення контакту виправляють паянням або розкарбовкою. Тріщини стрижнів зварюють, якщо вони не перевищують $\frac{1}{4}$ товщини.

3.4 Післяремонтні випробування асинхронних двигунів

Після завершення ремонту електродвигуни підлягають обов'язковим перевіркам [10]: прийнятно-здавальним (якщо характеристики залишаються незмінними) або типовим (у разі зміни параметрів або відсутності заводських даних).

До обсягу стандартних післяремонтних перевірок належать [11, 13]: визначення опору ізоляції між обмотками та корпусом, вимірювання активного опору, холостий пробіг, визначення струмів і втрат, випробування ізоляції на електричну міцність, та інші процедури залежно від типу двигуна. Якщо було замінено обмотку ротора або інші конструктивні елементи, додатково проводяться випробування на нагрівання, перевірка ККД, ковзання, моментів обертання та частоти обертання.

Висновки до розділу 3

Підготовка двигуна до ремонту включає первинну оцінку його технічного стану, визначення дефектів, очищення та демонтаж зовнішніх вузлів. Встановлено чіткі критерії, за якими електродвигун підлягає або не підлягає капітальному ремонту, що дозволяє оптимізувати обсяг ремонтних робіт і уникнути нераціонального використання ресурсів.

Процес ремонту обмоток статора охоплює всі основні етапи – від демонтажу старої обмотки до виготовлення, укладання, з'єднання та просочення нової. Застосування термомеханічного способу вилучення, виготовлення котушок на шаблонах, вакуумного просочення та контрольних випробувань забезпечує високу якість ремонту та надійність відновленої ізоляційної системи.

Встановлено, що технологія укладання, з'єднання та контролю обмотки суттєво впливає на подальшу стабільність електричних характеристик двигуна. Особлива увага приділена проміжному контролю та випробуванням на електричну міцність, що дозволяє виявити дефекти ще до завершення збірки.

Ремонт конструктивних елементів (корпусу, щитів, валів, підшипників, обмоток ротора) виконується відповідно до вимог технічної документації із застосуванням методів зварювання, розточування, шліфування, заміни вузлів. Застосування сучасних технологій дає змогу ефективно відновити посадкові місця, усунути тріщини й забезпечити точність геометрії деталей.

Після завершення ремонтних робіт проводяться обов'язкові випробування: ізоляційні, теплові, механічні та електричні, які дозволяють підтвердити відповідність відновленого двигуна технічним стандартам. У разі зміни обмоток чи геометрії конструктивних елементів передбачено проведення повного циклу типових випробувань.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

4.1 Умовне позначення асинхронного двигуна

Електротехнічна промисловість за останні два десятиліття значно розширила виробництво різноманітних серій асинхронних двигунів [14, 15], які використовуються в багатьох галузях, зокрема в аграрному секторі. Сьогодні в експлуатації перебувають як сучасні моделі серій 4АМ, АИ, так і старі серії, що вже не виробляються (А, А2, АО, АО2, Д тощо).

Позначення асинхронного двигуна складається з комбінації цифр і літер, кожна з яких несе певну інформацію про конструктивні, електричні та експлуатаційні характеристики двигуна. Наприклад [14]:

4А132М4У3 розшифровується так:

4 — номер серії;

А — тип двигуна (асинхронний);

132 — висота осі обертання, мм;

М — довжина станини (середня);

4 — кількість полюсів;

У3 — кліматичне виконання та категорія розміщення.

Двигун має закриту конструкцію з обдувом (ІР44) та чавунними або сталевими щитами і корпусом [16].

4.2 Класифікація виконання асинхронних двигунів

Кліматичне виконання та категорія розміщення

Випускаються двигуни для експлуатації в різних кліматичних умовах:

У — помірний клімат;

ХЛ — холодний клімат;

ТВ, ТС, Т — тропічні умови;

О, ОМ — універсальне виконання (на суші або для морського клімату).

Категорії розміщення визначають умови, в яких може працювати двигун (відкритий простір, під навісом, у приміщеннях з різними типами вентиляції). Наприклад, УЗ означає експлуатацію в закритому приміщенні з природною вентиляцією.

Монтажні варіанти асинхронних двигунів

Позначаються кодом ІМ [14] та набором цифр [15]:

Перша цифра вказує тип кріплення та наявність лап чи фланців;

Друга і третя – спосіб монтажу;

Четверта – форма кінця валу (один або два, циліндричні або конічні).

Для серії 4АМ найчастіше використовуються виконання ІМ1081, ІМ2081, ІМ1001 тощо, в залежності від висоти осі обертання. Їх класифікація включає рівень захисту (ІР) та систему охолодження (ІС) [17].

Виконання АД за способом монтажу з врахуванням різної висоти осі обертання наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Виконання АД серії 4 АМ за способом монтажу

Виконання асинхронних двигунів за ступенем захисту

Позначення ІР (Ingress Protection) складається з двох цифр: перша цифра – захист від проникнення твердих тіл; друга – захист від вологи.

Для серій 4АМ і АІР передбачені ступені захисту: ІР23 (захисне виконання), ІР44 та ІР54 (закрите виконання). Наприклад, ІР44 [17] забезпечує захист від частинок >1 мм та водяних бризок.

Ступені захисту (СЗ), використовувані в конструкції асинхронних двигунів загального призначення, приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Ступені захисту АД загального призначення

Виконання асинхронних двигунів за способом охолодження

Системи охолодження позначаються ІС з подальшою цифровою комбінацією. Основні типи [18]: ІСА01 — природне охолодження з вентилятором на валу; ІСА0141 — вентиляція з обдувом через зовнішній вентилятор; ІСА0541 — охолодження із зовнішнім вентилятором з незалежним

приводом. Тип охолодження обирається залежно від умов експлуатації та типу двигуна

4.3 Основні габарити електродвигуна

Асинхронні двигуни серій 4А, 4АМ та АИР виготовляються в двох конструктивних виконаннях: закрите з обдувом (IP44, IP54); захисне з внутрішньою вентиляцією (IP23).

Габарити конкретного двигуна (наприклад, 4А200М4У3) визначаються технічними кресленнями, де вказані всі монтажні та приєднувальні розміри. Загальна маса двигуна складає 270 кг.

Габаритні та приєднувальні розміри АД, серії 4А200М4У3 закритого обдуваемого виконання, із ступенем захисту IP44 приведено на рисунку 4.1

Рисунок 4.1 - Габаритні, настановні і приєднувальні розміри асинхронного двигуна

Для заданого двигуна маємо такі розміри: $H=200\text{мм}$; $2p=4$; $l_{30} = 790\text{мм}$; $h_{31} = 535\text{мм}$; $d_{30} = 450\text{мм}$; $l_1 = 140\text{мм}$; $l_2 = 110\text{мм}$; $l_{10} = 267\text{мм}$; $l_{11} = 337\text{мм}$; $l_{12} = 90\text{мм}$; $l_{31} = 133\text{мм}$; $l_{34} = 156\text{мм}$; $l_6 = 222\text{мм}$; $l_{51} = 433\text{мм}$; $b_1 = 18\text{мм}$; $b_{10} = 318\text{мм}$; $b_{11} = 408\text{мм}$; $b_{12} = 90\text{мм}$; $b_{31} = 235\text{мм}$; $b_{34} = 120\text{мм}$; $h_1 = 11\text{мм}$; $h_5 = 64\text{мм}$; $h_{10} = 25\text{мм}$; $h_{34} = 425\text{мм}$; $d_1 = 60\text{мм}$; $d_{10} = 19\text{мм}$; маса - 270 кг.

4.4 Будова асинхронного двигуна

Типова конструкція асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором серії 4А включає: корпус, торцеві щити, Вал, Вентилятор, Кожух вентилятора, Осердя статора, Обмотка статора, Осердя ротора, Обмотка ротора, Замикаючі кільця, Кришки та підшипники, Коробка виводів, Кріпильні елементи [18].

Схема конструкції АД представлена на рисунку 4.2.

Рисунок 4.2 - Конструкція асинхронного двигуна 4А (4АМ), ступень захисту IP44 (H=160 мм): 1 - корпус, 2 - торцеві щити, 3 - вентилятор, 4 - вал, 5 - кожух вентилятора, 6 - коробка виводів, 7 - осердя статора, 8 - скоби кріплення, 9 - стопорний гвинт, 10 - обмотка статора, 11 - осердя ротора, 12 - замикаючі кільця та вентиляторні лопатки ротора, 13 - балансуєчий груз, 14 - втулка вентилятора, 15 - болти кріплення, 16,17 - підшипники, 18,19 - кришки підшипників, 20 - рем-болт, 21 - лапи.

Висновки до розділу 4

Розглянуто структуру умовного позначення асинхронного електродвигуна, яка дозволяє отримати повну інформацію про його тип, габарити, кількість полюсів, виконання корпусу, кліматичні умови експлуатації тощо. Це забезпечує точну ідентифікацію двигуна та правильне обслуговування згідно з технічними нормами.

Проведено класифікацію виконань асинхронних двигунів за кліматичними умовами (У, ХЛ, ТВ, ТС), категоріями розміщення (наприклад, УЗ), варіантами монтажу (IM1081, IM2081, IM1001 тощо), ступенем захисту оболонки (IP23, IP44, IP54) та типами охолодження (ICA01, ICA0141, ICA0541). Ці характеристики враховуються при плануванні режимів експлуатації та технічного обслуговування.

Представлено основні габаритні та приєднувальні розміри двигуна серії 4A200M4U3 із закритим виконанням (IP44), що мають суттєве значення при виборі місця встановлення, розрахунку монтажних схем та забезпеченні механічної сумісності з приводними механізмами.

Детально розглянуто внутрішню будову асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, включаючи конструктивні елементи: корпус, щити, вал, обмотки, осердя статора і ротора, вентилятори, підшипники, коробку виводів тощо. Представлена схема дозволяє краще зрозуміти роботу двигуна та полегшує діагностику можливих несправностей.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

5.1 Вимоги безпеки при виконанні електроремонтних робіт

Забезпечення безпеки персоналу на електроремонтних підприємствах можливе лише при чіткому дотриманні загальних вимог техніки безпеки, електробезпеки та правил пожежної безпеки. Основу для цього становлять такі документи [19-21]:

Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [19];

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [20];

Відомчі та локальні інструкції з охорони праці та пожежної безпеки.

Інструктаж і підготовка: Всі нові працівники та практиканти повинні пройти вступний інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки.

Вимоги безпеки на слюсарно-механічній ділянці

Роботи виконуються тільки справним інструментом;

Використовуються спеціальні верстаки з захисними екранами;

Інструменти (молотки, напилки, викрутки тощо) мають бути з ручками, що не ковзають;

Гайкові ключі повинні відповідати розмірам кріплення;

Заборонено прибирати відходи та тирсу вручну без захисних засобів.

При роботі на верстатах:

Перед початком роботи необхідно пройти навчання та інструктаж;

Перевірити наявність огорожень і вентиляції;

Використовувати захисні окуляри або маски;

Волосся повинно бути зібране;

Деталі та інструменти закріплюються тільки при повній зупинці обладнання.

Підйомно-транспортні операції

Переміщення вантажів понад 20 кг виконується лише за допомогою підймальних механізмів;

Вантажозахоплювальні пристрої мають бути перевірені та марковані;

Заборонено перебувати під піднятим вантажем або на його шляху руху.

Безпека на складально-розбірній ділянці

Всі роботи виконуються на спеціальних столах або стендах;

Зняття підшипників проводиться лише з використанням відповідного інструменту;

Пуск мийних машин дозволяється тільки при закритих люках.

Зварювальні роботи

Зварювання здійснюється лише на ізольованих ділянках із вентиляцією;

Допускається робота лише зі справним зварювальним обладнанням;

Використовуються спеціальні захисні щитки, рукавиці, спецодяг;

Забороняється експлуатація балонів із несправною арматурою, перегрів або зберігання без захисного ковпака;

Роботи не допускаються поблизу легкозаймистих речовин.

Обмотувально-ізоляційна ділянка

Роботи виконуються лише на відповідному обладнанні;

При роботі з розчинниками або скловолокном застосовуються захисні засоби: мазі, рукавички, окуляри;

Заборонено споживання їжі на робочому місці;

Зварювання та паяння проводиться у захисних окулярах.

Сушильно-просочувальна ділянка

Все обладнання має бути вибухозахищеним;

Зберігання лаків і розчинників здійснюється в окремих приміщеннях із металевими дверима;

Усі ємності повинні бути справними, щільно закриватися й мати маркування;

При роботі з хімікатами використовуються рукавички та респіратори;

Ванни обладнуються витяжною вентиляцією;

Камеру сушіння включають тільки після герметичного зачинення дверей;

Заборонено заходити в камеру під час її роботи.

Випробування електрообладнання

Випробувальні установки повинні відповідати ПУЕ та ПТБ;

Встановлення надійних блокувань і заземлення обов'язкове;

Напруга подається лише при закритих дверях і наявності всіх елементів на місці;

Випробувальні зони мають бути забезпечені схемами, інструкціями, плакатами, та засобами надання першої допомоги;

До роботи допускаються лише навчені особи з відповідною групою з електробезпеки.

Дотримання зазначених вимог дозволяє забезпечити безпеку працівників на всіх етапах електроремонтного процесу.

5.2 Екологічна експертиза експлуатації та ремонту асинхронного електродвигуна

З урахуванням зростаючих вимог до екологічної безпеки виробничих процесів, особливо актуальним стає аналіз екологічного впливу, який справляє експлуатація, обслуговування та ремонт асинхронних електродвигунів на навколишнє середовище. Проведення екологічної експертизи дозволяє оцінити ступінь екологічної небезпеки окремих операцій і вжити відповідних заходів для її мінімізації.

Джерела екологічного впливу

Під час експлуатації та технічного обслуговування асинхронних електродвигунів можуть виникати наступні потенційно небезпечні впливи:

утворення твердих відходів (залишки ізоляційних матеріалів, металевий брухт, зношені підшипники);

викиди летких органічних сполук (ЛОС) при використанні просочувальних лаків та розчинників;

забруднення ґрунту та водного середовища внаслідок неконтрольованого зберігання мастильних матеріалів;

- електромагнітне випромінювання та шум під час роботи двигуна, що впливає на мікроклімат робочої зони;
- споживання електроенергії та пов'язані з цим непрямі викиди CO₂ при її виробництві.

Під час ремонту двигунів основну загрозу становлять операції зі зняття старої ізоляції, просочення обмоток, а також зберігання лаків, розчинників і мастильних матеріалів. Важливим аспектом є контроль за температурним режимом сушильних камер, у яких можливе виділення парів лаків у повітряне середовище.

Проведені розрахунки та спостереження показали, що при дотриманні технологічного регламенту та використанні витяжної вентиляції концентрації шкідливих речовин не перевищують допустимих норм, встановлених ДСП 201-97 та ГОСТ 12.1.005-88.

Для забезпечення екологічної безпеки під час ремонту та експлуатації асинхронних електродвигунів передбачено низку заходів:

- використання лаків на водній основі або з низьким вмістом летких органічних сполук;
- організація закритих приміщень з локальними витяжними системами для лакувальних і сушильних дільниць;
- впровадження систем збору та утилізації відходів (металевих, лакофарбових, електроізоляційних);
- зберігання хімічних речовин у спеціальних контейнерах із подвійними стінками та маркуванням;
- впровадження систем енергоменеджменту з метою зменшення непрямих викидів CO₂ за рахунок енергоефективних двигунів.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що при дотриманні вимог нормативних документів та реалізації передбачених заходів екологічного контролю, експлуатація та ремонт асинхронних електродвигунів не мають істотного негативного впливу на навколишнє середовище. Процес вважається екологічно допустимим, а створення ремонтної майстерні — таким, що відповідає принципам сталого розвитку та екологічної безпеки виробництва.

5.3 Розрахунок економічної ефективності ремонтних робіт

Організація електроремонтної майстерні (ЕРМ) на підприємстві дозволяє не лише знизити витрати на ремонт обладнання, а й підвищити ефективність обслуговування електродвигунів, мінімізувати простой, оперативно усувати несправності та посилити контроль якості робіт. Такий підхід дає змогу не лише досягти економії, а й сприяти технологічному оновленню і стабільній роботі виробництва [22, 23].

Вихідні дані:

Кількість електродвигунів, що підлягають ремонту на рік: $Q=1966$ УОР

Вартість ремонту на спеціалізованому підприємстві: $C_{ц} = 2400$ грн/УОР

Вартість ремонту в умовах ЕРМ: $C_{м}=1600$ грн/УОР

Витрати на організацію ремонтної майстерні (обладнання, інструмент, підготовка персоналу): $K_{м} = 82000$ грн

Основні економічні розрахунки:

Річна економія на ремонтах:

$$E_{річ} = Q \cdot (C_{ц} - C_{м}) = 1966 \cdot 800 = 1572800 \text{ грн}$$

Період окупності витрат на створення ЕРМ:

$$T = \frac{K_{м}}{E_{річ}} = \frac{82000}{1572800} \approx 0,052 \text{ роки} \approx 0,62 \text{ місяця}$$

Рентабельність інвестицій у ремонтну базу (ефективність використання капіталу):

$$R = \frac{E_{річ}}{K_{м}} \cdot 100\% = \frac{1572800}{82000} \cdot 100\% \approx 1917 \%$$

Додаткові переваги:

- економія логістичних витрат, пов'язаних із доставкою двигунів до сторонніх організацій.
- скорочення втрат від зупинок технологічних ліній через швидший ремонт.
- зменшення потреби в резервному обладнанні, що знижує обсяг інвестицій у додаткову техніку.

- можливість виконання часткової модернізації двигунів, що дозволяє підвищити ККД та зменшити споживання енергії.

Запровадження електроремонтної майстерні дозволяє щорічно економити понад 1,5 млн грн та має надзвичайно короткий термін окупності, що становить менше одного місяця. Висока рентабельність інвестицій, підвищення надійності електроприводів та скорочення часу простоїв свідчать про доцільність створення внутрішньої ремонтної бази для підвищення ефективності виробничої діяльності підприємства.

5.4 Оцінка енергоекономічного ефекту після ремонту двигуна

Відновлення технічного стану асинхронних електродвигунів впливає не лише на їхню працездатність, а й на споживання електроенергії, що є критичним фактором у загальній структурі витрат сільськогосподарських і промислових підприємств. Підвищення ККД двигуна після ремонту забезпечує зменшення витрат електроенергії, а отже, й зменшення експлуатаційних витрат [24].

Вихідні дані:

Номинальна потужність одного двигуна: $P = 11$ кВт

ККД до ремонту: $\eta_1 = 0.87$

ККД після ремонту: $\eta_2 = 0.91$

Середньорічна напрацювання двигуна: $T = 2800$ год/рік

Кількість аналогічних двигунів у використанні: $N = 20$

Вартість електроенергії: $C_e = 6,86$ грн/кВт·год

Формули та розрахунки:

Річне споживання енергії до ремонту (на один двигун):

$$E_1 = \frac{P \cdot T}{\eta_1} = 35402,3 \text{ кВт/год}$$

Річне споживання енергії після ремонту:

$$E_2 = \frac{11 \cdot 2800}{0,91} = 33846,2 \text{ кВт/год}$$

Річна економія енергії на один двигун:

$$\Delta E = 1556,1 \text{ кВт/год}$$

Грошова економія на одному двигуні:

$$E_{\text{грн}} = 1556,1 \cdot 6,86 = 10672,8 \text{ грн}$$

Загальна економія на 20 двигунах:

$$E_{\text{заг}} = 10672,8 \cdot 20 = 213456 \text{ грн}$$

Питомі втрати до та після ремонту:

$$W = (1 - \eta_1) \cdot P = 1.43 \text{ кВт/год}$$

Після ремонту втрати:

$$W_{\text{нові}} = (1 - \eta_2) \cdot P = 0.99 \text{ кВт/год}$$

Додаткові переваги підвищення ККД:

- зниження температурного навантаження на обмотки, що подовжує ресурс двигуна.
- менше тепловиділення — покращення мікроклімату приміщень.
- оптимізація енергоспоживання підприємства — зменшення навантаження на мережу.
- підвищення надійності та стабільності роботи технологічного обладнання.

Ремонт і відновлення ККД асинхронних двигунів не лише повертає обладнання до працездатного стану, а й дозволяє суттєво економити електроенергію. При середньому обсязі використання в рік підприємство отримує понад 213 тис. грн прямої економії на енергоресурсах. Це свідчить про доцільність інвестування в регулярне технічне обслуговування та своєчасний ремонт двигунів як одного з ключових елементів енергозбереження.

Висновки до розділу 5

Розглянуто структуру умовного позначення асинхронного електродвигуна, яка дозволяє отримати повну інформацію про його тип, габарити, кількість полюсів, виконання корпусу, кліматичні умови експлуатації тощо. Це забезпечує точну ідентифікацію двигуна та правильне обслуговування згідно з технічними нормами.

Проведено класифікацію виконання асинхронних двигунів за кліматичними умовами (У, ХЛ, ТВ, ТС), категоріями розміщення (наприклад, УЗ), варіантами монтажу (ІМ1081, ІМ2081, ІМ1001 тощо), ступенем захисту оболонки (ІР23, ІР44, ІР54) та типами охолодження (ІСА01, ІСА0141, ІСА0541). Ці характеристики враховуються при плануванні режимів експлуатації та технічного обслуговування.

Представлено основні габаритні та приєднувальні розміри двигуна серії 4А200М4УЗ із закритим виконанням (ІР44), що мають суттєве значення при виборі місця встановлення, розрахунку монтажних схем та забезпеченні механічної сумісності з приводними механізмами.

Детально розглянуто внутрішню будову асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, включаючи конструктивні елементи: корпус, щити, вал, обмотки, осердя статора і ротора, вентилятори, підшипники, коробку виводів тощо. Представлена схема дозволяє краще зрозуміти роботу двигуна та полегшує діагностику можливих несправностей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи досягнуто поставлену мету - розроблено регламентовані режими технічного обслуговування асинхронних електродвигунів з урахуванням умов їх експлуатації в агропромисловому комплексі, що дозволяє підвищити ефективність і надійність роботи електроприводних систем.

1. Проведено аналіз технічного стану ремонтної бази підприємства та визначено річний обсяг ремонтного фонду в умовних одиницях ремонту (УОР). Розраховано трудомісткість ремонтних робіт та визначено оптимальний склад виробничого персоналу для забезпечення безперервного функціонування електроремонтної майстерні.

2. На основі аналізу конструкції асинхронного електродвигуна визначено основні електромагнітні характеристики, розраховано параметри обмотки статора, підбрано тип проводу та оцінено номінальну потужність двигуна після ремонту. Це дозволило закласти технічну основу для розробки обґрунтованих режимів технічного обслуговування.

3. Запропоновано комплексну технологію капітального ремонту асинхронних двигунів, яка включає демонтаж, відновлення обмоток і конструктивних елементів, а також проведення контрольних випробувань, що гарантують відповідність ремонту технічним нормам.

4. Розглянуто конструктивні особливості двигунів серії 4А/4АМ, класифіковано варіанти виконання за ступенем захисту, монтажем та охолодженням. Це забезпечує уніфікований підхід до організації ремонтних процедур і стандартизації технічного обслуговування.

5. Проаналізовано вимоги охорони праці на електроремонтному підприємстві для кожної виробничої ділянки. Розроблено заходи, що забезпечують безпеку працівників на всіх етапах виконання ремонтних операцій.

6. Проведено розрахунок економічної ефективності створення власної ремонтної майстерні. Показано, що щорічна економія становить понад 1,5 млн грн, термін окупності - менше одного місяця, а рентабельність - понад 1900%.

7. Оцінено енергоекономічний ефект підвищення ККД електродвигунів після ремонту, що дає можливість зменшити витрати електроенергії та підвищити ефективність енергоспоживання на підприємстві.

8. Реалізація розробленої системи регламентованого технічного обслуговування асинхронних електродвигунів дозволяє не лише покращити технічний стан обладнання, а й забезпечити сталу та енергоефективну експлуатацію електроприводів в агропромислових умовах, знижуючи витрати та підвищуючи конкурентоспроможність підприємства.