

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В
СИСТЕМАХ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Виконав: студент 4 курсу групи ЕСМ-23мс
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи і мережі»
Маланський В.В. _____

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС
Сікорська О. В. _____

« 06 » _____ 06 _____ 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕССМ
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)
Войтек Ю.П. _____
« 06 » _____ 06 _____ 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

« 06 » _____ 06 _____ 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма – Електричні системи і мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«20» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Маланський Вадим Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _ Особливості експлуатації асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій

Керівник роботи _ к.т.н., доцент каф. ЕСС Сікорська О. В.

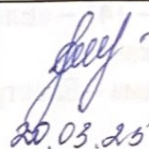
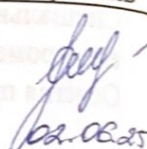
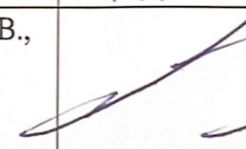
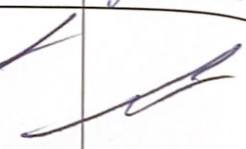
затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97

2. Термін подання студентом роботи 3 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Особливості експлуатації потужних двигунів електричних станцій. 2. Причини пошкодження двигунів електричних станцій. 3. Способи та методи діагностування несправностей електричних двигунів. 4. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Титульний лист. 2. Призначення електродвигунів власних потреб. 3. Конструкція електродвигунів. 4. Різновиди електродвигунів власних потреб. 5. Допустимі режими роботи електродвигунів власних потреб. 6-8. Основні несправності електродвигунів та їх причини. 9. Причини, які потребують негайного вимкнення електродвигунів.

6. Консультанти розділів роботи

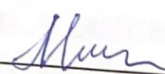
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Сікорська О. В., к.т.н., доцент кафедри ЕСС	 20.03.25	 22.06.25
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.пед.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 20 » березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Вступ. Огляд літературних джерел	20.03.25	31.03.25	вик.
2	Особливості експлуатації потужних двигунів електричних станцій	01.04.25	10.04.25	вик.
3	Причини пошкодження двигунів електричних станцій	11.04.25	21.04.25	вик.
4	Способи та методи діагностування несправностей електричних двигунів	22.04.25	04.05.25	вик.
5	Охорона праці	05.05.25	14.05.25	вик.
6	Формування висновків по роботі. Оформлення пояснювальної записки	15.05.25	24.05.25	вик.
7	Виконання ілюстративної частини та оформлення презентації	25.05.25	27.05.25	вик.
8	Перевірка БКР на плагіат.	28.05.25	31.05.25	вик.
9	Попередній захист БКР. Рецензування БКР.	01.06.25	03.06.25	вик.
10	Захист БКР	За графіком		

Студент


 підпис

Маланський В.В.

Керівник


 підпис

Сікорська О.В.

АНОТАЦІЯ

Маланський Вадим Васильович «Особливості експлуатації асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій». Бакалаврська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електричні системи та мережі». Вінниця: ВНТУ, 2025. 95 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 36 назв; рис.: 6, таб.11.

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі було розглянуто особливості експлуатації асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій.

Також проаналізовано причина та наслідки їх пошкоджень та розглянуто способи виявлення їх.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих чинників, що впливають на оперативно-ремонтний персонал, який здійснює оперативне та технічне обслуговування асинхронних двигунів.

Ключові слова: асинхронний двигун, власні потреби, електричні станції.

ABSTRACT

Malansky Vadym Vasilyovych "Features of the operation of induction motors in systems of own needs of power plants". Bachelor's qualification work in the specialty 141 - "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Electrical systems and networks". Vinnytsia: VNTU, 2025. 95 p.

In Ukrainian. Bibliography: 36 titles; Fig.: 6, Tab.11.

This bachelor's qualification work considered the features of the operation of induction motors in systems of own needs of power plants.

The cause and consequences of their damage were also analyzed and methods for their detection were considered.

An analysis of dangerous and harmful factors affecting operational and repair personnel who perform operational and technical maintenance of induction motors was carried out.

Keywords: induction motor, own needs, power plants.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОТУЖНИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	9
1.1 Призначення та конструктивні особливості живильних насосів	9
1.2 Загальні відомості про електродвигуни живильних насосів	13
1.3 Експлуатація електродвигунів	16
1.4 Режими роботи електродвигунів	18
1.5 Випробування електродвигунів на нагрів.....	22
1.6 Підготовка електродвигуна до пуску	24
1.7 Обслуговування електродвигуна	26
2 ПРИЧИНИ ПОШКОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	29
2.1 Порухення герметичності системи охолодження обмотки ротора.....	31
2.2 Виявлення та усунення дефектів бандажних кілець ротора.....	32
2.3 Методи підвищення надійності електричних двигунів.....	34
2.4 Електричні випробування та вимірювання електродвигунів	39
3 СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	42
3.1 Вимоги до діагностування електричних двигунів	46
3.2 Методи діагностики електричних двигунів.....	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	56
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	56
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах.....	56
4.1.2 Електробезпека	60
4.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	63
4.2.1. Мікроклімат	63
4.2.2. Склад повітря робочої зони.....	63
4.2.3. Виробниче освітлення.....	64

4.2.4. Виробничий шум 65

4.3. Пожежна безпека 66

ВИСНОВКИ 70

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 71

ДОДАТКИ..... 75

ВСТУП

Актуальність теми. Стабільна робота електроустановок власних потреб (ВП) електростанцій є важливою умовою безперебійного енергопостачання як основних споживачів, так і самої електростанції (котлоагрегатів, турбін, генераторів). Оскільки електроприймачі системи ВП належать до I категорії за надійністю електропостачання, особливу увагу необхідно приділяти їхньому оперативному відновленню після аварій.

Надійність функціонування електродвигунів на електростанціях визначає ефективність роботи всього енергоблоку. На експлуатаційну надійність двигунів впливають конструктивні особливості, якість виготовлення, умови експлуатації, а також регулярність і якість технічного обслуговування та ремонтів. Аналізуючи характер пошкоджень і причини відмов у роботі електродвигунів, можна оцінити надійність їхніх основних елементів: обмоток статора та ротора, підшипників тощо. З урахуванням цих даних визначають найбільш вразливі компоненти конструкції й розробляють заходи щодо підвищення їх надійності, збільшення міжремонтного ресурсу, а також планують терміни технічного обслуговування, обсяг та частоту випробувань (електричних, теплових, гідравлічних, механічних), потребу в запасних частинах і електротехнічних матеріалах.

Зокрема, за свідченням експлуатаційного персоналу, електродвигуни типу АВ-8000/6000УЗ демонструють низький рівень експлуатаційної надійності. Згідно з літературними джерелами, середній показник інтенсивності відмов електродвигунів на теплових електростанціях (ТЕС) становить близько двох відмов на кожні 100 встановлених двигунів щорічно [1].

Високий рівень відмов асинхронних електродвигунів спричиняє значні економічні збитки. Вони становлять 25-30% від загальної кількості пошкоджень електроустаткування, при цьому щорічні втрати в Україні через такі відмови сягають 1–1,5 млрд грн. Своєчасна діагностика несправностей

дозволяє зменшити витрати на ремонт і втрати від простоїв, а також підвищити ефективність роботи як самих двигунів, так і обладнання, яке вони обслуговують.

Приблизно 35% аварій електродвигунів спричинені пошкодженням обмотки статора. Основними причинами цього є складні умови експлуатації та нестабільні електричні властивості ізоляційних матеріалів. Унаслідок ушкодження ізоляції можуть виникати міжвиткові короткі замикання, пробой між обмотками або між обмоткою та магнітопроводом.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій, їх застосування, переваг та недоліків.

Завдання бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- 1) аналіз конструкції асинхронних двигунів;
- 2) дослідження причин пошкодження потужних двигунів електричних станцій;
- 3) аналіз методів та способів діагностування пошкоджень двигунів власних потреб;
- 4) дослідження заходів з безпечної експлуатації електричних двигунів.

Предметом дослідження є асинхронні двигуни в системах власних потреб електричних станцій.

Мета і задачі дослідження. Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є дослідження особливостей експлуатації асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст бакалаврської кваліфікаційної роботи, отримані автором самостійно.

1 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОТУЖНИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Призначення та конструктивні особливості живильних насосів

На сучасних електростанціях виробничий процес повністю механізований за рахунок застосування різних механізмів, що встановлюються на основних агрегатах і допоміжних пристроях станцій і підстанцій.

До механізмів власних потреб електростанцій відносять приводні двигуни механізмів, їх джерела живлення, внутрішньостанційні електричні мережі, розподільні пристрої установок.

На теплоелектроцентралях (ТЕЦ) розрізняють наступні механізми власних потреб:

паливоподачі і паливних складів (розвантажувальні крани, скрепери, перевантажувачі, транспортери і т. д.);

вугледробильної установки і приготування вугільного пилу (грохоти, дробарки, вугільні млини, живильники вугілля, мельничці вентилятори та ін.);

котельних агрегатів (живильники вугільного пилу, дуттьові вентилятори, димососи, поживні насоси, механізми золовидалення);

турбоагрегатів (насоси конденсатні, циркуляційні, масляні, газоохолодження та ін.); установок (насоси мережеві бойлерного пристрою, конденсатні та ін.) теплофікацій;

допоміжного устаткування (дренажні і пожежні насоси, вентилятори, мостові крани, підйомники і ліфти, засувки, двигун-генератори та ін.);

допоміжних цехів станції (хімводоочищення, масляне господарство, компресорні установки, механічні майстрові та ін.).

На гідроелектростанціях (ГЕС) розрізняють механізми власних потреб:

гідротурбін і генераторів (масляні і водяні насоси систем регулювання і охолодження генераторів, мастила агрегатів та ін.);

підйомних механізмів (крани, лебідки, тельфери, ліфти та ін.);
електрообігріву (грати, пази щитів і затворів, електричне опалювання;
допоміжного устаткування (дренажні і пожежні насоси, двигунгенератори та ін.);

допоміжних цехів станцій (механічні майстерні, масляне господарство, компресорні установки та ін.).

Обладнання власних потреб на атомних електростанціях (АЕС) - це допоміжне обладнання, необхідне для економічної та надійної роботи станції, включаючи джерела постійного струму, мережі освітлення, електричні мережі, розподільні пристрої (РП), понижувальні трансформатори та інше. Це обладнання використовується для живлення споживачів, які не пов'язані з процесом виробництва енергії, але є важливими для безпеки та роботи АЕС.

Важливим обладнанням системи власних потреб є живильні насоси — це спеціалізоване обладнання, призначене для подачі води в котли електростанцій та промислові парові генератори. Їх часто використовують для забезпечення хімічно чистою водою парогенераторів АЕС, а також на котельнях, теплоелектростанціях та промислових підприємствах. На рисунку 1.1 зображено живильний насос.

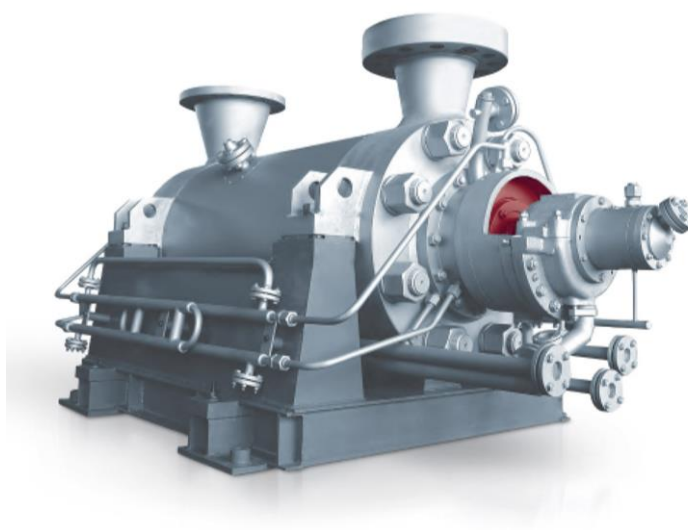


Рисунок 1.1 – Живильний насос ПЕ відцентровий, горизонтальний, однопотоковий

Живильні насоси бувають поршневыми та відцентровими з електричним та паровим приводом, а також струменевими - інжекторами. У системах опалення поршневі насоси марки ПВД і ПДГ використовуються для подачі води до котлів температурою до 100 С° при робочому тиску 0,4-2,0 МПа та продуктивністю 2-6 т/год. Однак, через свої недоліки, серед яких низький ККД, висока витрата пари, нерівномірність подачі води, чутливість до механічних домішок та забруднень, їх використовують як резервні.

Відцентрові живильні насоси з електричним приводом використовуються як основні. До їх переваг належать: економічність та надійність експлуатації, легкість регулювання продуктивності, простота обслуговування тощо. Інжектори (прохідні пристрої) використовуються для подачі води до невеликих опалювальних котелень. Для забезпечення їх надійної роботи температура живильної води не повинна перевищувати 40 С°, а висота подачі не повинна перевищувати 2 метрів. Витрата пари інжекторами становить 7 - 9% від кількості води, що подається. Живильний насос є важливим елементом котельні, оскільки навіть короткочасне переривання водопостачання може призвести до виходу котла з ладу. У зв'язку з цим живильний насос, як і інші насоси теплових контурів, оснащений автоматичним введенням резерву (АВР). Вимоги до потужності, кількості, типу живильних пристроїв та їх приводів для виробничих та теплоенергетичних котелень регламентуються нормативними актами з технічної експлуатації електростанцій [2]. Для виробництва насосів використовуються такі матеріали:

- корпус, кришки та секції - поковки з вуглецевої сталі;
- деталі проточної частини - виливки та поковки з хромистої сталі 20Х13Л та 30Х13;
- деталі ущільнень зазорів - корозійностійкі сплави;
- вал - довгокатана сталь з легованої конструкційної сталі 40Х.

До комплексу живильного насоса входять: зібраний насос з допоміжними трубопроводами всередині насоса; відповідні фланці на патрубках; приводний електродвигун; муфта зчеплення; захисна решітка; дросельний пристрій; масляна установка (насосних агрегатів марки АПЕ 250 та 270); фундаментна рама; монтажні деталі для насоса, двигуна та кришки зчеплення; комплект запасних частин.

Конструкцію живильного насосу марки ПЕ зображено на рисунку 1.2

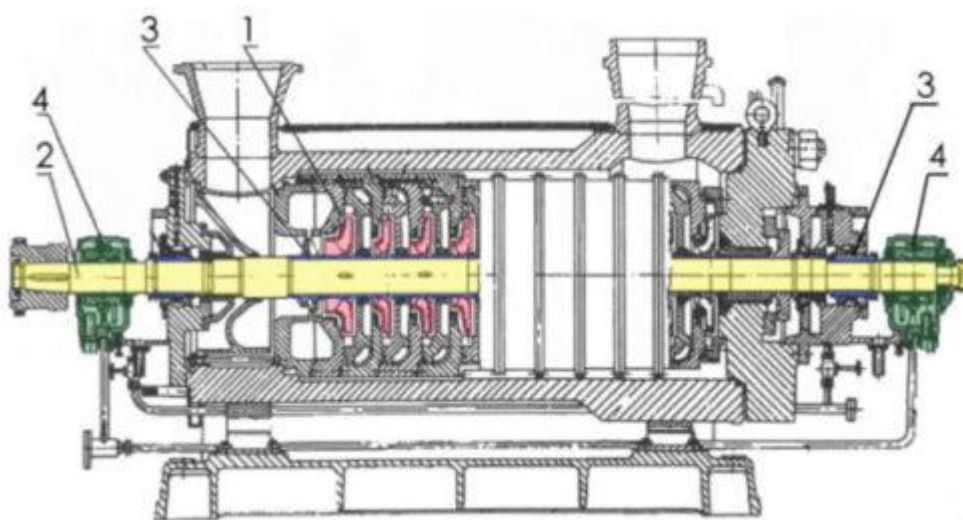


Рисунок 1.2 – Конструкція живильного насосу ПЕ 100-53:

1 – робоче колесо, 2 – вал, 3 – втулки, 4 – підшипниковий вузол

Наразі на паротурбінних енергоблоках потужністю 800 МВт серед інших живильних насосів активно використовуються моделі ПН 1500-350 та ПН 1500-350-1. Проте, тривалий досвід експлуатації цих насосів виявив низку недоліків. Для їх усунення завод-виробник провів значну модернізацію, в результаті якої з'явилися нові модифікації: ПН 1500-350-3 та ПН 1500-350-4.

До конструкції насосів було внесено такі ключові зміни:

- Зниження вібрації та підвищення надійності: Співвідношення кількості лопатей робочого колеса до лопаток направляючого апарату тепер становить 7/12. Секції направляючого апарату виконані у вигляді нерозбірних блок-секцій, що спрощує конструкцію. Для полегшення збирання насоса ротор

зробили розбірним, а робочі колеса встановлюються на вал за допомогою перехідної посадки.

- Удосконалення кінцевих ущільнень: Використано торцеві ущільнення від відомої фірми «Burgmann», що покращує герметичність та надійність.

- Усунення резонансу: Корпуси підшипників тепер жорстко з'єднані з корпусами кінцевих ущільнень. Це дозволило виключити резонанс у системі «ротор-опори», що підвищує стабільність роботи.

- Запобігання кавітації: Робоче колесо першого ступеня було перепрофільовано з розширеним входом. Це рішення дозволило ефективно усунути проблему кавітації, яка може негативно впливати на продуктивність та довговічність насоса.

Ці вдосконалення значно покращили експлуатаційні характеристики живильних насосів, підвищивши їх надійність та ефективність на потужних енергоблоках [3].

1.2 Загальні відомості про електродвигуни живильних насосів

На теплових електростанціях, зокрема на блоках потужністю 300 МВт, як приводи пускорезервних живильних пристроїв котельних агрегатів, використовуються електродвигуни типу АВ-8000/6000УЗ.

Особливі умови експлуатації та ремонту цих двигунів зумовлені їхньою системою охолодження: безпосереднє водяне охолодження обмотки ротора та непряме водяне охолодження осердя та обмотки статора в пазовій частині. Багаторічний досвід роботи з цими електродвигунами дозволив розробити та впровадити низку ремонтних заходів, спрямованих на подовження міжремонтного періоду їхньої роботи [5].

Характеристика електродвигунів АВ-8000/6000УЗ. Електродвигун АВ-8000/6000УЗ належить до серії АТД. Його маркування розшифровується так:

- А – електродвигун

- В – з водяним охолодженням
- 8000 – номінальна потужність 8000 кВт
- 6000 – номінальна напруга 6000 В

Ці електродвигуни, є основними приводами живильних насосів на 300 МВт блоках теплових електростанцій.

Серед потужних електродвигунів важливе місце посідають ті, що мають водяне охолодження статора. Яскравим прикладом є двигуни циркуляційних насосів на електростанціях.

До таких двигунів належать моделі ДВДА-260/99-20-24УЗ або ДВДА-200-35/104-20-24УХЛ1. Вони працюють з напругою 6000 вольт та частотою 50 Гц, а їхня потужність може сягати 2000 кВт.

Також використовуються електродвигуни типу, наприклад, ДВАН 143-1000/6-12УЗ, що мають потужність 1000 кВт, частоту 50 Гц та напругу 6000 В, як показано на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Високовольтний асинхронний двигун серії ДВАН

Електродвигуни серії ДВАН — це вертикальні асинхронні двигуни трифазного струму з короткозамкненим ротором, призначені для приводу вертикальних відцентрових та осьових насосів. Ці двигуни є стандартного

виконання, мають самовентиляцію та використовуються для приводу вертикальних гідравлічних насосів, які не потребують регулювання частоти обертання [4].

Особливості конструкції та переваги:

- Статор оснащений обмоткою із заклиненими пазами та ефективними осьовими каналами охолодження. Його спрощена та доступна конструкція дозволяє легко проводити ремонт, включаючи заміну обмотки та відновлення ізоляції лобових частин.
- Дворівнева розв'язка забезпечує зниження вібрації та запобігає затопленню електродвигуна в аварійних ситуаціях.
- Підп'ятник валу електродвигуна несе зовнішнє навантаження, що складається з ваги ротора насоса та реакції води.
- Ротор виконаний з мідними стрижнями пляшкового профілю та короткозамкненими кільцями, що значно підвищує надійність пусків.
- Покращені динамічні характеристики: Двигуни серії ДВАН демонструють покращені динамічні характеристики під час пуску, а також підвищену стійкість до критичних умов навантаження та розгону.
- Високовольтна ізоляція: При виробництві цих електродвигунів використовується високовольтний тип ізоляції та провід, що має у два рази вищі електроізоляційні властивості та збільшений ресурс.

Ці характеристики роблять електродвигуни ДВАН надійним та ефективним рішенням для вертикальних насосних установок.

Підвісні електродвигуни складаються з осердя статора та ротора з обмотками, захисних щитів, верхньої й нижньої хрестовин, двох напрямних підшипників (ковзання або кочення), а також підп'ятника, який розміщений в оливній ванні верхньої хрестовини, та фланця валу.

Їхня система змащення є замкнутою. Всередині ванн верхньої та нижньої хрестовин постійно циркулює олива, що охолоджує оливні охолоджувачі,

напрямні підшипники та під'ятник. Підшипники кочення заповнені консистентним мастилом.

Вентиляція двигунів реалізується за замкненим або розімкненим циклом, використовуючи радіальну систему. Охолоджувальне повітря надходить у двигун зверху та знизу, а потім виводиться назовні через отвори в корпусі статора. Якщо система вентиляції замкнена, повітря додатково охолоджується у водяних повітроохолоджувачах [5].

Переваги сучасних двигунів з водяним охолодженням: в іншому обладнанні широко застосовуються сучасні асинхронні трифазні електродвигуни серії W з водяним охолодженням. Ці моделі мають габаритну висоту від 160 до 560 мм, працюють під напругою 0,4 кВ та охоплюють потужності від 11 до 1800 кВт.

Їхня система охолодження (IC7 A1W7) інтегрована в корпус двигуна і використовує свіжу воду для відведення тепла. Водяне охолодження є високоефективним методом, що дозволяє значно зменшити розміри та вагу електродвигунів. Важливо, що ефективність цієї системи не залежить від швидкості обертання ротора.

Застосування водяного охолодження також дає такі значні переваги:

- Зниження передачі тепла до приміщення.
- Скорочення рівня шуму.
- Зменшення вібрацій, що передаються на підлогу.
- Запобігання утворенню пилу в робочому приміщенні.
- Загальне зменшення габаритів машини.

1.3 Експлуатація електродвигунів

Безаварійна робота електродвигунів на електростанціях гарантується технічно правильною експлуатацією оперативним персоналом. Це включає

регулярний нагляд за обладнанням, глибоке розуміння режимів роботи та належний догляд за електроприводами живильних насосів.

Згідно з типовою «Інструкцією з експлуатації електродвигунів в установках власних потреб електростанцій», кожна електростанція зобов'язана розробити місцеву виробничу інструкцію для експлуатації двигунів типу АВ-8000/6000УЗ. Ця інструкція повинна враховувати всі конструктивні особливості двигуна.

Електродвигун має бути оснащений необхідними контрольно-вимірювальними приладами, сигналізацією та захисними пристроями [6].

- Для контролю напруги встановлюється вольтметр.
- На блочному щиті управління повинен бути амперметр для вимірювання струму статора електродвигуна. На його шкалі червоною позначкою необхідно позначити значення струму, що на 5% перевищує номінальний.
- Камери виводів і повітроохолоджувача повинні бути промарковані номерами електродвигунів, до яких вони належать.
- В безпосередній близькості від електродвигуна обов'язково повинна бути змонтована аварійна кнопка відключення.

Стан ізоляції обмотки статора необхідно систематично контролювати, а результати вимірювань заносити до спеціального журналу.

На електростанціях обов'язково повинна бути наявна наступна документація по електродвигунах типу АВ-8000/6000УЗ:

- Паспорт електродвигуна.
- Протокол приймально-здавальних випробувань.
- Приймально-здавальний акт монтажу.
- Експлуатаційні листи, куди вносять короткі відомості про проведені випробування та ремонти.
- Приймально-здавальні технічні акти про проведені капітальні, поточні та аварійні ремонти.

- Креслення електродвигуна, його основних деталей, складальних одиниць та запасних частин.
- Принципові та монтажні схеми управління і релейного захисту.
- Перелік запасних частин.
- Технічні акти про пошкодження електродвигуна.
- Протоколи профілактичних і післяремонтних електричних випробувань, які виконуються під час ремонту електродвигуна з частковою або повною заміною обмотки.
- Монтажний та ремонтні формуляри.
- Протоколи вібраційного обстеження або балансування.
- Протоколи та акти випробувань гідравлічної щільності та гідравлічного опору системи водяного охолодження статора, ротора та повітроохолоджувача.

Варто зазначити, що якщо такі показники, як опір ізоляції обмотки статора та випробувальна напруга, зазори, вібрація, витрата та тиск води в системі охолодження ротора, статора та повітроохолоджувача, не виходять за межі допустимих норм, їх не заносять до експлуатаційних листів [7].

1.4 Режими роботи електродвигунів

В енергетичних установках часто виникають відхилення напруги, частоти та інших параметрів мережі живлення від стандартів ДСТУ. Розгляньмо, які зміни є можливими та допустимими, і як вони впливають на роботу електродвигуна [3].

При номінальному навантаженні електродвигуна допускається відхилення напруги від номінального значення в межах +10% та -5%.

- При підвищенні напруги (понад 100%) збільшуються струм намагнічування та втрати в сталі, що призводить до перегріву осердя та

обмотки статора. Робота електродвигуна при напрузі, вищій за 110% від номінальної, не рекомендується.

- При зниженні напруги (нижче 95%) зростають ковзання та втрати в роторі, а також збільшується струм у статорі, що викликає підвищений нагрів обмотки статора. Важливо пам'ятати, що обертовий момент електродвигуна пропорційний квадрату напруги. Отже, значне зниження напруги різко зменшує навантажувальну здатність, і може настати стан «перекидання» електродвигуна з можливим переходом його в режим короткого замикання. Тому при зменшенні напруги струм статора не повинен перевищувати 105% від номінального значення, що веде до зменшення потужності двигуна на валу.

Залежність струму статора від напруги (у відсотках від номінального значення) представлена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність струму статора від напруги в відсотках від номінального значення

Напруга статора, % $U_{\text{ном}}$	110	105	100	95	90	85	80
Струм в статорі, % $I_{\text{ном}}$	90	95	100	105	105	105	105

Електродвигуни можуть працювати з номінальним навантаженням, якщо частота мережі коливається в межах $(50 \pm 2,5)$ Гц. Робота за межами діапазону від 47,5 Гц до 52,5 Гц не допускається.

При одночасному відхиленні напруги та частоти від номінальних значень двигун також може працювати з номінальним навантаженням, якщо сума абсолютних відсоткових значень цих відхилень не перевищує 10% [8].

Згідно з ГОСТ 183-74, допускається короткочасне перевантаження по струму на 50% протягом 1 хвилини для електродвигунів з безпосереднім

охолодженням обмоток. Проте, робота електродвигуна є неприпустимою за відсутності напруги на одній із фаз.

Для всіх режимів роботи при номінальній частоті обертання подвоєна амплітуда коливань не повинна перевищувати 50 мкм у всіх напрямках.

Про тепловий стан електродвигуна свідчить різниця температур вхідної та вихідної охолоджуючої води, що контролюється ртутними термометрами. Допустимі значення потужності електродвигуна (у відсотках від номінальної) при зміні температури вхідної води за її номінальної витрати наведені в Таблиці 1.2.

Максимальна температура обмотки статора, виміряна терморезисторами, не повинна перевищувати +120 °С.

Що стосується витрати охолоджуючої води, то:

- Витрата охолоджуючого конденсату через нерухомий ротор повинна бути не менше 35 м³/год при тиску перед ротором 2 кгс/см² (196 кПа).
- Під час роботи електродвигуна при частоті обертання $n = 2960$ об/хв витрата охолоджуючого конденсату через ротор повинна становити 40 м³/год при тиску на вході 4 кгс/см² (392 кПа).

Таблиця 1.2 – Залежність потужності електродвигуна від зміни температури вхідної води

Температура вхідної води, °С	50	45	40	35	30 і нижче
Потужність двигуна, % Р ном	90	100	102	105	105

Максимальна температура обмотки статора, що вимірюється терморезисторами, не повинна перевищувати +120 °С.

Витрата охолоджуючого конденсату через ротор є критичною:

- Для нерухомого ротора ($n = 0$ об/хв) вона має бути не менше $35 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску перед ротором 2 кгс/см^2 (196 кПа).
- Під час роботи електродвигуна при 2960 об/хв витрата конденсату через ротор повинна становити $40 \text{ м}^3/\text{год}$ при вхідному тиску 4 кгс/см^2 (392 кПа).
- Тиск конденсату на вході в статор не повинен перевищувати 5 кгс/см^2 (490 кПа) за умови витрати не менше $5 \text{ м}^3/\text{год}$.

Якщо витрата води через ротор зменшується до менше $35 \text{ м}^3/\text{год}$, а через статор — до менше $4,5 \text{ м}^3/\text{год}$, має автоматично вмикатися сигналізація.

У разі припинення подачі конденсату в ротор електродвигун може працювати при номінальному навантаженні не більше 3 хвилин. Якщо подача припиняється в статор, цей час становить не більше 4 хвилин, після чого електродвигун необхідно відключити від мережі [9].

При експлуатації повітроохолоджувача ТВП-108-1000 важливо дотримуватися наступних умов:

- Уникати хімічно активних речовин у воді та повітрі, які можуть пошкодити охолоджуючі трубки.
- Подавати в охолоджувач технічну воду.
- Запобігати різким коливанням температури води та повітря, що порушує нормальний режим роботи охолоджувача.
- Температурний контроль здійснюється ртутними термометрами на зливному та нагнітальному трубопроводах.
- Різниця температур охолодженого повітря та води, що входить у повітроохолоджувач, не повинна перевищувати $+7 \text{ }^\circ\text{C}$. Значне збільшення цього перепаду свідчить про низьку витрату води.
- При запотіванні необхідно зменшити витрату води до відповідних меж.
- При низьких температурах охолоджуючої води можлива рециркуляція (змішування підігрітої води з холодною), що дозволяє отримати бажану температуру води та запобігти запотіванню.

- Систематично проводити хімічний аналіз води та очищати її від шкідливих домішок.
- Не допускати експлуатацію повітроохолоджувача з охолоджуючими трубами, незаповненими водою.
- Випускати повітря через отвори із затворами у верхній частині водяної камери.
- Зливати воду через отвори із затворами у нижній частині водяної камери охолоджувача.

Кількість мастила, що протікає через кожен підшипник за одиницю часу, регулюється за допомогою спеціальних діафрагм або зміною тиску мастила. Це необхідно для того, щоб перегрів мастила не перевищував 15–20 °С.

- Температура підшипників не повинна перевищувати 80 °С.
- Температура гарячого мастила у зливному патрубку має бути не вище 65 °С.
- Температура мастила, що подається до підшипників, повинна бути в межах від 35 до 45 °С.
- При пуску електродвигуна температура мастила повинна бути не менше 25 °С.

При експлуатації електродвигуна опір ізоляції обмотки статора не нормується у звичайному режимі. Оцінка стану обмотки статора проводиться на основі результатів систематичного вимірювання опору ізоляції в гарячому стані. Ці показники порівнюються з попередніми вимірюваннями абсолютних значень R60" та коефіцієнта абсорбції R60"/R15".

1.5 Випробування електродвигунів на нагрів

Промислові випробування головного зразка електродвигуна АТД-8000-2 проводились на блоці потужністю 300 МВт. Для забезпечення додаткового теплового контролю, окрім стандартних термоопорів, було встановлено 42

термопар. Вони дозволяли контролювати температуру середнього та крайнього пакетів сталі, а також обмотки в трьох місцях по периметру статора [10].

Максимальні нагріви активних частин електродвигуна визначалися у точках з найвищою температурою за номінального режиму та температури охолоджувального середовища $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За результатами випробувань, найбільша температура, зафіксована терморезисторами між верхніми та нижніми стрижнями в пазовій частині за номінального навантаження, виявилась нижчою за допустиму згідно з ГОСТ 183-74 ($116\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $120\text{ }^{\circ}\text{C}$). Максимальна температура сталі статора також була нижчою за допустиму ($113,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $120\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При повній непрохідності однієї з паралельних гілок (що еквівалентно її відключенню зі схеми) максимальна температура обмотки статора перевищує допустиму і досягає $122\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому нагрівання пакетів активної сталі статора, за відключення однієї з паралельних гілок, сильно залежить від їх взаємного розташування і може збільшуватись в окремих пакетах на $21\text{--}23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Враховуючи, що нагріви активних частин електродвигуна за нормальної схеми охолодження вже близькі до граничних значень, температура окремих частин може перевищити допустимі межі під час шунтування або відключення частини охолоджувальних сегментів. При повному припиненні подачі охолоджувальної води в статор і ротор, нагрів окремих частин електродвигуна зростає лише на $1,5\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 3 хвилин (час витримки технологічного захисту).

Хоча з точки зору нагріву активних частин допустимі й більші перерви у постачанні охолоджувальним конденсатом, однак збільшувати цей час неприпустимо. Це пов'язано з необхідністю запобігання сухому тертю в ущільненні водопідводу, для якого конденсат є мастилом.

1.6 Підготовка електродвигуна до пуску

Після завершення ремонту, перед запуском електродвигуна виконуються підготовчі операції.

Промивання маслосистеми насосного агрегату проводиться одночасно з маслосистемою турбіни К-300-240 через спеціальні перемички. Процес триває доти, доки на міткалі (фільтрі), встановленому на латунній сітці напірного маслопроводу, повністю не зникнуть механічні домішки. Дозвіл на завершення прокачування масла та подачу його на опорні підшипники за стандартною схемою надає уповноважений представник персоналу хімічного цеху [11].

Наступним кроком необхідно зібрати схему подачі масла та поступово відкрити засувки на трубопроводах, що ведуть від маслосистеми турбіни. Тиск масла має бути в межах $0,7-2,0 \text{ кгс/см}^2$ ($69,6-196 \text{ кПа}$), а температура на вході до підшипників — $40-45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Система трубопроводів подачі та зливу охолоджуючого конденсату в ротор і статор також промивається через перемички. За номінальних витрат конденсату в системі охолодження статора та ротора, вода подається в електродвигун. Температура конденсату для охолодження не повинна перевищувати $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Одночасно перевіряється надходження охолоджувальної води в повітроохолоджувач [12].

Для подачі конденсату в електродвигун спочатку заповнюється бак автономного охолодження. Далі збирається електрична схема насосів охолодження: схема подачі води від насосів через охолоджувач циркуляційної води та один із фільтрів з поверненням води до бака. Один насос підключається негайно, а другий працює як система АВР (автоматичного включення резерву). Контроль здійснюється за тиском конденсату після регулюючого клапана, який має бути $10,5 \text{ кгс/см}^2$.

Під час експлуатації, у разі зупинки електродвигуна, циркуляцію конденсату через систему охолодження ротора та статора не припиняють. Злив води з електродвигуна дозволяється лише під час ревізії або ремонту, після чого вся гідравлічна система електродвигуна повинна бути продута сухим стисненим повітрям.

Необхідно також перевірити:

- Уставку спрацювання релейного захисту з урахуванням її селективності.
- Прилади автоматики, захисту, блокування, сигналізації та керування.
- Контрольно-вимірювальні прилади.

Наступним кроком є вимірювання опору ізоляції обмотки статора електродвигуна. Перевіряються наряди на ремонтні роботи по насосному агрегату (вони мають бути закриті) та готовність агрегату до пуску за записами в журналі виведення обладнання з ремонту. Після цього збирається електрична схема двигуна.

Пуск живильного електронасоса здійснюється з блочного щита керування. При аварійній зупинці живильного турбонасоса, пуск автономного охолодження відбувається автоматично від системи АВР. Під час пуску електродвигуна контролюються покази приладів щодо режиму пуску. Після завершення пуску на амперметрі перевіряється, чи значення струму знаходиться в встановлених межах.

Під час пуску насосного агрегату персонал з обслуговування турбіни повинен перебувати біля обладнання та стежити за наростанням частоти обертання електродвигуна. За включення відповідає машиніст блоку. Після пуску проводиться прослуховування насосного агрегату для перевірки відсутності ненормальних звуків та вібрацій. Записуються показання контрольно-вимірювальних приладів. За необхідності можна змінити тиск охолоджуючого конденсату перед статором та ротором електродвигуна до номінальних значень за допомогою вентилів на підвідних лініях.

Далі необхідно перевірити роботу підшипників. Для цього ведеться контроль за температурою нагрітого повітря в системі охолодження електродвигуна, не допускаючи її збільшення понад 60 °С. Також перевіряється відсутність води в корпусі електродвигуна.

Після пробних пусків та усунення виявлених дефектів обладнання включається в роботу відповідно до режиму роботи блоку.

Якщо вібрація електродвигуна перевищує допустиме значення, ротор балансують шляхом встановлення балансувальних вантажів. Для їх встановлення знімають ущільнення та щити електродвигуна. Кількість вантажів залежить від незбалансованості ротора. Якщо за допомогою цих вантажів збалансувати ротор неможливо, встановлюють додаткові вантажі (стрижні) у спеціальні осьові отвори, наявні в кожному зубці осердя ротора. У нормальному стані ці отвори закриті натискними кільцями крайніх листів. Для встановлення вантажів посередині зубців у крайньому листі просвердлюють отвори діаметром 11,9 мм, і в балансувальні отвори вставляють стрижні діаметром 10 мм необхідної довжини. Стрижні приварюються до крайніх листів. Для доступу під час свердління отворів та встановлення стрижнів необхідно зняти бандажні кільця [13].

1.7 Обслуговування електродвигуна

Під час роботи електродвигуна операторам потрібно постійно стежити за показаннями контрольно-вимірювальних приладів, регулярно порівнюючи їх з контрольними значеннями.

Важливо періодично прослуховувати обладнання. У разі появи стуку, стороннього шуму або підвищеної вібрації, слід негайно діагностувати та усунути їх причину. Також необхідно контролювати надходження холодного конденсату для охолодження електродвигуна та води до повітроохолоджувача.

Слідкуйте за відсутністю води та пари біля електродвигуна, оскільки це може призвести до його зволоження та пошкодження. Перевіряйте відсутність

води всередині електродвигуна за показаннями приладів. Також необхідно періодично контролювати чистоту фільтрів, встановлених на підводі охолоджуючого конденсату до електродвигуна. Не рідше одного разу на місяць проводьте випробування резервного електродвигуна.

Команда на зупинку електродвигуна подається з блочного щита шляхом повороту ключа керування в положення «Зупин». Після відключення електродвигуна визначається час вибігу роторів агрегату. Нормальний час вибігу роторів становить приблизно 90 секунд. Важливо переконатися, що ротор не обертається у зворотний бік через пропуски арматури.

Застосування електродвигунів АВ-8000/6000УЗ як приводу пускорезервних живильних пристроїв котельних агрегатів блоків 300 МВт висуває високі вимоги до їхньої надійності.

Компонування живильних насосів енергоблоку 300 МВт включає встановлення живильного електронасоса (ЖЕН) з електричним приводом та живильного турбонасоса (ЖТН), який використовує парову турбіну потужністю 12 МВт як привід. Живильний електронасос задіюється під час пускових режимів енергоблоку, а також виступає в ролі резервного приводу в разі відмов ЖТН.

Живильний турбонасос (ЖТН) забезпечує номінальну паропродуктивність котельного агрегату, але через технологічні особливості енергоблок не може бути запущений лише за його допомогою. Живильний електронасос (ЖЕН), потужність якого складає 8 МВт (нижче, ніж у ЖТН), призначений для пуску блоку та його роботи при навантаженнях нижче номінального. Він також слугує резервним приводом у випадку відмови ЖТН.

Аналіз роботи 8 електродвигунів ЖЕН протягом 13 років показує, що найбільше напрацювання припадає на перший рік експлуатації. Це пояснюється частими пусками та зупинками енергоблоків, необхідними для їх налагодження, регулювання та усунення дефектів. З часом, у міру освоєння обладнання, тривалість роботи ЖЕН на кожній станції поступово зменшується. Приблизно з 6-го року середньорічне напрацювання

стабілізується на рівні 404 годин/рік. Відповідно, коефіцієнт технічного використання живильних електронасосів знижується з 16,2% у перший рік до 4,6%.

Незважаючи на відносно невелике середньорічне напруження, до електродвигунів ЖЕН висуваються дуже високі вимоги до надійності. Однак, досвід експлуатації електродвигуна АВ-8000/6000УЗ свідчить про його порівняно низьку експлуатаційну надійність. За наявними даними, середнє значення параметра потоку відмов становить 0,102 1/рік, що означає, що понад 10 із кожних 100 встановлених електродвигунів пошкоджуються протягом року.

Значна кількість аварійних пошкоджень пов'язана з порушенням герметичності систем водяного охолодження ротора та статора, що призводить до зволоження та пробією ізоляції обмотки статора.

Живильні насоси є критично важливим обладнанням, що постачає хімічно очищену воду до парогенераторів атомних електростанцій (АЕС), котелень, теплоелектростанцій та промислових підприємств. На теплових електростанціях для їх приводу часто застосовуються електродвигуни типу АВ-8000/6000УЗ.

Незважаючи на те, що ці електродвигуни мають порівняно невелике середньорічне напруження, до них висуваються надзвичайно високі вимоги щодо надійності [14]. Однак, аналіз літературних джерел та експлуатаційних даних вказує на їхню низьку експлуатаційну надійність. За статистикою, середнє значення параметра потоку відмов становить 0,102 1/рік, що означає пошкодження понад 10 із кожних 100 встановлених електродвигунів протягом року.

Головними причинами аварійних пошкоджень є:

- Порушення герметичності систем водяного охолодження ротора та статора.
- Зволоження та пробією ізоляції обмотки статора.

2 ПРИЧИНИ ПОШКОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Переведення 300 МВт енергоблоків у деяких енергосистемах з базового режиму на режим регулювання навантаження, а також їх виведення в резерв на вихідні та святкові дні, призвело до значного збільшення кількості пусків електродвигунів АВ-8000/6000УЗ. Це негативно позначається на стані кріплення обмотки статора [15].

Під час пуску електродвигуна виникає струм, що в 5,4 рази перевищує номінальний. Це, своєю чергою, збільшує динамічні сили в обмотці статора у 30 разів порівняно з номінальними значеннями. Ці сили переважно діють на лобові частини обмотки статора, спричиняючи їх деформацію, утворення місцевих дефектів ізоляції та тріщин. Це призводить до ослаблення шнурових бандажів, перетирання ізоляції (в окремих випадках аж до міді). Зафіксовано випадки перетирання мікастрічкової ізоляції лобових частин верхніх стрижнів міжшаровими прокладками до міді за період 3,5 року.

Значна частка пошкоджень статора спричинена електричними пробоями ізоляції обмотки, які виникають як під час роботи двигуна, так і при проведенні профілактичних випробувань підвищеною напругою в період ремонту.

Основні чинники, що призводять до зниження рівня ізоляції:

- Зволоження
- Комутаційні перенапруги
- Нагрів та температурні деформації
- Вплив масла
- Динамічні впливи
- Старіння ізоляції

Руйнування ізоляції відбувається під впливом навколишнього середовища внаслідок теплового, механічного або електричного впливу. Стан поверхні ізоляції значно погіршується при одночасному впливі вологи та масла. Суміш твердих частинок пилу та вологи або масла утворює на поверхні ізоляції

провідну плівку, що істотно знижує електричну міцність ізоляції обмотки та може призвести до міжфазного замикання обмотки в лобових частинах.

Пил, що циркулює в системі вентиляції, осідає на поверхнях головок лобових частин обмотки статора. Це значно збільшує ризик зволоження та забруднення ізоляції, а також її внутрішнього зволоження. Причина в тому, що цю частину обмотки ізолюють без компаундування вже після укладання стрижнів у пази статора. Водночас, зволоження пазової частини обмотки статора під час експлуатації зазвичай не спостерігається.

У літературі описано випадки зволоження обмоток статорів, спричинені порушенням герметичності системи водяного охолодження статора та ротора. Протікання води призводить до локального зволоження обмотки. Також зафіксовані випадки механічного пошкодження ізоляції всіх 48 верхніх стрижнів обмотки статора. Це відбувається через порушення герметичності місця пайки трапецієподібної частини стрижня ротора з наконечником. Таке пошкодження ізоляції верхніх стрижнів струменем води можливе лише на ділянці довжиною 45 мм при виході з паза. У пазовій частині стрижень захищений клином, а в лобовій – бандажним кільцем ротора. Ймовірність пошкодження на цій ділянці зростає також через наявність пайки стрижня ротора з наконечником саме в цьому місці. Пошкодження також виникали внаслідок неякісної пайки головки обмотки статора, коли припій потрапляв під ізоляцію лобової частини, спричиняючи її підгоряння.

Внаслідок недостатньої жорсткості кріплення лобових частин обмотки статора виникають міжфазні замикання, спричинені перетиранням ізоляції елементами кріплення.

У системі охолодження статора протікання води може бути викликане:

- Пошкодженням мідних трубок ребром поперечної стінки корпусу статора в місці їх зіткнення внаслідок вібрації.

- Протіканням силумінових сегментів, що може бути спричинено внутрішніми пошкодженнями трубок або пошкодженнями трубок у місці їх виходу із сегментів.

- Розморожуванням заповнених конденсатом сегментів, які знаходяться в нижній частині осердя резервного статора, що зберігається при температурі нижче 0 °С.

Різні види пошкоджень електричних двигунів показані на рис. 2.1.



Пошкодження обмотки статора



Вигорілі фази обмоток

Бандажна стрічка пошкоджена біля згорілої обмотки

Рисунок 2.1 – Приклади пошкоджень електричних двигунів

2.1 Порушення герметичності системи охолодження обмотки ротора

Протікання води в системі охолодження ротора може виникати в декількох ключових вузлах:

- У порожнистих стрижнях обмотки ротора: через дефекти металу.
- У місці пайки стрижня зі штуцером.
- У радіальному водопроводі бандажного вузла: внаслідок усадки гумового ущільнення або самовідгвинчування гайок.

- У місці пайки штуцера з порожнистим короткозамкненим кільцем.

Значна кількість протікань виявляється під час гідравлічного опресування системи під час ремонту. Досвід експлуатації також підтверджує випадки протікань у паяній латунній радіальній трубці в місці її з'єднання зі штуцером, що спричинено витонченням стінки внаслідок перегріву металу під час пайки. Будь-яке порушення герметичності системи охолодження ротора, як правило, призводить до зволоження та пошкодження обмотки статора [16].

Витоки води в системі охолодження ротора можуть виникати в кількох критичних точках:

- У порожнистих стрижнях обмотки ротора: часто через дефекти металу.
- У місцях пайки: зокрема, де стрижень з'єднується зі штуцером, або де штуцер з'єднується з порожнистим короткозамкненим кільцем.
- У радіальному водопроводі бандажного вузла: причиною може бути усадка гумового ущільнення або самовідгвинчування гайок.

Багато витоків виявляють під час гідравлічного опресування системи під час ремонту. Експлуатаційні дані також підтверджують випадки протікань у паяних латунних радіальних трубках, де з'єднання зі штуцером ослаблене через витончення стінки, спричинене перегрівом металу під час пайки.

Порушення герметичності системи охолодження ротора, як правило, призводить до зволоження та пошкодження обмотки статора.

2.2 Виявлення та усунення дефектів бандажних кілець ротора

Перед зняттям бандажного кільця важливо усунути карбування короткозамкненого кільця та відзначити його положення відносно короткозамкненого кільця та бочки ротора [8].

Більшість пошкоджень бандажів виявляється за допомогою зовнішнього огляду. При встановленому бандажному кільці оглядають зовнішню поверхню

та торці, а після зняття — внутрішню поверхню. Зовнішній огляд проводиться як до, так і після очищення бандажа. При огляді слід переконатися про:

- Відсутність тріщин на бандажних кільцях.
- Відсутність слідів контактної корозії, які свідчать про ослаблення посадкових натягів бандажа на короткозамкнені кільця.
- Відсутність слідів підгорання спаїв по всій поверхні бандажів.

Зняті бандажі ретельно оглядають через лупу. Тріщини, підгари, відколи, забоїни та сліди перегрівань відзначають крейдою. Дефектні місця додатково перевіряють методом кольорової дефектоскопії або з використанням хімічних реактивів. Ці методи дозволяють виявити тріщини, непомітні при простому огляді, а також уточнити їх межі та характер поширення.

Контроль методом кольорової дефектоскопії проводиться у такій послідовності:

1. Підготовка поверхні: Контрольована поверхня зачищається до металевого блиску.
2. Знежирення: Безпосередньо перед роботою ділянку знежирюють бензином.
3. Нанесення фарбувального складу: На підготовлену поверхню наносять фарбувальний склад, що містить 65% гасу, 30% трансформаторної оливи та 5% скипидару. До цього складу, підігрітого до 40-50 °С, додають барвник – судан № 1, 2 або 3 – до насичення. Після появи необхідної кількості осаду барвника охолоджений розчин фільтрують.
4. Змивання та висушування: Через 5-10 хвилин фарбувальний склад змивають струменем води, а поверхню ретельно висушують чистою серветкою.
5. Нанесення розчину крейди: На суху поверхню наносять розчин крейди та дають йому висохнути протягом 2-5 хвилин. На покритій крейдою поверхні проявлятимуться червоні лінії, що вказують на наявність тріщин та їх розташування.

Наявність і характер розташування тріщин на поверхнях бандажів також можна виявити хімічним травленням. Після зачистки та полірування поверхню знежирюють бензином, а потім спиртом. Травлення бандажів, виготовлених з немагнітних аустенітних сталей, проводиться спеціальними реактивами. Травлення бандажів також виконують розчином $3\text{HCl} + \text{HNO}_3$. Ділянку травлення обмежують пластиліном. Після травлення ділянку ретельно промивають і нейтралізують 10%-вим розчином соди. Протравлену ділянку оглядають через лупу п'ятикратного збільшення [17].

2.3 Методи підвищення надійності електричних двигунів

Для забезпечення надійнішої та тривалішої роботи електродвигунів, а також для збільшення міжремонтного періоду, під час капітальних ремонтів доцільно проводити реконструкцію окремих вузлів. Зокрема, рекомендується посилити кріплення лобових частин обмотки статора [6].

Розрахунки та дослідження показують, що лобові частини обмотки статора потужних електродвигунів здатні протистояти електродинамічним силам лише за умови жорсткої та монолітної системи їх кріплення. Нижче описано технологію створення такої монолітної системи кріплення лобових частин обмотки статора електродвигунів АВ-8000/6000УЗ.

Ці заходи виконуються під час повного перемотування обмотки статора. Основна мета реконструкції — заповнення можливих зазорів формуючим матеріалом. Це стосується проміжків між стрижнями обмотки в місцях встановлення дистанційних розпірок, між обмоткою та бандажними кільцями, а також між верхнім та нижнім рядами стрижнів (міжшарові прокладки) у місцях їх прилягання. Шнурові бандажі з лляно-конопляного шнура замінюються бандажами з просоченого лавсанового шнура. Формуючий матеріал та епоксидний склад для просочення лавсанового шнура містять сполучні речовини гарячого затвердіння. В результаті подальшого запікання

лобові частини обмотки стають монолітними та набувають високих вібраційних характеристик.

Для бандажування потрібен еластичний шнур, який ущільнюється при нагріванні. Цим вимогам відповідає лавсановий шнур, усадка якого зростає зі збільшенням температури, досягаючи 6% при 120 °С. Основні властивості шнурів для в'язки бандажів наведені в Таблиці 2.1. Еластичний лавсановий шнур дозволяє накладати бандаж щільніше. Просочення лавсанового шнура епоксидними складами гарячого затвердіння перед його установкою та подальша термообробка при температурі 100 °С підвищують механічну міцність бандажа на 50-60%.

Усадка лавсанового шнура після 2 годин витримки становить:

- При 80 °С: 1,5%
- При 100 °С: 3,0%
- При 120 °С: 6,0%
- При 160 °С: 13,0%

Ці заходи дозволяють значно покращити надійність електродвигунів та продовжити їх термін служби в умовах інтенсивної експлуатації.

Таблиця 2.1 – Властивості шнурів для в'язки бандажів

Шнур	Розривне зусилля, кгс (кН)	Відносне подовження, %	Кількість подвійних перегинів на 180°, шт
Лавсановий діаметром, мм			
3	85 (0,883)	25	-
4	116 (1,137)	34	180000
5	145 (1,142)	60	412000
Скляний діаметром 3 мм	88 (0,862)	14	242
Льонопельковий діаметром, мм			
2	42 (0,412)	9	1883
2,5	45 (0,441)	11	

Здатність препрегів приймати форму за місцем установки при кімнатній температурі та низьких тисках дозволяє уникнути зазорів між стрижнями обмотки та деталями кріплення під час укладання. Після запікання ці прокладки міцно з'єднуються з поверхнями, що сприяє створенню монолітної та жорсткої системи у лобовій частині обмотки статора.

Як вихідний матеріал використовують препреги марки АП-70-151А за ТУ 6-11-298-73, які мають високі механічні показники:

- руйнівна напруга при розтягуванні: не менше 900 кгс/см² (88,2 МПа);
- при статичному вигині: не менше 1800 кгс/см² (176,4 МПа);
- ударна в'язкість: не менше 70 кгс/см².

Гарантійний термін для препрегів, встановлений заводами-виробниками, становить 3 місяці з дня виготовлення. Після закінчення цього терміну препреги підлягають випробуванню перед застосуванням і вважаються придатними, якщо відповідають усім показникам, викладеним у технічних умовах. Хоча механічна міцність препрегів нижча, ніж у склотекстоліту, вона є достатньою для використання в конструкції кріплення лобових частин потужних електродвигунів.

Багаторічна експлуатація електродвигунів АВ-8000/6000У3 з новою конструкцією та матеріалами підтвердила, що вона забезпечує необхідну жорсткість. Така конструкція ефективно протистоїть електродинамічним силам та виключає небезпечні вібрації елементів лобових частин обмотки статора.

За досвідом підприємства «Харківенергоремонт», для додаткового посилення кріплення бандажних кілець з кожного боку статора встановлюється по п'ять кронштейнів зі склотекстоліту товщиною 25 мм.

Дерев'яні дистанційні розпірки замінюються на склотекстолітові розміром 65×24 мм.

На кронштейни та в місця їх з'єднання з бандажними кільцями укладаються шари препрегу [18].

На обидва бандажні кільця (внутрішнє та зовнішнє) зверху (по внутрішній стороні) накладається один шар препрегу товщиною 3 мм, загорнутого у склотканину, просочену лаком ЕР 1-30. Цей шар бандажується до кілець склострічкою.

При укладанні стрижнів, дистанційні розпірки в лобових частинах перед установкою ізолюються препрегом та просоченою лаком ЕР 1-30 склотканиною. Кожна дистанційна розпірка підбирається за товщиною таким чином, щоб вона, обгорнута шаром препрегу та склотканини, щільно входила в зазор між стрижнями (рис. 2.2).

Ці модифікації суттєво підвищують механічну стабільність та надійність обмотки статора.

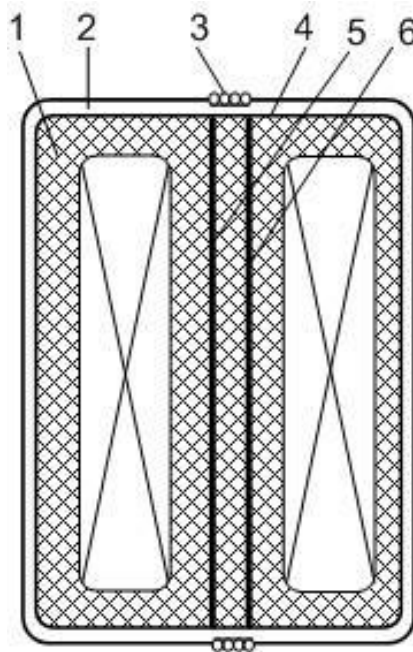


Рисунок 2.2 – Установка дистанційних розпірок і шнурових бандажів лобових частин обмотки статора

На рис. 2.2 елементи обмотки представлені наступним чином: 1 — стрижень, 2 — поперечні нитки бандажа, 3 — поздовжні нитки бандажа, 4 — препрег, 5 — дистанційна розпірка, 6 — просочена склотканина.

Бандаж накладається шнуром, складеним удвічі. Використовуваний для бандажів лавсановий шнур попередньо просочується епоксидним складом і сушиться на повітрі щонайменше 24 години після просочення.

Усі роботи з препрегом, епоксидним складом та просоченим лавсановим шнуром виконуються в рукавичках з бавовняного трикотажного полотна. Після завершення робіт руки слід ретельно вимити теплою водою з милом. Спочатку накладаються поперечні нитки бандажа, а потім — поздовжні. Кількість поперечних ниток визначається шириною розпірки, а поздовжніх — зазором між сусідніми стрижнями. Після укладання нижнього шару стрижнів встановлюють клини на виході з паза, попередньо обгорнувши їх препрегом, та бандажують склострічкою. Замість типових заводських дугових прокладок з електрокартону використовуються шари препрегу та склотекстоліту. Верхні стрижні укладаються аналогічно нижнім.

Ці деталі забезпечують правильне формування та надійне кріплення обмотки, що є ключовим для довговічності електродвигуна.

Під планки на стрижні прокладають по одній підклиновій прокладці товщиною 0,5 - 1,0 мм, після чого злегка підтягують болти. Важливо стежити, щоб кільця не торкалися розточення статора і були розташовані концентрично. Для уникнення зіткнення кілець встановлюють прокладки необхідної товщини в кількох місцях, рівномірно по колу.

Усі фази статора з'єднують послідовно і протягом 3 - 4 годин прогрівають обмотку постійним струмом, що дорівнює номінальному. Температура на поверхні ізоляції в лобових частинах має досягти 90 - 100 °С. Після цього струм відключають і обпресовують обмотку одночасно з обох боків розточення, по чергово підтягуючи чотири болти, розташовані діаметрально протилежно в площині, що проходить через вісь вала

електродвигуна. Для забезпечення необхідного зусилля пресування до голівки болта потрібно прикласти крутний момент близько 10 кгс·м (98 Н·м). Після обпресовування обмотку охолоджують до 40 °С, прибирають пристосування для пресування та заклинюють пази. Щоб уникнути випадання, крайні клини і прокладки змащують клеєм № 88-Н.

Для забезпечення більшої динамічної стійкості та механічної міцності головки закріплюють між собою бандажами зі склолавсанового шнура ШСЛ діаметром 10 мм. Шнур ШСЛ має осердя зі скляних ниток та лавсанову оболонку.

Після завершення робіт із застосуванням препрегу та лавсанового шнура, обмотку запікають за допомогою електрокалориферної установки (рис. 2.4). Температуру пазової частини контролюють штатними приладами термоконтролю, а лобових частин — тимчасово встановленими термопарами.

Перед термообробкою необхідно ретельно перевірити:

- Відсутність сторонніх предметів в обмотці.
- Ретельність заповнення препрегом зазорів між стрижнями обмотки та бандажними кільцями, а також між стрижнями та міжшаровими дугами.
- Щільність установки дистанційних розпірок: вони не повинні переміщатися в зазорах між стрижнями.
- Якість накладення бандажів з лавсанового шнура: кожен виток бандажа повинен бути покладений без нахлеста з боку розточення статора.
- Відсутність надлишків препрегу в зазорах між стрижнями.

2.4 Електричні випробування та вимірювання електродвигунів

Під час капітальних ремонтів електродвигунів, згідно з [19], обов'язково проводяться наступні електричні випробування та вимірювання:

1. Вимірювання опору ізоляції та коефіцієнта абсорбції R60"/R15" обмотки статора за допомогою мегаомметра на 2500 В.

2. Випробування обмотки статора підвищеною напругою частотою 50 Гц.
3. Вимірювання опору обмотки статора постійному струму.
4. Вимірювання опору ізоляції термоіндикаторів, опорних підшипників та водопідвідної колонки.

Опір ізоляції термоіндикаторів, виміряний мегаомметром на 250 В, має бути не менше 1 МОм.

Опір ізоляції опорних підшипників та водопідвідної колонки, згідно з [5, 20], вимірюється мегаомметром на 1000 В. Його значення не нормується.

Під час перемотування обмотки статора із заміною ізоляції стрижнів виконуються післяопераційні випробування згідно з [5].

Також проводяться випробування підвищеною напругою частотою 50 Гц для додаткових елементів. Значення випробувальної напруги (у кВ) наведені в Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення випробувальної напруги для окремих елементів двигуна

Назва елементу	Випробувальна напруга, кВ
Окремий стрижень перед укладанням:	
лобові частини	12,0
виткова ізоляція	3,5
Стрижні після укладання в пази:	
виткового ізоляція нижніх стрижнів	2,0
виткового ізоляція верхніх стрижнів	1,5
З'єднання та ізоляція вивідних шин після переізоляції перед установкою	9,0
Ізоляція кронштейнів (на місці установки)	7,5
Ізоляція бандажних кілець кріплення лобових частин	11,0

Випробування тривають 1 хвилину. Під час їх проведення враховувалися конструктивні особливості обмотки статора цих

електродвигунів. Важливо зазначити, що підприємство не бере до уваги передбачене в [16] допустиме зниження випробувальної напруги на 5% для мікастрічкової ізоляції без компаундування при модернізації кріплення обмотки статора електродвигуна АВ-8000/6000УЗ.

Проведення випробувань додаткових елементів підвищеною напругою частотою 50 Гц значно сприяє підвищенню якості робіт під час перемотування та модернізації кріплення обмотки статора електродвигунів АВ-8000/6000УЗ.

Сердечник статора електродвигуна АВ-8000/6000УЗ зібраний із сегментів листової електротехнічної сталі марки 3411. Для підвищення надійності активної сталі статора доцільно під час випробування сердечника електродвигуна підвищити значення магнітної індукції до 1,4 Тл. Таке збільшення магнітної індукції допомагає знизити пошкоджуваність активної сталі сердечника статора та скорочує час проведення випробування. Основні відомості щодо виконання випробувань сталі електродвигуна при магнітній індукції 1,0 Тл і 1,4 Тл наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення випробувальної напруги для окремих елементів двигуна

Параметри	B=1,0 Тл	B= 1,4 Тл
Кількість витків обмотки намагнічування, шт.	10	7
Кількість витків контрольної обмотки, шт.	3	3
Напруга обмотки намагнічування, В	393	383
Струм обмотки намагнічування, А	22,8	138
Втрати в сталі, кВт	5,2	10,43
Питомі втрати в сталі, Вт/кг	1,2	2,5
Максимальний перегрів, °С	3	5
Наявність точок з місцевим нагрівом	Нет	Нет
Тривалість випробувань, хв	90	45
Найбільш допустимий перегрів, °С	45	25
Найбільша допустима різниця нагріву різних зубців	30	15
Найбільш допустимі питомі втрати, Вт/кг	5	3

3 СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

Пошкодження електродвигунів поділяються на дві основні категорії: механічні та електричні.

До механічних несправностей належать:

- Несправності підшипників: Виникають через старіння або випаровування мастила, що призводить до перегріву підшипників, їхнього креніння та виходу з ладу.
- Механічні пошкодження двигуна: Можуть бути результатом недбалого транспортування. Двигуни зі значною деформацією корпусу непридатні до встановлення.
- Зрив крильчатки: Без ефективного охолодження термін служби пристрою значно скорочується. При перших ознаках проблем з примусовим охолодженням (підвищений шум, зростання температури корпусу) необхідно звернутися до фахівців для ремонту.

Тривала робота з недостатнім охолодженням часто призводить до переходу механічних несправностей в електричні.

Електричні несправності включають:

1. Замикання між витками однієї обмотки: Виникає через значне перевищення навантаження, що провокує надмірне нагрівання, руйнування ізоляції та "злипання" витків. Це скорочує довжину провідника, оскільки струм тече коротшим шляхом. Виявити таку несправність можна за допомогою мультиметра: опір пошкодженої обмотки буде нижчим, ніж у двох інших. Для усунення потрібне перемотування двигуна.

2. Коротке замикання між фазами: Найчастіше спричинене різким підвищенням температури. Подібно до міжвиткового замикання, але "злипання" відбувається між витками різних обмоток. Це викликає миттєве спрацювання автоматики. Необхідне розбирання та перемотування двигуна.

3. Обрив обмотки: Трапляється при високих навантаженнях, що викликають різке зростання температури. Ізоляція плавиться, а жили перегорають при контакті. Руйнування струмоведучої жили призводить до переривання обмотки, унеможливаючи проходження струму. Потребує перемотування. Для виявлення таких дефектів необхідне періодичне обслуговування та контроль максимально допустимого навантаження.

4. Пошкодження/відсутність заземлення: При порушенні ізоляції дротів струм може потрапити на струмопровідні поверхні, включно з корпусом двигуна. Оскільки промислове обладнання працює з великими струмами, це створює смертельну небезпеку. Тому вимірювання опору ізоляції електродвигунів є ключовим для безпечної експлуатації [21].

Окремо виділяють несправності, спричинені перепадами напруги:

1. Підвищена напруга за всіма трьома фазами: Усувається за допомогою захисної апаратури.

2. Перекіс фаз у мережі живлення: Часто виникає через "слабкий нуль", коли обрив на лінії та некоректне з'єднання дротів призводять до окислення або підгоряння металу, створюючи недостатній контакт. Це призводить до "провалу" нульової фази та перекосу між іншими фазами. Повністю убезпечити обладнання від цього складно, тому періодично потрібен ремонт та перемотування двигунів.

3. Провал фази: Зникнення однієї з фаз є дуже критичним для обладнання і призводить до перегорання обмотки. Вимагає перемотування електродвигуна.

4. Розряд блискавки: Ще одна причина виходу обладнання з ладу, що також потребує перемотування.

5. Перегрів: Навіть просте накриття корпусу тканиною може перешкодити природному охолодженню через ребра, викликавши перегрів. Якщо примусова система охолодження не справляється, метал нагрівається, і знову знадобиться перемотування двигуна.

6. Попадання води: Особливо стосується обладнання без достатнього пило- та вологозахисту.

7. Попадання сторонніх предметів у корпус двигуна: Може статися під час перевстановлення крильчатки (наприклад, зрив болта) або інших подібних дій.

8. Перевантаження: Найчастіша причина, що вимагає ремонту асинхронного електродвигуна. Виникає через некоректний розрахунок навантаження на мотор.

Крім перерахованих вище електричних несправностей в електродвигунах можуть бути несправності механічного характеру. Причиною надмірного нагріву підшипників може бути неправильна збірка підшипників, погана «центровка» електродвигуна, забруднення підшипників або великий знос кульок і роликів (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Причини несправностей електродвигуна

Несправність	Можлива причина
<i>Електродвигун не розвиває номінальної частоти обертання і гуде</i>	<i>Одностороннє притягання ротора внаслідок зносу підшипників, перекосу підшипникових щитів або згину бала.</i>
<i>Електродвигун гуде, ротор обертається повільно, струм у всіх трьох фазах відрізняється і навіть на холостому ходу перевищує номінальний</i>	<i>Обрив одного або декількох стрижнів обмотки ротора; Неправильне з'єднання початку і кінця фази обмотки статора (фаза «перевернута»).</i>
<i>Ротор не обертається або обертається повільно, двигун сильно гуде і нагрівається</i>	<i>Обрив фази обмотки статора</i>
<i>Електродвигун перегрівається при номінальних навантаженнях</i>	<i>Випкове замикання в обмотці статора; Погіршення умов вентиляції внаслідок забруднення вентиляційних каналів</i>
<i>Недопустимо низький опір ізоляції обмотки статора електродвигуна</i>	<i>Зволоження або сильне забруднення ізоляції обмотки; Старіння або пошкодження ізоляції</i>
<i>Електродвигун вібрує під час роботи і після відключення при частоті обертання ротора, близької до номінальної</i>	<i>Порушення співвісності валів, неєрівноваженість ротора</i>
<i>Електродвигун сильно вібрує, але вібрація зупиняється після відключення його від мережі, двигун сильно гуде, струм у фазах неоднаковий, одна із ділянок обмотки статора сильно нагрівається</i>	<i>Коротке замикання в обмотці статора електродвигуна</i>

Діагностика асинхронних електричних двигунів виконується в такій послідовності:

Увага! Перед початком вимірювань перевірте справність мультиметра.

1. Повірка на наявність вологи в корпусі: Використовується мегаомметр. Підключіть один контакт до клеми, другий – до корпусу. Нескінченний опір свідчить про відсутність вологи.
2. Визначення міжвиткового замикання: За допомогою мультиметра (межа 200 Ом) перевірте опір кожної фази. Значно менший опір на одній фазі вказує на міжвиткове замикання, що вимагає ремонту та перемотування.
3. Діагностування обриву обмотки: При тих же межах вимірювання перевірте, чи немає значного перевищення опору на одній з обмоток. Показання "нескінченність" свідчить про обрив обмотки, що також усувається перемотуванням.
4. Перевірка справності ізоляції: Переведіть тестер у режим вимірювання МОм. Перевірку здійснюють між початком і кінцем обмотки. Знижений опір свідчить про порушення ізоляції, що вимагає перемотування. Вартість перемотування залежить від складності завдання.
5. Перевірка витоку струму на корпус: Не перемикаючи межі вимірювання, з'єднайте один щуп приладу із заземлювальним болтом, а інший – по черзі з усіма клемами. Якщо прилад показує не нескінченність, а конкретну величину, це свідчить про витік струму на корпус, що потребує перемотування електродвигунів [22].

Розрізняють такі види ремонту:

1. Поточний: Проводиться в профілактичних цілях. Включає діагностику, огляд, заміну мастила тощо.
2. Терміновий: Виконується оперативно при виявленні критичної несправності.

3. Капітальний ремонт: Вимагає стаціонарного обладнання. Майстер повністю розбирає мотор, усуває люфти, замінює підшипники, ремонтує станину, тобто перевіряє стан кожного вузла. Для уточнення цін на перемотування електродвигунів звертайтеся до менеджерів (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Ремонт електродвигуна

3.1 Вимоги до діагностування електричних двигунів

Електродвигуни змінного струму підлягають вимірюванням під час прийнятно-здавальних випробувань, а також під час капітального та поточного ремонту.

Для визначення необхідності сушіння ізоляції обмоток електродвигунів слід керуватися нормативними документами.

Вимірювання опору ізоляції виконують мегаомметром. Для електродвигунів потужністю понад 5000 кВт проводять випробування ізоляції обмотки статора підвищеною випрямленою напругою з вимірюванням струму витoku по фазах. Це допомагає визначити можливість їх увімкнення без сушіння.

Значення випробувальної напруги промислової частоти приймаються згідно з нормативними документами, а тривалість подачі випробувальної напруги становить 1 хвилину.

Вимірювання зазорів між сталлю ротора та статора проводять, якщо це дозволяє конструкція електродвигуна. Для електродвигунів потужністю 100 кВт і більше, всіх двигунів відповідальних механізмів, а також двигунів з виносними підшипниками та підшипниками ковзання, значення повітряних зазорів у місцях по обводу ротора, зміщених на 90° , або у спеціально передбачених точках, не повинні відрізнятися більше ніж на 10% від середнього значення зазору.

Вимірювання зазорів підшипника ковзання проводять відповідно до вказівок підприємства-виробника.

Вимірювання опору обмоток постійному струму проводять у холодному стані машини. Ці вимірювання діагностичних параметрів обмоток статора та ротора виконують в електродвигунах на напругу 3 кВ і вище, а також у двигунах потужністю 300 кВт і більше.

Вимірювання опору постійному струму обмотки ротора проводять у синхронних електродвигунах та в електродвигунах з фазним ротором. Значення опорів різних фаз обмотки не повинні відрізнятися один від одного, від попередніх вимірювань або від заводських даних більше ніж на 2%.

У реостатах та резисторах, встановлених на електродвигунах на напругу 3 кВ і вище, опір обмоток вимірюють на всіх відгалуженнях. Для решти електродвигунів вимірюють загальний опір реостатів та резисторів та перевіряють цілісність відпайок. Значення опорів не повинні відрізнятися від паспортних, проєктних значень або попередніх вимірювань більше ніж на 10%.

Гідравлічне випробування повітроохолодника проводять надлишковим тиском від 0,2 МПа до 0,25 МПа (2 - 2,25 кгс/см²) протягом від 5 до 10 хвилин, якщо відсутні інші вказівки заводу-виробника.

Перевірку роботи електродвигуна на холостому ході (НХ) або з ненавантаженим механізмом проводять в електродвигунах на напругу 3 кВ і вище, потужністю 100 кВт і більше. Значення струму холостого ходу для електродвигунів, що вводяться в роботу, не нормується. Проте, значення струму НХ після капітального ремонту не повинно відрізнятись більше ніж на 10% від значення струму, виміряного перед ремонтом. Тривалість безперервної роботи електродвигуна на холостому ході — не менше 1 години.

Вимірювання вібрації підшипників електродвигунів проводять у двигунах на напругу 3 кВ і вище, а також у всіх електродвигунах відповідальних механізмів. Допустиме значення вібрації на кожному підшипнику не повинно перевищувати такі значення (якщо заводськими інструкціями не передбачені більш жорсткі норми):

- Синхронна частота обертання (об/хв): 3000, 1500, 1000, 750 і нижче.
- Вібрація підшипників (мкм): 30, 60, 80 і 95 відповідно.

Вимірювання розбігу ротора в осьовому напрямку проводять в електродвигунах, які мають підшипники ковзання. Осьовий розбіг не повинен перевищувати значення від 2 мм до 4 мм. Розбіг ротора перевіряють під час капітального ремонту в електродвигунах відповідальних механізмів або у випадку виймання ротора.

Перевірку роботи електродвигуна під навантаженням проводять під навантаженням, забезпеченим технологічним обладнанням до моменту здачі в експлуатацію, але не меншим ніж 50% номінального.

Перевірку справності стрижнів короткозамкнутих роторів проводять для асинхронних електродвигунів потужністю 100 кВт і більше під час капітального ремонту з вийманням ротора. Випробування збудників проводять у синхронних електродвигунах.

3.2 Методи діагностики електричних двигунів

На сьогоднішній день відомі такі методи діагностики асинхронних двигунів:

- Вібраційний аналіз: Ґрунтується на аналізі вібрацій окремих елементів обладнання.
- Акустичний аналіз: Ґазується на аналізі акустичних коливань, що виникають під час роботи.
- Аналіз магнітного поля: Включає вимірювання та аналіз магнітного потоку в зазорі двигуна та зовнішнього магнітного поля.
- Термоґрафічний аналіз: Заснований на вимірюванні та аналізі температури окремих елементів машини.
- Діагностика механічних вузлів: Зокрема, підшипників, на основі аналізу вмісту заліза в маслі.
- Аналіз електричних параметрів: Ґазується на вимірюванні та аналізі електричних характеристик обладнання.
- Діагностика стану ізоляції.

Вібродіагностика є одним з найпоширеніших методів. Її суть полягає в аналізі вібраційних параметрів (вібропереміщення, віброприскорення, віброшвидкість) у різних точках електродвигуна. Реєструються як діючі (середньоквадратичні) значення, так і пік-фактор. Широко використовуються методи спектрального аналізу, де діагностичними параметрами є амплітуди окремих гармонійних складових вібраційного сигналу.

Однак, вібродіагностика має недоліки:

- Потребує використання спеціальних віброакустичних датчиків.
- Складна установка датчиків.
- Складність інтерпретації результатів.

Вібродіагностика ефективна для визначення дефектів підшипникового вузла, ексцентриситету, але менш чутлива до дефектів обмотки статора. При цьому

аналіз відмов електродвигунів показує, що до 80% електродвигунів виходять з ладу через дефекти обмотки статора [17, 20]. Методи акустичної емісії також недостатньо чутливі до електричних пошкоджень низьковольтних двигунів [20].

Встановлено, що зовнішнє магнітне поле електричних машин значною мірою визначається несиметричністю обмоток статора та магнітної системи. Дефекти, що виникають, змінюють характер зовнішнього магнітного поля, викликаючи спектр просторових гармонік індукції. Це дозволяє використовувати аналіз індукції зовнішнього магнітного поля для діагностування технічного стану асинхронного двигуна.

Теоретично доведено залежність між наявністю дефектів у двигуні та проявом певних гармонік у спектрі зовнішнього магнітного поля:

- Статичний ексцентриситет ротора призводить до появи просторових гармонік, порядок яких нижчий за основну просторову гармоніку, і які значною мірою визначають рівень зовнішнього магнітного поля.
- Наявність у зовнішньому магнітному полі двигуна гармонік $k-1$ та $k+1$ (де k — основна гармоніка) може бути діагностичною ознакою зношення підшипників.
- Наявність у зовнішньому магнітному полі двигуна гармонік $3k$ може свідчити про міжвиткові та міжфазні замикання обмотки статора.

В.Г. Тонкіх [20] розробив принципи реєстрації зовнішнього магнітного поля двигунів, запропонував інтерпретацію результатів та висновки щодо наявності дефектів. Ці принципи використовуються в методі діагностики асинхронних електродвигунів на основі аналізу параметрів їх зовнішнього магнітного поля. Суть методу полягає в установці електромагнітного датчика поруч з двигуном для фіксації зовнішнього магнітного поля. Сигнал з датчика надходить на комп'ютер, де він оцифровується, записується та піддається спектральному аналізу. За певними характеристиками отриманої картини визначається вид

пошкодження. Достовірність результатів діагностики цього методу становить 92% [20, 21].

Методи, засновані на вимірюванні та аналізі магнітного потоку в зазорі двигуна, поширені для діагностики високовольтного обладнання (від 6 кВ і вище). Однак установка датчиків магнітного поля (елементів Холла або магніторезисторів) вимагає безпосереднього доступу до об'єкта діагностування, що можливе лише під час виробництва обладнання або ремонту.

Методи тепловізійного контролю дозволяють досить точно визначити стан підшипникових вузлів. Як датчики температури можуть бути використані безконтактні інфрачервоні пірометри, що дозволяє їх застосовувати за відсутності безпосереднього доступу. Проте вони непридатні для контролю внутрішніх пошкоджень ізоляції двигуна, а закриті виконання приводів унеможливорює використання безконтактних датчиків [17].

Методи, що базуються на аналізі вмісту заліза в маслі, широко застосовуються для діагностики механічних вузлів. Однак вони визначають стан механізму за непрямими ознаками, що не завжди дозволяє вчасно виявити пошкодження, що розвиваються [17].

Останнім часом активно розвиваються методи діагностики стану асинхронних двигунів, що базуються на контролі споживаного струму з подальшим спектральним аналізом отриманого сигналу. Це дозволяє з високою достовірністю визначати стан різних елементів двигуна. Наявність у спектрі струму двигуна характерних частот певної величини свідчить про наявність пошкоджень електричної та/або механічної частини електродвигуна [20].

Струми статора надають інформацію про обриви стрижнів та міжвиткові замикання обмоток статора. Механічні пошкодження, такі як руйнування підшипників, також виявляються за спектром струму [22].

Недоліком простого спектрального аналізу струму є складність оцінки результатів, оскільки будь-яка амплітудно-модульована частота враховується у спектрі двічі (по обидва боки напруги живлення). Це обумовлює недостатню точність діагностування та відсутність можливості збільшення числа аналізованих гармонік [18, 19]. Для виключення накладання частот від різних пошкоджень та спотворення картини реального стану двигуна використовується метод аналізу спектрів векторів струму (PI) та напруги (PU).

Оскільки напруга живлення не є ідеально синусоїдальною, у спектрах PI та PU присутні гармоніки, обумовлені якістю напруги живлення. Пошкодження електродвигуна та механічного навантаження викликають відповідні гармоніки у спектрі струму.

На відміну від простого спектрального аналізу, при формуванні спектрів модуля вектора Парку будь-яка модульована амплітудною модуляцією характерна частота враховується в спектрі вектора Парку тільки один раз. Гармоніки у спектрі PI, що відповідають різним видам пошкоджень, відрізняються одна від одної. Таким чином, виявлення у спектрі PI характерних гармонік достовірно та однозначно вказує на наявність електричних та механічних несправностей в електродвигуні.

Метод діагностування стану асинхронних двигунів на основі спектрального аналізу векторів Парку струму та напруги має низку переваг порівняно з іншими способами діагностики:

- Розширення переліку діагностованих пошкоджень та підвищення точності діагностування.
- Можливість виявлення основних видів дефектів електродвигуна.
- Зниження трудомісткості процедури діагностування (завдяки збігу ліній у спектрах модуля вектора Парку струму та напруги).
- Забезпечення можливості дистанційного діагностування.
- Спрощення процедури діагностування: не потрібне відключення двигуна та/або зняття навантаження.

- Можливість повної автоматизації процесу діагностики [18].

Загальним недоліком як спектрального аналізу струму статора, так і спектрального аналізу модулів векторів Парку струму та напруги є необхідність врахування впливу параметрів мережі живлення, характеру навантаження, зовнішніх електромагнітних полів та перехідних процесів у приводі. При використанні регульованого електроприводу на основі силових напівпровідникових перетворювачів у спектрах струмів виникають частоти, обумовлені комутацією вентилів, що також необхідно враховувати [17]. Для достовірного діагностування стану електродвигуна необхідно обробляти осцилограми статорного струму великої тривалості при постійній частоті та повільно змінному навантаженні. Для двигунів, які постійно працюють у динамічних режимах (часті пуски та гальмування), ці методи не можуть бути використані [10].

Контроль стану ізоляції високовольтних асинхронних двигунів в процесі експлуатації може здійснюватися кількома методами. Сучасні, найбільш ефективні методи діагностики параметрів ізоляції включають:

- Контроль вібрації секцій обмоток статора в пазах та в зоні лобових частин.
- Контроль пульсацій радіальної складової магнітного поля в зазорі.
- Контроль часткових розрядів в ізоляції обмотки статора.

Часткові розряди містять інформацію про ступінь розвиненості дефекту. Амплітудні та амплітудно-фазові розподіли часткових розрядів є найбільш інформативними ознаками наявності різних дефектів в ізоляції високовольтних електричних машин [21, 22].

Контроль стану ізоляції статорів асинхронних двигунів за рівнем та розподілом часткових розрядів можливий для двигунів, робоча напруга яких становить від 4 кВ і вище. Для двигунів, що працюють при менших робочих напругах обмотки статора, виникнення дефектів в ізоляції не завжди

супроводжується явищем часткових розрядів, тому ефективність застосування цього методу для низьковольтних двигунів невисока.

Одним з найважливіших питань при діагностиці стану ізоляції за частковими розрядами є вибір діапазону частот, у якому передбачається проводити вимірювання. Це питання неоднозначне і без його вирішення важко бути впевненим у достовірності кінцевих діагнозів. На практиці використовується вимірювальне обладнання, що працює у високочастотному діапазоні (від 0,5 до 80,0 МГц). Для реєстрації часткових розрядів в обмотках статорів асинхронних двигунів використовуються високочастотні трансформатори струму та конденсатори зв'язку.

Застосування акустичного методу реєстрації часткових розрядів ускладнене через екранування активних частин статора елементами конструкцій машин. Для приладів, що працюють у надвисокочастотному діапазоні, корпус статора також є перешкодою для реєстрації електромагнітного випромінювання від часткових розрядів.

Пошкодження ізоляції обмотки статора асинхронного двигуна зазвичай виникають у трьох основних зонах:

- У пазах пакета статора: між секцією обмотки та сталлю пакета статора, або між двома секціями обмотки, що належать різним фазам.
- На зрізі пакета статора: при фазній напрузі через пошкодження напівпровідникового покриття в ізоляції секцій.
- У лобових частинах секцій обмотки статора: під впливом лінійної напруги між фазами обмотки.

У всіх цих трьох основних місцях розташування обмотки статора або максимально близько до них, де потенційно можуть і зазвичай виникають часткові розряди, слід монтувати первинні датчики часткових розрядів.

При вимірюванні часткових розрядів у процесі експлуатації асинхронних двигунів присутній великий рівень наведених високочастотних перешкод. Проблемою, що виникає при проведенні вимірювань часткових розрядів, є

високі вимоги до надійності роботи та монтажу конденсаторів зв'язку. Їх підключення можливе лише на відключеному устаткуванні. Конденсатори зв'язку повинні надійно працювати в умовах високої температури, сильних магнітних полів та інших зовнішніх впливів [22].

Аналіз сучасних діагностичних комплексів показав, що для підвищення вірогідності діагностування технічного стану асинхронних двигунів необхідне вдосконалення існуючих та розробка нових методів і засобів діагностики асинхронних двигунів у процесі експлуатації. Також необхідна розробка засобів комплексної діагностики асинхронних двигунів малої та середньої потужності на основі електричного, магнітного, теплового та вібраційного методів [13, 14].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці під час організації обслуговування та діагностування статора гідрогенератора. Отже, на оперативно-ремонтний персонал ГЕС, що здійснює обслуговування та діагностування статора гідрогенератора, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [21, 22]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

- хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

- фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Живлення обладнання для власних потреб і системи освітлення здійснюється від трифазної мережі з ізольованою нейтраллю 6 кВ і чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці

електротравматизму – з підвищеною небезпекою, адже в цехах – струмопровідна підлога.

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає вимогам з урахуванням показників пожежовибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон) [23, 24].

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектною організацією і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу. При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з ПВЕ (як для пересувних механізмів).

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів. В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

Виводи обмоток, кабельні воронки та всі обертові частини електродвигунів (контактні кільця, шківів, муфти, вентилятори) слід

огороджувати. Забороняється знімати ці огороження під час роботи електродвигуна.

Вмикати та вимикати електродвигуни пусковою апаратурою з приводами ручного керування необхідно в діелектричних рукавичках.

У разі виконання роботи на електродвигуні або механізмі, який приводиться ним у рух, що пов'язана з дотиком до струмовідних або обертових частин, з електродвигуна слід зняти напругу, а кабель, що живить його, слід заземлити. Роботи, що не пов'язані з дотиком до струмовідних або обертових частин електродвигуна чи механізму, який приводиться ним у рух, можуть проводитись на працюючому електродвигуні за розпорядженням або в порядку поточної експлуатації.

У разі виконання роботи на електродвигуні заземлення можна встановлювати на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з РУ (збіркою). У разі виконання робіт на механізмі, не пов'язаних з дотиком до частин, що обертаються, та у разі роз'єднання з'єднувальної муфти заземлювати кабельну лінію не вимагається.

У разі від'єднання кабелю від електродвигуна необхідно на жили кабелю з боку електродвигуна встановити переносне заземлення. У тому разі, коли переріз жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається в електродвигунах напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником перерізом, не меншим за переріз жили кабелю, або з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення та з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативній документації нарівні з переносним заземленням.

Перед допуском працівників до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, слід закрити і зачинити на замок засувки ташибери останніх, а також вжити заходів щодо гальмування роторів електродвигунів.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому проводиться робота, слід вивішувати плакати "Стій! Напруга" незалежно від того, перебувають вони в роботі чи в резерві.

Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені. Про видавання дозволу слід робити запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу - в оперативному журналі цеху (дільниці), що проводить випробування.

Ремонт та налагодження схеми керування електродвигуном, не з'єднаним з виконавчим механізмом, можна проводити за розпорядженням. Випробування схеми керування виконується за дозволом працівника, який видав розпорядження. Запис про це слід зробити тоді, коли реєструється розпорядження.

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огорожувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;

- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;

- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;

- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри

і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [25], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила

безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [26]. Параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях заводу наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [27]: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдуву; провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [26] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [27]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії; встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [28] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [29] (таблиця 4.4).

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху.

Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація». Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори [30].

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

4.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [31, 32]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [33], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [34].

Основні виробничі приміщення ЕС за вибухонебезпечністю та пожежонебезпечністю відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В з зонами П-Іа

в приміщеннях, де є тверді горючі речовини чи матеріали (оболонки електрообладнання).

Будівля, в якій розташовано приміщення машзали, характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищ і та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настипи, прогони	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати вогонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвиликах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції:

- втрати несучої спроможності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.6.

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків, сільськогосподарських будівель і споруд потрібно приймати за таблицею 7 (знаменник) [35].

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	6/9	8/9	10/12

На території ЕС встановлено 47 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) та 42 ВВП-9 [36].

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу особливостей експлуатації та конструкції потужних електричних двигунів, виявлено, що ці двигуни працюють у складних умовах. Зокрема, вони функціонують під високими напругами (6000 або 10000 вольт), в умовах підвищеної вологості повітря машинних залів ТЕС і насосних станцій, при підвищених температурах котельних приміщень, а також піддаються частим перевантаженням, пускам та зупинкам.

Проведені дослідження причини пошкодження потужних двигунів, що експлуатуються на електричних станціях свідчать про те, що до таких причин відносяться перенапруги в колах живлення власних потреб електричних станцій (ЕС), висока вібрація привідних механізмів (кулькових млинів, транспортерів вугілля, дуттєвих вентиляторів і т. п.), струмові пускові перевантаження в умовах дії АПВ та інші.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі основні завдання:

- 1) виконано аналіз конструктивних особливостей двигунів;
- 2) виконано дослідження причин пошкоджень потужних двигунів електричних станцій;
- 3) проаналізовано методи та способи діагностування пошкоджень двигунів власних потреб;
- 4) досліджено заходи з безпечної експлуатації електричних двигунів.

Під час монтажу та подальшої експлуатації двигунів власних потреб електричних станцій потрібно передбачати заходи по запобігання негативному впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Тому в роботі розглянуте питання охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лежнюк П.Д. Проектування електричної частини електричних станцій / П.Д. Лежнюк, В.М. Лагутін, В.В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
2. Проєкт Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». 2022. 164 с.
URL:<https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
3. Буткевич О. Ф., Гурєєва Т. М., Чижевський В. В. Юнєєва Н. Т. Про деякі впливи складу генеруючих потужностей на динамічні властивості систем/ Технічна електродинаміка. 2022. № 6. С. 42-51
4. Лежнюк П.Д. Проектування електричної частини електричних станцій / П.Д. Лежнюк, В.М. Лагутін, В.В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
5. Лежнюк П. Д. Комутаційні електричні апарати / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л. Н. Добровольська. - Луцьк: ЛНТУ, 2010. – 321 с.
6. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
7. Лагутін В. М., Тептя В. В., Вишневський С. Я. Власні потреби електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2008. 102 с.
8. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, М. О. Казак. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
9. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина I. Машини постійного струму: Навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, І. В. Грабенко. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 86 с.
10. Рубаненко О.Є. Діагностування обладнання в умовах неповноти вихідних даних / О.Є. Рубаненко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і електроенергетика». – 2011. – Вип.11. – С.319-323
11. Kliman G.B., Stein J. Induction Motor Fault Detection Via Passive Current Monitoring // ICEM'90: Proceedings of International Conferences, MIT. – Boston, - 1990. - P.32-41.

12. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. □ Х.; Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПА-ОП 40.1-1.21-98: Затв. 09.01.1998 № 4 /Держ. Комітет України по нагляду за охоророною праці. Київ, 2008. 150 с.
14. Електричні апарати: підручник /Бржецький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О.Є. – Херсон ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.
15. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – №3. – С. 35-36.
16. IEC 61180-1: First edition, 1992-10. High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements. – 59 p.
17. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 219 с.
18. Козлов В. Д., Соломаха М. І. К 592 Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.
19. Електричні апарати: конспект лекцій у 3 ч. Ч. 2. Електричні апарати низької напруги / укладачі: І. Л. Лебединський, І. І. Борзенков. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 66 с.
20. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина V. Синхронні машини [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, І. В. Грабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 137 с.
21. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1-1.01-97: Затв. 06.10.1997 № 257/Держ. Комітет України по нагляду за охоророною праці. Х.: Вид-во «Форт», 2008. 144 с.
22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПА-ОП 40.1-1.21-98: Затв. 09.01.1998 № 4 /Держ. Комітет України по нагляду за охоророною праці. Київ, 2008. 150 с.

23. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

24. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

25. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

26. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

27. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

28. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

29. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

30. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

31. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

32. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

33. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС

України, 2014. 47 с.

34. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

35. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

36. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Особливості експлуатації асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Сікорська О.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	61,8 %
Загальна схожість	38,2 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор

(підпис)

Маланський В.В.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

Особливості експлуатації асинхронних двигунів в системах власних потреб електричних станцій

Виконав: студент 4го курсу групи ЕСМ-23мс
спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
освітня програма «Електричні системи і мережі»

Маланський Вадим Васильович

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС
Сікорська О. В.

1

ПРИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Асинхронний двигун (АД) — це тип електродвигуна, який широко використовується в різних галузях промисловості та в побуті. Основні його переваги включають високу надійність, простоту конструкції, низьку вартість виробництва та експлуатації.

Особливістю асинхронних двигунів є те, що вони не мають прямого контролю над швидкістю обертання ротора. Швидкість обертання залежить від навантаження на валу ротора та від параметрів мережі живлення. Тому, для керування швидкістю ротора асинхронного двигуна використовуються спеціальні електронні пристрої, які забезпечують зміну параметрів мережі живлення. Це дозволяє ефективно керувати швидкістю ротора та знизити енергоспоживання виробництва.



2

КОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

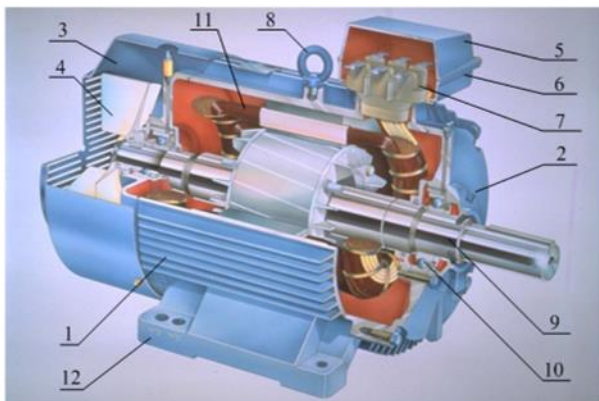


Рисунок 1 – Конструкція асинхронного двигуна:
1 – статор; 2 – підшипниковий щит; 3 – кришка вентилятора; 4 – вентилятор; 5 – кришка; 6 – клемна коробка; 7 – клемна панель; 8 – рем-болт; 9 – ротор; 10 – підшипник; 11 – обмотка статора; 12 – лапи

Конструктивно трифазний асинхронний двигун складається з нерухомого статора та рухомого ротора. Корпус (станина) найчастіше виконаний з чавуну, оскільки він більш зносостійкий та стійкий до агресивної дії зовнішніх факторів. Саме всередині станини кріпиться статор. Щоб покращити тепловий баланс електродвигуна, корпус роблять із ребрами для охолодження.

3

РІЗНОВИДИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Власні потреби – це пристрої, які забезпечують нормальну роботу станції. До них відносяться:

Електродвигуни паливоподачі обслуговують механізми розвантаження, транспортування, дрібнення і подачі палива в бункери котельні.

Електродвигуни пилеприготування обслуговують систему розмолу палива і подачі пилу в топку. На теплових станціях, які працюють на газу або мазуті, електродвигуни пилеприготування відсутні.

Електродвигуни мазутних насосів. На мазутних станціях є двигуни мазутних насосів, які подають мазут у котли, є відповідальними механізмами.

Електродвигуни тягодуттьових пристроїв забезпечують роботу димососів, що відсмоктують з топки газу, утворені під час згорання палива.

Електродвигуни живильних насосів призначені для подачі води насосами в котельний агрегат. Короткочасні перерви в роботі на 10 – 30 с цих насосів може призвести до аварії на станції.

Електродвигуни конденсатних насосів приводять у роботу насоси, які відкачують конденсат з конденсаторів турбін і подають його до деаераторів.

Електродвигуни циркуляційних насосів належать до відповідальних механізмів. Їх відключення спричиняє за собою зривання вакууму і аварійну зупинку турбін.

Електродвигуни мережевих насосів. Мережеві насоси забезпечують споживачів гарячою водою.

Двигуни маслонапірних установок забезпечують подачу масла в напірну частину цих установок.

Двигуни допоміжних механізмів – пожежного водопостачання, насосів відкачування турбінних камер, дренажних насосів, нагнітальної і витяжної вентиляції, вентиляторів системи охолодження трансформаторів – за характером роботи мало відрізняються від двигунів такого ж призначення теплових електростанцій.

4

ДОПУСТИМІ РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Електричні двигуни власних потреб електростанцій та підстанцій для нормальної та довготривалої експлуатації класифікуються:

за напругою: електродвигуни розраховані на тривалу роботу під час зміни напруги в мережі. Напруга може коливатись у межах: від $-5\% U_{ном}$ до $+10\% U_{ном}$. Зміна в таких межах призводить до збільшення або зменшення струму в обмотках.

за частотою струму живлячої мережі, оскільки, якість електричної енергії впливає на рівень частоти в мережі, промислова частота становить 50 Гц, але допускається відхилення $\pm 0,1$ Гц (допускається робота в межах $\pm 5\%$);

за температурою охолоджувального повітря: електродвигуни старих серій розраховані на тривалу роботу за температури повітря $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для нових не більше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

за числом пусків: холодний двигун з короткозамкненим ротором дозволяється пускати 2 – 3 рази підряд, а гарячий не більше 1 разу. Під час великої кількості пусків підряд обмотки двигуна недопустимо перегріваються від пускового струму, а це різко скорочує їх період експлуатації.

за величиною вібрації: вібрація двигуна, виміряна на кожному підшипнику, не має перевищувати наступних значень:

Синхронна частота обертання, об/хв	3000	1500	1000	750
Допустима амплітуда вібрацій, мм	0,05	0,1	0,13	0,16

5

ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ТА ЇХ ПРИЧИНИ



Пошкодження обмотки статора



Вигорілі фази обмоток

Бандажна стрічка пошкоджена біля згорілої обмотки

Рисунок 2 – Приклади пошкоджень електричних двигунів

6

ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ТА ЇХ ПРИЧИНИ

1. Під час увімкнення двигуна в мережу його ротор не обертається, або обертається, але повільно з підвищеним шумом:

- ▶ обрив фази обмотки статора, або несправність пускорегулювального органу;
- ▶ обрив короткозамкненої обмотки ротора;
- ▶ замикання обмотки статора на корпус;
- ▶ недостатня потужність двигуна, у порівнянні з потужністю приводного механізму;
- ▶ знижена напруга;
- ▶ нерівномірність зазору між ротором і статором (вимірюють зазори в чотирьох місцях, розбіжність може становити 10 %);
- ▶ неправильне з'єднання обмоток двигуна в зірку замість трикутника.

2. Несправності підшипників – під час роботи виявлене підвищене нагрівання корпусу підшипників:

- ▶ відсутність змазки в підшипниках кочення, або мастила в підшипниках ковзання;
- ▶ надлишки змазки або мастила;
- ▶ різні механічні пошкодження підшипників (тріщини, відпрацювання, спрацювання сепаратора).

7

ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ТА ЇХ ПРИЧИНИ

3. Під час роботи двигунів виявлено підвищене нагрівання їх корпусів:

- ▶ перевантаження двигуна;
- ▶ підвищена напруга обмотки статора;
- ▶ несправності систем охолодження;
- ▶ пошкодження листів ізоляції сердечника статора за рахунок неякісної їх фіксації. Пошкодження ізоляції листів, призводить до вихрових струмів. Вони сприяють появі такої температури, що частина сердечника може вигоріти.

4. Під час роботи двигунів з їх корпусу з'являються іскри та дим:

- ▶ пошкодження або обрив короткозамкненої обмотки;
- ▶ ослаблення фіксації листів чи пакетів сердечника статора.



Рисунок 3 – Несправність електродвигуна

8

ПРИЧИНИ, ЯКІ ПОТРЕБУЮТЬ НЕГАЙНОГО ВИМКНЕННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Згідно з вимогами ПТЕ електричні двигуни потрібно негайно вимикати з мережі:

1. Під час нещасного випадку з людьми, пов'язані з роботою двигуна чи механізму;
2. Під час появи диму чи вогню з машини чи пускорегулювального органу;
3. Під час поломки приводного механізму;
4. Під час швидкозростаючої вібрації;
5. Під час швидкого нагрівання корпусу двигуна;
6. Під час пошкодження підшипників.

Місцевому експлуатаційному персоналу залежно від умов роботи електродвигунів дозволяється розширювати повноваження, і відобразити їх в інструкції з експлуатації.



9

Дякую за увагу!