Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Дослідження методів забезпечення якості кабельно-провідникової продукції електротехнічного підприємства**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТмз-62
спеціальності 141
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Сігетій Р.М. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Куземко Н.А. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Мовчан Л. Т. (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) Коваль В.П. (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Шелестовський Б. Г. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 13 » листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Сігетію Роману Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів забезпечення якості кабельно-провідникової продукції електротехнічного підприємства

Керівник роботи Куземко Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1042

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи План основного виробництва підприємства; характеристика та перелік наявних потужностей основного виробництва; електроживлення виробництва здійснити від існуючих потужностей КТП; однолінійна схема електропостачання підприємства; існуючі схеми живлення електроприймачів; графік роботи – двозмінний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проєктно-конструкторський розділ
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Схема розміщення потужностей ТОВ «Екерлі Автомотив Україна»	1л. ф – А1
2. Схема електричних з'єднань системи електропостачання	1л. ф – А1
3. Схема однолінійна електричних з'єднань ВРП	1л. ф – А1
4. Схема однолінійна електричних з'єднань розподільчих пристроїв	1л. ф – А1
5. Схема електричних з'єднань освітлювальної мережі	1л. ф – А1
6. Схема пристрою оцінювання якості лакового покриття ізоляції провідників	1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 14 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	18.11.2023	
2	Аналітичний розділ	20.11.2023	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	27.11.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	04.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	09.12.2023	
6	Висновки	11.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2023	
8	Оформлення графічної частини	18.12.2023	

Студент _____ Сігетій Р. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Куземко Н. А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Сігетій Р. М. Дослідження методів забезпечення якості кабельно-провідникової продукції електротехнічного підприємства. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТмз–62. - Тернопіль : ТНТУ, 2025.

Стор. - 70; рис. - 4; табл. - 7; креслень - 7; джерел - 39; додатків -.

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз та здійснений вибір методів дослідження ізоляції кабельно-провідникових елементів електроустановок для встановлення їх ефективності й достовірності інформації щодо реального стану дефектності ізоляції.

Досліджена можливість застосування моделі стійкості полімерної ізоляції в умовах деструктуючої дії теплової енергії та кисню повітря, а також прискореного методу оцінювання температурного індексу ізоляції як її характеристики в умовах теплового старіння.

Проведений розрахунок та обрані апарати захисту електромережі підприємства, а також перерізи й січення провідників для живлення технологічного електрообладнання.

Для забезпечення нормованої освітленості робочих місць розрахована кількість та обрані типи освітлювальних приладів.

Ключові слова: ЯКІСТЬ ІЗОЛЯЦІЇ, ТЕПЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 9
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА КАБЕЛЬНО-ПРОВІДНИКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ .. 9
1.1 Види кабельно-провідникової продукції та особливості застосування 9
1.2 Аналіз технологічних процесів виготовлення кабельно-провідникової продукції 12
1.3 Основні положення випробувань ізоляційних конструкцій електричних машин 18
1.4 Класифікація високовольтних випробувань ізоляції електрообладнання 22
1.5 Особливості проведення випробувань ізоляційних конструкцій електрообладнання . 24
1.6 Критерії оцінювання стану ізоляції після високовольтних випробувань 26
1.7 Загальна характеристика електроспоживання виробництва кабельно-провідникових виробів 27
1.8 Аналіз вихідних даних на проектування та загальна характеристика електричних приймачів 28
1.9 Висновки до розділу 29
2 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ 31
2.1 Дослідження нагрівостійкості конструкцій ізоляції електричних установок 31
2.2 Визначення температурного індексу та діапазону нагрівостійкості ізоляційних конструкцій 36
2.3 Експрес-метод оцінювання температурного індексу ізоляції емальпроводу 38
2.4 Висновки до розділу 40

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ 41
3.1 Вихідні дані електричних приймачів для проведення розрахунку СЕП 41
3.2 Складання схеми ЕП підприємств 41
3.3 Розрахунок електричних навантажень 42
3.4 Апаратура захисту електромережі підприємства . 45
3.5 Вибір типів та номіналів запобіжників 50
3.6 Вибір перерізу кабельно-провідникової продукції 51
3.7 Освітлення виробничих приміщень 52
3.8 Розрахункове навантаження ЩО 54
3.9 Розрахункові потужності ВРП 54
3.10 Розрахункове навантаження силового трансформатора 55
3.11 Компенсація реактивної потужності виробничого обладнання підприємства 56
3.12 Висновки до розділу 57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 58
4.1 Заходи з охорони праці на підприємстві з виробництва кабельної продукції 58
4.2 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки на підприємстві 61
4.3 Заходи забезпечення надійної роботи підприємства в умовах надзвичайних ситуацій 63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 67

ВСТУП

Актуальність теми. Ізоляційні конструкції електричних машин і апаратів визначають надійність в експлуатації цих електроустановок. Основними якісними показниками ізоляції кабелів і проводів є напруга пробою та температуростійкість (довготривала й короткотривала). Якість шару ізоляції визначається її рівномірністю й однорідністю, яка, в свою чергу, може бути порушена як на стадії нанесення, конструктивного оформлення кабельно-провідникового елемента в електроустановці, так і в процесі експлуатації.

Працездатність ізоляційних конструкцій електротехнічних пристроїв є одним із визначальних чинників їх безаварійного функціонування. Однак, як видно з досліджень Гурина А. Г., Щебенюк Л. А., Голик О. В. , Антонця Ю. А,. при існуючих технологіях нанесення ізоляції на провідники неможливо в ній уникнути поздовжньої неоднорідності чи прихованих дефектів, які можуть під впливом ряду факторів активізуватись і спричинити аварійний стан під час експлуатації вже готових виробів. Постає завдання передаварійного прогнозування можливого негативного впливу прихованих дефектів як перед використанням кабельно-провідникових елементів, так і в процесі експлуатації електроустановок [1; 6; 14; 15].

Методики випробувань цієї ізоляції ґрунтуються на встановленні деякого рівня перевищення напруги пробою та недопущенні перевищення кількості точкових пошкоджень над зафіксованими нормованими значеннями. При цьому, ізоляція апріорі вважається настільки лінійно однорідною, що рівень напруги пробою на суттєво обмеженій кількості зразків характеризує доволі значну в об’ємі лінійно–розповсюджену технологічну одиницю проводу [5; 13].

Однак, згідно результатів досліджень [1; 13; 30] реальна ізоляція містить нерівномірність товщини плівки по довжині та по колу провідника.

Незважаючи на значний обсяг робіт, проведений вище наведеними дослідниками. актуальною залишається тематика робіт щодо прогнозування ресурсу електротехнічних пристроїв з кабельно-провідниковими елементами на основі дослідження дефектності їх ізоляції.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є аналіз

методів дослідження ізоляції кабельно-провідникових елементів електроустановок та вибір найбільш ефективних, за допомогою яких можливо встановити реальний стан елементів ізоляційної конструкції для оцінювання її надійності в експлуатації.

Задачі:

– аналіз існуючих методик випробувань ізоляції кабелів і проводів;

– аналіз результатів випробувань ізоляції кабелів і проводів згідно існуючих методик для встановлення їх чутливості щодо виявлення прихованих дефектів ізоляції;

– дослідження проблеми встановлення критерію поздовжньої однорідності ізоляції проводу, достатнього для гарантування технологічної й експлуатаційної стійкості в електроустановках;

– визначення математичного апарату для опису стану дефектності ізоляції як показника статистичної неоднорідності одновісно орієнтованих об’єктів, якими є кабелі і проводи, а також встановлення критеріїв віднесення стану ізоляції до певного її ступеня дефектності;

– аналіз методик випробувань ізоляції тепловим навантаженням для визначення температуростійкості, а також стійкості до збільшення дефектності ізоляції у теплових полях;

- розроблення методики для прискореного оцінювання температурного індексу ізоляції проводів, а також правил відбору зразків, зважаючи на реальну дефектність їх ізоляції;

– аналіз математичних моделей динаміки дефектоутворення з врахуванням «проблемних» результатів випробувань як джерел інформації про реальний стан ізоляції емальпроводів.

Об’єкт дослідження - процес підвищення достовірності інформації про реальний стан дефектності ізоляції кабелів і проводів в результаті проведених випробувань.

Предмет дослідження - методи й математичні моделі діагностування стану дефектності й температуростійкості ізоляції кабельно-провідникової продукції.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Отримало подальший розвиток дослідження методів підвищення ефективності результатів випробувань кабельно-провідникової продукції для встановлення реальної дефектності ізоляції та теплових показників.

– Запропонована для подальшого дослідження модель оцінювання температурного індексу, а також виявлена можливість опису динаміки старіння ізоляції проводів в теплових полях.

Практичне значення отриманих результатів.

Ефективне використання досліджених методів діагностування ізоляції кабелів та проводів, а також прискореного методу оцінювання їх температурного індексу дозволить суттєво знизити втрати матеріальних ресурсів внаслідок неналежної якості ізоляції кабельно-провідникових елементів електроустановок.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на XII-й Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя [19].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (39 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 70 стор., 7 табл., 4 рис.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА КАБЕЛЬНО-ПРОВІДНИКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

1.1 Види кабельно-провідникової продукції та особливості застосування

Емальовані мідні проводи в електрообладнанні систем електроспоживання.

Емальовані мідні проводи призначені для виготовлення обмоток в індуктивних елементах, трансформаторах, електродвигунах, електрогенераторах, електромагнітах і багатьох інших застосуваннях.

1.1.1 Типи проводів для виготовлення обвиток електричних машин, апаратів та приладів.

ПЕТВ-1. Емальований, термостійкий провід, покритий шаром високоміцної поліефірної емалі. Товщина ізоляції по типу 1. Типові діаметри: 0,050 — 1,600.

ПЕТВ-2. Емальований, термостійкий провід, покритий шаром високоміцної поліефірної емалі. Товщина ізоляції за типом 2. Типові діаметри: 0,063 — 2,500.

ПЕТ-155. Провід із емалевою ізоляцією на основі модифікованого поліестеру. Температурний індекс – 155. Мінімальна температура навколишнього середовища -60°С. Типові діаметри: 0,063 — 2,500.

ПЕТ-180. Провід із емалевою ізоляцією на основі модифікованого поліестеру. Температурний індекс – 180. Мінімальна температура навколишнього середовища -60°С. Типові діаметри: 0,063 — 2,500.

ПЕТ-200-1. Провід із емалевою ізоляцією на основі поліамідіміду, термостійкий. Товщина ізоляції по типу 1. Типові діаметри: 0,050 — 2,500.

ПЕТ-200-2. Провід із емалевою ізоляцією на основі поліамідіміду, термостійкий. Товщина ізоляції за типом 2. Типові діаметри: 0,050 — 2,500.

ПЕТД-180. Емальований провід з двошаровою ізоляцією: 1-й шар - поліефірімід, 2-й шар - поліамімід. Температурний індекс — 180. Мінімальна температура навколишнього середовища -60°С. Типові діаметри: 0,063 — 2,500.

ПЕТД-200-1. Провід емальований з двошаровою ізоляцією: 1-й шар - поліефірімід, 2-й шар - поліамідімід. Товщина ізоляції по типу 1. Типові діаметри: 0,18-2,500.

ПЕТД-200-2. Емальований провід з двошаровою ізоляцією: 1 шар - поліефірімід, 2 шар - поліамідімід. Товщина ізоляції за типом 2. Типові діаметри: 0,18-2,500. Ізоляція проводів стійка до термічного удару при температурі 220°С (температурний індекс 200). Мінімальна температура навколишнього середовища -60°С.

Температурний індекс – 130. Мінімальна температура навколишнього середовища – 60°С. Допускається експлуатація проводів при температурі до +200°С. Ізоляція проводів стабільна:

• для марки ПЕТВ-1 до продавлювання при температурі 180 ± 5°С;

• для марки ПЕТВ-2 до продавлювання при температурі 200 ± 5°С;

• до впливу термічного удару при температурі 155 ± 5°С;

• до впливу кип'ятіння води;

• до впливу толуолу при температурі 60 ± 3 °С.

Температурний індекс – 155.

Ізоляція проводів стабільна:

• до продавлювання при температурі 240 ± 5°С;

• до теплового удару при температурі 200 ± 5°С.

Температурний індекс – 200.

Мінімальна температура навколишнього середовища -60°С. Стандартні вітчизняні мідні емальовані проводи круглого перерізу. Ізоляція проводів стабільна:

• до продавлювання при температурі 320 ± 5°С;

• до теплового удару при температурі 220 – 225°С;

• до впливу толуолу при температурі 60 ± 3 °С.

1.1.2 Обмотувальні проводи спеціального призначення.

Для обмоток трансформаторів, дроселів, електричних машин, апаратів і апаратів, при виготовленні яких зручно використовувати провід, який можна обслуговувати без попереднього зняття ізоляції.

ПЕВТЛ-1 - це високоміцний лудильний провід, емальований поліуретановим лаком. Товщина ізоляції по типу 1. Типові діаметри: 0,032 - 1,600 .

ПЕВТЛ-2 — це високоміцний луджений провід, емальований поліуретановим лаком. Товщина ізоляції за типом 2. Типові діаметри: 0,032 — 1,600.

ПЕВТЛ-180-1 — це провід високоміцний луджений, емальований поліуретановим лаком. Товщина ізоляції по типу 1. Типові діаметри: 0,18 — 1,000.

ПЕВТЛ-180-2 — це провід високоміцний луджений, емальований поліуретановим лаком. Товщина ізоляції за типом 2. Типові діаметри: 0,18 - 1,000

ПЕТКД - це провід з емалевою термостійкою ізоляцією та з додатковим клейовим шаром. Температурний індекс – 130. Мінімальна температура навколишнього середовища -60°С. Типові діаметри: 0,200 — 0,450. Термопластичний клейовий шар забезпечує склеювання обмотки після випічки при температурі 180...190°С протягом 30 хвилин.

Ізоляція проводів стабільна:

• до теплового удару при температурі 200 ± 5°С;

• до продавлювання при температурі 220°С (проводи з номінальним діаметром жил від 0,200 до 0,315 мм),

• до продавлювання при температурі 250°С (проводи з номінальним діаметром провідника 0,335 мм),

• до продавлювання при температурі 265°С (проводи з номінальним діаметром провідника від 0,355 до 0,450 мм).

1.2 Аналіз технологічних процесів виготовлення кабельно-провідникової продукції

1.2.1 Особливості нанесення ізоляційного лаку на провід.

Емалювання проводу є нанесенням рідкого лаку на поверхню проводу з подальшою тепловою обробкою в емаль-печі, в результаті чого утворюється ізоляційне покриття. Якість ізоляційного покриття залежить від фізико-хімічних

властивостей лаку, якості поверхні проводу, правильності режимів накладання лаку на провідйі подальшої теплової обробки.

На кабельних підприємствах широко застосовуються чотири способи накладання лаку на провід [19]:

1. емалювання зануренням, при якому у ванні з лаком знаходяться ролики, що направляють рух проводу в емалювальну піч із захопленим при його русі шаром лаку;

2. емалювання за допомогою фетрових обтисків, при якому лак наноситься на провід валиком, що обертається або просто захоплюється при його русі, а фетрові обтискачі виконують роль калібруючих пристроїв, що знімають надлишки лаку;

3. емалювання за допомогою металевих калібрів; при цьому лак наноситься на провід так же, як і в попередньому випадку, але надлишки лаку з проводу знімаються не фетровими обтискачами, а металевими калібрами з победітовими вставками;

4. емальування за допомогою ґнотів, при якому рухомий провід торкається ґноту, змоченого лаком, в результаті чого на нього наноситься покриття, а надлишки лаку знімаються за допомогою фетрових обтискачів.

Емалювання зануренням застосовується лише для таких малов'язких лаків, якими є оливні лаки. Крім того, оливні лаки містять достатню кількість лакової основи і мало змінюють в'язкість у ванні в процесі емалювання. У ванну з лаком занурюють напрямні металеві ролики (з алюмінію та його сплавів), по яких проходить провід, що емалюється. Лак покриває поверхню проводу, причому деяка частина його стікає назад у ванну, а інша частина, що покрила тонким шаром провід, потрапляє разом з нею в емаль-піч, де й утворює емалеву плівку. До останнього часу цей спосіб є найбільш поширеним при застосуванні лаків олійних для емалювання круглих проводів діаметром 0,41 мм і вище. Лаки, що застосовуються, повинні мати порівняно невелику в'язкість і кут змочування θ певної величини. Перша умова забезпечує покриття проводів тонким рівномірним шаром, що в даному випадку особливо важливо, зважаючи на відсутність будь-яких калібруючих пристроїв. Друга умова необхідна для отримання мінімально необхідної товщини емалевої плівки. Крім того, істотне значення має підтримка

сталості температур лаку у ванні та навколишньому середовищі, оскільки поверхневий натяг лакової плівки зменшується з підвищенням температури.

Нерівномірність покриття збільшується з підвищенням в'язкості лаку, що застосовується. Так як в процесі роботи фетрові обтискачі насичуються емаль-лаком, а також засмічуються домішками, які можуть перебувати в емаль-лаку і, особливо, на поверхні проводу, їх необхідно систематично промивати та просушувати. Істотно важливо, щоб після промивання та просушування фетрів не змінювалися помітно їх структура та робочі властивості. Особливу увагу при емалюванні із застосуванням фетрових обтискачів необхідно звертати на неприпустимість утворення скупчення лаку у вигляді крапель на верхній кромці обтискачів, так як в цьому випадку надлишкова частина лаку може захоплюватися проводрм, що неминуче призводить до дефектів на поверхні емальованих готових проводів. Фетрові обтискачі знаходять застосування також за кордоном у горизонтальних емалювальних агрегатах для проводів середніх та великих січень.

Цікавий метод накладання лаку на провід прямокутного січення за допомогою газових калібрів. У сопло, яке утворюється навколо проводу, подається стиснене повітря, яке знімає надлишки лаку. Рівень лаку у ванні підтримується методом «перекинутої ємності», тобто визначається розташуванням ємності з лаком, що перевернена отвором донизу. Емалювання ведеться за вісім проходів, причому перший прохід здійснюється через фетрові обтискачі для зняття забруднення на проводі. В'язкість лаку дорівнює 22 с по віскозиметру ВЗ-4. Стиснене повітря подається від компресора. Повітря має бути сухим, без домішок олії; його тиск безпосередньо після компресора 6 атм; далі стоять редуктори. Витрата повітря за кожен калібр становить (5 ... 6) $м^3$/год.

Допустима швидкість емалювання значною мірою залежить від товщини елементарного покриття, що наноситься за кожен прохід. Природно, що швидкість утворення емалевої плівки з рідкого лаку залежить як від швидкості випаровування розчинника, так і швидкості реакції плівкоутворення, В зв'язку із тим, що при нормально працюючій емаль-печі всі проходи проводу, що емалюється, знаходяться практично в однакових умовах, для досягнення однакової термообробки емаль-плівки при кожному проході необхідно за кожен прохід накладати плівку строго однакової товщини.

1.2.2 Обладнання виробництв кабельно-провідникової продукції [19].

Тростильні верстати. Обмотування і обплетення проводів волокнистими матеріалами проводяться прядками з цих матеріалів, що складаються з декількох паралельно складених одиночних ниток. Тому процесам обмотування та обплетення передує трощення пряжі, що полягає у поєднанні одиночних ниток у прядку. Зазвичай, бавовняна пряжа, капронове та лавсанове волокна і скловолокно поставляються на кабельні заводи на качанах або на бобінах, а натуральний шовк - на котушках і в такому вигляді вони надходять на тростильні машини. При трощенні волокон необхідно дотримуватися такого:

1. Усі нитки пряжі повинні бути суворо паралельні і не повинні набігати одна на одну, оскільки при іншому неможливо отримати гладку та рівну поверхню обмотки.

2. Пасмо потрібно розташовувати так, щоб воно щільно лежало, не збивалося на бобіні і легко сходило з неї при розмотуванні.

3. Усі нитки повинні мати однакову довжину та рівномірний натяг.

Все це досягається за допомогою так званого хрестового намотування, при якому прядки намотуються на бобіни хвилеподібно на поверхні проводу, що піддається обмотуванню.

Обмотувальні верстати для накладання волокнистої ізоляції. Обмотувальні верстати виконуються переважно вертикального типу. Горизонтальні верстати застосовуються для обмотки прямокутних та круглих проводів великих перерізів. Ці машини виконуються, зазвичай, двоходовими. Вертикальні обмотувальні верстати, призначені для обмотки проводів діаметром 0,05-0,35 мм, можуть виготовлятися з 20-40 ходами одно- та двостороннього типів, тобто з розташуванням обмотувачів з одного або двох сторін станини машини. Інші вертикальні верстати частіше виготовляються на 6-16 ходів. Обмотувальна машина складається з металевої рами, на якій монтуються окремі ходи. Кожен хід обмотувального верстату складається з пристрою, що віддає, одного або декількох обмотувачів, тягової шайби і приймального пристрою з розкладкою. Віддаючі пристрої обмотувальних машин старих конструкцій мали металеві осі, на яких вільно обертаються котушки з проводом. У обмотувальних

машин пізніших конструкцій ці пристрої мають гальмівні пристрої. Крім того, в цих пристроях котушки, що віддають, часто зміцнюються в центрах, відстань між якими може регулюватися, що дає можливість встановлювати котушки і барабани різних розмірів.

Рівномірна розкладка обмотуваного проводу по всій ширині приймального барабана або котушки здійснюється за допомогою пристрою для розкладання. Для цього кожен хід машини має вал з гвинтовою нарізкою; на цей вал насаджено розкладку, виступ якої входить у нарізку на валу; за допомогою храповика вал весь час здійснює рух навколо своєї осі. Якщо вал має нарізку у двох напрямках, то храповик постійно обертається в ту саму сторону; якщо нарізка одностороння, то храповик з валом обертаються поперемінно в протилежних напрямках. Обмотувачі бувають двох типів: центрові та ексцентричні. У центрових обмотувачах бобіна з пряжею встановлюється в центрі обмотувача і, таким чином, провід, що обмотується, проходить через центр бобіни. Такі обмотувачі можна добре врівноважити і надати їм підвищену швидкість обертання (при обмотці проводів малих перерізів — до (8000 ... 10 000) об./хв.), що підвищує продуктивність верстата.

Верстати для скручування обмоткових проводів. Обмотувальні дроти виготовляються з струмопровідною житловою, скрученою з емальованих дротів. Якщо кількість цих проводів у жилі не перевищує 15, проводи виготовляються з паралельним розташуванням їх у жилі. У цьому випадку котушки з емальованими проводами встановлюються на віддаючих рамках і обмотуються на обмотувальних машинах. Для скручування багатопроводових жил застосовуються крутильні верстати. З котушок, що віддають, емальовані проводи проходять через розподільну розетку з порцеляновими вічками. Пройшовши напрямний ролик, пучок проводів надходить на крутильну частину машини. Остання є рамкою, на якій укріплено тяговий пристрій, що складається з системи роликів. Рамка разом з тяговим пристроєм обертається зі швидкістю близько 1500 об./хв. і робить скручування жили, яка надходить на приймальну котушку.

Зазвичай, у цих машинах за один оберт рамки проводиться подвійне кручення. Машини виготовляються в одно- та двоходовому виконанні. Перестановкою шестерень у тяговому пристрої можна змінити крок скручування

в межах (4,5 ... 35) мм. Приймальні котушки мають діаметр 120 мм і відстань між щоками у світлі близько 100 мм. Споживана потужність кожен хід становить близько 0,2 кВт.

Верстати для виготовлення проводів з скловолокнистою ізоляцією. Основна відмінність склообмотувальних верстатів від раніше розглянутих машин для накладання волокнистої ізоляції інших видів полягає в наявності лакових ванн, де на провід наноситься лак, що підклеює і просочує, а також сушильних печей, в яких відбувається сушіння просоченої скловолокнистої ізоляції.

Для додаткового просочення та сушіння ізоляції повинні бути встановлені спеціальні лакові ванни та сушильні печі. Крім того, для цієї мети може бути використане обладнання типу емалювальних верстатів, причому провід зі скловолокнистою ізоляцією може пропускатися через лакові ванни, а також кілька разів через сушильну піч як і при емалюванні проводів.

Ця технологія придатна також у тому випадку, коли для склеювання скловолокнистої ізоляції застосовується капронове волокно, яке додається у кількості (20 ... 26)% до пряжі з нормальною кількістю ниток скловолокна. При проходженні через сушильну піч капронові волокна розплавляються, надійно підклеюють скловолокнисту ізоляцію до проводу, а також склеюють нитки скловолокна. У цьому випадку доцільно після першого сушіння покрити проводи лаком і знову пропустити їх через піч (усі за один прохід). На проводах утворюється тонка лакова плівка, що покращує зовнішній вигляд і якість проводів.

На підставі накопиченого досвіду виготовлення проводів зі скловолокнистою ізоляцією можна рекомендувати такі типи склообмотувальних верстатів:

1. 2-4-ходові горизонтальні машини для виготовлення проводів з одно-і двошарової скловолокнистої ізоляцією діаметром 0,10-0,20 мм;

2. 2- та 4-ходові горизонтальні машини для виготовлення проводів з одно- та двошаровою обмоткою діаметром 0,21-0,7 мм;

3. 6- та 8-ходові машини вертикального типу для виготовлення проводів діаметром 0,7-2,0 мм;

4. 1- та 2-ходові горизонтальні машини для виготовлення прямокутних

обмотувальних проводів перетином до 10 мм^2 та круглих проводів діаметром понад 2,0 мм та машини посиленої конструкції для прямокутних проводів перетином до 35 мм^2.

Технічні характеристики машин: обмотувачі центрошпульні (п = 700 ... 2900) об./хв.), крок обмотування (2,6 ... 7,0) мм; лінійна швидкість руху ізольованого проводу (1,82 ... 20,4) м/хв. Сушильний пристрій складається із трьох двосекційних камер довжиною близько 2 м кожна. Час перебування проводу в печі від 5 до 18 хв.

1.3 Основні положення випробувань ізоляційних конструкцій електричних машин

В процесі проектування нового електричного обладнання аналізуються дані про надійність аналогічних виготовлених та випробуваних апаратів, вивчаються та узагальнюються дані їх експлуатації. Далі проводяться випробування матеріалів, макетів і окремих вузлів розроблюваного обладнання з метою отримання даних для виконання розрахунків надійності й, нарешті, при можливості проводяться випробування на надійність дослідних зразків.

В процесі виробництва електричного обладнання випробування на надійність проводяться з метою підтвердження відповідності показників їх надійності вимогам стандартів та іншої НТД. Крім того, випробування є необхідною частиною дослідницької роботи, направленої як на подальше підвищення показників надійності продукції, так і на удосконалення методів їх розрахунку.

Так як обробка результатів випробувань на надійність виконується методами математичної статистики, для цієї мети необхідно мати значну кількість зразків. Точність та достовірність результатів випробувань зростає із збільшенням кількості випробовуваних однотипних виробів.

Загальною вимогою до цих випробувань є можливість порівняння їх результатів. Тільки при дотриманні цієї умови результати випробувань можуть бути використані для отримання закономірностей загального характеру. Розроблений ряд стандартів, що регламентують методи й норми випробувань. У

ході накопичення даних і досвіду стандарти переробляються й удосконалюються, проте зберігають в основному початково закладені у них принципи, програми випробувань, рівні вимог і норм, методики обробки отриманих даних.

Розрізняють звичайні ресурсні випробування, що проводяться при навантаженнях, наближених до номінальних, та прискорені випробування, виконувані у форсованих режимах. Перевагою перших є достовірність результатів, так як в процесі таких випробувань, по суті, відтворюються нормальні експлуатаційні умови. Їх основний недолік – тривалість. Переважне застосування знаходять прискорені випробування, причому прискорення досягається головним чином внаслідок підвищення навантажень. Таким чином вдається значно скоротити тривалість випробувань, але достовірність результатів понижується, так як їх отримують шляхом екстраполяції знайдених залежностей в область номінальних навантажень [15].

1.3.1 Випробування ізоляційних конструкцій на макетах.

Випробування ізоляційного матеріалу як такого дають менш цінну для визначення надійності інформацію, ніж випробування конкретних конструкцій, так як поведінка ізоляційних матеріалів в експлуатації залежить від умов їх застосування. Одні матеріали старіють на повітрі швидше, ніж при герметизації, інші - навпаки. Застосування різних марок просочувальних композицій суттєво змінює строк служби однієї й тієї ж ізоляції [1]. Велике значення має різниця коефіцієнтів теплового розширення взаємодіючих матеріалів та ін.

ДСТУ ГОСТ 14950:2018 (діючий) встановлює метод визначення на макетах нагрівостійкості ізоляційних конструкцій обмоток з шаблонними секціями статорів та роторів електричних машин постійного й змінного струму напругою до 1500 *В*. Цей стандарт передбачає випробування як макетів котушок, так і зібраних машин [5; 6].

Макети згідно ДСТУ ГОСТ 14950:20185 намотуються круглим проводом, переважно діаметром 1 *мм*. Зібрані макети просочують лаком або компаундом та при необхідності покривають емаллю. Марки проводу й просочувального лаку, в’язкість та концентрація лаку й покривної емалі, кількість просочувань і покрить та їх режими, а також режими сушіння повинні відповідати застосовуваним при

виготовленні електричних машин даного типу.

До початку випробувань ізоляцію макетів провіряють підвищеною напругою частотою 50 *Гц* протягом 1 *хв*. Значення випробувальних напруг наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Випробувальні напруги макетів обмоток у вихідному стані

Тип обмотки	Номінальна напруга електричної машини, *В*	Величина випробувальної напруги, *В*	
		між провідниками	відносно корпусу або між котушками
Усипна	100...600	250	2500
Шаблонна	менше 100 100...менше 500	300 400	1800 3000
Шаблонна	500...менше 800 800...менше 1000 1000..менше .2500	500 500 1000	4000 5500 7500

Випробування мають циклічний характер, причому кожний цикл складається з теплового старіння та дії механічних зусиль, вологості й електричної напруги. При кожній температурі випробовується не менше *10* макетів чи *5* машин. Випробування продовжуються до виходу з ладу всіх зразків.

Остання вимога ускладнює проведення випробувань зразків, що володіють високою надійністю. Тому допускається проведення випробувань шляхом визначення залежності між величиною чи розподілом значень одного параметру матеріалу (або конструкції) та тривалістю дії випробувальних факторів.

Після теплового старіння макети піддаються дії вібрації з постійною частотою 20...50 *Гц* з прискоренням 1,5 g протягом однієї години. Напрям вібрації повинен бути перпендикулярним площині котушок макетів.

Макети після дії вібрації піддаються зволоженню, причому режим зволоження (відносна вологість, температура, тривалість дії) визначається виконаннями та категоріями електричних машин, для яких призначені випробовувані ізоляційні конструкції.

Після необхідної витримки зволоження зразки, що перебувають у гігростаті, піддають випробуванню напругою змінного струму частотою 50 *Гц*. Значення випробувальних напруг наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Випробувальні напруги при циклічному старінні макетів обмоток

Тип обмотки	Номінальна напруга електричної машини, В	Величина випробувальної напруги, В		
		між провідниками		відносно корпусу та між котушками чи півсекціями
		для колекторних машин	для безколекторних машин	
Усипна	100...менше 500	120	120	600
	500...менше 660	120	120	800
Шаблонна	менше 100	60	120	400
	100...менше 500	60	220	1000
	500...менше 800	60	380	1400
	800...менше 1000	120	380	1800
	1000...менше2500	120	500	2500

Регулювання випробувальної напруги проводять плавно або дрібними ступенями. Випробування починають з напруги, що не перевищує 1/3 випробувальної напруги. Тривалість підйому напруги від половинного до повного значення повинна бути не меншою 10 *с*. Тривалість випробувань напругою між паралельними проводами становить 1 *хв.*, для інших елементів конструкції – 10 х*в.* Повну випробувальну напругу витримують протягом цього проміжку часу, після чого зменшують до 1/3 її значення та вимикають живлення випробувального трансформатора [15].

Електричні машини та їх вузли при випробуваннях зволожують після теплового старіння, а потім проводять випробування їх в процесі роботи. При цьому трифазні асинхронні двигуни випробовуються в режимі реверсів, однофазні – в режимі пусків – зупинок на холостому ходу. Машини постійного струму та синхронні машини можуть випробовуватися в будь – якому з цих режимів. Кількість реверсів чи пусків – зупинок повинна складати приблизно 1/10 числа реверсів чи пусків – зупинок, нормованого для розрахункового ресурсу електричної машини даного типу. У якості критерію виходу зразка з ладу рекомендовано приймати результати випробування напругою. При цьому виходом з ладу вважається перша відмова будь – якої частини конструкції.

1.4 Класифікація високовольтних випробувань ізоляції електрообладнання

Одним із методів профілактичного контролю конструкцій внутрішньої ізоляції є випробування підвищеною напругою. При цьому процесі до ізоляції подається напруга, що перевищує номінальну, створюючи підвищену напруженість електричного поля. Це дає змогу виявити дефекти, які можуть призвести до зниження електричної міцності обладнання та зробити його непридатним для подальшої експлуатації. Таким чином, випробування підвищеною напругою дає змогу виявляти проблеми з ізоляцією, які можуть бути не виявлені іншими методами профілактичного контролю.[13].

Під час випробування підвищеною напругою знаходиться запас міцності ізоляції, тобто її здатність витримувати прикладену напругу та її можливі перевищення. Надійна робота ізоляційної конструкції забезпечується, коли напруга пробою її найслабшої ланки перевищує напругу, що діє на неї між випробуваннями. Якщо через дефекти запас міцності вичерпано, можливий пробій ізоляції під час роботи або випробувань. Тому випробування ізоляційних конструкцій підвищеною напругою є відповідальною операцією, що потребує врахування всіх факторів, які впливають на результати. Існують три основні види випробувань ізоляції електроустановок на електричну міцність відносно заземлених частин: імпульсні, змінні та постійні напруги. Методи та норми для імпульсних і змінних випробувань регулюються окремими стандартами. Норми на рівень ізоляції та правила захисту від перенапруг є взаємопов'язаними. Експлуатаційні випробувальні напруги також визначаються стандартами, але можуть змінюватися залежно від досвіду експлуатації, кількості пошкоджень, вартості ремонту, технічних можливостей випробувань тощо.(див. табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Випробувальні напруги електричного обладнання

Клас напруги	Випробувальна діюча напруга (однохвилинна) ізоляції, *кВ*	
	Контрольні випробування на підприємстві - виробнику	Випробування у споживача

	Трансформатори напруги	Апарати захисту, трансформатори струму,струмообмежуючіреактори	Штанги ручного керування	Ізолятори (окремі)	Трансформатори напруги	Апарати захисту, трансформатори струму,струмообмежуючіреактори	Штанги ручного керування	Ізолятори (окремі)
3	24	24	–	25	21,5	21,5	–	22,5
10	42	42	40	42	38	38	36	38
35	95	95	105	100	85,5	85,5	94,5	90
110	200	250	–	265	–	–	–	–
220	400	470	–	490	–	–	–	–
330	460	600	–	630	–	–	–	–
500	680	770	–	800	–	–	–	–
750	900	950	–	950	–	–	–	–

Стандартами для окремих випадків випробувань, наприклад у споживачів, передбачено полегшення нормативів, зокрема при випробуванні підвищеною напругою (див табл. 1.4). Це зумовлено особливостями проведення ремонтів та умовами випробувань поза підприємством – виробником, які можуть значно відрізнятися від стандартних [5; 6].

У закритих установках умови роботи ізоляції є дещо сприятливішими, ніж у відкритих, де присутня дія атмосферної вологи (дощ, сніг, туман) та забруднень. Відповідно, випробувальні напруги для апаратури внутрішньої установки є дещо нижчими, ніж для електрообладнання зовнішньої установки для однакових класів напруги.

Таблиця 1.4 – Напруги випробувальні обвиток статорів електричних машин

Місце проведення випробувань	Номінальна діюча напруга електричної машини , *кВ*				
	3,15	6,3	10,5	13,5	15,75
На підприємстві	7300	15750	24000	30000	34400
При вводі в експлуатацію	5840	12600	19200	24000	27600
Після капремонту: генератори та компенсатори ($1,7U_{ном}$)	5360	10700	17850	22950	26800
Те ж: електродвигуни	5000	10000	16000	–	–

Варто зазначити, що чинний ГОСТ 1516.1-96 поширюється лише на

обладнання внутрішньої установки, яке функціонує в закритих приміщеннях з вологістю повітря не більше 80%. Таким чином, у певні періоди (весна, осінь, відлига тощо) апаратура КРП зовнішньої установки та неопалювальних підстанцій, при вологості понад 80%, працюватиме в умовах, що відрізняються від передбачених ГОСТ 1516.1-96. Для зовнішньої ізоляції особливо несприятливими можуть бути періоди конденсації вологи на поверхні ізоляції, що утворюється при контакті теплого вологого повітря з холодною поверхнею.

1.5 Особливості проведення випробувань ізоляційних конструкцій електрообладнання

Випробування ізоляційних конструкцій підвищеною напругою є основним методом визначення запасу електричної міцності як на виробництві, так і в експлуатаційних умовах (за наявності відповідного обладнання). В експлуатації випробуванням піддається обладнання з номінальною напругою до 35 кВ включно, а обладнання з вищою напругою випробовується лише в лабораторних умовах. [13].

Під час випробування підвищеною напругою змінного або постійного струму слід забезпечити плавне і контрольоване збільшення випробувальної напруги. Нижче наведено деякі витяги з нормативних документів, що стосуються режимів збільшення напруги змінного струму для різного електрообладнання:

Назва	Швидкість підйому напруги	Плавність
Машини електричні	Не регламентується до $1/3U_{випр}$. Від $1/2U_{ном}$ до повного значення – не менше 10с. Після випробування плавне пониження до $1/3U_{випр}$,далі – відключення живлення	Плавно або ступенями, які не перевищують 5% від $U_{випр}$
Трансформатори, апарати захисту, ізолятори	Не регламентується до $1/3U_{випр}$. Далі – з швидкістю 3% $U_{випр}$ за секунду. Після випробування швидке зниження до 0; допускається при $1/3U_{випр}$ відключення	Плавно
Матеріали електроізоляційні рідкі	Швидкість підйому – 1…2кВ/с (рекомендується автоматично)	Плавно чи ступенями менше $0,5\%U_{ном}$
Матеріали електроізоляційні тверді	Рівномірно; тривалість підйому до пробою в межах від 10 до 20с. Можливий ступінчатий підйом напруги за той же час до пробою	Плавно чи ступенями менше $0,5\%U_{ном}$
Конденсатори	Не регламентується до $1/3U_{випр}$. Від $1/2U_{ном}$ до	Плавно

повного значення – не більше 30с.

При випробуванні електрообладнання підвищеною напругою постійного струму кожна ступінь регулювання напруги не повинна перевищувати 1 - 1,5% від номінальної напруги, а швидкість підйому – не більше (1 ... 2) *кВ/с*.

Під час капітального та поточного ремонту обмотки електричних машин піддаються випробуванням підвищеною напругою до їх очищення від забруднень. Температура ізоляції під час випробувань залишається тією ж, що і в момент проведення тесту. Якщо конструкція обмотки передбачає паралельні вітки, кожна із яких має ізоляцію, здатну витримати повну тестову напругу, випробуванню повинна підлягати кожна гілка окремо – відносно корпусу і других гілок.

Випробування ізоляції комутаційних апаратів проводиться шляхом прикладення підвищеної напруги. Напруга прикладається:

- між струмопровідними і заземленими частинами як у ввімкненому, так і в розімкненому положенні;

- між струмопровідними частинами сусідніх полюсів;

- між розімкненими контактами одного полюса в стані вимкненого комутаційного апарата.

1.6 Критерії оцінювання стану ізоляції після високовольтних випробувань

Під час перевірки ізоляції електричного обладнання підвищеною напругою, якщо немає явного пробою електричної природи, можуть виникати складнощі з аналізом стану ізоляції. Норми та практика встановлюють загальні принципи, які дозволяють врахувати особливості ізоляційного матеріалу під час тестування та якнайточніше оцінити її стан після завершення випробувань.

Ключові критерії для оцінювання стану електричного обладнання включають наступне:

Внутрішня ізоляція комутаційних пристроїв, трансформаторів струму та ізоляторів вважається придатною, якщо не виявлено пробоїв, перекриттів, ушкоджень або часткових розрядів у масляному середовищі. При цьому

дозволяються окремі часткові розряди, які не впливають на роботу тестової установки і не спотворюють покази вимірювальних приладів [1; 29].

Щодо сухих трансформаторів, зокрема з компаундною ізоляцією, під час перевірок не повинно бути коронних розрядів у повітрі чи поверхневих розрядів уздовж ізоляції, які здатні пошкодити тверду ізоляцію.

Для зовнішньої ізоляції комутаційних пристроїв та трансформаторів, що використовуються для вимірювань, норми допускають появу часткових розрядів у внутрішній ізоляції, якщо пристрій пройшов перевірку внутрішньої ізоляції.

Ізоляція масляних трансформаторів (силових та трансформаторів напруги) і масляних реакторів, які гасять струм, визнається придатною, якщо під час перевірок не зафіксовано пробоїв або ушкоджень, які проявляються звуками розрядів, утворенням диму чи газу або змінами у показах вимірювальної апаратури.

Результати тестування зовнішньої ізоляції приладів та обвиток електричних машин рахуються задовільними, якщо при застосуванні підвищеної напруги не спостерігається пробоїв або перекриттів ізоляції.

Оскільки електрична міцність ізоляції електричних машин залежить від температури (на 15–25%), перевірки підвищеною напругою проводять до охолодження обмоток, щоб умови максимально відповідали робочим.

Дефекти ізоляції визначаються не тільки перевірками, а й візуальним оглядом. У процесі контролю фіксуються всі зміни, зокрема поверхневі розряди, локальні коронування та мікродуги. З цією метою при випробуваннях електричних машин відкривають оглядові лючки або знімають щити, а в лабораторіях перевірки проводять при зниженому освітленні [13].

У разі виявлення пробою ізоляції місце ушкодження ретельно аналізується, щоб визначити причини – чи це пробій електричної природи, чи викликаний тепловими процесами. Такий аналіз є важливим для розуміння стану складних ізоляційних конструкцій.

1.7 Загальна характеристика електроспоживання виробництва кабельно-провідникових виробів

Основними користувачами електроенергії на виробництві є двигуни, які забезпечують роботу технологічного обладнання, насосів, вентиляторів, а також нагрівальні елементи, термічне оснащення і системи освітлення виробничих зон.

Постачання електроенергії для виробничого оснащення здійснюється через силовий кабель від двотрансформаторної підстанції 6/0,4 кВ із загальною потужністю 1200 кВА, яка розташована на території заготівельної зони ТОВ «Екерлі Автомотів Україна». Енергопостачання підприємства забезпечується комплектною підстанцією «Коломия» 110/35/6 кВ із потужністю (25+25) МВА та підстанцією ЗТП-13 «Коломия-2» 35/6 кВ із потужністю 4 МВА.

Сумарна встановлена потужність споживачів енергії основного і додаткового обладнання для виготовлення кабельно-провідникових виробів дорівнює 80 кВт.

Експлуатація приймачів електроенергії і систем постачання електроенергії підприємства, зокрема для виробництва кабельно-провідникової продукції, знаходиться під контролем енергетичної служби підприємства. Її керівником є головний інженер-енергетик, який координує роботу майстра електродільниці, двох електромонтерів і електрослюсаря КВПіА.

1.8 Аналіз вихідних даних на проектування та загальна характеристика електричних приймачів

Згідно з вихідними даними, поданих у завданні для проєктування системи електропостачання, підприємство, яке займається виробництвом кабельно-провідникових виробів, згідно зі своєю основною діяльністю, включає такі дільниці:

– основна дільниця виготовлення профільних кабельно-провідникових виробів із застосуванням обладнання з мікропроцесорним управлінням;

– допоміжна дільниця для роботи з півфабрикатами;

– дільниця контролю якості кабельної продукції.

Основними споживачами електроенергії на підприємстві є електроприводи, які використовуються в обладнанні з переробки полімерних матеріалів, спеціалізоване обладнання з мікропроцесорним управлінням,

мережа розеток та системи освітлення.

У таблиці 1.5 наведено список потужностей підприємства із зазначенням номінальної потужності кожного електроприймача та відповідного коефіцієнта cosφ.

На виробничих дільницях підприємства експлуатуються 11 одиниць технологічного обладнання, яке обладнане нерегульованими електроприводами на основі асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором. Загальна номінальна активна потужність цих двигунів становить 53 кВт. Оскільки асинхронні електродвигуни споживають реактивну потужність, її значення також необхідно визначити.

Таблиця 1.5 - Перелік потужностей підприємства

№ з/п	Тип виробу або позначення	Назва	Потуж-ність, кВт	cosφ
1.	Е–150	Екструдер термопласт. з МП-керуван.	11,0	0,5
2.	VAL–150	Лінія екструзії оболонок і шлангів	6,0	0,5
3.	ИКШ–П–90	Лінія екструзії армованих шлангів	14,0	0,5
4.	ХМ–65/25	Лінія екструзії ізоляції	14,0	0,5
5.	Е–45	Екструдер для маркування	4,5	0,8
6.	М88/150 R3	Вальці для змішуваня компонентів ПВХ	6,0	0,8
7.	HKS–100/50/26–B	Екструдер для вторинної грануляції	5,0	0,8
8.	РЕОКСАМ	Екструдер двошнековий вимірювальний	1,5	0,8
9.	DT–14	Машина д/середн. волочіння з відпалом	3,0	0,8
10.	DSU–40	Машина для скручування провідників	11,9	0,8
11.	DT–24	Машина д/тонкого. волочін. з відпалом	3,0	0,8
12.	–	Робочий стіл майстра	0,4	0,9
Всього:			80,3	–

Відповідно до схеми освітлювальної мережі, потрібно розрахувати витрати активної потужності, які будуть використані для загального освітлення виробничих дільниць підприємства, а також для дільниці контролю.

1.9 Висновки до розділу

1. Проаналізовано методи випробувань ізоляційних конструкцій електричного обладнання для здійснення визначення показників надійності у експлуатації.

2. Здійснений аналіз методу прискорених випробувань електрообладнання на основний діючий експлуатаційний чинник - старіння ізоляції під дією

теплового навантаження.

3. Проаналізована необхідність випробувань електроустановок на макетах їх ізоляційних конструкцій. Наведені особливості випробувань макетів згідно стандартних методик.

4. Обґрунтований підхід до вибору номіналів напруг при випробуваннях ізоляції підвищеною напругою та необхідність контролю ізоляційних конструкцій електричних апаратів на наявність розрядних процесів.

5. Здійснений аналіз методик проведення випробувань ізоляції підвищеною напругою для різного типу електричних машин та оцінювання стану конструкції після випробувань.

6. Подана загальна характеристика електроспоживання підприємства та наведені джерела електропостачання.

7. Проведений аналіз вихідних даних на проектування та загальної характеристики електроприймачів.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження нагрівостійкості конструкцій ізоляції електричних установок

Нагрівостійкість. Практично дуже важлива здатність електричної ізоляції витримувати підвищену температуру без істотного зменшення експлуатаційної надійності, оскільки від цього залежить найвища допустима робоча температура ізоляції.

В електричних машинах і апаратах підвищення температури, яке зазвичай лімітується саме матеріалами електричної ізоляції, дає можливість для заданої потужності досягти зменшення габаритних розмірів, ваги та вартості виробу. Підвищення робочої температури особливо важливе для тягових і кранових електродвигунів, літакового електроустаткування та інших пересувних пристроїв, де питання зменшення ваги та габаритних розмірів виступають на перший план. З питаннями допустимої температури тісно пов'язані питання пожежної безпеки та вибухобезпеки (олійні господарства електричних підстанцій, електрообладнання для нафтової та вугільної промисловості та ін.). Нарешті, в електричних печах та нагрівальних приладах, в електрозварювальній апаратурі, в джерелах світла та електронних та іонних приладах тощо. Необхідність високої робочої температури ізоляції випливає з особливості роботи пристрою.

У аморфних матеріалів (скла, смоли тощо) різко вираженої температури плавлення немає і їх температура розм'якшення визначається за допомогою різних умовних прийомів. Наближення до температури розм'якшення в експлуатаційних умовах може спричинити сильне зниження механічної міцності та поступову деформацію виробів. У ряду матеріалів при нагріванні можуть спостерігатися хімічне розкладання, обвуглювання, інтенсивне окислення - до явного горіння включно. У ряді випадків, навіть при збереженні механічної міцності та цілісності ізоляції, діелектричні характеристики її погіршуються настільки суттєво, що роблять роботу ізоляції за підвищеної температури вже неможливою. Такі зміни якості ізоляції можуть виявлятися навіть за короткочасного підвищення температури.

Крім змін, що погіршують якість електричної ізоляції, які виявляються вже у разі короткочасного підвищення температури, при тривалому впливі підвищеної температури (але ще меншою, ніж шкідливо, що діє, протягом короткого часу) можуть спостерігатися небажані зміни за рахунок хімічних процесів старіння ізоляції. Термоокислення лакових плівок проявляється у підвищенні жорсткості та крихкості, утворенні тріщин і відставанні від підкладки тощо. Також окрім температури, значного впливу на швидкість старіння лакової ізоляції емальпроводів можуть зробити:

• підвищення тиску повітря;

• підвищення концентрації кисню;

• присутність озону, який являється більш сильнішим окислювачем, аніж кисень;

• наявність хімічних реагентів, які пришвидшують чи сповільнюють старіння.

Згідно «закону Я. Вант–Гоффа - С. Арреніуса» логарифм швидкості хімічних реакцій K (в даному контексті - швидкість старіння полімерної ізоляційної конструкції) лінійно залежить від величини, оберненої до її температури:

$$\ln K = A + \frac{B}{273 + \Theta}, \qquad (2.1)$$

де K - стала швидкості реакції, c^{-1};

Θ - температура реагуючої речовини, *град. С*;

A та B - постійні коефіцієнти. Наприклад, для матеріалів ізоляційної конструкції асинхронних електродвигунів типу ВАО 4–го габариту згідно проведених досліджень встановлено, що коефіцієнти A = -6,125; B = 4400.

Коефіцієнти A та B мають певний фізичний зміст та пов’язані з іншими постійними, що характеризують хімічний склад і структуру речовини (матеріалу ізоляційної конструкції), яка приймає участь у *мономолекулярній реакції* розкладу, співвідношеннями:

$$B = -\frac{E_a}{R}[K]; \qquad (2.2)$$

$$\begin{aligned} A &= \ln\left(P \cdot Z\right) \\ P &= e^{\frac{\Delta S}{R}} \end{aligned}, \qquad (2.3)$$

де R = 8,31441 *Дж/(К·моль)* - універсальна газова стала Больцмана;

E_a - надлишкова енергія активації, *Дж / моль*;

Z - кількість зіткнень між реагуючими молекулами;

P - фактор ймовірності сприятливої орієнтації молекул при зіткненнях;

ΔS - ентропія активації (величина, що характеризує частку від загальної кількості зіткнень, при яких молекули були орієнтовані сприятливим чином), *Дж/моль*.

Отже, постійна A характеризує *ефективність взаємодії молекул* даного типу речовини (матеріалу ізоляційної конструкції) в умовах діючого теплового навантаження; постійна B є *енергетичною постійною* активації взаємодії. Об'єднуючи наведені вище рівняння (2.1), (2.2), (2.3), отримаємо т.з. «*рівняння Арреніуса*»:

$$K = A \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{R \cdot \left(273 + \Theta\right)}\right], \qquad (2.4)$$

яке представляє собою постійну швидкості реакції як величину, що визначає відносне число ефективних зіткнень частинок (енергетичних взаємодій атомів макромолекул полімеру), які завершуються *хімічною реакцією* від'єднання–приєднання.

Для практичних розрахунків процесів в електричній ізоляції важливіше знати не швидкість протікання хімічних реакцій, а час, протягом якого ізоляція внаслідок теплового старіння досягає свого *граничного стану*. Після відповідних перетворень спільне рішення рівнянь (2.1) та (2.4) може бути представлене у вигляді:

$$\begin{aligned} \ln T &= \frac{E_a}{R \cdot \left(273 + \Theta\right)} - G; \\ G &= \ln A - \ln \ln \frac{C_0}{C} \end{aligned}. \qquad (2.5)$$

Якщо відомий термін служби ізоляції T_1 при температурі Θ_1, строк її служби T_2 при температурі Θ_2 можна визначити з рівняння:

$$T_2 = T_1 \cdot \exp\left[\frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{273+\Theta_2} - \frac{1}{273+\Theta_1}\right)\right]. \qquad (2.6)$$

Значення постійних E_a та G для різних матеріалів ізоляційних конструкцій визначаються експериментально.

Допустимий для експлуатації матеріалу або виробу температурний режим може визначатися різними факторами. Або матеріал, що може довго витримувати нагрівання до високої постійної температури, розтріскується при швидкому охолодженні тощо.

На рисунку 2.1 показана крива старіння в повітряному середовищі поліефірімідної ізоляції емальованих проводів.

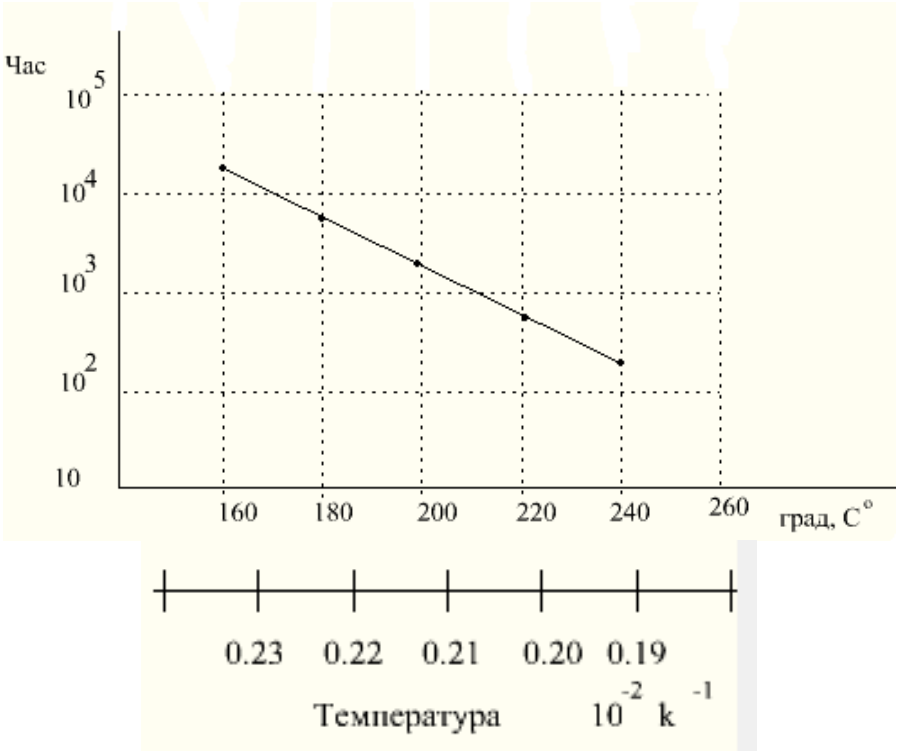

Рисунок 2.1 - Крива старіння в повітряному середовищі поліефірімідної ізоляції емальованих проводів на рівні $U_{пр} = (500 \div 1100)B$

Клас нагрівостійкості емальованих проводів визначається в такий спосіб. Зразки для випробувань представляють собою два скручені відрізки проводу з довжиною скручування 125 мм. Число скруток розраховується у залежності від діаметру проводу. Рекомендовані для цих випробувань діаметри проводів: 0,41; 0,72; 1,0 та 2,0 мм. Підготовлені зразки піддаються тепловому старінню за різних температур (при кожній температурі не менше 50 зразків); перед початком теплового старіння зразки повинні бути перевірені напругою, що плавно підвищується протягом 1-2 сек, величина якої повинна становити 90% значення

напруги, зазначеної в стандартах або технічних умовах на проводи. Зразки, що випробовуються, поміщаються в термостат і піддаються циклічному тепловому впливу з випробуванням напругою в кінці кожного циклу. Зразки випробовуються не менше, ніж при трьох значеннях температури, що різняться на 20°С або більше. Найнижча температура випробувань повинна бути на 15-35^{o}С вище за довгодопустиму температуру передбачуваного класу нагрівостійкості.

Оскільки кількість циклів може впливати на термін служби зразків, що визначається при даних випробуваннях, надійними вважатимуться результати випробувань, у яких кожен термін служби визначається за середньої кількості циклів не більше 7—20. У термостаті, куди поміщаються зразки, повинні бути передбачені пристрої для примусового перемішування повітря (швидкість 1-2 м/с); перепад температур усередині термостату в місцях розташування зразків не повинен перевищувати 2°С, а точність підтримання температури у термостаті ±2^{o}С. Після циклу теплового старіння до кожного зразка, охолодженого до кімнатної температури, прикладають повну величину випробувальної напруги, яка залежить від товщини ізоляції. В вітчизняній практиці для випробувань проводів діаметром 1,0 мм прийнято випробувальну напругу 800-1000 В.

Цей принцип покладений у основу методики визначення нагрівостійкості емальованих проводів.

2.2 Визначення температурного індексу та діапазону нагрівостійкості ізоляційних конструкцій

2.2.1 Визначення часу досягнення кінцевої точки при кожній температурі.

Нагрівостійкість відповідного типу емальованих дротів характеризується графічно кривою залежності середнього терміну служби зразків від температури випробувань. Базовий термін служби приймається рівним 20000 год. Якщо такій системі координат отримана залежність різко відрізняється від прямолінійної, то випробування проводяться повторно.

Емальовані проводи за результатами випробувань відносять до відповідного класу нагрівостійкості, якщо отримана температура при базовому терміні служби

не нижча, ніж температура даного класу за вирахуванням 5°С, і не вища, ніж температура наступного, більш високого класу за вирахуванням 6°С. При визначенні залежності терміну служби від температури повинні бути розраховані межі 95% достовірності при кожній температурі випробувань, що обчислюються за методом найменших квадратів (спосіб розрахунку описаний у чинному стандарті на метод визначення класу нагрівальної стійкості ізоляції емальованих проводів.

На рисунку 2.2 побудовано графік залежності деякого вибраного параметру електроізоляційного матеріалу від часу матеріального старіння деяких випробувань наприкінці кожного циклу.

Як показано, на графіку проводиться горизонтальна пряма лінія, що відображує границю допустимої контрольованого параметра, що має можливість виражатися в частці від вихідної величини чи певною фіксованою величиною критерію кінцевої точки при кожній.

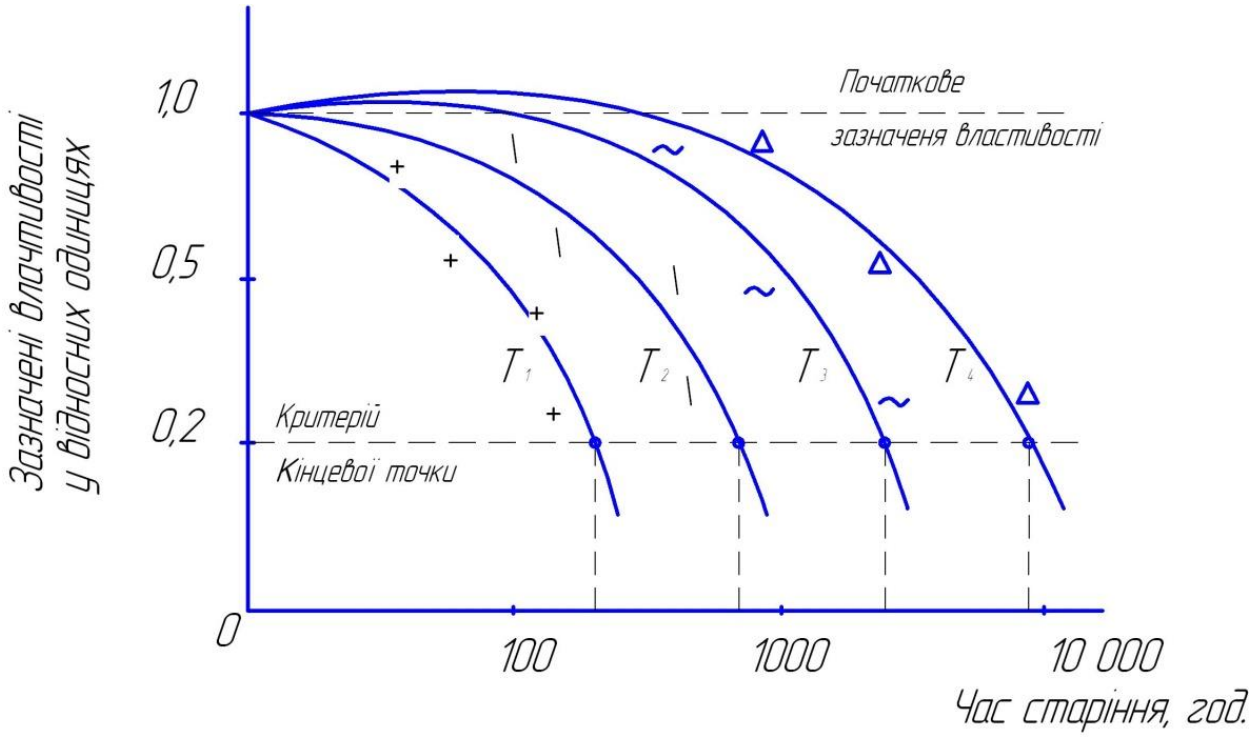

Рисунок 2.2 - Графік зміни показнику при старінні виробу (для вибору «кінцевої точки»)

При визначені температури (*T1 > T2 > T3 >T4*). Заміна індексу точки перетину властивості кривої змінюються деякі властивості із прямою лінією.

2.2.2 Розрахунок лінії регресії.

На рис. 2.1 подана логарифмічна залежність між тривалістю теплової витримки та оберненою абсолютною температурою, яка представляється таким лінійним рівнянням:

$$\lg t = a + \frac{b}{T}, \qquad (2.7)$$

де t – тривалість витримки (середнє значення) після закінчення ~ 10 циклів випробувань, год;

T – температура випробувань, K.

Після заміни $Y = lgt$ та $X = 1/T$ отримаємо лінійне рівняння: $Y = a + b \cdot x$.

Розрахунок лінії регресії проводиться *методом найменших квадратів*, тобто знаходиться мінімальне значення виразу:

$$\sum_{i=1}^{N} \left[f\left(x;a;b\right) - Y_i \right]^2 \to \min, \qquad (2.8)$$

де N – кількість точок заміру випробувальних температур (N = 3, 4, …).

При визначенні N середніх значень рівняння лінії регресії з використанням постійних має наступний вигляд:

$$b = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{N} X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^{N} X_i \cdot \sum_{i=1}^{N} Y_i}{N \cdot \sum_{i=1}^{N} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} X_i \right)^2}; \qquad a = \frac{\sum_{i=1}^{N} Y_i - b \sum_{i=1}^{N} X_i}{N}. \qquad (2.9)$$

Маючи постійні a та b, можна розрахувати граничну температуру, як точку перетину лінії регресії з лінією lg 20000 = 4,3 (lg 5000 = 3,7):

$$T_{роб.} = \frac{b}{4{,}3 - a} - 273 \left[град.C \right].$$

Для вище наведених розрахунків коефіцієнт кореляції r представляє собою критерій лінійної залежності X та Y і має вигляд:

$$r = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{N} X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^{N} X_i \cdot \sum_{i=1}^{N} Y_i}{\sqrt{\left\{ N \cdot \sum_{i=1}^{N} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} X_i \right)^2 \right\} \left\{ N \cdot \sum_{i=1}^{N} Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} Y_i \right)^2 \right\}}}. \qquad (2.10)$$

При $r \to 1$ – лінійна залежність є повною; при $r \to 0$ – лінійна залежність відсутня повністю.

2.3 Експрес-метод оцінювання температурного індексу ізоляції емальпроводу

Оцінюємо температурний індекс лакової ізоляції емальпроводу методом «двох дотичних» на графіку залежності $tg\delta(T)$, поданої у табличній формі і отриманої за допомогою моста змінного струму типу Е7-4 (Е7-8).

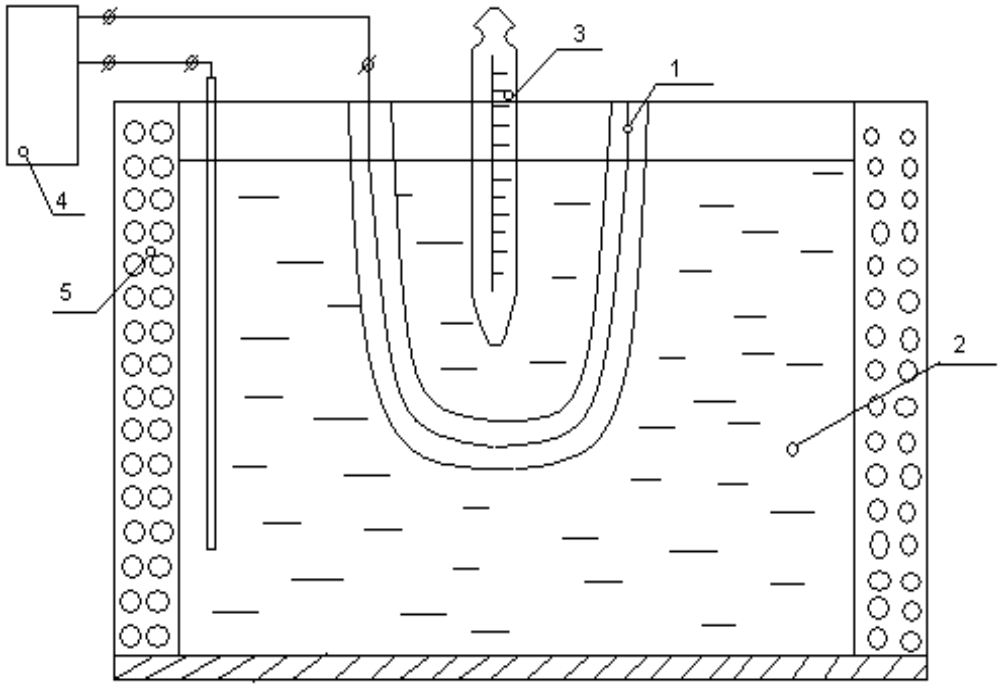

Рисунок 2.3 - Установка для дослідження діелектричних втрат в ізоляції емальпроводів:

1 – зразок емальпроводу; 2 – металічне провідне середовище;

3 – термометр; 4 – міст змінного струму; 5 – нагрівач

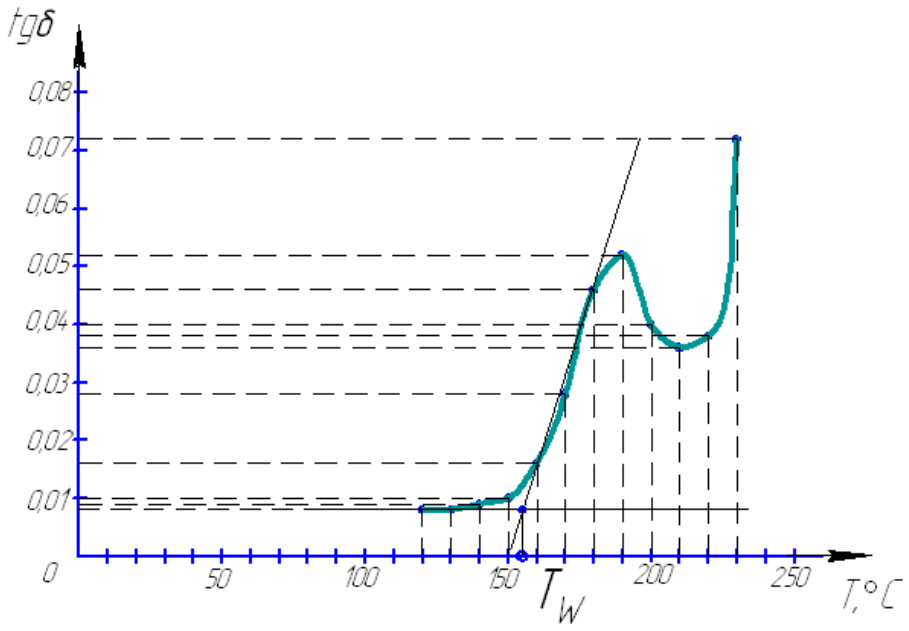

Рисунок 2.4 - Застосування методу «двох дотичних» на графіку $tg\delta(T)$ ізоляції емальпроводу.

Зразок: відрізок емальпроводу, модель якого представлена у вигляді циліндричного конденсатора. Центральний електрод – це мідний провідник, а зовнішній циліндричний електрод – це розплавлений сплав Вуда. Між цими електродами для дослідження лакової ізоляції прикладається змінна напруга ($\approx 3В$) частотою 1000 $Гц$. Досліджується $tg\delta$ утвореного конденсатора в залежності від зміни температури (див. рис. 2.3 та 2.4).

2.4 Висновки до розділу

1. Встановлено, що теплова стійкість полімерних матеріалів під час тривалої експлуатації визначається їх хімічною будовою макромолекул і складом, стійкістю проти деструктуючої дії кисню повітря і теплової енергії.

2. Досліджено, що згідно методики оцінювання нагрівостійкості проводять вибір методу випробувань та зразків, кінцевих точок, випробувальних температур та тривалості старіння, визначення температурного індексу. При цьому важливим є перевірка лінійності регресії.

3. Досліджена ефективність використання даних діапазону температур підвищення діелектричних втрат в ізоляції емальпроводів для оцінювання їх температурного індексу.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вихідні дані електричних приймачів для проведення розрахунку СЕП

Вихідні дані для проведення розрахунку СЕП приведено у Розділі 1.

У табл. 3.1 приведено потужності підприємства.

Таблиця 3.1 - Потужності підприємства.

Номер	Тип виробів	Назва	Потуж., $кВт$	$cos\varphi$
1.	Е–140	Екструдерний. термопл. з МП-керув.	12,1	0,6
2.	VAL–140	Лінія екструзійна оболон. і шланг.	6,3	0,7
3.	ИРШ–Р–90	Лінія екструзійна армов. шланг.	15,2	0,6
4.	ХВ–64/24	Лінія екструзійна ізоляційного покр.	13,2	0,5
5.	Е–47	Екструдерна машина для маркув.	4,9	0,7
6.	Р87/140 R3	Вальці змішувальні для компон. ПВХ	5,9	0,7
7.	HPS–102/60/23–B	Екструдерна маш. для вторин. гранул.ї	6,3	0,8
8.	МЕОКСАР	Екструдерна машина двошнекова	1,3	0,6
9.	МТ–13	Машина для середн. волоч. з відпалом	3,4	0,7
10.	MSU–50	Машина для скручувальна для пров.	12,1	0,7
11.	DM–14	Машина для тонкого. волоч. з відпал.	4,0	0,6
12.	–	Робоче місце для майстрів	0,5	0,9
Всього:			80,1	–

Споживачі електроенергії - це електроприводи технологічн. обладнання для переробки полімерних матеріалів, комплекси устаткування з мікропроцесорною технікою, розетки та освітлювальна мережа.

3.2 Складання схеми ЕП підприємства

На генеральному плані виробництва із виготовлення кабельно-провідникової продукції відмічаємо місця для обладнання. Електр. живлення здійснюємо кабелем від комплект. трансформатор. підстанції (КТП) до ввідно–розподіл. пристрою (ВРП) виробництва на кабельних полицях. Від ВРП електроенергія поступає до трьох розподільчих пристроїв (РП1, РП2 та РП3), а також до щитка освітлення (ЩО), з якого заживлюються освітлювальні прилади та розетки.

Електроприймачі (ЕП) дільниць виробництва заживлюються від розподільчих пристр. (РП1, РП2 та РП3) проводами у трубах.

В табл. 3.2 подані ном. струми ЕП згідно їх встановленої потужн.

Таблиця 3.2 – Ном. струми ЕП

№ з плану	Назва технолог. устаткування	Встанов. потуж. один. устатк. $P_н$, кВт	К-сть устатк.. n, од.	Сумар. потуж. $P_{сум}$, кВт	Коеф. викор. $k_в$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	Сума квадр. встанов. потуж. $P_н^2 \cdot n$, кВт	Номін. струм $I_н$, А
2.1	Екструзійна маш. для маркуван.	4,6	1	4,6	0,66	0,7	0,74	20,30	8,56
2.2	Вальці змішувальні для ПВХ	6,1	1	6,1	0,64	0,8	0,75	35,0	12,40
2.3	Екструд. втор. гранулювання	5,2	1	5,2	0,66	0,7	0,74	26,0	9,80
2.4	Екструзійна мащина двошнекова	1,6	1	1,6	0,63	0,8	0,78	2,34	2,78
2.5	Маш. для серед. волочіння з відпал.	3,2	1	3,2	0,65	0,7	0,74	9,3	5,72
2.6	Маш. для скруч. провідн.	11,9	1	11,9	0,68	0,8	0,74	24,7	23,58
2.7	Маш. для тонкого волоч. з відпал.	3,2	1	3,2	0,66	0,8	0,75	9,3	5,68
1.1	Екстрзійга маш. термопл. з МП	13	1	13	0,24	0,6	1,74	123,4	33,52
1.2	Лінія екструз. для оболон. і шланг.	6,5	1	6,5	0,32	0,5	1,76	35,8	19,45
1.3	Лінія екструз. для армов. шланг.	13,8	1	13,8	0,16	0,6	1,74	195,8	43,70
1.4	Лінія екструз. для ізол. кабел. покр.	11,6	1	11,6	0,16	0,7	1,78	184,0	44,36
1.5	Робоче місце майстрів (ПЕОМ)	0,25	1	0,25	0,36	0,8	1,72	0,0169	0,42
1.6	Приточн.-витяжн. пристрій	4,6	1	4,6	0,72	0,8	0,76	22,35	8,69
	Всого		12	82,35				684,36	218,66

3.3 Розрахунок електричних навантажень

Коефіцієнт використання обладнання:

$$K_в = \frac{\sum_{i=1}^{13} p_{нi} \cdot k_{вi}}{\sum_{i=1}^{13} p_{нi}}; \quad K_в = 0,42.$$

Активна потужність 1-ї дільниці:

$$P_c = K_в \cdot \sum_{i=1}^{13} p_{нi}; \quad P_c = 29,04 кВт.$$

Кількість ЕП 1-ї дільниці згідно розрахунку:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{13} p_{нi})^2}{\sum_{i=1}^{13} p_{нi}^2}; \quad n_e = 11.$$

Звідси максимальний розрахунковий коефіцієнт K_{max}=1,46.

Активна потужність дільниці згідно розрахунку:

$$P_p = P_c \cdot K_{\max} = K_в \cdot \sum_{i=1}^{13} p_{нi} \cdot K_{\max}; \quad P_p = 42,06\,кВт.$$

Реактивна потужність дільниці згідно розрахунку:

$$Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{13} p_{нi} \cdot k_{вi} \cdot tg\varphi_i; \; Q_p = 41,67\,[кВ \cdot Ар].$$

Повна потужність згідно розрахунку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad S_p = \sqrt{41,98^2 + 42,17^2} = 59,5\,кВ{\cdot}А.$$

3.3.1 Потужність РП1 згідно розрахунку.

Розрахункову потужність розподільчих пристроїв визначаємо аналогічно.

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^{4} p_{нi} \cdot k_{вi}}{\sum_{i=1}^{4} p_{нi}}; \quad K_B = 0,68. \quad P_c = K_B \cdot \sum_{i=1}^{4} p_{нi}; \quad P_c = 11,32\,кВт.$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{4} p_{нi})^2}{\sum_{i=1}^{4} p_{нi}^2}; \quad n_e = 3. \quad K_{\max}=2,64. \quad P_p = P_c \cdot K_{\max}; \quad P_p = 29,16\,кВт.$$

$$Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{14} (p_{нi} \cdot k_{вi} \cdot tg\varphi_i); \quad Q_p = 23,06\,кВ{\cdot}Ар.$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad S_p = 36,46\,кВ{\cdot}А.$$

Розрахунок струмів:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_н}; \quad I_p = 56,18\,А. \quad I_н = \frac{P_\Sigma}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi}; \quad I_н = 31,16\,А.$$

3.3.2 Потужність РП2 згідно розрахунку.

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^{3} p_{нi} \cdot k_{вi}}{\sum_{i=1}^{3} p_{нi}}; \quad K_B = 0,65. \quad P_c = K_B \cdot \sum_{i=1}^{3} p_{нi}; \quad P_c = 11,74\,кВт.$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{3} p_{нi})^2}{\sum_{i=1}^{3} p_{нi}^2}; \quad n_e = 2.$$

$$P_p = P_c \cdot K_{\max}; \quad P_p = 28{,}03\,кВт. \quad Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{3}(p_{ні} \cdot k_{ві} \cdot tg\varphi_i); \quad Q_p = 20{,}42\,кВ{\cdot}Ар.$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad S_p = 32{,}96\,кВ{\cdot}А.$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_н}; \quad I_p = 49{,}36\,А. \quad I_н = \frac{P_\Sigma}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi}; \quad I_н = 34{,}06А.$$

3.3.3 Потужність РП3 згідно розрахунку.

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^{6} p_{ні} \cdot k_{ві}}{\sum_{i=1}^{6} p_{ні}}; \quad K_B = 0{,}68\,. \quad P_c = K_B \cdot \sum_{i=1}^{6} p_{ні}; \quad P_c = 31{,}14\,кВт.$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{3} p_{ні})^2}{\sum_{i=1}^{3} p_{ні}^2}; \quad n_e = 4\,.$$

$$P_p = P_c \cdot K_{\max}; P_p = 72{,}16\,кВт. \; Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{6}(p_{ні} \cdot k_{ві} \cdot tg\varphi_i); Q_p = 27{,}88\,кВ{\cdot}Ар.$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad S_p = 76{,}84\,кВ{\cdot}А.$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_н}; \quad I_p = 116{,}84\,А. \quad I_н = \frac{P_\Sigma}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi}; \quad I_н = 90{,}16А.$$

3.4 Апаратура захисту електромережі підприємства

Умовою вибору автоматичних вимикачів (АВ) є:

$$I_{ном} > 1{,}3 \cdot I_н,$$

де $I_{ном}$ – струм згідно номіналу АВ, *А*;

$I_н$ – струм згідно номіналу ЕП, *А*.

Піковий струм $I_п$ визначає струм спрацювання відсічки $I_{відс}$:

$$I_{відс} > 1{,}25\ I_{п.}$$

Струм теплового розчіплювача вибираємо з умови:

$$I_T > (1{,}1 \ldots 1{,}2) \cdot I_н.$$

Піковий струм залежить від навантаження (k = 1, ... ,6):

$$I_{П} = I_{ном} \cdot k\,.$$

Струм згідно номіналу ЕП:

$$I_{Н} = \frac{P_{Н}}{\sqrt{3} \cdot U_{Н} \cdot \cos\varphi}\,,$$

де $P_{н}$ та $U_{н}$ – відповідні потужність, *кВт* та напруга, *кВ*.

3.4.1 Захист РП1.

Технологічне обладнання захищаємо АВ.

Екструдер маркувальний типу Е–45.

$$I_{Н} = \frac{4{,}5 \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 8{,}67A\,.$$

$I_{ном}$ = 13,21 *А*. $I_{П} = 8{,}55 \cdot 5 = 43{,}16A\,.$ $I_{відс}$ = 54,24 *А*. $I_{Т}$ = 11,14 *А*.

АВ типу DPM06 ($I_{ном}$ – 15 А, розчіпл. – 12 А).

Вальці змішувальні типу P68/140R3.

$$I_{Н} = \frac{6{,}0 \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 11{,}29A\,.$$

$I_{ном}$ = 16,22 *А*. $I_{П} = 11{,}40 \cdot 5 = 60{,}2\,A\,.$ $I_{відс}$ = 69,14 *А*. $I_{Т}$ =12,18 *А*.

АВ типу DS08 ($I_{ном}$ – 15 А, розчіпл. – 15 А).

Екструдер грануляції вторинного термопласту HMS–120/60/24–A.

$$I_{Н} = \frac{5{,}0 \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 10{,}06A\,.$$

$I_{ном}$ =13,08 *А*. $I_{П} = 9{,}50 \cdot 5 = 50{,}6A\,.$ $I_{відс}$ = 69,85 *А*. $I_{Т}$ = 13,25 *А*.

АВ типу MS06 ($I_{ном}$ – 15 А, розчіпл. – 12 А).

Екструдер двошнековий типу MEOCPAM.

$$I_{Н} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 3{,}12A\,.$$

$I_{ном}$ = 4,18 *А*. $I_{П} = 2{,}80 \cdot 5 = 15{,}4A\,.$ $I_{відс}$ = 18,2 *А*. $I_{Т} = 4{,}36A\,.$

АВ типу $MS08$ ($I_{ном}$ – 4 А, розчіпл. – 4 А).

Ввідний АВ РП1.

Вище для РП1 $I_н$ = 34,14 A.

$$I_{ном} = 43,6\ A. \quad I_{П} = 32,32 \cdot 5 = 172,8 A. \quad I_{відс} = 208,4\ A \quad I_T = 39,62 A\ .$$

АВ типу $XM60NB$ ($I_{ном}$ – 60 A , розчіпл. –50 A).

3.4.2 Захист розподільчого пристрою РП2.

Машина середнього волочіння із відпалом типу $MT-16$.

$$I_H = \frac{3,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 6,14 A.$$

$$I_{ном} = 8,13\ A. \quad I_{П} = 8,55 \cdot 5 = 31,6 A. \quad I_{відс} = 35,6\ A. \quad I_T = 7,14 A$$

АВ типу $MPE08$ ($I_{ном}$ – 10 A , розчіпл. –8 A).

Машина скручувальна для провідників PSU–60.

$$I_H = \frac{11,875 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 23,16 A.$$

$$I_{ном} = 31,3\ A. \quad I_{П} = 22,57 \cdot 5 = 114,62 A. \quad I_{відс} = 146,4\ A.$$

$$I_T = 32,28 A.$$

АВ типу $MS06$ ($I_{ном}$ – 28 A , розчіпл. –32 A).

Машина волочіння тонкого провідника із відпалом типу $PT-28$.

$$I_H = \frac{3,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 6,12 A.$$

$$I_{ном} = 8,06\ A. \quad I_{П} = 8,55 \cdot 5 = 30,4 A. \quad I_{відс} = 32,8\ \text{А}. \quad I_T = 7,06 A.$$

АВ типу $DME06$ ($I_{ном}$ – 16 A , розчіпл. -8 A).

Ввідний автоматичний вимикач розподільчого пристрою РП2.

Номінальний струм для РП2 $I_н$ = 34,82 A.

$$I_{ном} = 47,32\text{А}. \quad I_{П} = 33,9 \cdot 5 = 184,6 A. \quad I_{відс} = 228,4\ A. \quad I_T = 42,76 A.$$

АВ типу $XM60NB$ ($I_{ном}$ – 60 A, розчіпл. –50 A).

3.4.3 Захист РПЗ.

Екструдера із мікропроцесорним керуванням для термопластів типу Е–150.

$$I_H = \frac{11 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 31{,}86A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·33,4 = 42,74 A. $I_П = 33{,}4 \cdot 5 = 154{,}8A$. $I_{відс}$ = 1,25 167 = 212,6 A.

$$I_T = 1{,}2 \cdot 33{,}4 = 38{,}92A.$$

АВ типу $DME06$ ($I_{ном}$ – 60 A, розчіпл. -50 A).

Лінія екструзійна оболонок та шлангів типу $VAT-160$.

$$I_H = \frac{6{,}0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 16{,}75A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·16,75 = 22,46 A. $I_П = 16{,}75 \cdot 5 = 86{,}75A$. $I_{відс}$ = 1,25 86,75 = 108 A.

$$I_T = 1{,}2 \cdot 13{,}20 = 20{,}42A.$$

АВ типу $DM06$ ($I_{ном}$ – 25 A, розчіпл. - 16 A).

Лінія екструзійна для армування шлангів типу НКВ–П–70.

$$I_H = \frac{14{,}0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 43{,}64A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·43,64 = 56,24 А. $I_П = 43{,}64 \cdot 5 = 282{,}6A$. $I_{відс}$ = 1,25 282,6 = 334,8 A.

$$I_T = 1{,}2 \cdot 43{,}64 = 52{,}6\ A.$$

АВ типу XP115MJ ($I_{ном}$ - 63 А, розчіпл. - 50 А).

Лінія екструзійна для ізоляції типу РМ–85/15.

$$I_H = \frac{14{,}0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 43{,}64A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·43,64 = 56,82 A. $I_П = 56{,}82 \cdot 5 = 284{,}6A$. $I_{відс}$ = 1,25 284,8 = 328,4 A.

$$I_T = 1{,}2 \cdot 43{,}64 = 53{,}8\ A.$$

АВ типу XS135MJ ($I_{ном}$ - 63 А, розщіпл. - 50 А).

Приточно-витяжний пристрій типу W4E280–MP06–42.

$$I_H = \frac{2,2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos\varphi} = 3,96A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·3,96 = 5,16 *A*. $I_П = 5,16 \cdot 5 = 26,8A$. $I_{відс}$ = 1,25 26,8 = 31,6 *A*.

I_T = 1,2·3,96 = 6,2 *A*.

АВ типу DM06 ($I_{ном}$ - 10 А, розчіпл. - 6 А).

Ввідний АВ РП3.

Вище для РП3 $I_н$ = 126,8 *A*.

$I_{ном}$ = 1,3·126,8 = 172,6*A*. $I_П = 126,8 \cdot 5 = 658,4A$. $I_{відс}$ = 1,25 658,4 = 862,6 *A*.

I_T = 1,2·126,8 = 164,2 *A*.

АВ типу MS300NJ ($I_{ном}$ - 250 А, розчіпл. – 175 *A*).

3.4.4 Захист ЩО.

Відповідно до креслення АВ позиція QF18.

$$I_H = \frac{2,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos\varphi} = 8,16A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·8,16 = 10,06 *A*. $I_П = 8,16 \cdot 2 = 16,28A$. $I_{відс}$ = 1,25 16,28 = 19,16 *A*.

I_T = 1,2·8,16 = 10,24 *A*.

АВ типу DME06 ($I_{ном}$ - 16 А, розчіпл. - 12 А).

Згідно креслення АВ позиція QF19.

$$I_H = \frac{2,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos\varphi} = 6,08A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·6,08 = 7,8 *A*. $I_П = 6,08 \cdot 2 = 12,16A$. $I_{відс}$ = 1,25 12,16 = 14,84 *A*.

I_T = 1,2·6,08 = 7,4 *A*.

АВ типу DME06 ($I_{ном}$ - 12 А, розчіпл. - 9 *A*).

Відповідно до креслення АВ позиція QF20:

$$I_H = \frac{1{,}5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos\varphi} = 4{,}86A.$$

$I_{ном}$ = 1,3·4,86 = 5,92 *А*. $I_П = 4{,}86 \cdot 2 = 9{,}72A$. $I_{відс}$ = 1,25 9,72 = 11,46 *А*.

$$I_T = 1{,}2 \cdot 4{,}86 = 5{,}34\ A.$$

АВ типу DME06 ($I_{ном}$ - 12 А, розчіпл. - 6 *А*).

АВ ЩО.

Номінальний струм для щитка ЩО $I_н = 16{,}48\ A$.

$I_{ном}$ = 1,3·16,48 = 19,64 *А*. $I_П = 19{,}64 \cdot 2 = 39{,}48A$. $I_{відс}$ = 1,25 39,48 = 54,70 *А*.

$$I_T = 1{,}2 \cdot 16{,}48 = 18{,}34\ A.$$

АВ типу DPM06 ($I_{ном}$ – 25 *А*, розчіплювача – 24 А).

3.5 Вибір типів та номіналів запобіжників

Згідно рекомендацій [33] додатково до АВ на вводи розподільних пристроїв встановлюють запобіжники.

Плавка вставка запобіжника для РП1:

$$I_в = \frac{I_{пік}}{\alpha},$$

де α - коеф. умов пуску електроприймачів:

$$I_в = \frac{172{,}4}{2{,}5} = 68{,}26\ A.$$

Запобіжник типу ПР2 100-100 А 500 В.

Плавка вставка запобіжника для РП2:

$$I_в = \frac{184{,}6}{2{,}5} = 68{,}2\ A.$$

Запобіжник типу ПР2 100-100 А 500 В.

Плавка вставка запобіжника для РП3:

$$I_в = \frac{658{,}4}{2{,}5} = 268{,}2\ A.$$

Запобіжник типу ПР2 100-300 А 500 В.

Плавка вставка запобіжника для ЩО:

$$I_p = \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91} = 10\ A.$$

Вибір запобіжника – тип $ПР2100-50\ A\ 500\ B$.

3.6 Вибір перерізу кабельно-провідникової продукції

Вибір перерізу проводів повинен відповідати допустимому їх нагріванню згідно [11]. Для кожного з ЕП визначаємо ном. струм згідно виразу:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi},\ A.$$

Кабель до РП1:

$$I_p = I_{p1.} + I_{p2.} + I_{p3.} + I_{p4.} = 34,16\ A.$$

Умова $I_н < I_{доп}$ згідно [11] вілповідає кабелю типу ВВГ-3х8+1х6 з $I_{доп} = 39A$.

Кабель до РП2:

$$I_p = I_{p1.} + I_{p2.} + I_{p3.} = 33,2\ A.$$

Вибираємо кабель типу ВВГ-3х8+1х6, з $I_{доп} = 39A$.

Кабель до РП3:

$$I_p = I_{p1.} + I_{p2.} + I_{p3.} + I_{p4.} + I_{p5.} = 148,6\ A.$$

Вибираємо кабель типу ВВГ-3х70+1х50, $I_{доп} = 170\ A$.

Кабель до ЩО:

$$I_{ЩО1} = \frac{P_{ЩО1}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89} = 12,6\ A.$$

$$I_{доп} = 19 \cdot 0,89 = 17,4\ A.$$

Вибираємо кабель типу ВВГ-4-1×2,5.

3.7 Освітлення виробничих приміщень

3.7.1 Основне виробництво.

Розрахункові величини розмірів приміщення: Н = 7 м; h_c = 1 м; $h_п$ = 6 м; $h_р$ = 1 м; h = $h_п$ – $h_р$ = 5 м; В = 24 м; l_1 = 24 м; S_1 = 354 м^2; S_3 = 35 м^2.

Згідно [31] освітлення виробничих дільниць E = 300 *лк*, а коеф. запасу $К_з$=1,5.

Світловий індекс приміщення:

$$i_{ел} = \frac{B \cdot l}{h \cdot (B + l)}; \quad i_{ел} = \frac{24 \cdot 24}{5 \cdot (24 + 24)} = 2,4.$$

Розрахунковий світловий потік 12 шт. світильників:

$$\Phi_{ел} = \frac{E \cdot K_з \cdot S \cdot z}{\eta \cdot N}; \quad \Phi_{ел} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 354 \cdot 1,15}{0,5 \cdot 12} = 30532 \text{ Лм},$$

де η = 0,5, згідно [20] коефіцієнти відбивання поверхонь: ρ_c = 50 %; стіни $\rho_{ст}$ = 30 %; підлога $\rho_{пл}$ = 10%.

Відхилення в освітленості:

$$\delta = \frac{30000 - 30532}{30000} \cdot 100\% = 1,77\% \text{ - в допуску.}$$

Дану освітленість можна досягти як лампами типу $ДРЛ - 500$ ($P_н$ = 500 Вт), так і енергоефективними світлодіодними світильниками.

Споживана потужність освітлення:

$$P_н = n \cdot P; \quad P_н = 12 \cdot 0,5 = 6 \text{ кВт.}$$

Розрахункові споживані потужності:

$$P_р = K_и \cdot P_н; \quad P_р = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ кВт;}$$

$$Q_р = P_р \cdot tg\,\varphi; \quad Q_р = 4,8 \cdot 0,46 = 2,36 \text{ кВ·Ар;}$$

$$S_р = \sqrt{P_р^2 + Q_р^2}; \quad S_р = \sqrt{4,8^2 + 2,36^2} = 5,24 \text{ кВ·А.}$$

$$I_Р = \frac{S_Р}{\sqrt{3} \cdot U_Н}; \quad I_Р = \frac{5,24}{\sqrt{3} \cdot 0,220} = 14,26 A.$$

3.7.2 Дільниця випробувань.

Розрахункові величини розмірів приміщення: $H_З$ = 3,5 *м*; $b_З$ = 6 *м;* $l_З$ = 6 *м*; $h_С$ = 0,2 *м*; $h_П$ = 3,5 – 0,2 = 3,3 *м*; $h_Р$ = 1,0 *м*; $h = h_П – h_Р$ = 2,3 *м*.

Згідно [31] освітлення випробувальної дільниці E = 300 *лк*, а коеф. запасу $К_з$=1,5.

Світловий індекс приміщення:

$$i_З = \frac{b_З \cdot l_З}{h(b_З + l_З)} = \frac{6,0 \cdot 6,0}{2,4(6,0 + 6,0)} = 1,29.$$

Розрахунковий потік для дволампового світильника:

$$\Phi_З = \frac{E_З \cdot K_З \cdot S_З \cdot z}{\eta_З}; \quad \Phi_З = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 35 \cdot 1,15}{0,48} = 35940[Лм]$$

де $\eta = 0,48$, згідно [20] коефіцієнти відбивання поверхонь: $\rho_С = 75\%$ - стелі; $\rho_{СТ} = 30\%$ - стін; $\rho_П = 15\%$ - підлоги.

Відхилення в освітленості:

$$\delta_З = \frac{\Phi_{СЗ} - \Phi_З}{\Phi_{СЗ}}; \quad \delta_З = \frac{38400 - 35940}{38400} \cdot 100\% = +6,72\%$$ - в допуску.

Освітленість приміщення забезпечать як люмінесцентні лампи типу ЛБР-65 ($P_н$ = 65 Вт) у складі 4 шт. світильників типу ЛПО 21–2х65, так і енергоефективні стельові світлодіодні світильники типу ДПО–01–НСП–4А (8 *Вт*) такої же кількості.

Потужність споживання:

$$P_{НЗ} = 4 \cdot 2 \cdot 0,065 = 0,518\ [кВт].$$

Розрахункові споживані потужності:

$$P_{РЗ} = k_В \cdot P_{НЗ} = 0,68 \cdot 0,518 = 0,32\ кВт;$$

$$Q_{РЗ} = P_{РЗ} \cdot tg\varphi_З = 0,32 \cdot 0,54 = 0,21\ кВ{\cdot}Ар.$$

$$S_{РЗ} = \sqrt{P_{РЗ}^2 + Q_{РЗ}^2}; \quad S_{РЗ} = \sqrt{0,32^2 + 0,21^2} = 0,416\ кВ \cdot А.$$

$$I_{РЗ} = \frac{S_{РЗ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НЗ}}; \quad I_{РЗ} = \frac{0,416}{\sqrt{3} \cdot 220} = 1,08 А.$$

$$I_{НЗ} = \frac{P_{НЗ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НЗ} \cdot \cos\varphi_З}; \quad I_{НЗ} = \frac{0,518}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,84} = 1,60 А.$$

ЩО встановлюємо біля входу в приміщення цеху з виробництва кабельно-провідникової продукції.

3.8 Розрахункове навантаження ЩО

Потужність освітлювальних приладів (сумарна):

$$P_{O\Sigma} = 6,0 + 0,52 = 6,52\ кВт.$$

Сумарна потужність розеток:

$$P_{P\Sigma} = 4 \cdot 0,80 = 3,20\ кВт.$$

Активна загальна потужність:

$$P_{\Sigma} = 6,52 + 3,20 = 9,72 кВт.$$

Для фаз:

– *фаза* "*A*" (ЕП: профільні вироби на верстатах з ЧПУ): $P_A = 3,0 кВт$;

– *фаза* "*B*" (ЕП: півфабрикати): $P_B = 3,0 кВт$;

– *фаза* "*C*" (ЕП(р): 3.1...3.4 + ЕП(осв): випробувальна дільниця): $P_C = 0,52 + 3,20 = 3,72\ кВт.$

Розраховуємо навантаження для найбільш завантаженої фази "С":

$$P_{OP} = 3,72 \cdot 3 = 11,16\ кВт.$$

3.9 Розрахункові потужності ВРП

Розрахункові потужності ЕП, РП та освітлювальних пристроїв представимо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Розрахункові потужності ВРП

№ з/п поз.	Назва ЕП	Напруга,В	Потужність, кВт	cosφ	tgφ	Розрахункові навантаження				
						$P_Р$, кВт	$Q_Р$, кВАр	$S_Р$, кВ·А	$I_Р$, А	$I_Н$, А
4	РП1	380	16,68	–	–	28,84	22,44	37,62	56,14	34,18
3	РП2	380	17,86	–	–	28,14	20,68	34,46	48,16	32,68
2	РП3	380	47,28	–	–	68,32	26,84	79,36	119,4	138,6
5	ЩО (світ-ки)	220	6,56	–	–	4,76	2,38	6,78	18,14	26,38
5	ЩО (розетки)	220	2,38	–	–	1,92	1,48	2,04	5,64	7,86
1	ВРП	380	90,76	–	–	136,48	74,26	158,42	244,8	246,6

3.10 Розрахункове навантаження силового трансформатора

Просумовуємо розрахункові потужності:

– розрахункова активна потужність виробничого обладнання:

$$P_р = P_с \cdot K_{\max} = K_в \cdot \sum_{i=1}^{13} p_{ні} \cdot K_{\max}; \quad P_р = 0,42 \cdot 79,869 \cdot 1,51 = 44,62\ кВт.;$$

– реактивна потужність:

$$Q_р = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{13} p_{ні} \cdot k_{ві} \cdot tg\varphi_i; \quad Q_р = 1,38 \cdot 29,86 = 43,38\ кВ{\cdot}Ар;$$

– повна потужність:

$$S_{р1} = \sqrt{P_р^2 + Q_р^2}; \quad S_{р1} = \sqrt{44,62^2 + 43,38^2} = 62,14\ кВ{\cdot}А.$$

Потужності освітлення та розеток становить:

$$P_р = 8,36 кВт; \quad Q_р = 4,26\ кВ{\cdot}Ар; \quad S_р = 9,62\ кВ{\cdot}А.$$

Повна потужність підприємства:

$$S_Р = S_{р1} + S_{р2};\ S_Р = 62,14 + 9,62 = 71,76\ кВ \cdot А.$$

На КТП ТОВ «Екерлі Автомотів Україна» із силовим трансформатором марки $ТМЗ\,630 - 6/0,4 кВ$, що живиться від ЗТП-13 ПС «Коломия-2» 35/6 кВ потужністю 4 МВ·А, виділимо комірку для ЕП виробництва кабельно-провідникової продукції із потужністю:

$$S_{ТРл} = 1,2\ S_Р = 1,2\ 71,76 = 84,68\ кВ{\cdot}А \approx 85\ кВ{\cdot}А$$

із пропускною здатністю за струмом:

$$I_{TP_K} = 1,2 \cdot \left(I_{P_E} + I_{P_O} + I_{P_P} \right); \quad I_{TP_K} = 1,2 \cdot \left(246,6 + 26,38 + 7,86 \right) =$$
$$= 1,2 \cdot 278,8 = 295,26 \approx 300 \left[A \right].$$

Для резервного живлення підприємства передбачаємо другу лінію ЕП від *КТП* №115, яка живиться від *ПС* / 110 / 35 / 6 *кВ* потужністю $\left(25 + 25\right)$ *МВт* «*Коломия*; *РП* – 1» із аналогічним силовим трансформатором.

3.11 Компенсація реактивної потужності виробничого обладнання підприємства

Установка для КРП знаходиться за виразом:

$$Q_{КБ_Н} = P_P \cdot \left(tg\varphi_Ф - tg\varphi_Н \right), \ кВ \cdot Ар \, .$$

$$Q_{КБ_Н} = 44,62 \cdot \left(1,416 - 0,232 \right) = 52,64 \ \left[кВ \cdot Ар \right].$$

Реактивна потужність оптимальна:

$$Q_{КН_{ОПТ}} = Q_{КБ_Н} - \frac{M}{r_{E_Т} \cdot \left(1 + \lambda \right)}, \ кВ \cdot Ар \, ;$$

$$M = U_Н^2 \cdot \left(\frac{122,64 \cdot K_{ДК_Н}}{C_{O_E} \cdot T_В} + 0,52 \right), \ кВ \cdot Ар \cdot Ом \, ;$$

$$T_В = 8760 \ год. ; \quad C_{O_E} = \frac{A}{T_{МАКС}} + B \cdot 10^{-3} ; \quad T_{МАКС} = 4180 \ год.$$

$$C_{O_E} = \frac{429}{4180} + 74 \cdot 10^{-3} = 0,32 \ \frac{грн}{кВт \cdot год.} ;$$

$$M = 0,38^2 \cdot \left(\frac{122,64 \cdot 1,9}{0,32 \cdot 8760} + 0,52 \right) = 0,102 \ \left[кВ \cdot Ар \cdot Ом \right] .$$

Тоді отримаємо:

$$Q_{КН_{ОПТ}} = 52,64 - \frac{0,102}{0,0018 \cdot \left(1 + 0,58 \right)} = 46,28 \ \left[кВ \cdot Ар \right].$$

Вибираємо конденсаторну установку типу *КРМ–0,4–100–25* в к-сті 1 шт. потужністю 100 *кВ·Ар* зі ступеневим регулюванням через 25 *кВ·Ар*.

Високовольтна конденсаторна установка буде компенсувати невеликий залишок реактивної потужності:

$$Q_{КБ_В} = Q_{КБ_Н} - Q_{К_{КУ}} = 2 \cdot 25 - 46,28 = 3,72 \left[кВ \cdot Ар \right].$$

Повне компенсування реактивної потужності дозволяє підвищити ефективність електромережі технологічних установок і зменшити втрати в них.

3.12 Висновки до розділу

1. У відповідності з розташуванням потужностей основного виробництва кабелів і провідників складена схема електропостачання та проведений розрахунок електричних навантажень розподільних пристроїв;
2. Проведений розрахунок та обрані апарати захисту електромережі підприємства, а також перерізи та січення провідників для живлення технологічного електрообладнання;
3. Для забезпечення нормованої освітленості робочих місць розрахована кількість та обрані типи освітлювальних приладів;
4. Підведений підсумок розподілу потужності на розподільчі пристрої електромережі підприємства, а також навантаження силового трансформатора;
5. Проведений техніко-економічний розрахунок компенсації реактивної потужності та обрана відповідна установка.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи з охорони праці на підприємстві з виробництва кабельної продукції

Безпека трудового процесу характеризується параметрами безпеки трудових операцій при виконанні нормованих завдань. Порушенням параметрів безпеки трудових операцій є виникнення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, якщо їх прояв не пов'язаний з порушенням параметрів безпеки обладнання і виробничих процесів.

Фізичні роботи на підприємстві відносяться до категорії $II_б$ (середньої важкості) і охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії складає від 200 до 250 ккал/год. (232-293 Дж/с). До цієї категорії відносять роботи, які виконуються стоячи, пов'язані з рухом, перенесенням невеликих (до 10 кг) вантажів, що супроводжуються помірним фізичним навантаженням.

Для підвищення освітленості робочої поверхні необхідно слідкувати за тим, щоб усі джерела світла були у належному стані та збільшувати їх потужність. Роботи, які виконуються на підприємстві, відносяться до розряду зорових робіт IV (III) класу у відповідності з вимогами ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення. Інженерне обладнання будинків та споруд».

Таким чином, розробляються заходи, які максимально покращать умови роботи та самопочуття працюючих. Для запобігання погіршення зору застосовуються такі заходи і засоби: своєчасна заміна відпрацьованих ламп, регулярне миття світильників, відслідковування норми освітленості (для кожного приміщення вона визначена за технологією та довідниками).

Також у кожній будівлі встановлені санітарно-гігієнічні приміщення. Вони обладнані туалетом, душовою кабіною, шафами для передягання. Кожний працюючий у кінці дня приймає душ. Один раз на 3 зміни випирається робочий одяг.

Типовий технологічний процес на підприємстві з виготовлення кабельної продукції організовують таким чином, щоб уникати операцій і робіт, які супроводжуються виділенням в повітря робочої зони пилу, вологи, шкідливих

газів і т. ін. При неможливості такого уникнення передбачають заходи щодо зниження цих виділень до нормального рівня, забезпечуючи вимоги ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення» (НПАОП 45.2-7.02-12).

При цьому машини й устаткування для механізації технологічних процесів і систем інженерного забезпечення на такому підприємстві повинні відповідати вимогам безпеки згідно ДБН А.3.2-2-2009. З метою скорочення ручної праці віддають перевагу використанню засобів малої механізації.

При розміщенні стаціонарного технологічного та інженерного обладнання необхідно передбачати:

– основні проходи в місцях постійного перебування працюючих - шириною 1,2 - 1,5 м; проходи між стіною і обладнанням - не менше 0,8 м, а між машинами і стіною при необхідності кругового обслуговування - не менше 1 м;

– обладнання, що не має рухомих частин і не потребує обслуговування з одного і більше сторін - на відстані 0,15 м від стіни;

– проходи від електрощитів до виступаючих частин обладнання - не менше 1,25 м;

– всі рухомі частини стаціонарних агрегатів повинні мати огорожі.

Низ віконних прорізів повинен бути на висоті не менше 1 м від рівня підлоги.

При розташуванні майданчиків та інших конструктивних елементів будівель, обладнання та інженерних мереж на висоті менше 2,2 м від підлоги бічні поверхні повинні бути пофарбовані в сигнальний колір згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019 «Графічні символи. Кольори та знаки безпеки».

Для запобігання або зменшення шкідливих викидів в повітря робочих приміщень до нормативних рівнів згідно гігієнічних нормативів, затверджених Наказом МОЗ України (Список №4: «Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони» та «Орієнтовні безпечні рівні дії (ОБРД) шкідливих речовин у повітрі робочої зони») при експлуатації технологічного обладнання повинні бути передбачені відповідні заходи.

При неможливості повного усунення шкідливих викидів в повітря робочої зони слід шляхом використання раціональних засобів захисту працюючих згідно

ДСТУ 7239: 2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація» максимально обмежити їх поширення в робочих зонах даних і суміжних приміщень до величин, що не перевищують гранично допустимі.

Волого–температурний режим в приміщеннях з регульованим мікрокліматом слід підтримувати на рівні вимог ДБН В.2.2-27: 2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення», а допустимі параметри шуму в приміщеннях та їх рівні - у відповідності з вимогами ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги».

Номенклатура і площі санітарно-побутових приміщень на підприємстві повинні передбачатися з урахуванням облікової чисельності працюючих, групи виробничих процесів. При цьому слід враховувати співвідношення чоловіків і жінок у штаті працівників.

Всі працівники виробничого комплексу зобов'язані проходити попередні і періодичні медичні огляди. Адміністрація комплексу зобов'язана ознайомити всіх працюючих з правилами охорони здоров'я.

Усі працюючі на виробництві забезпечуються спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту згідно з «Типовими галузевими нормами безоплатної видачі спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту для працівників агропромислового комплексу».

4.2 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки на підприємстві

На підприємстві з виготовлення кабельно-провідникової продукції використовується електрообладнання, вибір якого і встановлення виконані у відповідності до вимог ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила улаштування електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». Під час роботи в пожежонебезпечних зонах виконуються вимоги відповідних розділів цих правил в частині організаційних та технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт.

На дільниці екструзії ізоляції кабелів для забезпечення ступеня захисту

оболонок електрообладнання від проникнення пилу застосовуються кришки, а місце вводу кабелів ущільнюється за допомогою гумових прокладок. Переносний електричний інструмент має відповідний ступінь захисту.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах мають апарати, які відключають повністю або частково технологічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Для цього передбачені автоматичні вимикачі. Обсяг вимикання визначається технологією у відповідності з проектом на підприємство.

На підприємстві використовуються силові і освітлювальні розподільчі пристрої, що мають необхідну ступінь захисту оболонок .Трансформаторна підстанція розміщена в пожежобезпечній зоні. Електрообладнання в інкуляційному цеху має ступінь захисту оболонок згідно ДНАОП 0.00- 1.32-01.

Складські приміщення мають апарати для відключення ззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині ввідного пристрою світильника. В складах не застосовуються електронагрівальні прилади. В освітлювальній мережі складів провідники захищаються від перевантажень. Крім того, від перевантажень захищаються силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складів.

Кабелі і проводи мають оболонку і покриття з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

Ступінь вогнестійкості та мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій визначаються нормами НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». У відповідності з ними припинення пожежі досягається такими методами:

– припиненням доступу в зону горіння кисню або горючої речовини, при яких горіння неможливе;

– охолодження зони горіння нижче температури самого загоряння або пониження температури горючої речовини нижче температури горіння;

– розбавлення горючих речовин негорючими.

Для ліквідації пожежі на території підприємства використовуються первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, відра, сокири, лопати, пожежні щити). Передбачена така комплектація пожежного щита: вогнегасники (3шт.),

кошма (1шт.), відра (2шт.), сокири (2шт.), лопати (2шт.), лом (2шт.), гак (1шт.), багор (1шт.). Гасіння пожеж передбачається за допомогою спеціально навчених робітників та чергового персоналу.

Засоби пожежогасіння обмежують розмір пожежі та забезпечують його гасіння. При цьому потрібно визначати види засобів пожежогасіння, кількість, розміщення і склад первинних засобів пожежогасіння у відповідності з НТД. Кожна будівля повинна мати план евакуації персоналу під час пожежі.

Система протипожежного захисту забезпечує незадимлення шляхів евакуації. Також повинні бути встановлені системи пожежооповіщення.

Пожежобезпечність представляє собою такий стан об'єкту або виробничого процесу, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення запобігається дія на людей і забезпечується захист матеріалів та обладнання. Система пожежобезпечності є складовою частиною заходів безпечних умов праці.

4.3 Заходи забезпечення надійної роботи підприємства в умовах надзвичайних ситуацій

Забезпечення роботи підприємства, орієнтованого на технологію виготовлення електричних кабельних нагрівальних елементів, в умовах надзвичайних ситуацій полягає у створенні надійних систем електро-, водо- та теплозабезпечення:

а) підвищення стійкості електрозабезпечення:

- розподіл схеми електромереж на незалежно працюючі частини;
- закільцювання електромереж та підключення їх до декількох джерел енергозабезпечення;
- створення резерву дизельних електростанцій;

б) підвищення стійкості систем водопостачання:

- водопостачання від двох незалежних джерел, одне з яких підземне;
- захист вододжерел та резервуарів чистої води;
- створення обвідних (байпасних) ліній навколо водонапірних мереж;

в) підвищення стійкості систем газо-, тепло-, та паливозабезпечення:

- розподільні газопроводи робити підземними та передбачити їх кільцювання;
- газорозподільні станції та опорні пункти обвідних газопроводів передбачити в підземному варіанті;
- встановлювати в основних вузлових точках системи газозабезпечення, автоматичні вимикаючі пристрої, які спрацюють при аварії.

Підвищення протипожежної стійкості підприємства:

- максимальне скорочення запасів палива та вибухонебезпечних речовин;
- проведення профілактичних протипожежних заходів;
- підготовка сил і засобів пожежогасіння.

На підприємстві створюють запаси сировини, палива, комплектуючих вузлів і деталей, обладнання, які дозволяють продовжувати роботу на випадок дезорганізації постачання.

Підвищення стійкості роботи підприємства досягається завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дій уражаючих факторів і створення умов для ліквідації їх наслідків. Окрім цього, необхідно проводити комплекс інженерно-технічних заходів щодо підвищення стійкості роботи підприємства та надійності його споруд на випадок повторної дії руйнівних катастроф або профілактичні роботи для відвернення (недопущення) їх руйнування у подальшому, включаючи посилення (зміцнення) існуючих конструкцій, підготовку до негайної евакуації унікального обладнання, технічної документації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему «Дослідження методів забезпечення якості кабельно-провідникової продукції електротехнічного підприємства» проведений аналіз та здійснений вибір методів дослідження ізоляції виткових елементів електроустановок для встановлення їх ефективності й достовірності інформації щодо реального стану дефектності ізоляції.

Отримані такі результати:

1. Здійснений аналіз методу прискорених випробувань електрообладнання на основний діючий експлуатаційний чинник - старіння ізоляції під дією теплового навантаження.

2. Проаналізована необхідність випробувань електроустановок на макетах їх ізоляційних конструкцій. Наведені особливості випробувань макетів згідно стандартних методик.

3. Обґрунтований підхід до вибору номіналів напруг при випробуваннях ізоляції підвищеною напругою та необхідність контролю ізоляційних конструкцій електричних апаратів на наявність розрядних процесів.

4. Досліджені випробувальні установки ізоляційних конструкцій та основні вимоги стандартів до них щодо забезпечення умов випробувань.

5. Досліджено, що згідно методики оцінювання нагрівостійкості проводять вибір методу випробувань і зразків, кінцевих точок, випробувальних температур та тривалості старіння, визначення температурного індексу. При цьому важливим є перевірка лінійності регресії.

6. Досліджена ефективність використання даних діапазону температур підвищення діелектричних втрат в ізоляції емальованих проводів для оцінювання їх температурного індексу.

7. У відповідності з розташуванням потужностей основного виробництва кабелів і провідників складена схема електропостачання та проведений розрахунок електричних навантажень розподільних пристроїв.

8. Проведений розрахунок та обрані апарати захисту електромережі підприємства, а також перерізи та січення провідників для живлення технологічного електрообладнання.

9. Для забезпечення нормованої освітленості робочих місць розрахована кількість та обрані типи освітлювальних приладів.

10. Підведений підсумок розподілу потужності на розподільчі пристрої електромережі підприємства, а також навантаження силового трансформатора.

11. Проведений техніко-економічний розрахунок компенсації реактивної потужності та обрана відповідна установка.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Антонець Ю. А. Суцільний контроль дефектності емальізоляції при випробуванні високою напругою на прохід / Ю. А. Антонець, А. Г. Гурин, О. В. Голик // Вісник НТУ «ХПІ». - 2010. - №1. - С. 3–8.
2. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-цтво НУ «Львів. політехн.», 2009. - 360 с.
3. Божко В. М. Визначення втрат електроенергії і методи її зниження в системах електропостачання промислових підприємств / В. М. Божко, Г. Я. Вагін // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2001. – №4. – С. 43–50.
4. Бойко О. А. Єдина державна система цивільного захисту в умовах реалізації завдань децентралізації влади // Матеріали 20-ї ВНПК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (9–10 жовтня 2018 р., м. Київ) : Зб. тез доп. – К., 2018. – С. 49–51.
5. Вакуленко О. О. Метод підвищення інформативності випробувань напругою ізоляції емальпроводів / О. О. Вакуленко // Матеріали МНТК ТНТУ (19–21 травня 2010 р., Тернопіль) : тези доп. – Тернопіль, 2010. – С. 341–342.
6. Вакуленко О. О. Прогнозування наробітку ізоляції обмоткових елементів електричних машин і апаратів / О. О. Вакуленко // Матеріали IV МНТК ТНТУ (24–26 квітня 2012 р., Тернопіль) : тези доп. – Тернопіль, 2012. – С. 82–83.
7. Василега П. О. Електропостачання. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
8. Васійчук В. О. Основи цивільного захисту: навч. посібник / В. О. Васійчук, В. Є. Гончарук. - Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехн.», 2010. - 417с.
9. Владіміров Ю. В. Вплив промислових споживачів на втрати в електричних мережах / Ю. В. Владіміров, В. С. Доля // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №2. – С. 53–56.
10. Гарасьова Н. Ю. Вибір параметрів фільтрокомпенсуючих пристроїв для мереж нижче 1000 В / Н. Ю. Гарасьова, І. В. Савеленко, К. Г. Петрова // Наукові записки. - 2010. - Вип. 10, Ч. ІІ. – С. 205–208.
11. Електробезпека на промислових підприємствах : довідник / Р. Б. Сабарно,

А. Г. Степанов, А. В. Слонченко. – К. : Техніка, 1985. – 288 с.

12. Євдін О. М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека. Посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.
13. Євтух П. С. Дослідження дефектності ізоляції емальованих обмотувальних проводів методами математичного моделювання / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко // Матеріали VI МНТК ЛНТУ (26–28 травня 2016 р., Луцьк) : тези доп. – Луцьк, 2016. – С. 83–84.
14. Євтух П. С. Метод оцінювання температурного індексу ізоляції емальованих проводів за діелектричними втратами / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко, В. В. Дідух // Матеріали VII МНТК молодих учених та студентів ТНТУ (28–29 листопада 2018 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т.3. – Тернопіль, 2018. – С. 11–12.
15. Євтух П. С. Особливості діагностування напругою ізоляції емальованих проводів / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко // Матеріали V МНТК ЛНТУ (29–30 червня 2014 р., Луцьк) : тези доп. – Луцьк, 2014. – С. 98–99.
16. Жигулін О. А. Безпека праці в енергоустановках : навч. посібн. - Ніжин : Ніжин. агротехн. ін-т, 2020. - 189 с.
17. Кобєлєва Т. О. Маркетинговий аналіз кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів та перспективи підвищення їх енергоефективності / Т. О. Кобєлєва // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. - 2012. - №3 (97). - С. 22–33.
18. Кодекс цивільного захисту України (від 02.10.2012 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17.
19. Куземко Н. А. Сучасне екструзійне обладнання підприємств кабельно-провідникової продукції / Н. А. Куземко, О. О. Вакуленко, Р. М. Сігетій // Матеріали XII МНПК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (6–7 грудня 2023 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. – Тернопіль, 2023. – С. 247.
20. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу «Проектування промислового освітлення» / Укл. Костик Л. М. - Тернопіль : ТНТУ, 2015 - 28 с.
21. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств : підручн. для. електромех. спец. / В. І. Мілих, Т. П. Павленко. - К. : Каравела, 2018 - 272 с.

22. Нападовська І. В. Проблемні аспекти інформаційного забезпечення оцінювання підприємств кабельної промисловості України // Вісник Житомир. держ. техн. ун-ту. - 2010. - №3 (53). - С. 68-72.
23. Ниник Л. Р. Стійкість роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях. – Рівне : Вид-во УДАВГ, 1998. – 162 с.
24. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002–2007 / Вид. офіційне. Держпожбезпеки МНС України. – К., 2007. – 25 с.
25. Основи безпечної експлуатації електроустановок: підручн. / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.
26. Охорона праці в галузі : методичні вказівки / Укл. к.т.н., доц. каф. ТМ І. Г. Ткаченко. – Тернопіль, ТДТУ, 2001. – 32 с.
27. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002–2007 / Вид. офіційне. Держпожбезпеки МНС України. – К., 2007. – 25 с.
28. Овчаренко Т. І. Оцінка ефективності статичних компенсуючих пристроїв на промислових підприємствах // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2013. – №8. – С. 25–30.
29. Основи охорони праці: Підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Запарний [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. - 2-е вид., доп. та перероб. — К. : Основа, 2006. - 448 с.
30. Пат. 54560 UA, МПК 7 G01R31/12 Спосіб оцінки ступеня дефектності ізоляції емальпроводів / Вакуленко О. О. ; заявн. ВАТ «Ватра». - №2000042307 ; заявл. 24.04.2000 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. №3, 2003 р.
31. Пилипчук Р. В. Енергоефективне промислове освітлення: метод.–дов. посібн. / Р. В. Пилипчук, В. В. Щиренко, Р. Ю. Яремчук. – Донецьк : Каштан, 2005. – 364 с. : рис., табл.
32. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : ДНАОП 0.00-1.21-1998 / Вид. офіційне. Мінпраці України. – К. : Офіц. вісн. України, 12.03.1998. - №8. – С. 394.
33. Правила улаштування електроустановок / Вид. офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Вид-во «Форт», 2017. – 760 с.

34. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2018 / Вид. офіційне. Мінрегіон України. – К. : Укрархбудінформ, 2018. – 133 с.
35. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: навч. посібн. – Суми : ВТД «Університ. книга», 2007. – 280 с.
36. Салтиков В. О. Проектування, монтаж і експлуатація освітлювальних установок : консп. лекцій для студ. електромех. спец. - Х. : Харків нац. ун-т міськ. госп., 2020. - 95 с.
37. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку : Матеріали 20-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Київ, 9–10 жовтня 2018 р. – К. : Вид. дім «Гельветика», 2018. – 536 с.
38. Шестеренко В. Є. Електропостачання промислових підприємств : посібн. для курс. та дипл. проект. / В. Є. Шестеренко, О. В. Шестеренко. - К. : Нова книга, 2013. - 424 с.
39. Яковлєв В. Ф Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення : навч. посібн. / В. Ф. Яковлев, Р. В. Кушлик, С. О. Квітка; за заг. ред. Яковлева В. Ф. - Мелітополь, 2010. - 106 с.