

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

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

к.т.н., доцент / ОКУШКО О.В./
(підпис)
« _____ » _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТІВ СИЛОВИХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ
НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЇ»**

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент _____ Синявський О.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

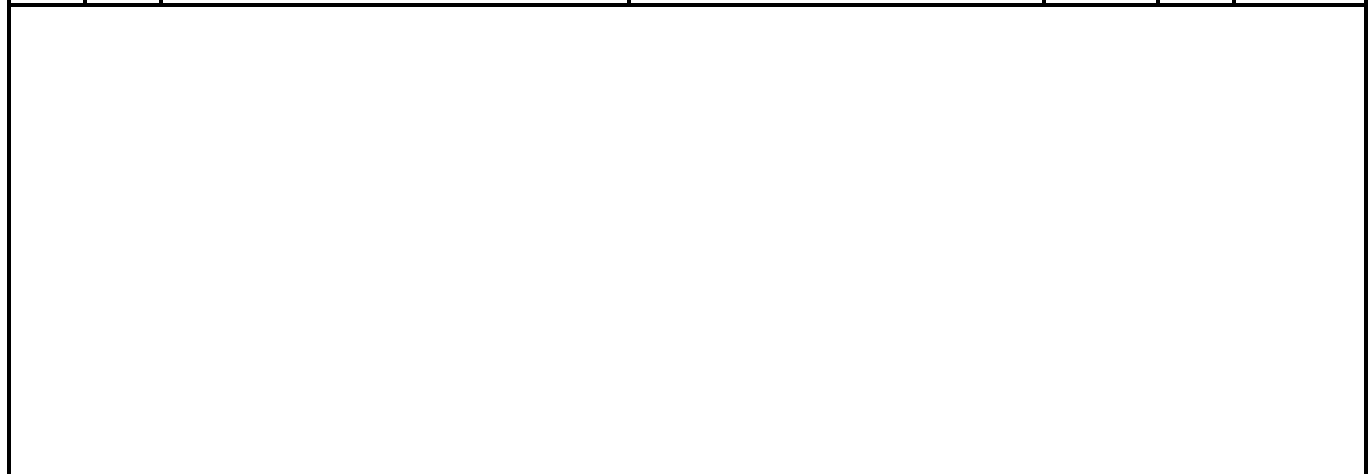
к.т.н., доцент _____ Наливайко В.А.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____

_____ Філіпенко Н.В.
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2025

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ прим.	Примітка
	A4	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ПЗ	Пояснювальна записка			
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЕМ	ПТО і РЕО. План пункту з нанесенням силового електрообладнання. Розрахунково-монтажна таблиця.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЕО	ПТО і РЕО. План пункту з нанесенням освітлювального обладнання. Розрахунково-монтажна таблиця.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЕЗ.1	Дослід короткого замикання. Схема електрична принципова	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЕЗ.1	Дослід холостого ходу. Схема електрична принципова.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЕЗ.1	Коефіцієнт трансформації. Схема електрична принципова	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЕЗ.1	Пристрій для випробування ізоляції підвищеною напругою. Схема електрична принципова.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ГР	Методи та засоби оцінки технічного стану обладнання енергосистем.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ГР	Алгоритм діагностування трансформаторів.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ГР	Термограми силових трансформаторів.	1		
	A3	02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ЗВ	Тепловізор. Зовнішній вигляд.	1		



					02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ПЗ		
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата			
<i>Розробив</i>		Філіпенко Н.В.			Відомість Проекту		
<i>Перевірив</i>		Наливайко В.А.					
<i>Н.контроль</i>		Коробський В.В.					
<i>Затвердив</i>		Окушко О.В.					
					Літер	Лист	Листів
					Т		
					НУБіП України ЕЕЕ-210026		

АНОТАЦІЯ

Випускна бакалаврська робота на тему: «Вдосконалення технології ремонтів силових трансформаторів на основі застосування методів неруйнівного контролю параметрів ізоляції».

Проведено розрахунок освітлення виробничих приміщень, силових і освітлювальних електропроводок, а також вибір пускозахисної апаратури.

Детально розглянуто питання діагностування перевірки та випробувань силового електрообладнання. Розглянуті питання енергоефективності та енергозбереження.

ANNOTATION

The degree project on a theme “Electrification of technological processes of the specialized laboratory after the tests of power electrical equipment”.

The accounts of illumination of industrial premises, power networks, and also choice, electrical equipment are carried out(spent).

The question of development of technology of repair of contact units of switching devices of mobile electrotransport is in details considered. Have been looked question about restaureit connect parts with help electrissyfair legiration.

ВСТУП

Одним з основних елементів систем розподілу та передачі електричної енергії є силові трансформатори. Електроенергетика багатьох країн світу налічує велику кількість силових трансформаторів, значна частина яких відпрацювали свій нормативний ресурс, що переважно становить 25 років. Заміна таких трансформаторів потребує значних капіталовкладень і не завжди доцільна, тому нині актуальною проблемою є забезпечення надійності та продовження терміну служби силових трансформаторів. Як відомо, у силових трансформаторах найбільше піддається старінню паперово-масляна ізоляція, яка має органічне походження, тому можна стверджувати, що стан твердої ізоляції визначає ресурс роботи силового трансформатора. Протягом експлуатації у паперово-масляній ізоляції трансформаторів відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які призводять до деградації ізоляції і утворення різних продуктів старіння. Тому для підвищення надійності силових трансформаторів значну увагу приділяють обробці і відновленню характеристик паперово-масляної ізоляції.

Впровадження новітніх технологій має значний вплив на характер і склад роботи персоналу, зайнятого обробкою паперово-масляної ізоляції силових трансформаторів. Значно скорочується і спрощується питання організації робіт і постачання. Завдяки зменшенню обсяг робіт з маслооброблювальним обладнанням персонал може надавати більше уваги керуванню і контролю технологічних процесів

Перехід від системи планово-попереджувальних ремонтів до ремонту згідно з оцінкою стану електромережових об'єктів шляхом безперервного діагностування та організація централізованого ремонту електроустаткування із заміною на місцях несправних блоків – є одним із напрямків концепції розвитку електротехнічних служб. Вирішення одного із завдань цієї концепції – розробка спеціалізованої дільниці з діагностування електричних апаратів - є метою цієї роботи.

					02.02-БКР.2055"С".2023.11.18.054.ПЗ			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Філіпенко Н.В..			Пояснювальна записка	Літера	Лис т	Лис тів
Перевірив		Наливайко В.А.				Т	1	
Н.контроль		Коробський В.В.				НУБіП України ЕЕЕ-210026		
Затвердив		Окушко О.В.						

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВІТНІХ ФОРМ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГООБЛАДНАННЯ	
1.1. Технічне діагностування у системі ПЗР і ТО електрообладнання	7
1.2. Прогнозування технічного стану виробів	8
1.3 Ефективність технічного діагностування	11
2. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	15
3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	
3.1. Вибір і перевірка електроприводу технологічного обладнання	19
3.2. Вибір силових електропроводок та розподільчих пристроїв	25
3.3. Вибір освітлення і вибір освітлювальних проводок та щитків	27
3.4 Перевірка захисних апаратів на спрацювання при струмах короткого замикання за гранично- вимикаючою здатністю	31
4. ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	
4.1 Зовнішній огляд	36
4.2 Вимірювання опору ізоляції	36
4.3 Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти	41
4.4 Вимірювання опору обмоток постійному струму	45
4.5 Перевірка коефіцієнта трансформації	46
4.6 Перевірка групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів	47
4.7 Вимірювання струму й втрат холостого ходу	48
4.8 Випробування трансформаторного масла	50
5. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	51
5.1 Технічні заходи для зменшення втрат в трансформаторах	52
5.2 Компенсація реактивної потужності	58
5.3 Охорона праці при виконанні випробувальних робіт	54
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	73
Висновки	74
Список використаних джерел	75

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВІТНІХ ФОРМ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГООБЛАДНАННЯ

1.1. Технічне діагностування у системі ПЗР і ТО електрообладнання

Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств передбачає технічне обслуговування з періодичним контролем, при якому контроль технічного стану здійснюється із встановленими періодичністю та обсягом, а обсяг інших операцій визначається технічним станом виробу в момент початку технічного обслуговування.

Контроль у складі технічного обслуговування чи як окрема операція має метою прогнозування технічного стану електрообладнання до наступного обслуговування і перевірку його роботоздатності.

Плановий поточний ремонт за системою ПЗР і ТО базується на контролі технічного стану електрообладнання з періодичністю і в обсязі нею встановленими, а обсяг і момент початку ремонту визначається технічним станом виробу.

Необхідні матеріальні і трудові затрати на проведення діагностування окупуються за рахунок зменшення трудомісткості та затрат на проведення технічного обслуговування, поточного і капітального ремонтів.

Вихідними даними для планування робіт з технічного обслуговування і діагностування є інвентаризаційні документи – відомості, енергетичний паспорт підприємства, карта експлуатації тощо, а також річний план проведення цих заходів.

Технічне діагностування електрообладнання залежно від його кількості та умов підприємства може здійснюватися за такими варіантами:

- діагностування проводить окрема діагностична ланка чи бригада;
- діагностування проводить ремонтно-діагностична ланка чи бригада.

Виконавцями робіт з діагностування можуть бути інженери, бакалаври, молодші спеціалісти та досвідчені електромонтери, добре обізнані з правилами

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпечної експлуатації електрообладнання. Керівник ланки чи бригади повинен мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче 4-ї, а інший персонал – не нижче 3-ї.

Результати вимірювань під час діагностування заносять до журналу, в якому кожній одиниці обладнання відводиться кілька сторінок з тим, щоб можна було аналізувати його стан та прогнозувати залишковий ресурс роботи.

1.2. Прогнозування технічного стану виробів

Прогнозування технічного стану може здійснюватися як у процесі розробки (конструювання) виробів, так і під час експлуатації і має метою передбачення технічних параметрів чи віднесення їх до певного класу та визначення ймовірності виходу цих параметрів за межі допустимих значень (настання відмов). Може вирішуватися також задача прогнозування надійності виробу – передбачення кількісних показників надійності на основі прогнозування поступових і раптових відмов. Оцінка надійності стає прогнозуючою, коли на основі аналізу фізичних процесів, вивчення закономірностей, яким підпорядковані показники надійності, робиться висновок щодо очікуваного рівня надійності виробу. На основі прогнозування технічного стану виробу в умовах експлуатації розробляються напрямки підвищення його надійності.

Можливість отримання прогнозу з певною достовірністю обумовлюється тією обставиною, що відмови виробу настають внаслідок поступового накопичення його пошкоджень, старіння і зношування. Слід зазначити, що це стосується як поступових, так і раптових відмов, які виникають після поступової зміни не на краще одного чи кількох параметрів виробу за відсутності належної інформації.

Прогнозування базується на використанні минулого досвіду експлуатації виробу, а накопичена інформація є головним фактором отримання прогнозу на

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

майбутнє. Інформація дає можливість визначитися з вибором моделі виробу – детермінованої чи стохастичної¹.

Обчисленню прогнозованих параметрів виробу має передувати експеримент, результати якого розглядаються разом із інформацією з досвіду експлуатації.

Прогнозування може бути:

- груповим, коли вивчається група виробів;
- індивідуальним, коли в межах встановленого проміжку часу спостерігається зміна параметрів одного виробу із їх сукупності.

У процесі групового прогнозування одержують статистичну оцінку строку служби однотипних виробів на основі результатів випробувань.

Під час індивідуального прогнозування визначають надійність чи технічний стан кожного конкретного виробу.

Задача прогнозування розв'язується за двома підходами:

Детермінований підхід полягає у пошукові апроксимуючої залежності, для чого використовуються інтерполяційні поліноми – Лагранжа, Ньютона, тригонометричні поліноми та метод найменших квадратів. Вказані методи є досить ефективними у разі наявності гіпотези про детермінований характер залежності і досить точного математичного виразу для цієї залежності. Область застосування детермінованого підходу обмежується із збільшенням інтервалу прогнозу, оскільки при цьому спостерігається різке зниження його точності за практичної неможливості визначити помилку.

Більш поширеним є стохастичний підхід – побудова стохастичної моделі виробу, що враховує випадковий характер змін, які в ньому проходять. При цьому в якості прогнозованої характеристики приймається зміна випадкової величини протягом часу від моменту початку контролю до моменту першого перетину поля допуску. Цей підхід дає умовну випадкову величину, імовірнісний опис якої і є характеристикою прогнозованої якості виробу.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внаслідок випадкового характеру процесу зміни обраного параметру (характеристики) у принципі можна отримати лише наближений розв'язок задачі. Прогнозування може бути розділене на кілька етапів:

- 1) розробка (побудова) моделі досліджуваного процесу та формування її математичного опису;
- 2) отримання даних контролю і використання їх для визначення досліджуваного процесу;
- 3) обчислення необхідних характеристик процесу.

Є ще один метод прогнозування – метод розпізнавання образів.

У цьому випадку група виробів розбивається на кілька класів, між якими встановлюються чіткі межі.

Процес створення образу складається із трьох етапів – "навчання", створення образу категорії та екзамену.

Розпізнавання образу полягає у віднесенні його до одного із раніше виділених класів на підставі близькості його ознак до ознак певного класу.

Індивідуальне прогнозування надійності методом розпізнавання образів зводиться до віднесення конкретного виробу на підставі критеріїв роботоздатності до того чи іншого класу, для якого апріорно відомі показники надійності чи технічні характеристики.

Застосування методів прогнозування в період експлуатації технічних об'єктів дозволяє:

- обґрунтувати терміни проведення профілактичних заходів з метою запобігти відмові у прогнозований час;
- оптимізувати програму пошуку та локалізації несправностей;
- зменшити кількість обслуговуючого персоналу шляхом автоматизації процесу діагностування та прогнозування стану (ресурсу);
- визначити потребу у запасних частинах, одержавши інформацію про вузли чи блоки, вихід з ладу яких очікується найближчим часом;
- скоротити час відновлення шляхом виявлення найбільш ушкоджуваних блоків та підготовки для їх заміни запасних частин і матеріалів.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проблема прогнозування стану чи ресурсу на різних стадіях існування технічного об'єкта є комплексною і має значний технічний і економічний ефект.

1.3 Ефективність технічного діагностування

Технічне діагностування, що пов'язане із значними матеріальними затратами на різних його стадіях, є доцільним лише за умови високого рівня ефективності, оцінити який можна за певним критерієм (критеріями).

Слід зауважити, що вибір того чи іншого критерію є справою складною, оскільки потребує одночасного врахування цілого ряду факторів – якості функціонування комплексу діагностичної апаратури, техніко-економічних показників, рівня кваліфікації оператора.

Зазвичай до критеріїв оцінки ефективності діагностування висуваються такі основні вимоги:

- обов'язкове врахування технічних показників об'єкта і засобів діагностування;
- можливість порівняння різних діагностичних засобів з метою визначення шляхів їх вдосконалення;
- відносна простота інженерних розрахунків.

Вплив усіх складових діагностичного комплексу враховує узагальнений критерій ефективності діагностування – ймовірність Реф. діаг. нормального функціонування діагностованого об'єкта

$$P_{\text{еф.діаг.}} = W_D \cdot P_1, \quad (1.1)$$

де W_D – ймовірність правильного визначення стану об'єкта;

P_1 – ймовірність відсутності несправностей у неконтрольованій частині об'єкта діагностування протягом часу T_1 .

У свою чергу ймовірність W_D є функцією засобів діагностування (ЗД) та діяльності оператора (ОП)

$$W_D = V_{ЗД} \cdot V_{ОП}, \quad (1.2)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складові VЗД та ВОП також залежать від ряду інших величин.

Скажімо VЗД визначається достовірністю результату діагностування $P_{діаг}$ та ймовірністю правильного функціонування діагностичних засобів РЗД, що характеризує якість їх функціонування

$$V_{ЗД} = P_{діаг} \cdot P_{ЗД}, \quad (1.3)$$

Достовірність результатів діагностування $P_{діаг}$ знаходиться у залежності від методичної $D_{метод}$ та інструментальної $D_{інструм}$ достовірностей діагностування.

$$P_{діаг} = D_{метод} \cdot D_{інструм}, \quad (1.4)$$

Ймовірність правильного функціонування засобів діагностування РЗД визначається показниками їх надійності і зокрема показниками безвідмовності та комплексним показником-коефіцієнтом готовності.

Показники $D_{метод}$ та $D_{інструм}$ теж слід розглядати через їх складові, наприклад

$$D_{метод} = F_{алг} \cdot F_{метод}, \quad (1.5)$$

де $F_{алг}$ – достовірність алгоритму діагностування;

$F_{метод}$ – достовірність методу діагностування.

Достовірність методу $D_{метод}$ може бути розрахована за відомими із теорії вимірювань формулами для оцінки похибок методу вимірювань.

Інструментальна достовірність $D_{інструм}$ є величиною ймовірності правильного висновку щодо стану технічного об'єкта із припущенням, що засоби діагностування є абсолютно надійними.

У разі контролю n показників технічного об'єкта

$$D_{інструм} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_{2i}), \quad (1.6)$$

де d_{2i} – ймовірність правильного висновку за i -м показником.

У випадку, якщо $d_{2i} = d_2$, $i = 1, 2, \dots, n$

$$D_{інструм} = 1 - (1 - d_2)^n. \quad (1.7)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Можливою є також оцінка інструментальної достовірності за величиною ймовірності помилкового висновку про наявність несправності технічного об'єкта.

Розрахунок величини множника РЗД у формулі (1.3) може бути різним залежно від умов діагностування. При цьому засоби діагностування можуть розглядатися як об'єкти безперервної дії (технологічні процеси, бортове обладнання транспортних засобів, мобільної сільськогосподарської техніки тощо) або ж як об'єкти періодичної дії (скажімо діагностування пересувних об'єктів перед використанням).

У разі використання діагностичних засобів у тривалому (постійному режимі) величина РЗД є ймовірністю безвідмовної роботи і може бути розрахована залежно від закону розподілу відмов у часі – експоненціального, Релея, Вейбулла та ін.

Якщо засоби діагностування розглядаються як об'єкти періодичної дії, то величина РЗД може бути розрахована через коефіцієнт готовності

$$k_{гот} = \frac{T}{T + \tau_{в}}, \quad (1.8)$$

де T і $\tau_{в}$ – відповідно середні величини часу наробітку на відмову та часу відновлення після відмови.

Коли у засобах діагностування (їх комплексі) здійснене резервування, величина РЗД може бути визначена із припущенням, що всі засоби (резервні і основні) є рівнозначними, а їх відмови є подіями незалежними за формулою

$$P_{ЗД} = 1 - (1 - P_{ЗДО})^{m+1}, \quad (1.9)$$

де $P_{ЗДО}$ – ймовірність безвідмовної роботи нерезервованих діагностичних засобів;

m – кратність резервування.

Окремого розгляду заслуговують питання впливу діяльності оператора у складі комплексу діагностичного забезпечення на ефективність діагностування.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На стадії проектування (конструювання) діагностичної апаратури, що реалізує певний метод діагностування, підлягають вирішенню такі задачі:

- раціональний розподіл функцій між людиною-оператором і технічними засобами;
- визначення оптимальних умов діяльності оператора;
- раціональне інформаційне забезпечення оператора;
- встановлення вимог до технічних засобів діагностування з боку оператора (ергономічні вимоги, вимоги безпеки тощо).

Вирішити зазначені питання можна після ретельного аналізу надійності і ефективності діяльності оператора під час діагностування. З цією метою необхідно:

- встановити характерні показники оператора, що визначають надійність і ефективність його участі у процесі діагностування;
- визначити фактори, що впливають на показники надійності та ефективності роботи оператора;
- з'ясувати динаміку зміни показників надійності та ефективності роботи оператора у ході діагностування;
- визначити ефективність роботи оператора у складних та екстремальних умовах.

Такий аналіз можна віднести до складу інженерно-психологічних проблем із області досліджень систем “людина-машина”.

Отримані числові дані є достатніми для розрахунку кількісного значення ймовірності виконання оператором свого завдання.

					02.02- КБР.2055”С”.2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

При виконанні робіт на пункті діагностування електрообладнання використовується різноманітне обладнання, яке повинне забезпечити можливість швидко і якісно виконувати розбирання машин, миття та очищення деталей і складових одиниць, дефектування, збирання та транспортування, монтаж та перевірку обладнання на робочому місці.

Для виконання контрольно-дефектаційних робіт використовуються вимірювальні та контрольні прилади і інструменти, які зберігаються в спеціальній шафі.

Також передбачається наявність шафи для зберігання резино-технічних виробів та інших швидкозношувальних деталей, ящика для зберігання хімікатів (миючих і дезінфікуючих розчинів), стелаж для запасних деталей і складальних одиниць, місткість для зберігання мастильних матеріалів, ящик для піску, ванни для консервування та розконсервування запасних деталей, точильно-шліфувальний і настільно-свердлильний станки.

В комплект приладів та інструментів входять: таль ручна, електродриль, набір інструментів електромонтера, пристрій для випробувань захисних апаратів, високовольтний стенд, тиски слюсарні, паяльна лампа, шприц важільний плунжерний, ножиці для металу, комплект сверدل, запасний вакуумметр, запасний манометр, прилад для перевірки стану електродвигунів, плоскогубці, круглогубці, кусачки, комплект викруток, масштабна лінійка, зубило, молоток, комплект щупів, ключ торцевий з комплектом головок, ніж.

Прилади та інструменти зберігаються в спеціально відведеній шафі.

В приміщенні пункту технічного діагностування даним дипломним проектом передбачається вентиляція для забезпечення санітарно-гігієнічних умов оточуючого середовища, в рамках, що вимагаються нормами безпеки праці.

Припливна вентиляція проектується в тих випадках, коли в приміщенні кратність повітрообміну менше 3, а при більшій кратності передбачається

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втяжна, з механічним збудженням повітря, або змішана - припливно-втяжна вентиляція.

Систему вентиляції для приміщення пункту технічного діагностування приймаємо саме припливно-втяжну.

Кількість повітря, що видаляється вентиляцією визначаємо за годинною кратністю його об'єму, встановлену нормами ДБН МЗ-08.

Необхідний повітрообмін визначається за формулою:

$$L_n = V \cdot k_p, \quad (2.1)$$

де V - об'єм приміщення, m^3 ;

$$V = 9 \cdot 6 \cdot 4,5 = 243 \text{ м}^3;$$

k_p - кратність повітрообміну, 1/год.

Для приміщення пункту технічного обслуговування вентиляційний пристрій повинен забезпечувати 4-кратний обмін повітря за годину

$$L_n = 243 \cdot 4 = 972 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Видалення повітря з приміщення здійснюється з верхньої зони. Приймаємо повітропровід згідно ДБН діаметром 160 мм із гладкої оцинкованої сталі.

Опір повітропроводу:

$$H_o = 0,085 \cdot \left(1 \cdot \frac{\gamma}{d} + \alpha \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\rho_{п.}}{d^4}; \quad (2.2)$$

де L - щосекундна витрата повітря, m^3 / c ;

$$L = L_n / 3600 = 972 / 3600 = 0.27 \text{ м}^3/c; \quad (2.3)$$

l - довжина повітропроводу, $l = 10 \text{ м}$;

d - діаметр повітропроводу, $d = 0.16 \text{ м}$;

γ - коефіцієнт опору, $\gamma = 0,015$;

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\rho_{\text{п}}$ - густина повітря в повітропроводі при $t = 18^{\circ}\text{C}$, $\rho_{\text{п}} = 1.213 \text{ кг/м}^3$;

α - сума коефіцієнтів місцевих опорів.

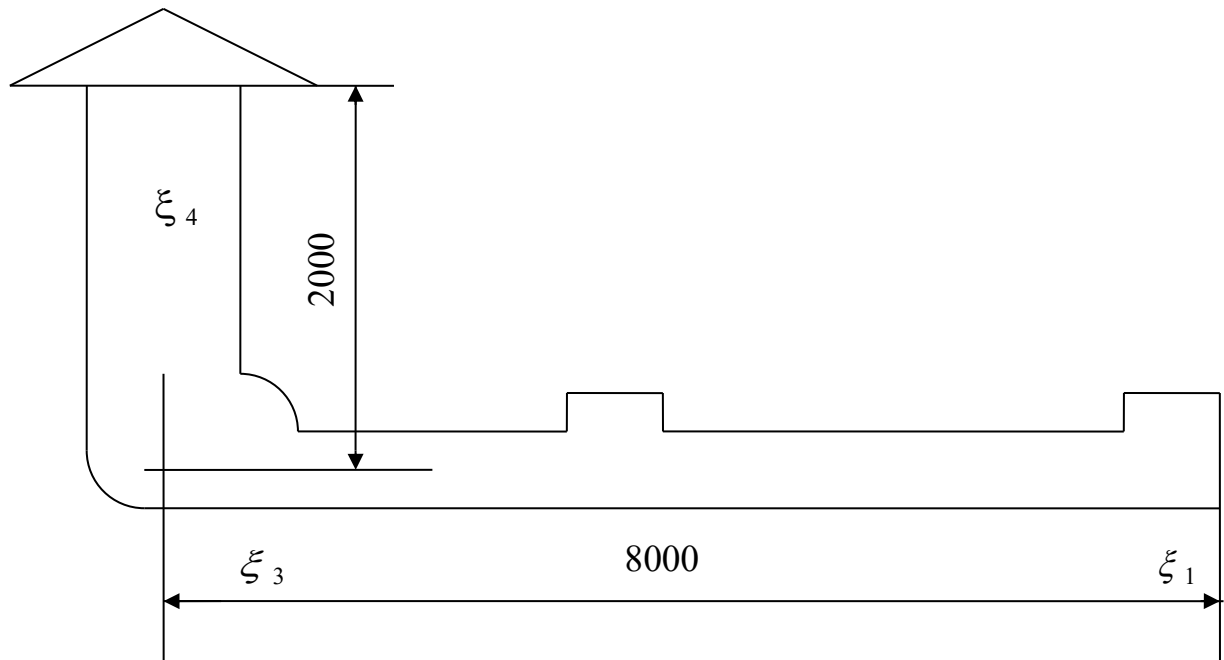


Рис.2.1. Схема повітропроводу.

$$\alpha = \sum \xi, \quad (2.4)$$

де ξ_1 - два бокових входи, $\xi_1 = 2 \cdot 0,6$;

ξ_2 - потрійний прямокутний, $\xi_2 = 1$;

ξ_3 - плавний відвід, $\xi_3 = 0,25$;

ξ_4 - парасолька звичайна, $\xi_4 = 1,3$.

$$\alpha = 2 \cdot 0,6 + 1 + 0,25 + 1,3 = 3,75.$$

Після підставлення значень та обчислення за формулою (2.2), отримаємо:

$$H_0 = 0,0825 \cdot \left(10 \cdot \frac{0,015}{0,16} + 3,75 \right) \cdot 0,27^2 \cdot \frac{1,213}{0,16^4} = 52,2 \text{ кг/м}^3.$$

Зведений тиск P , який повинен забезпечувати вентилятор, і по якому ведемо його вибір:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = H_0 \cdot \frac{273+t}{273+t_1}, \quad (2.5)$$

де t - нормальна (кімнатна) температура, $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_1 - температура повітря в системі, $t_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$P = 52.2 \cdot \frac{273+20}{273+18} = 52,6 \text{ Па.}$$

Враховуючи підсос повітря, згідно ДБН 11-Г.7-62, подача вентилятора при сталених повітропроводах повинна бути збільшена на 10%.

$$L_{\text{д}} = 972 + 97,2 = 1069,2 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.6)$$

За приведеним тиском і дійсною подачею вибираємо відцентровий вентилятор типу Ц4-70, продуктивністю $1400 \text{ м}^3/\text{год}$, тиском 670 Па , частотою обертання 2800 хв^{-1} , коефіцієнтом корисної дії $73,5 \%$, потужністю електродвигуна $0,55 \text{ кВт}$.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Вибір і перевірка електроприводу технологічного обладнання

Усталена потужність електродвигуна з врахуванням коефіцієнту запасу:

$$P_{уст.} = \frac{k_3 \cdot L_d \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_v \cdot \eta_n \cdot \eta_{під.}}, \quad (3.1)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент, $k_3 = 1,2$;

P - приведений тиск, $P = 52,6$ Па;

L_d - дійсна подача вентилятора, $L_d = 1069,2$ м³/год;

η_v - к.к.д. вентилятора, $\eta_v = 0,73$;

η_n - к.к.д. передачі, $\eta_n = 1$ (вентилятор знаходиться безпосередньо на вісі двигуна);

$\eta_{під.}$ - к.к.д. підшипників, $\eta_{під.} = 0,98$.

$$P_{уст.} = \frac{1,2 \cdot 1069,2 \cdot 52,6}{3600 \cdot 102 \cdot 0,73 \cdot 1 \cdot 0,98} = 0,256 \text{ кВт.}$$

Двигун вентилятора працює в тривалому режимі (ДСТУ 183-94) з постійним або малозмінним навантаженням.

Номінальна потужність повинна складати:

$$P_{ном} \geq P_{уст.} \quad (3.2)$$

Вибираємо двигун потужністю $P_{ном} = 0,37$ кВт. Живлення здійснюється трифазним змінним струмом частотою 50 Гц.

За частотою обертання, двигун вибираємо виходячи з характеристик вентилятора.

Згідно з ДСТУ 2479-09 за конструктивним виконанням та монтажем приймаємо двигун виконання ІМ 1001. Оскільки до приводу відцентрового вентилятора, на відміну від осьового, не ставляться особливі вимоги, приймаємо двигун з нормальною механічною характеристикою основного виконання АІР 63А2 з такою технічною характеристикою:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_H = 0,37 \text{ кВт}; \quad n_H = 2730 \text{ хв}^{-1}; \quad I_H = 0,91 \text{ А}; \quad \eta = 72 \%; \quad \cos \varphi = 0,86;$$

$$k_i = 5,0; \quad M_{\text{пуск}}/M_H = 2,2; \quad M_{\text{min}}/M_H = 1,8; \quad M_{\text{max}}/M_H = 2,2;$$

$$j_{\text{ротора}} = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Перевіряємо електродвигун за умовами пуску при зниженій напрузі та з врахуванням розкиду параметрів електродвигуна.

Визначаємо час пуску графоаналітичним методом та перевіряємо електродвигун за нагрівом під час пуску.

Механічну характеристику вентилятора отримаємо з розрахунку за формулою:

$$M_c = M_{co} + (M_{ch} + M_{co}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^x, \quad (3.3)$$

де M_{co} - момент зрушення, який не залежить від швидкості обертання, Н·м;

M_{ch} - момент статичних опорів вентилятора при номінальній швидкості обертання, Н·м;

ω - змінне значення кутової швидкості, рад/с

ω_H - номінальне значення кутової швидкості, рад/с;

x - коефіцієнт, який характеризує степінь залежності моменту статичних опорів від швидкості, для вентилятора $x = 2$.

$$M_{ch} = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}; \quad (3.4)$$

$$M_{ch} = 9550 \cdot \frac{0,37}{2730} = 1,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}; \quad (3.5)$$

$$\omega_H = \frac{3,14 \cdot 2730}{30} = 285 \text{ рад/с};$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{co} = 0,15 \cdot M_{ch}; \quad (3.6)$$

$$M_{co} = 0,15 \cdot 1,3 = 0,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Механічна характеристика вентилятора

ω , рад/с	0	47,5	95	142,5	190	237,5	285
M_c , Н·м	0,2	0,23	0,32	0,48	0,69	0,96	1,3

Момент інерції, зведений до валу електродвигуна:

$$j_{зв.} = j_{\text{ротора}} + j_{в.}, \quad (3.7)$$

де j - момент інерції вентилятора, $j_{в.} = 0,009 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

$$j_{зв.} = 0,00076 + 0,009 = 0,00976 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Максимальний (гранично допустимий) момент інерції:

$$j_{\max} = k \cdot k_m \cdot P_H^v \cdot p^\gamma, \quad (3.8)$$

де $k = 0,045$; $k_m = 0,9$; $v = 1$; $\gamma = 2$ для двигунів з висотою вісі 50...132

мм.

$$j_{\max} = 0,045 \cdot 0,9 \cdot 0,37 \cdot 1^2 = 0,03 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

$$j_{\max} \geq j_{зв.}$$

Механічну характеристику електродвигуна будуємо за п'ятьма точками:

- 1) $s = 0$, $M = 0$;
- 2) $s = s_H$, $M = M_H$;
- 3) $s = s_{кр.}$, $M = M_{кр.}$;
- 4) $s = 0,8$, $M = M_{\min}$;
- 5) $s = 1$, $M = M_{\text{пуск.}}$

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}; \quad (3.9)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_H = 9550 \cdot \frac{0.37}{2730} = 1.3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр.} = M_H \cdot \mu_{кр.} = 1,3 \cdot 2,2 = 2,86 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.10)$$

$$M_{min} = M_H \cdot \mu_{min} = 1,3 \cdot 1,8 = 2,34 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.11)$$

$$M_{пуск.} = M_H \cdot \mu_{пуск.} = 1,3 \cdot 2,2 = 2,86 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.12)$$

$$s_H = \frac{n_c - n_H}{n_c}, \quad (3.13)$$

де n_c - синхронна частота обертання, $n_c = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

$$s_H = \frac{3000 - 2730}{3000} = 0,09.,$$

$s_{кр.}$ визначаємо з формули механічної характеристики асинхронних електродвигунів:

$$M = \frac{2 \cdot M_{к.}}{\frac{s}{s_{к.}} + \frac{s_{к.}}{s}}; \quad (3.14)$$

$$s_{кр.} = 0,5.$$

З врахуванням відхилення напруги на затискачах електродвигуна та отриманої характеристики, знаходимо наступну характеристику:

$$M'_H = 0,95 \cdot M_H = 0,95 \cdot 1,3 = 1,173 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.15)$$

$$M'_{кр.} = 0,95 \cdot M_{кр.} = 0,95 \cdot 2,86 = 2,58 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.16)$$

$$M'_{min} = 0,95 \cdot M_{min} = 0,95 \cdot 2,34 = 2,11 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.17)$$

$$M'_{пуск.} = 0,95 \cdot M_{пуск.} = 0,95 \cdot 2,86 = 2,58 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.18)$$

За цією характеристикою знаходимо характеристику електродвигуна з врахуванням розкиду його параметрів. Згідно ДСТУ 123-09 дозволяється зменшення максимального моменту на 10 %, мінімального - 20 %, пускового - 15 %.

$$M''_{кр.} = 0,9 \cdot M'_{кр.} = 0,9 \cdot 2,58 = 2,32 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.19)$$

$$M''_{min} = 0,8 \cdot M'_{min} = 0,8 \cdot 2,11 = 1,69 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.20)$$

$$M''_{пуск.} = 0,85 \cdot M'_{пуск.} = 0,85 \cdot 2,58 = 2,32 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.21)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунків занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Механічні характеристики електроприводу

Точка	s	ω , рад/с	M , Н·м	M' , Н·м	M'' , Н·м
1	0	314	0	0	0
2	0,095	280	1,35	1,175	1,1735
3	0,55	155	2,865	2,585	2,325
4	0,85	62,85	2,345	2,115	1,695
5	1	0	2,865	2,585	2,25

Динамічну характеристику робочої машини отримуємо шляхом віднімання:

$$M_{\text{дин.і}} = M_{\text{дв.і}} - M_{\text{с.і}}, \quad (3.22)$$

де $M_{\text{дв.і}}$ - момент двигуна в і-тій точці, Н·м;

$M_{\text{с.і}}$ - момент опору вентилятора в і-тій точці, Н·м.

Оскільки при пуску динамічний момент має змінне значення, то для визначення часу пуску беремо невеликі прирости швидкості, протягом яких динамічний момент змінюється несуттєво:

$$\Delta t_i = j_{\text{зв.}} \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{дин.і}}}. \quad (3.23)$$

Час пуску:

$$t_{\text{пуск.}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i. \quad (3.24)$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 3.3

Розрахунок часу пуску

ω , рад/с	47,1	47,1	47,1	47,1	47,1	47,1
$M_{\text{дин.ср.}}$, Н·м	1,73	1,5	1,7	1,77	1,26	0,56
T, с	0,328	0,378	0,334	0,32	0,45	1,013

$$t_{\text{пуск.}} = 0,328 + 0,378 + 0,334 + 0,32 + 0,45 + 1,013 = 2,822 \text{ с.}$$

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	

Нагрівання електродвигуна за час пуску:

$$\Theta = \Theta_{\text{навк.}} + \mathcal{G}_t \cdot t_{\text{пуск.}}, \quad (3.25)$$

де Θ - температура навколишнього середовища, $\Theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

\mathcal{G}_t - швидкість збільшення температури, $\mathcal{G}_t = 5,9 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$.

$$\Theta = 20 + 5,9 \cdot 2,822 = 36,65 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Із наведеного можна зробити висновок, що нагрів електродвигуна під час пуску несуттєвий.

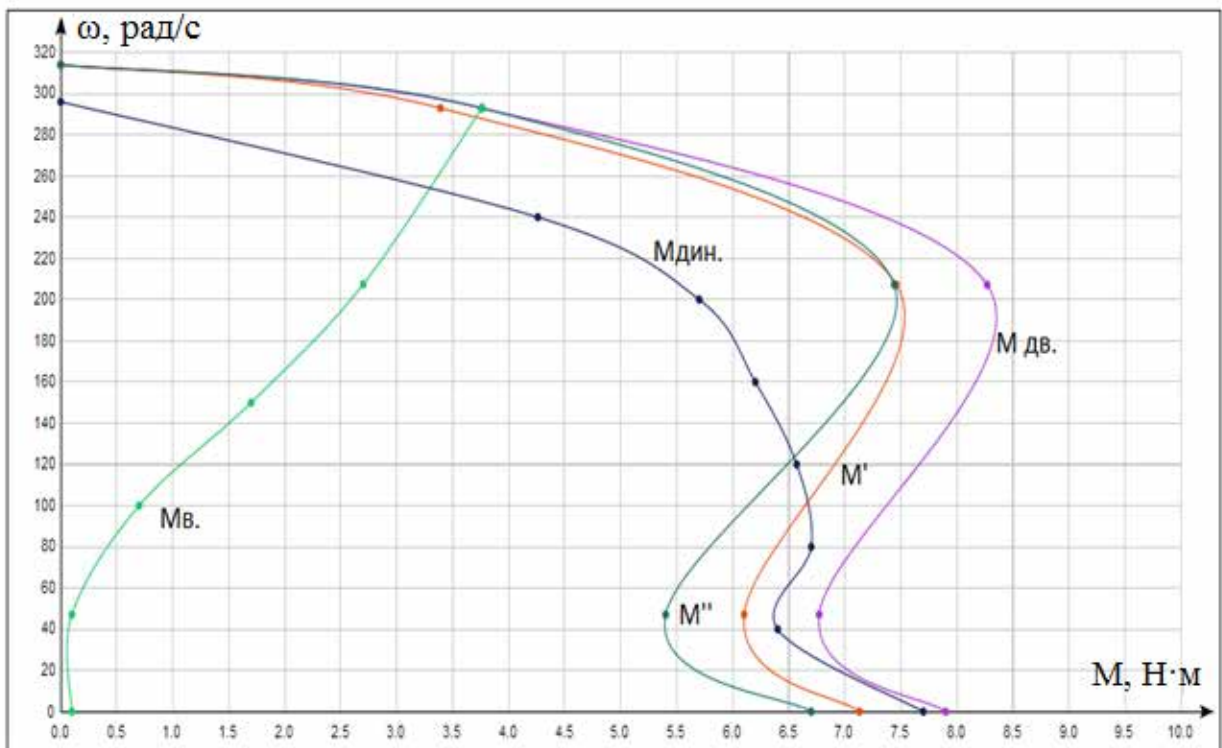


Рис. 3.1. Механічні характеристики електроприводу.

Апаратуру керування та захисту вибираємо за номінальними даними споживача: видом струму, напругою живильної мережі, кількістю контактів, їх вимикаючою здатністю, частотою вмикань, захищеністю від дії навколишнього середовища, та категорією розміщення.

Для захисту від перевантажень і коротких замикань вибираємо автоматичний вимикач. Вибір проводимо, виходячи з умов:

$$U_{\text{а.в.}} \geq U_{\text{мережі}}; \quad (3.26)$$

$$I_{\text{а.в.}} \geq I_{\text{н.дв.}}; \quad (3.27)$$

$$I_{т.р.} \geq I_{н.дв.}; \quad (3.28)$$

$$I_{ел.магн.роз.} \geq 12 \cdot I_{н.дв.}; \quad (3.29)$$

$$I_{гр.вим.зд.} \geq I_{к.з.}^{(3)}. \quad (3.30)$$

Приймаємо автоматичний вимикач типу ВА47-29 УХЛЗ з такими номінальними даними:

$$U_{н} = 380 \text{ В}; \quad I_{т.р.} = 2 \text{ А}; \quad f = 50 \text{ Гц}; \quad I_{н} = 25 \text{ А}; \quad I_{ел.магн.роз.} = 20 \text{ А}.$$

Для дистанційного керування та захисту від перевантажень електродвигуна вибираємо електромагнітний пускач серії ПМЛ з тепловим реле серії РТЛ, виходячи з умов:

$$U_{н.п.} \geq U_{мережі}; \quad (3.31)$$

$$I_{н.п.} \geq I_{н.дв.}; \quad (3.32)$$

$$I_{уст.т.р.} \geq I_{н.дв.}; \quad (3.33)$$

$$U_{кот.} \geq U_{кола керув.}. \quad (3.34)$$

Приймаємо магнітний пускач типу ПМЛ - 1230002А ТУ16.644.001-83 з тепловим реле серії РТЛ 1005 - О4 з номінальними даними: $U_{н.п.} = 380 \text{ В}; \quad I_{н.п.} = 10 \text{ А}; \quad U_{кот.} = 220 \text{ В}; \quad I_{уст.т.р.} = 1 \text{ А}; \quad I_{н.т.р.} = 25 \text{ А}.$

3.2. Вибір силових електропроводок та розподільчих пристроїв

Переріз струмоведучих проводів і кабелів вибираємо із умови гранично допустимого нагріву і необхідної механічної міцності:

$$I_{тр.доп.} \geq I_{мах. тр.доп.} \quad (3.35)$$

де $I_{тр.доп.}$ – тривало допустимий струм нагріву провуда, А.

$I_{мах. д.доп.}$ - максимальний довгостроковий допустимий робочий струм, А.

Проведемо розрахунок і вибір проводки для двигуна вентилятора. Електродвигун працює з постійним навантаженням. За максимальний робочий приймаємо його номінальний струм:

$$I_{мах. тр.доп} = \frac{P_{н} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot U_{н} \cdot \eta \cdot \cos \phi}; \quad (3.36)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{max. тр. доп}} = \frac{0.37 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.72 \cdot 0.86} = 0.925 \text{ А.}$$

Приймаємо провід марки ПВ1 з мідними жилами. Прокладається проводка в сталених водогазопровідних трубах під підлогою. Переріз струмоведучої жили, $S = 1 \text{ мм}^2$. Для цього перерізу $I_{\text{тр. доп.}} = 14 \text{ А}$. Провід ПВ1(1 × 4).

Внутрішній діаметр труби:

$$D \geq 1,5 \cdot d, \quad (3.37)$$

де d - діаметр проводу, мм.

Для проводу ПВ1 трижильного з заземлюючою жилою діаметр складає $d = 9 \text{ мм}$, отже:

$$D > 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо трубу з найближчим стандартним значенням внутрішнього діаметра 15 мм.

Аналогічно вибираємо силовий провід. Живлення електроприймачів здійснюється від розподільних шаф типу ШРС1 з запобіжниками НПН2 і розподільного щита типу ПРІІ. В ролі захисної і пускової апаратури для електродвигунів передбачаються електромагнітні пускачі типу ПМЛ з тепловими реле типу РТЛ та кнопками керування.

Підключення пересувних і переносних електроприймачів передбачається від силових ящиків з штепсельними роз'ємами типу РШ -30 і ШГП - 10.

Розподільна частина виконується кабелем АВВГ, який прокладають по будівельних констукціях на скобах, та проводом АПВ і ПВ1 (до вентиляторів на віброоснові і в приміщеннях класу В) в поліетиленових і водогазопровідних легких трубах. Вимикач вводу триполюсний ВА 47-33 до 160 А. Лінійні вимикачі також триполюсні ВА 47-29 на номінальний струм до 25 А.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Вибір освітлення і вибір освітлювальних проводок та щитків

При проектуванні виробничого приміщення пункту технічного обслуговування передбачається робоче (загальне і місцеве) освітлення, аварійне та переносне. Напруга робочого і аварійного освітлення 220 В, переносного - 36 В.

Робоче і чергове освітлення передбачається світильниками типу ПВЛМ-Р, ЛСП18, НСП11, НСП03; переносне світильниками типу РВО - 42УХЛ4 через ящики з понижуючим трансформатором ЯТП - 0,25.

Штучне освітлення має виконувати такі вимоги:

- забезпечувати необхідне і постійне освітлення робочого місця;
- не допускати різниці в освітленості ділянок робочого місця і тіней;

Проектом передбачається загальна та комбінована системи освітлення.

При комбінованій системі освітлення використовується загальне та місцеве освітлення, для безпосереднього освітлення окремого робочого місця.

Розрахунок освітлення ведемо методом коефіцієнта світлового потоку, перевірку виконуємо точковим методом.

Вибір освітлювальних установок ведемо залежно від умов навколишнього середовища в приміщенні.

Розміри пункту технічного обслуговування $9 \times 6 \times 4,5 = 36 \text{ м}^2$.

Для освітлення використовуємо люмінесцентні лампи, які мають такі переваги:

- висока світловіддача і великий строк служби;
- мала собівартість;
- спектральний склад випромінювання, який забезпечує високу якість кольоропередачі;
- низька якість та температура поверхні лампи.

Приймаємо світильники типу ПВЛМ-1 \times 80.

Для прийнятого типу світильника приймаємо значення найкращої відносної відстані між світильниками:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (3.38)$$

де λ - найкраща відносна відстань в залежності від типу кривої сили світла світильника, $\lambda = 1,4 \dots 1,6$;

H_p - розрахункова висота підвісу світильників, м.

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (3.39)$$

де H - висота приміщення, $H = 4,5$ м;

h_c - відстань від світильників до стелі, м;

h_p - рівень робочої поверхні над підлогою, $h_p = 1$ м.

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) \cdot H; \quad (3.40)$$

$$H_p = 4,5 - (0,2 \cdot 4,5 + 1) = 2,6 \text{ м};$$

$$L = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ м}.$$

Визначаємо кількість світильників в ряду, кількість рядів і загальну кількість світильників:

$$n_a = a/L; \quad n_b = b/L; \quad N = n_a \cdot n_b. \quad (3.41)$$

де a і b - довжина та ширина приміщення, м;

n_a - кількість світильників в ряду, шт.;

n_b - кількість рядів світильників, шт.;

N - загальна кількість світильників, шт.;

$$n_a = 9 / 3,64 = 2,47 \approx 3 \text{ шт.};$$

$$n_b = 6 / 3,64 = 1,65 \approx 2 \text{ шт.};$$

$$N = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт}.$$

Визначення потужності лампи за розрахунковим світловим потоком:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (3.42)$$

де E - нормована (мінімальна) освітленість, лк;

k - коефіцієнт запасу, для люмінесцентних ламп $k = 1,3$;

S - площа приміщення, м²;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1,1$;

η - коефіцієнт використання світлового потоку, відн.од.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стелі $\rho_{с.}$, стін $\rho_{ст.}$, робочої поверхні $\rho_{р.}$.

Індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{H_p \cdot (a + b)}, \quad (3.43)$$

$$i = \frac{9 \cdot 6}{2,6 \cdot (9 + 6)} = 1,385.$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку для світильника ПВЛМ-1 \times 80 при $\rho_{с.} = 50\%$, $\rho_{ст.} = 30\%$, $\rho_{р.} = 10\%$ дорівнює $\eta = 0,44$ відн.од.

Розрахунковий світловий потік лампи:

$$\Phi = 200 \cdot 1,3 \cdot 36 \cdot 1,1/6 \cdot 0,44 = 3900 \text{ лм.}$$

Приймаємо люмінесцентну лампу з світловим потоком $\Phi_{л.} = 3980$ лм типу ЛТБ 80 ДСТУ 6825-04.

Фактична освітленість:

$$E_{ф.} = E \cdot \Phi_{л.} / \Phi; \quad (3.44)$$

$$E_{ф.} = 200 \cdot 3980 / 3900 = 204 \text{ лк.}$$

Відхилення фактичної освітленості від нормованої:

$$\Delta E = ((E_{ф.} - E) / E) \cdot 100; \quad (3.45)$$

$$\Delta E = ((204 - 200) / 200) \cdot 100 = 2\%,$$

що задовільняє допустиме відхилення $-10\% \dots +20\%$.

Встановлена потужність:

$$P = P_{л.} \cdot N, \quad (3.46)$$

де $P_{л.}$ - потужність однієї лампи, $P_{л.} = 0,065$ кВт. $P = 0,065 \cdot 6 = 0,39$ кВт.

Питома потужність:

$$P_{пит.} = P \cdot 1000 / S; \quad (3.47)$$

$$P_{пит.} = 0,39 \cdot 1000 / 36 = 10,8 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевірочний розрахунок освітленості точковим методом.

Контрольні точки намічаємо на робочій поверхні з вірогідними мінімальними та максимальними освітленостями.

Розрахункова формула:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E = (I_{\alpha} \cos^3 \alpha) / (H_p^2 \cdot k), \quad (3.48)$$

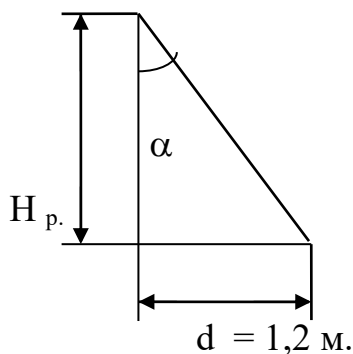
де E - горизонтальна освітленість в точці розрахунку, лк;

α - кут між віссю симетрії світильника та напрямком до точки розрахунку, град;

I_{α} - сила світла в напрямку до точки розрахунку, кд;

k - коефіцієнт запасу.

За розрахункову візьмемо точку на робочому місці **1**.



$$\alpha = \arctg d / H_p; \quad (3.49)$$

$$\alpha = 50^{\circ}; \quad \cos^3 \alpha = 0.749.$$

$$I_{\alpha} = (I_{\alpha})_{т.} \cdot \Phi_{л.} / 1000, \quad (3.50)$$

де $(I_{\alpha})_{т.}$ - сила світла світильника з умовною лампою 1000 лм,

$$(I_{\alpha})_{т.} = 600 \text{ кд};$$

$$I_{\alpha} = 600 \cdot 3980 / 1000 = 2388 \text{ кд}.$$

Освітленість в точці розрахунку:

$$E = (2388 \cdot 0,749) / (2,6^2 \cdot 1,3) = 203,5 \text{ лк}.$$

Результати розрахунку точковим методом підтвердили правильність розрахунку методом використання світлового потоку.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Перевірка захисних апаратів на спрацювання при струмах короткого замикання за гранично- вимикаючою здатністю

В мережах напругою 0,38 кВ з глухозаземленою нейтраллю можуть виникати струми однофазного, двофазного і трифазного короткого замикання.

Захисні апарати перевіряють за найбільшим та найменшим значенням струмів трифазного і однофазного короткого замикання.

При захисті кіл автоматичними вимикачами, які мають лише електромагнітний розчіплювач, необхідно, щоб в петлі фазний провід - нульовий провід струм короткого замикання:

$$I_k \geq k_z \cdot k_p \cdot I_{\text{відс.}}, \quad (3.51)$$

де k_z - коефіцієнт запасу, $k_z = 1,1$;

k_p - коефіцієнт розкиду струму спрацювання відсічки, для автоматів

з $I_n \leq 100 \text{ А}$ $k_p = 1,4$, з $I_n \geq 100 \text{ А}$ $k_p = 1,25$;

$I_{\text{відс.}}$ - струм відсічки електромагнітного розчіплювача, А.

Проведемо перевірку чутливості захисту автоматичного вимикача найбільшого за потужністю електродвигуна приводу настільно-свердлильного станка при струмі однофазного короткого замикання.

Двигун захищений від короткого замикання автоматичним вимикачем ВА 47-29 з такими даними:

$$I_n = 16 \text{ А};$$

$$I_{\text{нр.}} = 1,0 \text{ А};$$

$$I_{\text{відс.}} = 12 \cdot I_{\text{нр.}};$$

$$I_{\text{гр.ком.}} = 0,7 \text{ кА}.$$

Згідно ПУЕ-2014 струм однофазного короткого замикання визначаємо за наближеною формулою:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{\text{Т.К}}}{3} + Z_\Pi}, \quad (3.52)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $z_{Т.к}$ - повний опір трансформатора струмові замикання на корпус, Ом;

$z_{п}$ - опір петлі фазний провід - нульовий провід, Ом.

Повний опір трансформатора струмові замикання на корпус:

$$\frac{z_{Т.к}}{3} \approx \frac{26}{S_{н}}, \quad (3.53)$$

де $S_{н}$ - номінальна потужність трансформатора, кВ-А.

$$\frac{z_{Т.к}}{3} \approx \frac{26}{250} = 0,104 \text{ Ом.}$$

Струм однофазного короткого замикання визначають в найбільш віддаленій точці мережі.

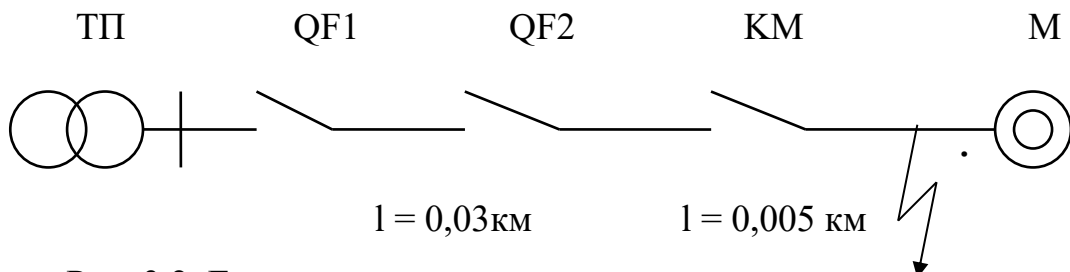


Рис. 3.2. Електрична схема для розрахунку струму короткого замикання.

Опір петлі фазний провід - нульовий провід:

$$z_{п} = \sqrt{(\sum R_{п})^2 + (\sum X)^2}, \quad (3.54)$$

де $\sum R_{п}$ - сума активних опорів окремих елементів петлі, Ом;

$\sum X_{п}$ - сума реактивних опорів окремих елементів петлі, Ом;

В нашому випадку:

$$\sum R = R_{ф} + R_{н} + R_{конт}, \quad (3.55)$$

$$\sum X = 2 \cdot X'_{ф.н} - X'_{ф.ф} - X'_{н.н} + X''_{ф} + X''_{н}, \quad (3.56)$$

де $R_{ф}$, $R_{н}$ - відповідно активні опори фазного та нульового проводів

(для даного випадку $R_{ф} = R_{н}$), Ом;

$R_{конт}$ - активний опір контактів, $R_{конт} = 0,075$ Ом;

$X'_{ф.н}$ - зовнішній опір одиночного проводу, обумовлений

взаємоіндукцією між фазним і нульовим проводами, Ом;

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$x'_{\text{ф.ф}}$, $x'_{\text{н.н}}$ - зовнішні індуктивні опори самоіндукції, які залежать від геометричних розмірів фазного і нульового проводів (для даного випадку $x'_{\text{ф.ф}}$, $x'_{\text{н.н}} = 0$ Ом);

$x''_{\text{ф}}$ і $x''_{\text{н}}$ - внутрішні індуктивні опори, які залежать від ступеня проявлення поверхневого ефекту в металі, Ом.

Активний опір проводів для внутрішніх проводок при температурі 20⁰С визначаємо за формулою:

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{l}{s}, \quad (3.57)$$

де ρ - питомий опір металу при постійному струмі і температурі 20⁰С,

$\rho = 31,4$ Ом·мм²/км для алюмінієвих проводів;

l - довжина проводу, $l = 1,3$ км;

s - площа поперечного перерізу проводу, $s = 2,5$ мм².

$$R_{20} = 31,4 \cdot \frac{0,35}{2,5} = 4,4 \text{ Ом.}$$

Активний опір проводів внутрішніх проводок приведемо до розрахункової (максимально допустимої) температури:

$$R_t = R_{20} \cdot k_t = R_{20} \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{\rho} \cdot (t - t_{20}) \right], \quad (3.58)$$

де α - температурний коефіцієнт електричного опору, $\alpha = 0,004$;

ρ – коефіцієнт, що враховує залежність між проявленням поверхневого ефекту і температурою, $\rho = 1$;

t - розрахункова температура металу, $t = 65^0$ С;

t_{20} – початкова температура, $t_{20} = 20^0$ С.

$$R_t = 4,4 \cdot \left[1 + \frac{0,004}{1} \cdot (65 - 20) \right] = 5,2 \text{ Ом.}$$

Зовнішній індуктивний опір проводів:

$$x'_{\text{ф.н}} = 0,145 \cdot l \cdot \lg l_{\text{ф.н}}, \quad (3.59)$$

де $l_{\text{ф.н}}$ – відстань між нульовим та фазним проводом, $l = 2$ мм;

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x'_{\phi,н} = 0,145 \cdot 0,35 \cdot \lg 2 = 0,015 \text{ Ом.}$$

Внутрішній індуктивний опір проводів:

$$x'' = \pi \cdot f \cdot \mu \cdot l \cdot 10^{-4}, \quad (3.60)$$

де μ - магнітна проникність металу (для кольорових металів

$$\mu = 1 \text{ Г/км});$$

F – частота змінного струму, $f = 50$ Гц.

$$x'' = 3,14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 0,0157 \text{ Ом,}$$

Опір петлі фазний провід – нульовий провід:

$$z_{\Pi} = \sqrt{(5,2 + 5,2 + 0,075)^2 + (2 \cdot 0,015 + 0,0157)^2} = 10,5 \text{ Ом.}$$

Визначимо струм короткого замикання:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{220}{0,104 + 10,5} = 21 \text{ А.}$$

$$21 \geq 1,1 \cdot 1,4 \cdot 12 \cdot 1,0 = 18,5 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Перевіримо автоматичний вимикач типу ВА 47-29 за гранично вимикаючою здатністю, виходячи із умови:

$$I_{\text{гр.вим.}} \geq I_{\kappa}^{(3)}, \quad (3.61)$$

де $I_{\text{гр.вим.}}$ - граничний струм, який здатний вимкнути автоматичний вимикач, А;

$I_{\kappa}^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання, А.

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_{\kappa})^2 + (\sum x_{\kappa})^2}}, \quad (3.62)$$

де $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга (при розрахунках приймають рівною 400 В);

$\sum R$, $\sum x$ – відповідно суми активних та реактивних складових

опору кола трифазного короткого замикання, Ом.

$$\begin{aligned} \sum R_{\kappa} &= R_{\text{т}} + R_{\phi}; \\ \sum x_{\kappa} &= x_{\text{т}} + x_{\phi}, \end{aligned} \quad (3.63)$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де R_T і x_T - відповідно активна та реактивна складові повного опору z_T трансформатора при трифазному короткому замиканні, Ом;

R_ϕ і x_ϕ - відповідно активний та реактивний опори проводів до точки короткого замикання, $R_\phi=5,2$ Ом, $x_\phi=0,0307$ Ом.

Значення параметрів z_T , R_T , x_T визначаємо за формулами:

$$z_k = \frac{u_k \% \cdot U_{л}^2}{100 \cdot S_H}; \quad (3.64)$$

$$R_k = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{л}^2}{S_H^2}; \quad (3.65)$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - R_T^2}, \quad (3.66)$$

де S_H - номінальна потужність трансформатора, В·А;

$u_k \%$ - напруга короткого замикання трансформатора, $u_k \%=4,5 \%$;

$\Delta P_{к.з.}$ - втрати короткого замикання трансформатора, $\Delta P_{к.з.}=4200$ Вт.

$$z_k = \frac{4,5 \cdot 380^2}{100 \cdot 250000} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$R_k = \frac{4200 \cdot 380^2}{250000^2} = 0,01 \text{ м}^{\prime\prime};$$

$$x_T = \sqrt{0,026^2 - 0,01^2} = 0,024 \text{ Ом}.$$

$$I_{к.}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,01 + 5,2)^2 + (0,024 + 0,0307)^2}} = 42,1 \text{ А}.$$

Умова виконується $700 \geq 42,1$.

Автоматичний вимикач вибрано вірно.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

4.1. Зовнішній огляд

Зовнішній огляд трансформаторів без їхнього відключення в електроустановках з постійним черговим персоналом проводять один раз у добу, а в установках без чергового персоналу - не рідше одного разу в шість місяців. Залежно від місцевих умов, конструкції й стану трансформатора зазначені строки оглядів можуть бути змінені відповідно до місцевих інструкцій.

При зовнішньому огляді повинні бути перевірені:

- стан ошиновки й кабелів, відсутність нагрівання контактних з'єднань;
- стан кожуха й відсутність підтікання масла, відповідність рівня масла в розширнику температурній відмітці та колір масла;
- стан ізоляторів і маслонаповнених вводів;
- стан маслоохолоджуючих і маслзбірних пристроїв;
- стан заземлення бака;
- стан радіаторів;
- стан газового реле й відсутність у ньому повітря (через оглядове скло);
- стан мережі заземлення;
- стан термосифонного фільтра й воздухоосушника. Якщо більша частина селикагеля змінила свій колір - його заміняють.
- стан приміщення, де встановлено трансформатор.

4.2. Вимірювання опору ізоляції

Опір ізоляції допускається вимірювати не раніше, ніж через 12 годин після заливання трансформатора маслом.

Опір ізоляції вимірюють при її температурі не нижче 10°C. Для забезпечення зазначеної температури трансформатор піддають нагріванню до

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури, що перевищує необхідну на 10°C. Вимірювання проводять на спаді температури при відхиленні її від необхідного значення не більш, ніж на 5°C. Визначають температуру ізоляції до початку вимірів.

При нагріванні трансформатора за температуру ізоляції приймають температуру обмотки ВН фази В, обумовлену по опорі обмотки постійному струму. Цей опір вимірюють не раніше чим через 60 хв. після відключення підігріву обмотки струмом або через 30 хв. після відключення зовнішнього нагрівання.

За температуру ізоляції трансформатора, що не піддавався нагріванню, як правило, приймається температура верхніх шарів масла.

При визначенні температури обмотки ϑ_x по методу вимірювання опору постійному струму рекомендується температуру обмотки обчислювати за формулою:

$$\vartheta_x = \frac{R_x - R_0}{R_0} \cdot (235 + \vartheta_0) + \vartheta_0, \quad (4.1)$$

де: R_x – виміряна величина опору обмотки постійному струму при температурі ϑ_x ;

R_0 – опір обмотки, що був виміряний на заводі при температурі ϑ_0 .

Перед вимірюванням опору ізоляції поверхню вводів трансформатора необхідно протерти. При вимірах у вологу погоду або при неможливості забезпечити чистоту поверхні вводів рекомендується застосовувати екрани.

Вимірювання опору ізоляції обмоток виконують по схемах і в послідовності, зазначених у табл. 4.1, за допомогою мегаомметра з номінальною напругою 2500 В. Перед початком вимірювання всі обмотки заземлюють на час не менш 5 хв. У процесі випробування заземлення обмоток слід проводити перед кожним вимірюванням на термін не менш двох хвилин.

При використанні мегаомметра типу Ф4102/2 підготовку його до роботи й вимірювання опору ізоляції виконують у такій послідовності:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) підключають мегаомметр до розетки живильної мережі й натискають кнопковий вимикач “ВКЛ.” (повинна зайнятися червона лампа) і дають час для прогрівання схеми мегаомметра

2) включають кнопковий вимикач “2500 В” і відкалібровують мегаомметр. При розімкнутих виводах “ r_x ” і “—” мегаомметра обертанням ручки “Уст. ∞ ” стрілку встановлюють на відмітку шкали “ ∞ ”, а при замкнутих накоротко виводах обертанням ручки “Уст.0” стрілку встановлюють на нульову відмітку шкали;

3) відключають мегаомметр від мережі поверненням кнопки “ВКЛ.” у вихідне положення, приєднують до виводів “ r_x ” і “—” роздільні гнучкі проводи з опором ізоляції не менш 100 МОм;

4) від'єднують виводи трансформатора від загальної схеми електроустановки й збирають схему вимірювання опору ізоляції відповідно до табл.4.1;

5) приєднують вимірювальний провід від виводу “ r_x ” мегаомметра до вводу обмотки, опір ізоляції якої вимірюють, а провід від виводу “—” – до заземлення бака трансформатора;

6) включають живлення мегаомметра натисканням кнопкового вимикача “ВКЛ.” Після прогріву мегаомметра натискають і втримують у натиснутому положенні кнопку “ІЗМЕР.” протягом 60 с. Після закінчення 15 і 60 секунд фіксують значення опору ізоляції R_{15} і R_{60} ;

7) по закінченні вимірювання знімають живлення з мегаомметра поверненням кнопкового вимикача “ВКЛ” у вихідне положення й від'єднують мегаомметр від вводу трансформатора, який випробують;

8) при відмінності температури, при якій проводилися виміри, від температури, зазначеної в протоколі заводських випробувань, більш ніж на $\pm 10^\circ\text{C}$, виміряні значення опору необхідно привести до температури при заводських випробуваннях, використовуючи значення коефіцієнта K_1 з табл.4.2.

					02.02- КБР.2055”С”.2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виміряна величина опору R_{60} (при температурі рівній температурі заводських випробувань) або опір приведений до цієї температури повинен відповідати вимогам заводської інструкції на трансформатор. При відсутності таких даних опір повинен бути не менш величин, що зазначені у табл. 4.3.

У тому випадку, якщо температура ізоляції при випробуваннях нижче температури, при якій проводилися вимірювання на заводі, то величина вимірюваного опору ізоляції R_x порівнюється із заводським за формулою

$$R_x = R_{зав} K_1, \quad (4.2)$$

а якщо температура при випробуваннях вище заводський, то за формулою

$$R_x = \frac{R_{зав}}{K_1}. \quad (4.3)$$

Наприклад, у заводському протоколі зазначено, що при $\vartheta = 61^\circ\text{C}$ $R_{зав} = 450$ МОм. При випробуваннях $\vartheta = 21^\circ\text{C}$. Таким чином, різниця температур становить 40°C . Відповідно до табл.20 $K_1 = 5.1$, отже

$$R_{зав} = 450 \cdot 5.1 = 2300 \text{ МОм}$$

У випадку, коли опір ізоляції виявився нижче норми або знизився більш ніж на 30% у порівнянні із заводськими даними, то треба визначити коефіцієнт абсорбції

$$K = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \quad (4.4)$$

величина якого при температурі $10\text{—}30^\circ\text{C}$ повинна бути не менш 1,3.

Вимірювання опору ізоляції ярмових балок, пресуючих кілець і доступних для виявлення замикання стяжних шпильок проводять мегаомметром з номінальною напругою 1000 або 2500 В. Величина опору цієї ізоляції не нормується. У масляних трансформаторів такі виміри проводять тільки при капітальному ремонті, а в сухих - і при капітальному й поточному ремонтах.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схеми вимірювання опору ізоляції трансформаторів

Послідовність вимірювання	Двохобмоточні трансформатори		Триобмоточні трансформатори	
	Обмотки, на яких проводять вимірювання	Частини трансформатора, що заземлюють	Обмотки, на яких проводять вимірювання	Частини трансформатора, що заземлюють
1	НН	Бак, ВН	НН	Бак, СН, ВН
2	ВН	Бак, НН	СН	Бак, НН, ВН
3	(ВН+НН)*	Бак	ВН	Бак, НН, СН
4	—	—	(ВН+СН)*	Бак, НН
5	—	—	(ВН+СН+НН)*	Бак

* вимірювання обов'язкові тільки для трансформаторів потужністю 1600 кВА й більше.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнта K_1 для перерахування величин опору ізоляції

Різниця температур $\vartheta_2 - \vartheta_1, ^\circ\text{C}$	Значення K_1	Різниця температур $\vartheta_2 - \vartheta_1, ^\circ\text{C}$	Значення K_1
1	1,04	10	1,5
2	1,08	15	1,84
3	1,13	20	2,25
4	1,17	30	3,4
5	1,22	40	5,1

Примітки:

1. Значення K_1 для різниці температур, що не зазначені у табл. 4.2, визначають множенням коефіцієнтів, наведених в таблиці. Наприклад, K_1 , що відповідає різниці температур 8°C , визначають як добуток значень K_1 при температурах 3°C і 5°C

$$K_{8^\circ} = K_{3^\circ} \cdot K_{5^\circ} = 1,13 \cdot 1,22 = 1,38 ; \quad (4.5)$$

Таблиця 4.3.

Найменші допустимі величини опору ізоляції R_{60} обмоток масляних трансформаторів з напругою до 35 кВ включно

Потужність трансформатора кВА	Величина R_{60} , МОм, при темп. обм., $^\circ\text{C}$						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 включно	450	300	200	130	90	60	40
10000 і більше	900	600	400	260	180	120	80

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Примітка: Величина R_{60} відноситься до всіх обмоток відповідного трансформатора.

Таблиця 4.4

Найменший допустимий опір ізоляції R_{60} обмоток сухих силових трансформаторів

Номінальна напруга трансформаторів, кВ	Опір ізоляції, МОм
до 1	100
Від 1 до 6	300
більше 6	500

4.3. Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти

Контроль електричної міцності головної ізоляції проводять випробуванням підвищеною напругою промислової частоти. При випробуваннях виводи обмоток однієї напруги замикають накоротко. Виводи обмоток, ізоляцію яких контролюють, підключають до випробувальної установки. Інші обмотки разом з баком трансформатора заземлюють. У сухих трансформаторів заземлюють і магнітопровід.

Значення заводської випробувальної напруги промислової частоти для випробування ізоляції обмоток 35 кВ і нижче разом з вводами наведені в табл.

4.4. Тривалість випробування 1 хв.

Після ремонту з повною заміною обмоток ізоляцію трансформаторів випробовують підвищеною напругою промислової частоти, рівною заводській випробувальній напрузі. При частковій заміні обмоток найбільшу випробувальну напругу приймають рівною 90% напруги, прийнятої заводом. При ремонті без заміни обмоток і ізоляції або із заміною ізоляції, але без заміни обмоток випробувальна напруга приймається рівною 85% заводської випробувальної напруги.




Перед початком випробувань необхідно перевірити справність випробувальної установки. При випробуваннях за допомогою апарата АИД-70 послідовність операцій така:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) підготовляють апарат до роботи, для чого:

- встановлюють джерело випробувальної напруги (надалі - джерело) поблизу трансформатора, що випробують;
- розміщують пульт керування на відстані не менш 3 м від джерела;
- приєднують прикладений до апарата заземлюючий провідник до заземлюючого контуру, а потім до клеми заземлення джерела;
- приєднують кабелі джерела до пульта керування;

2) перевіряють надійність спрацьовування захисту випробувального апарата. Для цього:

- заземлюють високовольтний вивід джерела;
- встановлюють ручку регулятора випробувальної напруги у вихідне положення обертанням її проти напрямку руху годинної стрілки до упору;
- відкривши задню шторку пульта керування, послабляють гвинти клем "3" і "4", розташованих на колодці регулятора напруги, приєднують до них вольтметр змінної напруги з межею виміру до 75 В и класом точності не нижче 0,5 за допомогою проводів, що мають спеціальні наконечники;
- підключають пульт керування до мережі живлення й заземлюють його за допомогою прикладеного до апарата мережного кабелю;
- вставивши спеціальний ключ, що прикладений до апарата, у перемикач пульта керування переводять перемикач у положення "  " (змінна випробувальна напруга). При цьому повинна засвітитися зелена сигнальна лампа;
- включають змінну випробувальну напругу кнопкою "  ", при цьому повинна засвітитися червона сигнальна лампа;
- обертанням рукоятки регулятора напруги (контролюючи показання вольтметра) збільшують напругу до 33 В. Захист повинен спрацьовувати при нарузі в межах від 32 до 33 В;
- після закінчення перевірки рукоятку регулятора напруги встановлюють у вихідне положення обертанням її проти напрямку руху годинної стрілки до упору. Кнопкою "  " відключають випробувальну напругу й відключають

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апарат від мережі установкою перемикача пульта керування в положення “0”. Від'єднують вольтметр, затягують гвинти клем “3” і “4” і закривають задню шторку пульта керування. Знімають заземлення з високовольтного виводу джерела.


Використовувати апарат при несправному захисті ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ.


Правилами передбачається певна послідовність випробування. Спочатку випробовують обмотку нижчої напруги, потім середнього й, нарешті, вищого. Випробування ізоляції обмоток трансформатора проводять у такій послідовності:

- вводи випробуваної обмотки з'єднують між собою й приєднують їх до високовольтного виводу випробувальної установки. Вводи інших обмоток з'єднують і разом з баком трансформатора заземлюють.

- встановлюють ручку регулятора випробувальної напруги у вихідне положення обертанням її проти напрямку руху годинникової стрілки до упору;

- підключають пульт керування до мережі живлення;

– вставляють спеціальний ключ, прикладений до апарата, у перемикач пульта керування й переводять перемикач у положення “” (змінна іспитова напруга). При цьому повинна засвітитися зелена лампа, що сигналізує про подачу напруги живильної мережі на апарат;


– включають випробувальну напругу кнопкою “”, при цьому повинна засвітитися червона сигнальна лампа;

- повільним обертанням ручки регулятора випробувальної напруги по напрямку руху годинникової стрілки й, контролюючи при цьому показання килівольметра, встановлюють необхідну величину випробувальної напруги (див. табл.25).

- у процесі підйому напруги й протягом необхідної тривалості випробування (1 хв.) контролюють показання килівольметра й можливі зовнішні прояви ушкодження ізоляції. Ізоляція випробуваної обмотки вважається витримавшею випробування підвищеною напругою в тому випадку, якщо не було пробою або часткових розрядів, виділення газу або диму, різкого зниження напруги або кидків струму витоку.

					02.02- КБР.2055”С”.2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку пробою ізоляції, повторно підвищенням іспитової напруги, перевіряють, чи знизилася величина пробивної напруги. Його зниження вказує на пробій масла. Одночасно контролюють і характер звуку при пробі. При пробі твердої ізоляції звук глухий, при пробі масла - дзвінкий.

– по закінченні випробування випробувальну напругу плавно знижують обертанням ручки регулятора проти напрямку руху годинної стрілки до установки її у вихідне положення (до упору). Після деякої витримки часу протягом якої стікає залишковий ємнісний заряд (стрілка килвольтметра повинна встановитися на нульовій оцінці шкали), відключають випробувальну напругу кнопкою “”, а потім і випробувальний апарат від мережі установив перемикач пульта керування в положення “0”;

- візуально переконавшись, що замикач заземлення джерела має контакт із високовольтним виводом апарата, від'єднують вводи обмотки, що випробують, від високовольтного виводу випробувальної установки;

Таблиця 4.5.

Заводська випробувальна напруга промислової частоти для обмоток силових трансформаторів

Обсяг випробування	Випробувальна напруга, кВ, при номінальній напрузі обмотки, що випробують, кВ				
	до 0,69	3	6	10	35
Трансформатори з нормальною ізоляцією й вводами на номінальну напругу	5	18	25	35	85
Трансформатори з полегшеною ізоляцією, у тому числі сухі	3	10	16	24	—

Випробування ізоляції доступних для випробування стяжних шпильок, пресуючих кілець і ярмових балок трансформаторів проводять підвищеною напругою промислової частоти по нормах заводу - виготовлювача. При відсутності таких даних випробують напругою 1 кВ протягом однієї хвилини.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випробування ізоляції змінною напругою 1 кВ може бути замінене на випробування за допомогою мегаомметра з номінальною напругою 2500 В с тривалістю такого випробування 1 хв. У цьому випадку при проведенні випробувань варто керуватися методикою вимірювання опору ізоляції.

4.4. Вимірювання опору обмоток постійному струму

Для вимірювання опору обмоток постійному струму використовують метод амперметра-вольтметра. Як джерело живлення застосовують акумуляторну батарею з напругою не більше 15 В. При необхідності підвищеної точності вимірювання застосовують міст постійного струму типу Р-333.

Для вимірювання використовують прилади магнітоелектричної системи класу точності 0,2 - 0,5: вольтметри з межами вимірів від 45 мВ до 3 В, амперметри з межами до 30 А.

Опір з'єднувальних проводів до вольтметра, не повинен перевищувати 0,5% опору обмотки. Приєднання цих проводів до виводів обмоток повинне проводитися роздільно від проводів струмового кола.

Струм при вимірах не повинен перевищувати 20% номінальної величини струму обмотки. При підключенні батарей до обмотки варто враховувати, що необхідна величина струму встановлюється не відразу, а залежно від індуктивності обмотки за час 20-60 с.

Вольтметр підключають до схеми виміру тільки при сталому значенні струму, а відключають до розриву кола струму.

Лінійні опори обмоток вимірюють на всіх відгалуженнях обмоток між лінійними виводами. Якість приєднання нульового проводу контролюють вимірюванням одного з фазних опорів.

Одночасно з вимірюванням опору проводять вимірювання температури обмоток. При відмінності її від температури при заводських випробуваннях результати вимірів приводять до температури, зазначеної в паспорті на даний трансформатор. Для приведення опору використовують наступні формули:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{При обмотці з міді} \text{ — } R_2 = R_1 \frac{235 + \vartheta_2}{235 + \vartheta_1}; \quad (4.6)$$

$$\text{При обмотці з алюмінію} \text{ — } R_2 = R_1 \frac{245 + \vartheta_2}{245 + \vartheta_1}, \quad (4.7)$$

де R_2 – опір, що приводять до температури ϑ_2 , Ом

R_1 – опір, вимірний при температурі ϑ_1 , Ом.

При необхідності визначення фазного опору обмоток використовують наступні формули:

$$\text{– для обмоток, з'єднаних у зірку} \text{ — } R_\phi = \frac{R_{\text{вимір}}}{2}; \quad (4.8)$$

$$\text{– для обмоток, з'єднаних у трикутник} \text{ — } R_\phi = \frac{3}{2} R_{\text{вимір}}, \quad (4.9)$$

де $R_{\text{вимір}}$ – вимірний опір між лінійними виводами.

Результати вимірювання опорів на різних відгалуженнях не повинні відрізнятися більш ніж на 2% від заводських значень або від результатів попередніх вимірювань, якщо немає особливих застережень у паспорті на даний трансформатор.

4.5. Перевірка коефіцієнта трансформації

Перевірку коефіцієнта трансформації виконують для всіх фаз і на всіх відгалуженнях обмоток трансформаторів. Для перевірки використовують метод двох вольтметрів при якому вольтметри підключають до однойменних виводів обмоток вищої й нижчої напруг

Для виміру напруги застосовують вольтметри астатического типу із класом точності 0,5.

Опір з'єднувальних проводів у колі виміру повинне бути не менш 0,001 величини внутрішнього опору обмотки.

Напруга при вимірах підводять до обмоток вищої напруги. Його величина може бути довільної, але не менш $0.02U_{\text{ном}}$ обмотки вищої напруги.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У трифазних трансформаторах на введення вищої напруги подають симетричну напругу від трифазної мережі змінного струму й вимірюють або фазні або лінійні напруги. При однаковому з'єднанні обмоток вищої й нижчої напруг (Y/Y, Δ/Δ) коефіцієнт трансформації обчислюють за формулою

$$n_T = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}}. \quad (4.10)$$

При з'єднанні обмоток трансформатора за схемою “зірка-трикутник” лінійний коефіцієнт трансформації визначають за формулою:

$$n_T = \sqrt{3} \frac{U_{ВН}}{U_{НН}}, \quad (4.11)$$

а при з'єднанні обмоток за схемою “трикутник-зірка” - за формулою

$$n_T = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_{ВН}}{U_{НН}}. \quad (4.12)$$

Коефіцієнт трансформації визначають як середнє арифметичне трьох лінійних коефіцієнтів трансформації

$$n_T = \frac{n_{AB} + n_{BC} + n_{CA}}{3}. \quad (4.13)$$

Отриманий коефіцієнт трансформації на всіх відгалуженнях обмоток не повинен відрізнятися більш ніж на 2% від величини наведеної в паспорті трансформатора.

Для трансформаторів із РПН різниця коефіцієнтів не повинна перевищувати значень ступеню регулювання.

4.6. Перевірка групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів

Перевірку групи з'єднань здійснюють методом постійного струму. Як джерело живлення застосовують акумуляторну батарею з напругою 2 - 12 В.

Як вимірювальний прилад використовують гальванометр або вольтметр із нулем у центрі шкали. При випробуванні струм в обмотці ВН не повинен перевищувати 10% його номінальної величини.

					02.02- КБР.2055”С”.2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При кожному вимірі плюс джерела живлення постійного струму підключають послідовно до вводів *A, B, C* вищої напруги, а мінус джерела відповідно до вводів *B, C, A*. Плюс гальванометра при кожному вимірюванні підключають до вводів *a, b, c* обмотки нижчої напруги. При замиканні кола струму джерела живлення фіксують напрямок відхилення стрілки гальванометра.

За результатами всіх вимірів складають таблицю напрямків відхилення стрілки приладу (вправо - плюс, вліво - мінус). Результати вимірювання порівнюють із зразковою таблицею. Показання приладів, що відповідають правильній полярності для з'єднання обмоток трансформаторів 11 і 12 груп наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Зразкові показання гальванометра при визначенні групи з'єднання обмоток трансформатора

Живлення підведене до виводів	Відхилення стрілки гальванометра, приєднаного до виводів					
	ab	bc	ca	ab	bc	ca
	для групи 12			для групи 11		
AB	+	-	-	+	0	-
BC	-	+	-	-	+	0
CA	-	-	+	0	-	+

4.7. Вимірювання струму й втрат холостого ходу

Вимірювання струму й втрат холостого ходу проводять до початку проведення інших випробувань тобто до подачі на обмотки постійної напруги (при вимірі опору ізоляції, опору обмоток постійному струму, прогріву трансформатора постійним струмом і т.п.)

Вимір струму й втрат холостого ходу проводять при розімкнутих виводах обмоток вищої напруги. Для цього від джерела живлення на обмотки нижчої напруги подають симетричну напругу, рівну номінальній величині напруги цих обмоток і вимірюють величину струму в кожній із трьох фаз.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм холостого ходу трансформатора визначають як середнє арифметичне показань трьох амперметрів включених у кожену із трьох фаз, виражений у відсотках від номінального значення струму обмотки нижчої напруги:

$$I_0 = \frac{I_a + I_b + I_c}{3I_{\text{HH ном}}} \cdot 100\%, \quad (4.14)$$

Визначення втрат холостого ходу проводять при номінальній напрузі обмотки нижчої напруги по сумі показань двох ватметрів обмотки напруги яких підключені до введів *ab* і *bc*, а їх обмотки струму послідовно з обмотками трансформатора. Напруга, що підводиться до обмоток повинна бути симетричною по фазах.

Визначення втрат холостого ходу можна проводити на зниженій напрузі при $(0.05 \text{ — } 0.1)U_{\text{HHном}}$. Визначення проводять у наступній послідовності:

- фіксують величину напруг ($U_{\text{вимір}}$), що подані у схему й сумарну вимірянну потужність втрат ($P_{\text{вимір}}$);

- визначають втрати в приладах ($P_{\text{пр}}$), від'єднав вимірювальну схему від введів трансформатора;

- розрахунком визначають втрати холостого ходу за формулою

$$P_{0 \text{ розр}} = P_{\text{вимір}} - P_{\text{пр}}; \quad (4.15)$$

- приводять отримане значення втрат до номінальної напруги за формулою

$$P_0 = P_{0 \text{ розр}} \left(\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{вимір}}} \right)^n, \quad (4.16)$$

де n – показник ступеня, що залежить від марки сталі (для гарячекатаної — $n = 1.8$; для холоднокатаної — $n = 1.9$).

Величини струму й втрат холостого ходу не нормують. Результати вважають задовільними якщо вони відрізняються від паспортних даних не більше ніж на 15% для втрат потужності й не більше ніж на 30% - для струму холостого ходу.

4.8. Тепловізійний контроль

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За другий метод діагностики був взятий «тепловізійний контроль», який дозволяє виявити дефекти трансформатора шляхом визначення температури його різних ділянок.

При роботі трансформатор нагрівається. Підвищена температура окремих частин, свідчить про дефекти.

Тепловізор - прилад, що вимірює температуру . Сучасний тепловізор має досить простий пристрій: об'єктив, тепловізійна матриця і електронний блок обробки сигналу. Інфрачервоне (теплове) випромінювання проходить через об'єктив, потрапляє на тепловізійну матрицю, і після обробки в електронному блоці виводиться на екран, як видиме випромінювання. Сучасні тепловізори достатньо компактні.



Рис. 4.1 - Тепловізор. Зовнішній вигляд.

На рис. 4.2, 4.3 показані термограми, які отримані за допомогою тепловізора.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

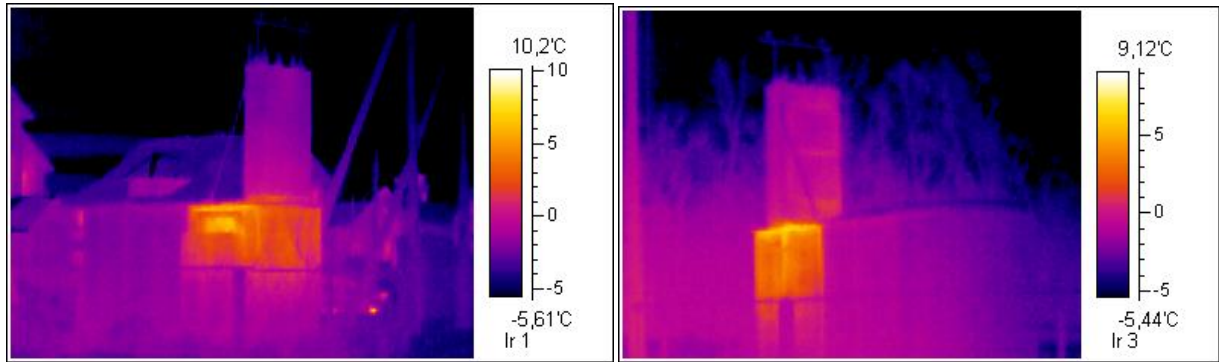


Рис. 4.1, 4.2. - Термограми

Аналіз отриманих термограм.

По отриманих термограмах видно, що значних змін температури немає, а, отже, серйозні дефекти відсутні.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Технічні заходи для зменшення втрат в трансформаторах

Силові трансформатори сільських електричних мереж мають значний термін експлуатації, що призводить до збільшення затрат електропостачальників на технічне обслуговування (ТО) та ремонт, а також негативно впливає на надійність електропостачання. Більше половини парку силових трансформаторів 10/0,4 кВ мають термін експлуатації 40-60 років.

Втрати неробочого ходу трансформаторів 10/0,4 складають до 35% від усіх втрат в розподільчих мережах. Затрати на покриття втрат в сталі трансформаторах несуть їх власники. Величина активних (ΔW_P) та реактивних (ΔW_Q) втрат визначається відповідно до затвердженої державної методики [11], а саме:

$$\Delta W_P = 3 \cdot I^2 \cdot R_T \cdot k_\Phi^2 \cdot 10^{-3} \cdot T_P + P_{HX} \cdot T_H \quad (\text{кВт}\cdot\text{год}), \quad (5.1)$$

$$\Delta W_Q = 3 \cdot I^2 \cdot X_T \cdot k_\Phi^2 \cdot 10^{-3} \cdot T_P + Q_{HX} \cdot T_H \quad (\text{квар}\cdot\text{год}) \quad (5.2)$$

де I - середнє протягом розрахункового періоду діюче значення сили струму трансформатора, А;

k_Φ^2 - коефіцієнт кривої графіка навантаження силового трансформатора;

R_T - активний опір силового трансформатора, Ом;

T_P - час роботи трансформатора під навантаженням, год.;

T_H - час знаходження трансформатора під напругою, год.;

P_{HX} - втрати неробочого ходу трансформатора, кВт;

Q_{HX} - реактивна потужність втрат неробочого ходу трансформатора, ква;

X_T - реактивний опір трансформатора, Ом.

Суттєвим недоліком зазначено методики є то, що в розрахунках приймаються не фактичні, а середні значення втрат неробочого ходу, без врахувань особливостей конкретного силового трансформатора. Хоча відомо, що на ринку появились нові серії трансформаторів із значно меншими показниками втрат.

Нами досліджувались значення втрат в трансформаторах різних років випусків. Визначення фактичних втрат в силових трансформаторах входить в перелік нормованих річних випробувань, які здійснюються випробувальними електроработаторіями.

Таблиця 5.1. Залежність величини активних втрат трансформаторів ТМ 100/10 від терміну експлуатації

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рік випуску	До 10 років	10-20 років	21-30 років	31-40 років	більше 40 років
Каталожне значення втрат , Вт	565	565	565	950	1200
Фактичні значення втрат , Вт	630	750	960	1280	1470
Відносне збільшення втрат, %	7	26,75	44,5	107	141,73

Дослідженнями встановлено стійке зростання фактичних втрат із збільшенням терміну роботи трансформаторів. Це пояснюється як еволюцією властивостей електротехнічних сталей, так і погіршенням стану магнітопроводів в процесі експлуатації (корозія магнітопроводів, недосконалість технології ремонту, та ін.).

Застосування фактичних даних в розрахунках безумовно посилить мотивацію власників щодо заміни існуючих трансформаторів на нові з покращеними електромагнітними характеристиками. За нашими оцінками оновлення парку силових трансформаторів є економічно обгрунтованим. При цьому термін окупності не перевищує 8-12 років.

Змінити існуючу практику можна за рахунок запровадження нової методики нарахування вартості втрат на основі визначення фактичних втрат в трансформаторах. Ці вимірювальні роботи не складні і входять в перелік нормованих періодичних випробувань, які здійснюються вимірювальними електротехнічними лабораторіями.

Застосування при розрахунках фактичних даних втрат енергії в трансформаторах безумовно зменшить затрати на покриття втрат енергії в трансформаторах та збільшить мотивацію як виробників, так фактичних власників, щодо заміни старих силових трансформаторів на нові з покращеними електромагнітними властивостями. За нашими оцінками оновлення парку силових трансформаторів є економічно обгрунтованим. При цьому термін окупності не перевищує 9-10 років.

5.2. Компенсація реактивної потужності

Реактивний струм, який створюється індуктивним навантаженням, додатково нагріває лінії електропередачі, що призводить до вимушеного збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних затрат на повітряні та кабельні мережі. Крім того підприємства оплачують постачальнику електроенергії перебіг реактивної енергії по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Найбільш ефективним способом зниження споживаної реактивної

						02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
							52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

потужності є застосування конденсаторних установок компенсації реактивної потужності. Це досягається за рахунок приєднання до мережі компенсуючого автономного пристрою. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,95 до 0,98.

Відносну ефективність зменшення реактивного навантаження в тому чи іншому пункті електричної мережі можна оцінити за допомогою так названого економічного еквівалента реактивної потужності. Економічний еквівалент чисельно дорівнює зменшенню втрат активної потужності в мережах при зменшенні реактивного навантаження на 1 кВАр.

Види та способи компенсації.

Основним джерелом реактивної потужності (РП) є синхронні генератори електростанцій. Передавання РП з енергосистеми до споживачів не є раціональним, оскільки виникають додаткові втрати активної потужності у всіх елементах систем електропостачання, обумовлені завантаженням РП, та додаткові втрати в живлячих мережах. Щоб знизити ці втрати, необхідно біля споживачів встановлювати додаткові джерела РП, основними серед яких є конденсатори.

При виборі конденсаторної установки необхідна потужність конденсаторів визначається як

$$Q_c = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2),$$

де $\operatorname{tg}\varphi_1$ – коефіцієнт потужності споживача до встановлення компенсувальних пристроїв;

$\operatorname{tg}\varphi_2$ – коефіцієнт потужності після встановлення компенсувальних пристроїв (бажаний або коефіцієнт, який задає енергосистема).

Режим роботи конденсаторних установок повинен виключати можливість роботи підприємств із випереджальним коефіцієнтом потужності. У зв'язку із цим найдоцільнішим є застосування автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок за напругою, за часом доби і за іншими параметрами.

Для розрахунку параметрів конденсаторної установки в мережі знімають характерні добові графіки навантаження і текуче значення $\cos\varphi$, за якими визначають середнє значення коефіцієнта потужності за період. Знаючи фактичний і потрібний (за умовами компенсації) коефіцієнт потужності, а також споживання активної електроенергії, можна розрахувати потрібну потужність конденсаторної установки.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікропроцесорні контролери DCRK та DCRJ фірми LOVATO.



Рис. 5.1 - Мікропроцесорний контролер DCRK

Мікропроцесорний контролер DCRK.

Основні параметри:

- цифрове програмування в режимі реального часу;
- кількість ступенів 3, 5, 7, 9 та 15;
- 5- або 7-ступенева конфігурація в корпусі 95x95 мм;
- 8- або 12-ступенева конфігурація в корпусі 145x145 мм;
- захист від перевантажень по струму конденсаторів;
- внутрішній захист від перегріву щита управління;
- інтерфейс програмування TTL/RS485;
- автоматичне налаштування;
- конфігуровані аварійні сигнали.

Технічні характеристики:

- напруга живлення і керування U_e 390-415 В (стандарт);
- напруга живлення і керування U_e 230/415/440/480 В (по запити);
- номінальна частота 50 Гц;
- споживана потужність 6,5ВА (DCRK5/7) та 5 ВА (DCRK8/12);
- номінальний струм I_e 6А;
- регулювання коефіцієнта потужності 0,9 індуктивного- 0,7 ємнісного;
- вимірювання напруги 0,80...1,15 U_e ;
- вимірювання струму 2,54%... 130% I_e ;
- вимірювання температури -35...+80°C;
- вимірювання перевантаження конденсаторів 0...270%;
- час перекомутації ступеней 5...230с;
- ступінь захисту IP55 (DCRK5/7) та IP41 (DCRK8/12).

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Автоматизований регулятор коефіцієнта потужності **DCRK/DCRJ** — це цифровий пристрій, який виконує функції моніторингу і регулювання величини реактивної потужності системи та здійснює зчитування показів коефіцієнта потужності з достатньо високою точністю, на яку не впливають зміни властивостей електронних складових комплексу.

Вбудований алгоритм контролю забезпечує нормальну роботу приладу навіть в системі, яка характеризується високими значеннями коефіцієнтів гармонічних складових. Коефіцієнт потужності даної системи регулюється групою силових конденсаторів виходячи з загальної розрахованої реактивної потужності системи своєчасно і точно. Результатом є суттєве зменшення частоти перемикань та ефективніше використання конденсаторних батарей.

Силові конденсатори для компенсації реактивної потужності обладнанні захистом від розриву корпусу. Вони виготовляються за технологією МКР (металоплівкові конденсатори).

Основні характеристики:

- напруга 230-800 В, 50 Гц;
- потужність 2,2-60 кВАр;
- допустима перенапруга 15% впродовж 8 годин в добу;
- перевантаження за струмом 55 %;
- втрати <0,35 Вт/кВАр;
- температура -28...+57 °С.



MODULO 10 - 2,5...10 кВАР



MODULO 50 - 7,5...30 кВАР



Рис. 5.2 - Батареї конденсаторів DUCATI F50 - 12,5...50 кВАР

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема підключення регулятора DCRK...

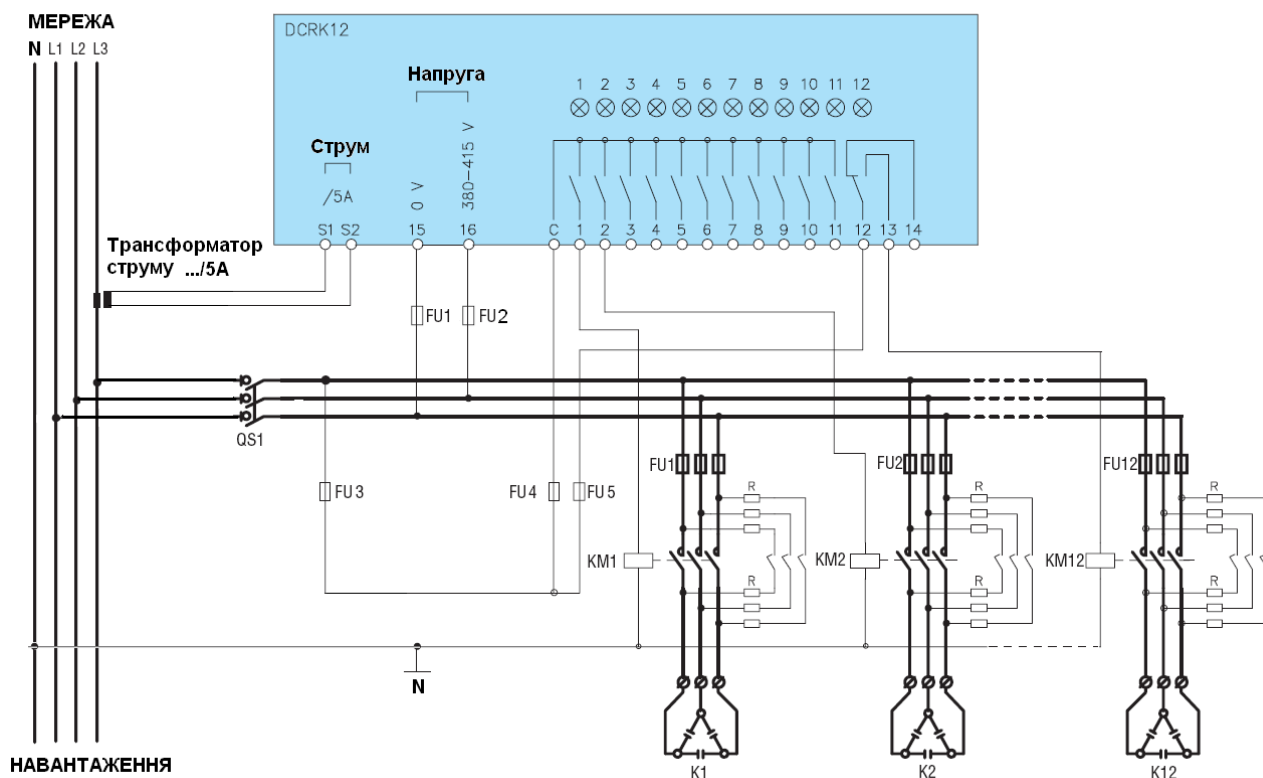


Рис. 5.1 - Мікропроцесорний контролер DCRK . Схема електрична принципова

Визначити ємнісну реактивну потужність, необхідну для досягнення заданого коефіцієнта потужності можна за допомогою формули

$$Q = P \cdot F, \text{ де}$$

Q – значення ємнісної реактивної потужності, квар;

P – значення активної потужності, кВт;

F – коефіцієнт з таблиці 5.2.

Приклад налаштувань регулятора DCRK7

Параметри регулятора для семи конденсаторних батарей 5, 10, 20, 20, 25, 20, 30 кВар на напругу 420 В і використання останньої ступені як реле несправності будуть запрограмовані так:

$P.02 = 5.10$ (найменша ступінь)

$P.03 = 420$ (номінальна напруга конденсаторів)

$P.06-1 = 001$ (5 кВар = 1 x $P.02$)

$P.06-2 = 002$ (10 кВар = 2 x $P.02$)

$P.06-3 = 004$ (20 кВар = 4 x $P.02$)

$P.06-4 = 004$ (20 кВар = 4 x $P.02$)

$P.06-5 = 004$ (20 кВар = 4 x $P.02$)

						02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
							56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

P.06-6 = 004 (20 кВар = 4 x P.02)

P.06-7 = поА (нормально-відкритий контакт при відсутності несправності)

Таблиця 5.2.

Діючий cosφ	Потрібний cosφ											
	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95	0.96	0.98	1.00
0.30	2.43	2.48	2.53	2.56	2.61	2.67	2.72	2.78	2.85	2.89	2.98	3.18
0.35	1.93	1.98	2.03	2.06	2.11	2.16	2.22	2.28	2.35	2.38	2.47	2.68
0.39	1.61	1.66	1.72	1.74	1.79	1.85	1.91	1.97	2.03	2.07	2.16	2.36
0.44	1.29	1.34	1.39	1.42	1.47	1.53	1.59	1.65	1.71	1.75	1.84	2.04
0.49	1.03	1.08	1.13	1.16	1.21	1.27	1.32	1.38	1.45	1.49	1.58	1.78
0.53	0.85	0.90	0.95	0.98	1.03	1.09	1.14	1.20	1.27	1.31	1.40	1.60
0.58	0.65	0.71	0.76	0.78	0.84	0.89	0.95	1.01	1.08	1.11	1.20	1.40
0.62	0.52	0.57	0.62	0.65	0.70	0.75	0.81	0.87	0.94	0.97	1.06	1.27
0.67	0.36	0.41	0.46	0.49	0.54	0.60	0.65	0.71	0.78	0.82	0.90	1.11
0.72	0.21	0.27	0.32	0.34	0.40	0.45	0.51	0.57	0.64	0.67	0.76	0.96
0.76	0.11	0.16	0.21	0.24	0.29	0.34	0.40	0.46	0.53	0.56	0.65	0.86
0.81		0.03	0.08	0.10	0.16	0.21	0.27	0.33	0.40	0.43	0.52	0.72
0.86					0.03	0.08	0.14	0.20	0.26	0.30	0.39	0.59
0.90							0.03	0.09	0.16	0.19	0.28	0.48
0.95										0.04	0.13	0.33

Приклад розрахунку конденсаторної установки.

Цех заводу обладнаний :

- асинхронний двигун P1=70 кВт, cosφ1= 0,75 - кількість 2 шт;
- асинхронний двигун P2=30 кВт, cosφ2= 0,7 - кількість 2 шт;
- асинхронний двигун P3=7,50 кВт, cosφ3= 0,65 - кількість 5 шт;
- асинхронний двигун P4=5,50 кВт, cosφ4= 0,65 - кількість 3 шт;
- асинхронний двигун P5=1,50 кВт, cosφ5= 0,62 - кількість 6 шт.

Активна потужність цеху складає:

$$P = 2 \times P1 + 2 \times P2 + 3 \times P3 + 3 \times P4 + 6 \times P5 =$$

$$= 2 \times 75 + 2 \times 35 + 5 \times 7,5 + 3 \times 5,5 + 6 \times 1,5 = 293 \text{ кВт} .$$

Реактивна потужність цеху складає:

$$Q = \Sigma (S \cdot \sin\varphi) = \Sigma ((P \cdot \sin\varphi) / \cos\varphi) =$$

$$= (2 \times P1 \times \sin\varphi1) / \cos\varphi1 + (2 \times 35 \times \sin\varphi2) / \cos\varphi2 +$$

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$+ (5 \times 7,5 \times \sin\varphi_3)/\cos\varphi_3 + (3 \times 5,5 \times \sin\varphi_4)/\cos\varphi_4 + \\ + (6 \times 1,5 \times \sin\varphi_5)/\cos\varphi_5 = 255 \text{ кВАР} .$$

Звідси, загальна потужність

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{283^2 + 252^2} = 378 \text{ кВА}$$

Отже, діючий $\cos\varphi$ в системі:

$$\cos\varphi = P / S = 286 / 378 = 0,74 .$$

Бажаний коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,92$. Згідно таблиці 2, коефіцієнт $F = 0,53$.

Розрахункова потужність конденсаторної установки складає:

$$Q = P \cdot F = 283 \cdot 0,53 = 155 \text{ квар}$$

5.3. Проведення випробувань з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела струму

Випробування провадяться бригадами у складі не менше двох працівників, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, а інші - групу III.

Проведення випробувань можуть виконувати тільки працівники, які пройшли спеціальну підготовку і перевірку знань схем випробувань і правил в обсязі даного розділу та мають практичний досвід проведення випробувань в умовах діючих електроустановок, одержаний в період стажування тривалістю не менше 1 місяця під контролем досвідченого працівника з групою III. Вказана перевірка провадиться одночасно з загальною перевіркою знань Правил безпеки в ті ж терміни і тією ж комісією з включенням до її складу спеціаліста з випробування устаткування, який має V групу а електробезпеки, під час перевірки знань працівників, які проводять випробування в електроустановках напругою понад 1000 В, і групу IV - під час перевірки знань працівників, які проводять випробування в електроустановках напругою до 1000 В, про що робиться відповідний запис в посвідченні і в журналі.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випробування в електроустановках напругою понад 1000 В провадиться за нарядом. Випробування електродвигунів напругою понад 1000 В, від яких від'єднані кабелі живлення і кінці їх заземлені, можуть виконуватись за розпорядженням.

Допуск за нарядом, що виданий на проведення випробувань, або на проведення, крім випробувань, підготовчих і ремонтних робіт, може бути проведений тільки після виводу а робочих місць інших бригад, які працюють на обладнанні, що підлягає випробуванню, і здачі ними нарядів.

У склад бригади, що провадить випробування, можуть бути включені ремонтні працівники а групою II-для виконання підготовчих робіт, для охорони устаткування, що випробовується, а також для виконання роз'єднання і з'єднання шин.

До початку випробувань керівник робіт має проінструктувати цих працівників про заходи безпеки, які необхідні під час проведення випробувань.

В склад бригади, яка виконує ремонт або монтаж устаткований, в свою чергу можуть бути включені працівники налагоджувальних організацій для проведення необхідних випробувань. У цьому разі відповідальність за безпеку проведення випробувань покладається на керівника робіт, чи за його вказівкою на старшого з працівників лабораторії або налагоджувальної організації з групою IV. У цьому випадку про керівника проведення випробувань в процесі монтажу або ремонту робиться відповідна позначка в наряді в рядку "Доручається". Вказівки цих осіб обов'язкові для всіх членів бригади.

Оформлення роботи нарядом, зняття напруги, вивішування плакатів, огороження робочого місця, перевірка відсутності напруги, встановлення заземлення, допуск до робіт тощо здійснюються згідно з «Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Одночасне виконання випробувань та ремонтних робіт різними бригадами в межах одного приєднання не допускається.

Масові випробування ізоляційних матеріалів і виробів (засобів захисту, різних ізоляційних деталей тощо), що проводяться поза електроустановкою

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругою понад 1000 В з використанням стендів, у яких струмовідні частини закриті суцільними або виконувати особа з групою IV одноосібно в порядку поточної експлуатації.

Блокування повинне забезпечувати повне зняття напруги під час відкривання дверей і унеможливлювати її подання на стенд за умови, що двері відчинені.

Під час збирання випробувальної схеми передусім виконуються захисне і робоче заземлення випробувальної установки і, якщо вимагається — захисне заземлення корпусу обладнання, що випробовується.

Проведення випробувань пересувною установкою із заземленням її корпусу тільки за допомогою робочої схеми забороняється. Корпус пересувної випробувальної установки має бути заземлений окремим заземлювальним провідником з гнучкого мідного проводу перерізом не менше 10 мм²,

Перед випробуванням необхідно перевірити надійність заземлення корпусу.

Перед приєднанням випробувальної установки до мережі 380/220 В вивід високої напруги установки має бути заземлений.

Переріз мідного проводу, що використовується в випробувальних схемах для заземлення, повинен бути не менше 4 мм².

Збирання кола випробування обладнання проводить працівник бригади, яка проводить випробування.

Перед початком випробувань правильність збирання кола та надійність робочих і захисних заземлень перевіряє виконавець робіт.

Встановлені в електроустановці переносні заземлення, які перешкоджають проведенню випробувань, можуть бути зняті і знову встановлені тільки за вказівкою особи, яка керує випробуванням, після заземлення виводу високої напруги випробувальної установки.

Місце випробувань, а також з'єднувальні проводи, які під час випробування перебувають під випробувальною напругою, огорожуються, і біля місця випробування має перебувати наглядач.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обов'язки наглядача може виконувати особа, яка проводить приєднання вимірювальної схеми до випробувального обладнання.

Обгороджування виконується працівниками бригади, яка проводить випробування. Як огороження, можуть використовуватися щити, бар'єри, канати з підвішеними на них плакатами "Випробування. Небезпечно для життя!" або світловими табло з таким самим написом.

В разі розміщення з'єднувальних проводів, що перебувають під випробувальною напругою, поза приміщенням електроустановки напругою понад 1000 В, в коридорах, на сходах, в проходах, на території, поряд з огороженням виставляється охорона з одного або кількох проінструктованих і введених в наряд осіб з групою II - для попередження про небезпечність наближення або проникнення за огороження,

Обладнання, що охороняється, вважається таким, що перебуває під напругою.

Керівник робіт повинен переконатися в тому, що особи, виставлені для охорони, перебувають на своїх місцях і їм повідомлено про початок випробувань.

Залишити свої місця ці особи можуть тільки з дозволу керівника робіт.

В разі розміщення випробувальної установки і устаткування, що випробовується, в різних приміщеннях чи на різних ділянках РУ дозволяється перебування членів бригади з групою III, які ведуть спостереження за станом ізоляції, окремо від виконавця робіт.

Ці члени бригади перед початком випробувань повинні отримати необхідний інструктаж від керівника робіт і розташуватися поза огороженням.

В разі випробувань кабельної лінії, якщо протилежний кінець її розміщений в замкненій камері (відсіку) КРУ чи в приміщенні, на дверях або огороженні має бути вивішений плакат "Випробування. Небезпечно для життя!". Якщо ці двері і огороження не зачинені на запірний пристрій чи випробуванню підлягає лінія, що ремонтується, з розібраними на трасі кінцями (жилами) кабелю, то, крім вивішування плакатів на дверях, огороженнях і біля розібраних кінців кабелю,

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

слід також виставити охорону з включених до складу бригади працівників а групою II.

Приєднання випробувальної установки до мережі напругою 380/220 В слід проводити через комутаційний апарат з видимим розривом кола або через штепсельну вилку, розміщені на місці керування установкою.

Комутаційний апарат слід обладнати стопорним пристроєм або між рухомими і нерухомими контактами апарату встановити ізолювальну накладку.

Провід або кабель, який використовується для живлення випробувальної станції від мережі напругою 380/ 220 В, має бути захищений встановленими в цій мережі запобіжниками або автоматичними вимикачами. Підключати до мережі пересувну випробувальну установку мають представники організації, яка експлуатує цю мережу.

Приєднувати з'єднувальний провід до фази, полюса випробувального обладнання або до жили кабелю і від'єднувати його дозволяється за вказівкою особи, що керує випробуванням, і тільки після її заземлення, яке може бути виконане вмиканням заземлювальних ножів або встановленням переносних заземлень, в тому числі спеціальних лабораторних, що мають ізолювальні ручки.

Перед подачею випробувальної напруги керівник робіт зобов'язаний:

- перевірити правильність збирання схеми і надійність робочих та захисних заземлень;

- перевірити, чи всі члени бригади і працівники, призначені для охорони, перебувають на вказаних їм місцях, чи виведені сторонні люди і чи можна подавати випробувальну напругу на устаткування;

- попередити бригаду про подання напруги словами «Подаю напругу» і, упевнившись, що попередження почуте всіма членами бригади, зняти заземлення з виводу випробувальної установки і подати на неї напругу 380/ 220 В.

З моменту зняття заземлення з виводу установки вся випробувальна установка, обладнання, що випробовується, і з'єднувальні проводи вважається під напругою і проводити будь-які Perez'єднання у випробувальній схемі і на випробувальному обладнанні забороняється,

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Забороняється з моменту подання напруги на випробувальну установку заходити до неї і виходити з неї, знаходитись на випробувальному обладнанні, а також доторкуватися до корпусу випробувальної установки, стоячи на землі.

Після закінчення випробувань керівник робіт має знизити напругу випробувальної установки до нуля, відключити її від мережі 380/220 В, заземлити вивід установки і повідомити про це бригаді словами „Напруга знята».

Тільки після цього можна виконувати Perez'єднання проводів або в разі повного закінчення випробування, від'єднати їх від випробувальної установки і знімати огороження.

До випробування ізоляції КЛ і ПЛ, а також після нього необхідно розрядити кабель і лінію на землю через додатковий опір, встановити заземлення та упевнитися в повній відсутності заряду. Тільки після цього дозволяється зняти плакати.

Особа, що проводить розрядку, має користуватися діелектричними рукавичками, захисними окулярами і стояти на ізолювальній основі.

Встановлення і зняття заземлення заземлювальною штангою на високовольтний вивід випробувальної установки, приєднання та від'єднання проводів від цієї установки до випробувального устаткування слід проводити в діелектричних рукавичках однією і тією самою особою.

Під час випробувань і в разі Perez'єднання незаземлених частин випробувального обладнання вони вважаються такими, що перебувають під напругою.

На робочому місці оператора виконується роздільна світлова сигналізація про ввімкнену напругу до і понад 1000 В.

Під час використання пересувної або стаціонарної випробувальної установки мають бути виконані такі умови:

- випробувальна установка має бути розділена на два відділи, в одному відділі розміщується апаратура напругою до 1000 В і знаходиться оператор, що керує установкою, в другому - все устаткування та струмовідні частини напругою понад 1000 В;

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- пристрій установки напругою понад 1000 В має бути цілком відгороджений від місць, до яких можливе доторкування;
- двері у відділ установки з устаткуванням напругою понад 1000 В повинні мати електричне блокування, що забезпечує зняття напруги понад 1000 В під час відкривання дверей і світлову сигналізацію, яка діє, коли вивід високої напруги перебуває під напругою.

Вимірювання мегомметром дозволяється виконувати навченим цьому електротехнічним працівникам.

В установках напругою понад 1000 В вимірювання проводять за нарядом дві особи, одна з яких повинна мати групу IV.

В установках напругою до 1000 В вимірювання виконують за розпорядженням дві особи, одна з яких повинна мати групу III.

Вимірювання опору ізоляції мегомметром здійснюється на відключених струмопровідних частинах, з яких знято заряд шляхом їх попереднього заземлення. Заземлення зі струмопровідних частин слід знімати тільки після підключення мегомметра.

Під час вимірювання мегомметром опору ізоляції струмопровідних частин з'єднувальні проводи слід приєднувати до них за допомогою ізолювальних утримувачів (штанг). В електроустановках понад 1000 В, крім того, необхідно користуватися діелектричними рукавичками.

Випробування ізоляції лінії, до якої напруга може бути підключена з двох боків, дозволяється виконувати тільки в тому разі, якщо від відповідальної особи електроустановки, що приєднана до другого кінця цієї лінії, отримано повідомлення по телефону або іншим способом (зі зворотньою перевіркою) про те, що лінійні роз'єднувачі і вимикач відключені і вивішений плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Перед початком випробувань необхідно упевнитися у відсутності працівників на тій частині електроустановки, до якої приєднаний випробувальний прилад. заборонити особам, які знаходяться поблизу нього, торкатися струмопровідних частин і, якщо потрібно, виставити охорону.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для контролю стану ізоляції електричних машин згідно з методичними вказівками або програмами вимірювання мегомметром в разі зупиненого або такого, що обертається, ротора, але в тому разі, якщо машина не збуджена, вимірювання можуть проводитися оперативними працівниками в порядку поточної експлуатації або працівниками електролабораторії за розпорядженням.

Під наглядом оперативних працівників ці вимірювання можуть виконуватися ремонтними працівниками.

Випробування ізоляції роторів, якорів і кіл збудження може проводити одна особа з групою III, випробування ізоляції статорів ~ не менше ніж дві особи, одна з яких повинна мати групу IV, а друга - групу III.

Забороняється під час роботи з мегомметром доторкуватися до струмопровідних частин, до яких він приєднаний. Після закінчення роботи необхідно зняти зі струмопровідних частин залишковий заряд шляхом їх короткочасного заземлення.

Проведення вимірів мегомметром забороняється на одному колі двоколових ліній напругою понад 1000 В в той час, коли друге коло перебуває під напругою; на одноколовій лінії, якщо вона іде паралельно з лінією, яка працює і перебуває під напругою понад 1000 В; під час грози або в разі її наближення.

Дії з приєднання і від'єднання приладів, які спричиняють розрив електричних кіл, яві перебувають під напругою до 1000 В, слід виконувати після зняття напруги з цих кіл.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Перспективним напрямком сучасної організації навчального процесу у вищих навчальних закладах є створення навчально-наукових лабораторій в яких

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буде поєднуватися одночасно навчальний процес з отриманням практичних навичок студентів і організація їх науково-дослідницької роботи. Крім традиційних функцій університету в отриманні загальної освіти майбутніх фахівців, сьогодні вони покликані вирішувати завдання забезпечення студентів пізнавальною функцією, формувати у них необхідність для майбутньої практичної діяльності, компетенції через науково-дослідницьку роботу.

Цінність сучасного фахівця полягає в його різнобічності та системності знань та підходів при виконанні ним різноманітних виробничих викликів. Враховуючи це, сучасна підготовка фахівців повинна ґрунтуватися на кращих технічних зразках. Це дасть можливість викладачам розширити можливості при підготовці студентів, а також спонукати їх не тільки отримувати певну інформацію, але і до пошуку нової, тобто основою сучасного навчального процесу повинен стати пізнавальний підхід.

Основними завданнями впровадження лабораторії в навчальний процес буде:

- створення можливості для майбутніх фахівців якомога раніше включитися в процес оволодіння навиками майбутньої професії, а також дослідницьку роботу університету;
- розробки індивідуальних завдань для вирішення при вимірюванні та випробуванні об'єктів дослідження;
- забезпечити точні і кваліфіковані вимірювання і випробування електрообладнання будь-якої складності;
- проведення робіт згідно вимог нормативних документів;
- мобільність та оперативність при виконанні робіт.

Створення такої лабораторії, за всебічної підтримки USAID Проєкту енергетичної безпеки, дасть змогу не тільки розробляти, досліджувати та впроваджувати у виробництво науково-технічні розробки науково-педагогічних працівників ННІ енергетики, автоматики та енергозбереження, але і підготовлювати висококваліфікованих фахівців, які будуть швидко адаптуватися до умов виробничої діяльності та будуть здатні вирішувати виробничі та наукові завдання, розширюючи при цьому свої професійні якості.

Результатом впровадження лабораторії в навчальний процес не тільки студентів, але і викладачів буде:

- участь у підготовці та реалізації міжнародних програм за профілем діяльності лабораторії;
- проведення прикладних і фундаментальних навчально-науково-практичних досліджень, експертиз, консультацій в електроенергетичній галузі;

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечення інтеграції результатів наукової роботи в навчальний процес;
- використання навчально-науково-дослідницької роботи і її результатів в освітньому процесі: створення нових і модернізація існуючих навчальних курсів з дисциплін, що пов'язані з електроенергетичною галуззю, залучення студентів бакалаврату та магістратури, аспірантів НУБіП України наукової та практичної діяльності Лабораторії, здійснюване в формі навчальних і переддипломних, науково-дослідних практик, виконання курсових робіт, підготовки випускних кваліфікаційних робіт, дисертаційних досліджень;
- розробка програм підвищення кваліфікації і професійної перепідготовки фахівців в електроенергетичній галузі;
- реалізація дослідницьких проектів, виконання науково-дослідницької роботи для підприємств реального сектора економіки

Завдяки впровадженню університетом в навчальний процес такої лабораторії дасть змогу студентам в повній мірі опанувати та отримати практичні навички при проведенні випробовування різноманітних електроенергетичних систем, що, в свою чергу, дозволить їм постати повноцінними фахівцями вже після закінчення навчання.

Використання засобів діагностування і контролю силових трансформаторів веде до зростання як продуктивності праці, так і знижує собівартість продукції та терміну окупності.

Узагальнюючим показником ефективності капіталовкладень є зведені розрахункові витрати, що враховують річні експлуатаційні витрати і долю капіталовкладень, що припадає на один експлуатаційний рік.

Зведені витрати визначають за формулою

$$V_{зв} = C + E_n \cdot K_1 \quad (6.1)$$

Де: $V_{зв}$ - зведені витрати, грн/рік

C - річні експлуатаційні затрати, грн./рік

E_n - номінальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/рік;

K_1 - капітальні витрати, грн.

Річні експлуатаційні затрати складаються з наступних складових:

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- витрат на заробітну плату обслуговуючого персоналу для виконання сервісних робіт, C_3 ;

- витрат на поточний та капітальні ремонти засобів діагностування, $C_{пт}$;

- витрат на оплату електроенергії, C_e ;

- витрат на допоміжні витратні матеріали, C_d ;

Витрати на місячну заробітну плату визначаються кількістю обслуговуючого персоналу та тарифною нормованою ставкою (приймаємо тариф $C_m=185$ грн/год).

Річний фонд заробітної плати обслуговуючого електротехнічного персоналу визначається за наступною формулою:

$$C_z = N \cdot Z \cdot Z_{зм} \cdot T \quad (6.2)$$

Де: N -кількість робітників в одній зміні, $N=2$;

Z - кількість змін на добу, $Z=1$;

$Z_{зм}$ - середня заробітна плата робітника за добу 1250 грн.;

T - кількість робочих днів, $T=252$

Підставивши дані у формулу (4.2) матимемо:

$$C_z = 2 \cdot 1 \cdot 1250 \cdot 252 = 630\,000 \text{ грн.}$$

Нормовані амортизаційні відрахування становлять 15 % від балансової вартості електрообладнання.

№	Назва установки	Призначення	Вартість, тис. грн
1.	Апарат високовольтний випробувальний АВ-50/70	Призначений для випробування ізоляції рідких і твердих діелектриків випрямленою електричною напругою, а також для випробування твердих діелектриків синусоїдальною електричною напругою частотою 50 Гц а також випробування індивідуальних захисних засобів.	150,440
1.	Вимірювач струму високопотенційний ИТВ-140Р	Призначений для вимірювання постійного і змінного синусоїдального струму частотою 50-60 Гц, перебуваючи під потенціалом до 140 кВ.	25,400

						02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
							68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

2.	Установка для випробування масла УИМ-90	Призначена для визначення пробивної напруги трансформаторного масла і інших рідких діелектриків.	130,250
3.	Вимірювач параметрів ізоляції ИПИ-10	Призначений для вимірювання тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ і ємності високовольтної ізоляції С	65,320
4.	Вимірювач параметрів силових трансформаторів К540-3	Призначений для вимірювання електромагнітних характеристик силових трансформаторів: <ul style="list-style-type: none"> • Струму і втрат холостого ходу; • Струму і втрат короткого замикання; • Коефіцієнта трансформації; • Опору обмоток трансформаторів постійного струму 1. Визначення групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів і полярності виводів однофазних трансформаторів	182,400
5.	Переносний блок низьковольтних вимірів ПБНИ-3	Призначений для розширення функціональних можливостей приладу «К540-3» при вимірювання параметрів силових трансформаторів: <ul style="list-style-type: none"> • вимірювання параметрів силових трансформаторів (втрати холостого ходу, короткого замикання, коефіцієнта трансформації) при однофазній пониженій напрузі збудження величиною до 380 В; • вимірювання параметрів силових трансформаторів (втрати холостого ходу, короткого замикання, коефіцієнта трансформації) при трифазній напрузі збудження величиною до 380 В і струмах до 30А на кожній фазі живлення. 	43,400

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.	Пристрій прогрузки апаратів DTE-10M	<p>Призначений: для перевірки працездатності і контролю ампер-секундних характеристик автоматичних вимикачів змінного струму промислової частоти в діапазоні 20А-10кА, з вимірюванням і реєстрацією величин часу і струму, що пропускається через автоматичний вимикач;</p> <ul style="list-style-type: none"> • для перевірки і атестації струмових вимірювальних і захисних трансформаторів струму, первинним струмом; • для перевірки плавких запобіжників. 	120,300
7.	Прилад ЭС 0212	Вимірює електричний опір заземлювальної проводки, встановлення факту її обриву за значенням електричного опору і виявлення напруги змінного струму на обладнанні при порушенні ізоляції.	8,7
1.	Вимірювач параметрів кіл електроживлення будинків MZC-304UA	Призначений для вимірювання очікуваного струму однофазного короткого замикання на підставі повного опору петлі короткого замикання.	35,4
2.	Вимірювач параметрів заземлюючих пристроїв MRU-10UA	<p>Призначений:</p> <ul style="list-style-type: none"> • вимірювання опору контактних з'єднань заземлюючих, захисних провідників і провідників системи зрівнювання потенціалів; • вимір опору заземлювального пристрою по двополусної схемою 2Р (перевірка цілісності ланцюга). 	42,200
3.	Вимірювач параметрів електроізоляції МІС-2501UA	Призначений для вимірювання опору ізоляції кабельних ліній, проводів, обмоток трансформаторів, двигунів, інших електро- і телекомунікаційних установок. Максимальна вимірювальна напруга становить 2500 В постійного струму, а діапазон вимірюваного опору обмежений величиною в 1000 ГОм	79,20
1.	Тепловізор Trotec	Визначення температурних полів поверхонь електрообладнання	140,30
2.	Система реєстрації часткових розрядів	Визначення температурних полів поверхонь електрообладнання	370,4
3.	Мікроомметр	Вимірювання опору постійного струму обмоток та шин	198,2

									Арк.
									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ				

4.	Генератор автономного живлення, однофазний	Проведення польових випробувань	57
5.	Вказівник напруги	Безпечне виконання робіт в електроустановках	57
6.	Штанга оперативна до 35кВ	Безпечне виконання робіт в електроустановках	57
7.	Переносне заземлення для підстанцій до 35кВ	Безпечне виконання робіт в електроустановках	57
8.	Всього		1661

Витрати на поточні ремонти та сервісні роботи визначаються також у відсотках від балансової вартості обладнання 0,2 %.

Витрати на енергоресурси визначаються по величині затрат енергоносіїв та тарифах на неї, (10,23 грн/кВт*год):

$$C_e = 16000 \text{ грн}$$

Інші прямі витрати приймають рівним 2 % від загальних експлуатаційних витрат.

$$C = C_z + C_a + C_{пр} + C_e + C_d \quad (6.3)$$

Балансова вартість техніки становить 1661000 грн.

$$C = 630000 + 0,02 * 1661000 + 16000 + 0,001 * 1661000 = 680881 \text{ грн.}$$

Величина капітальних затрат системи діагностування визначається:

- вартістю засобів діагностування K_z
- вартістю доставки, зберігання та монтажу K_m ;
- прокладку внутрішньої мережі $K_{пр}$;
- інші капітальні вкладення, пов'язані з здійсненням діагностування K_i .

Витрати на придбання засобів автоматизації 1661000 грн.

Вартості їх доставки зберігання і монтажу прийемо в середньому 2% від загальної вартості засобів діагностування.

Витрати на прокладку електричних кабелів включають в себе вартість кабелю та вартість його прокладки.

Інші витрати приймаємо рівними 1% від суми капітальних вкладень:

$$K = K_z + K_m + K_{пр} + K_i \quad (6.4)$$

Підставивши значення в формулу 4.4 отримаємо наступне:

						02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
							71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$K = 1661000 + 0,02 \cdot 1661000 + 12500 + 0,02 \cdot 1661000 = 1723330 \text{ грн.}$$

Повертаючись до формули (4.1) отримаємо загальні зведені витрати, які становлять:

$$Взв = 680881 + 0,15 \cdot 1723330 = 939380 \text{ грн.}$$

Підставивши значення отримаємо наступне:

$$Взаг = Сзаг + Ен \cdot 10К$$

$$Взаг = 70855 + 0,15 \cdot 10 \cdot 6190 = 80145 \text{ грн.}$$

Загальна собівартість продукції визначається з урахуванням зведених затрат до яких додаються питомі витрати на сировину, корми, воду та інші прямі та непрямі витрати на виробництво одиниці продукції:

$$C_{в} = \frac{\sum B}{Q}$$

Q - кількість продукції, яка вироблена протягом року; Q=2505000 тис.шт

$\sum B$ - сума всіх витрат на виробництво продукції $\sum B = 4659350$ грн

$$C_{в} = 4659300 / 2505000 = 1,86 \text{ грн/тис. шт.}$$

Плановий прибуток визначаємо за формулою:

$$ПР = Ц - C_{в}$$

Де: Ц - ціна одиниці продукції.

$$ПР = 2,5 - 1,86 = 0,64 \text{ грн/тис. шт.}$$

Планову рентабельність виробництва визначаємо за наступною формулою:

$$P = ПР / C_{в} = 0,64 / 1,86 = 34,45 \%$$

Розрахунок терміну окупності капітальних вкладів. Плановий термін окупності капітальних вкладів:

$$T = \frac{K_{к}}{G} = \frac{80140}{160320} \approx 5 \text{ міс,} \quad (6.5)$$

Де: $K_{к}$ – витрати, пов'язані зі створенням нової системи, тис. грн.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк. 72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Розроблений технічний проект пункту діагностування електрообладнання.
2. Проведений аналіз способів, пристроїв та приладового забезпечення для діагностування силових трансформаторів.
3. Розроблений алгоритм тестування силових трансформаторів з використанням спеціалізованого вимірювача Telaris 100 plus.
4. Розроблений алгоритм пошуку несправностей в силових трансформаторів.

Результати роботи можуть використовуватися фахівцями спеціалізованих вимірювальних лабораторій.

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року N 2388-VI
2. Закон України «Про енергозбереження». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, N 15, ст.126)
3. Закон України №555-IV від 20.02.2003р «Про альтернативні джерела енергії»
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2017).
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006.
6. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. К.: Основа, 1998. -380 с.
7. Діагностування, обслуговування і ремонт електрообладнання: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. / В.В. Коробський, І.М. Болбот, М.Т. Лут, В.А. Наливайко – К.; ФОП Ямчинський О.В., 2021-510 с.
8. Діагностування енергообладнання. Вимірювання та випробування в електроустановках. Наливайко В.,Радько І.,Окушко О. Васюк В., Коробський В. – К.; ФОП Ямчинський О.В., ЦП "КОМПРИНГ" 2023-390 с.
9. Щепотев О.І., Радько І .П. Жильцов А.В., Лут М.Т., Васюк В.В., Наливайко В.А. Діагностування і оцінювання надійності енергетичного оладнання: навчальний посібник. Частина 1. К.: ЦП «Компринт», 2017. 386 стр.
10. Лут М.Т., Наливайко В.А., Радько І.П. Діагностування енергетичного обладнання: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. 2-е вид., перероб. і доп. - К.: Вид – во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014.- 590 с.
11. Норми випробувань електрообладнання. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2020.
12. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків, Факт, 2008. – 438 с.
13. Електропривод: Підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко; За ред.. Ю. М. Лавріненка, Видавництво «Ліра-К». –К., 2009. – 504с
14. “Правила уповноваження та атестації у державній метрологічній системі” Наказ Держспоживстандарту України №71 від 29.03.05.
15. Закон України "Про охорону праці".

					02.02- КБР.2055"С".2024.11.18.054. ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

