

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

(підпис) **Сергій БЛАЖЕНКО**
(ім'я та прізвище)

(підпис) **Сергій БАЛЮТА**
(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Проектування СЕП ремонтного цеху Харківського тракторного заводу та рекомендації з підвищення грозостійкості повітряних ліній»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-2

Мешко Юрій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник **Мащенко Олег Анатолійович**
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти **Аліна СІРИК**
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма Електротехніка та інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕПЕМ
/Сергій БАЛЮТА/
« 12 » листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мешка Юрія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування СЕП ремонтного цеху Харківського тракторного заводу та рекомендації з підвищення грозостійкості повітряних ліній
керівник роботи Мащенко Олег Анатолійович, ст. викладач
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » 11. 2023 р. № _____.
2. Строк подання здобувачем роботи 25 січня 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи План ремонтного цеху Харківського тракторного заводу; характеристика споживачів електричної енергії; відомості про джерела живлення; умови проектування
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Коротка характеристика електроприймачів ремонтного цеху; розрахунок і вибір основного електроустаткування цеху; розрахунок електричних навантажень силової мережі та освітлення цеху; вибір числа, потужності та розташування цехової трансформаторної підстанції; компенсація реактивної потужності; розрахунок силової мережі цеху; розрахунок струмів короткого замикання та вибір електрообладнання на високій стороні трансформатора; заходи з енергозбереження; релейний захист трансформатора; електричні вимірювання та облік електроенергії; контроль і підтримання належного рівня якості електричної енергії; охорона праці; індивідуальне завдання. Рекомендації з підвищення грозостійкості повітряних ліній.
5. Перелік графічного матеріалу
 1. План розташування силового електрообладнання.
 2. План розташування освітлювального обладнання.
 3. Принципова схема електропостачання живильної і розподільчої мережі.
 4. Заходи з підвищення грозостійкості повітряних ліній.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
ОП	Сірик А.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проєкт	12.11.2023 р	
2	Вступ	15.11.2023 р	
3	Коротка характеристика електроприймачів ремонтного цеху	18.11.2023 р	
4	Розрахунок і вибір основного електроустаткування цеху	23.11.2023 р	
5	Розрахунок електричного освітлення цеху	29.11.2023 р	
6	Розрахунок електричних навантажень силової мережі цеху	05.12.2023 р	
7	Вибір числа, потужності та розташування цехової трансформаторної підстанції	11.12.2023 р	
8	Компенсація реактивної потужності	14.12.2023 р	
9	Розрахунок силової мережі	19.12.2023 р	
10	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електрообладнання на високій стороні трансформатора	25.12.2023 р	
11	Заходи з енергозбереження	29.12.2023 р	
12	Релейний захист трансформатора	03.01.2024 р	
13	Електричні вимірювання та облік електроенергії	08.01.2024 р	
14	Контроль і підтримання належного рівня якості електричної енергії	11.01.2024 р	
15	Охорона праці	16.01.2024 р	
16	Індивідуальне завдання. Рекомендації з підвищення грозостійкості повітряних ліній	20.01.2024 р	
17	Література	23.01.2024 р	
18	Графічна частина	25.01.2024 р	

Здобувач

(підпис)

Юрій МЕШКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Олег МАЩЕНКО

(прізвище та ініціали)

Анотація

Мешко Юрій Юрійович. Дипломний проєкт на тему:

«Проектування СЕП ремонтного цеху Харківського тракторного заводу та рекомендації з підвищення грозостійкості повітряних ліній»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2024

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 14 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проєкту становить 109 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: план розташування силового електрообладнання, план розташування освітлювального обладнання, принципова схема електропостачання живильної і розподільчої мережі, заходи з підвищення грозостійкості повітряних ліній.

Розрахунки й аналіз виконані за допомогою методик, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі.

У результаті виконання проєкту наведено коротку характеристику електроприймачів ремонтного цеху; розраховано і вибрано основне електроустаткування цеху; виконано розрахунок електричних навантажень силової мережі та освітлення цеху; визначено число, потужність та місце розташування цехової трансформаторної підстанції; розглянуто питання компенсації реактивної потужності; вибрано схему та розраховано силову мережу цеху; вибрано високовольтне електрообладнання і перевірено його до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання релейного захисту трансформатора, заходи з енергозбереження, електричних вимірювань, обліку, контролю та підтримання належного рівня якості електричної енергії. Розглянуто індивідуальне завдання «Рекомендації з підвищення грозостійкості повітряних ліній».

У розділі охорона праці наведено організаційні заходи з електробезпеки для працівників під час роботи в електроустановках, організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки та виконано розрахунок заземлюючих пристроїв.

Ключові слова: ремонтний цех, електроприймачі, силове електричне навантаження, електричне освітлення, трансформатор, автоматичний вимикач, компенсація реактивної потужності, струм короткого замикання, провід, кабель, грозостійкість, повітряна лінія.

Abstract

YURY MESHKO. Diploma project on the topic:

"SEP design of the repair shop of the Kharkiv Tractor Plant and recommendations for improving the lightning resistance of overhead lines"

National University of Food Technologies, Kyiv - 2024

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 14 chapters and a list of references. The volume of the project is 109 pages.

The description includes a graphic part consisting of four drawings: power electrical equipment location plan, lighting equipment location plan, power supply and distribution network schematic diagram, measures to increase lightning resistance of overhead lines.

Calculations and analysis were performed using the methods described in educational, reference, regulatory and scientific and technical literature.

As a result of the implementation of the project, a brief description of the electrical receivers of the repair shop is given; the main electrical equipment of the workshop is calculated and selected; the calculation of electrical loads of the power network and lighting of the workshop was performed; the number, capacity and location of the workshop transformer substation are determined; the issue of reactive power compensation is considered; the scheme is selected and the power network of the workshop is calculated; high-voltage electrical equipment is selected and tested for short-circuit currents; the issue of relay protection of the transformer, energy saving measures, electrical measurements, accounting, control and maintenance of the appropriate level of electrical energy quality are considered. The individual task "Recommendations for increasing lightning resistance of overhead lines" was considered.

In the occupational safety section, organizational measures for electrical safety for workers while working in electrical installations, organizational measures to ensure fire safety, and the calculation of grounding devices are given.

Key words: repair shop, electrical receivers, power electrical load, electrical lighting, transformer, circuit breaker, compensation of reactive power, short-circuit current, wire, cable, lightning resistance, overhead line.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ РЕМОНТНОГО ЦЕХУ.....	9
1.1 Характеристика електроприймачів ремонтного цеху.....	9
1.2. Вибір роду струму і напруги.....	11
1.3. Категорія надійності електропостачання.....	12
2. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ЦЕХУ.....	14
2.1. Розрахунок і вибір потужності електродвигунів.....	16
2.2. Розрахунок і вибір апаратури керування й захисту двигунів.....	23
2.3. Розрахунок і вибір перерізу проводів і кабелів, що живлять двигуни...	26
3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ.....	28
3.1. Світлотехнічний розрахунок.....	29
3.2. Електричний розрахунок освітлення цеху.....	38
4. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ.....	46
5. ВИБІР ЧИСЛА, ПОТУЖНОСТІ ТА РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ.....	54
6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	56
7. РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ.....	58
7.1. Вибір схеми електропостачання цеху.....	58
7.2. Розрахунок і вибір апаратури керування й захисту силової мережі.....	60

7.3.	Розрахунок перерізу живильних і розподільчих проводів і кабелів.....	62
8.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА ВИСОКІЙ СТОРОНІ ТРАНСФОРМАТОРА.....	64
8.1.	Розрахунок струмів короткого замикання.....	64
8.2.	Вибір високовольної апаратури й високовольного кабелю.....	67
9.	ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	71
10.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА.....	73
11.	ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	76
12.	КОНТРОЛЬ І ПІДТРИМАННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	78
12.1.	Загальні положення нормування якості електричної енергії.....	78
12.2.	Контроль показників якості електричної енергії.....	82
12.3.	Вплив відхилень показників якості електричної енергії на роботу електроприймачів.....	83
12.4.	Система заходів щодо підтримання належного рівня якості електроенергії.....	85
13.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	87
14.	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ ГРОЗОСТІЙКОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ.....	97
14.1	Методи та засоби захисту ЛЕП з захищеними проводами.....	97
14.2.	Порівняння різних засобів блискавкозахисту.....	104
	ЛІТЕРАТУРА.....	108

ВСТУП

Тракторобудування – галузь машинобудування, підприємства якої виробляють різні механізми для застосування у сільському, лісовому та водному господарстві, будівництві та вантажно-розвантажувальних роботах. В Україні виготовляється багато різних видів тракторів, самохідних шасі, тракторних та комбайнових двигунів, вузлів, агрегатів, запасних частин та деталей до тракторів. За допомогою тракторів можна механізувати багато різноманітних робіт; це в першу чергу стосується сільського господарства, у якому збільшення механізації праці викликає зростання загальної продуктивності праці.

Забезпечення споживачів електричною енергією здійснюється через систему електропостачання, яка далі здійснює передачу та розподілення електричної енергії по всіх електроприймачам, забезпечує необхідну потужність в години максимальних навантажень, задану (нормовану) надійність електропостачання, нормовані межі зміни показників якості електричної енергії, має задовольняти умовам безпечної експлуатації, економічності та мати надійне керування.

Практика експлуатації систем електропостачання свідчить про те, що електрична енергія ще не завжди використовується технічно та економічно ефективно не тільки при споживанні у виробничих процесах, але й при передачі її споживачу. Тому значне місце у вирішенні задач електропостачання займають питання правильного проєктування, тобто вибору найбільш економічно та технічно досконалого варіанту побудування і функціонування систем електропостачання виробничого об'єкту.

Перш ніж здійснити будівництво систем електропостачання, розробку необхідної апаратури та приладів, слід обґрунтувати необхідність виконання даної роботи, співставити її з раніш виконаними подібними видами робіт,

здійснити необхідні розрахунки як системи в цілому, так і окремих її елементів. А це, в свою чергу, вимагає використання накопиченого досвіду, організації пошуку ефективних технічних рішень, проведення необхідних наукових досліджень. Вся ця сукупність дій з обґрунтування та прийняття необхідних рішень і складає суть процесу проектування, що завершується розробкою проектної та конструкторської документації, на основі якої реалізуються прийняті рішення.

Склад необхідної документації та характер робіт, що виконані з неї, може бути різноманітним. Разом з тим конструкторська документація повинна бути розроблена на підставі єдиних для всіх галузей народного господарства вимог, що регламентують відповідний склад та вид документів.

Для правильного вирішення завдань, що пов'язані з електропостачанням виробничих об'єктів, інженер повинен мати теоретичні знання та вміння творчо використовувати їх у своїй практичній діяльності.

Система електропостачання – це сукупність комплексів електротехнічного обладнання, призначених для забезпечення споживачів електричною енергією, в першу чергу кожний з цих комплексів призначений для виконання однієї з функціональних задач: виробництва, передачі, перетворення або розподілення електричної енергії.

Ця система включає у себе: електричні станції (виробництво електричної енергії), підстанції, які призначені для підвищення рівня напруги і розподілення електричної енергії, високовольні лінії електропередачі, знижувальні трансформаторні підстанції з розподільчими пристроями, низьковольні лінії, що передають електроенергію споживачеві.

Кожний функціональний комплекс містить певний закономірно зв'язаний набір пристроїв. Різниця у номенклатурі і технічних характеристиках пристроїв комплексів потребує і різниці у структурі проектування, тобто об'єму, послідовності і методики розрахунків, перевірок і виробу електротехнічного обладнання з урахуванням ПУЕ, ПТЕ і ПТБ.

Низьковольні цехові мережі систем електропостачання (СЕП) обслуговують більшість технологічних процесів, де задіяна значна кількість

електродвигунів, електрозварювальних установок та інших електроприймачів, що споживають близько 80 % усієї електроенергії в промисловості. Тому для розподілу електроенергії на напрузі до 1 кВ слід застосовувати найбільш економічні системи, які забезпечують необхідний рівень надійності, безпеки і зручності експлуатації. У свою чергу число, потужність і місце розташування цехових трансформаторних підстанцій (основних елементів СЕП), наявність високовольтних електроприймачів, віддаленість об'єкта від джерел живлення (ГПП, ЦРП та інші) і ступінь безперебійності електропостачання цехів, що вимагається, визначають структуру і параметри розподільчої (міжцехової) мережі більш високої напруги.

Остаточне рішення в обох випадках ухвалюється на підставі порівняння варіантів за техніко-економічними показниками. Порівнювані варіанти за технічним рівнем, надійністю електропостачання, зручністю експлуатації та іншими показниками повинні відповідати вимогам, які пред'являються до системи електропостачання даного промислового об'єкта (підприємства, групи цехів, корпусу, цеху, відділення тощо).

Метою даного дипломного проєкту є проєктування ефективної системи електропостачання ремонтного цеху Харківського тракторного заводу та розроблення рекомендацій з підвищення грозостійкості повітряних ліній.

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ РЕМОНТНОГО ЦЕХУ

Харківський тракторний завод виробляє машини, призначені для виконання найрізноманітніших робіт у багатьох галузях промисловості, сільського та комунального господарства, будівельної сфери. Крім тракторів завод випускає дорожньо-будівельну та спецтехніку (на базі тракторів), гарячоштамповані заготівлі, складноріжучий інструмент і технологічне оснащення, лиття, запасні частини.

Для сільського господарства виробляються колісні трактори потужністю 180-240 к.с., гусеничні трактори потужністю 190 к.с.

1.1. Характеристика електроприймачів ремонтного цеху

Ремонтний цех призначений для ремонту й обслуговування основного обладнання, що використовується на Харківському тракторному заводі.

Стіни цеху виконані із цегли й залізобетону. Довжина цеху становить 42 м, ширина – 36 м, висота стелі – 9 м, ширина прольотів – 1,5 м.

Електропостачання електроустаткування цеху здійснюється від головної понижувальної підстанції (ГПП), що знаходиться на відстані 14 км від енергосистеми. Цехова ТП розташована на відстані 0,9 км від ГПП. Кількість робочих змін – 3. Підлогу в цеху бетонна з температурою +20 °С. За пожежонебезпекою відноситься до категорії Д (у цеху перебувають (обертаються) негорючі речовини й матеріали в холодному стані).

Приміщення цеху містить у собі: ділянку виготовлення металовиробів для трансформаторів і реакторів, ділянку обмоток і ізоляції, термічну ділянку, зварювальну ділянку), вентиляторну (6 х 6) м, електромайстерню (6 х 10) м.

У цеху встановлено ряд різного роду устаткування, необхідного для технологічного процесу: шліфувальні, токарні, фрезерні, карусельні, намотувальні, свердлильні верстати, вентустановки, насоси, зварювальні трансформатори, печі камерні.

Перелік основного технологічного обладнання ремонтного цеху наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Характеристика електроприймачів ремонтного цеху

Номер згідно плану	Найменування електроприймача (ЕП)	Кільсть, шт	Потужність ЕП, кВт	При- мітка
1	2	3	4	5
1-4	Верстат шліфувальний	4	13,75	
5-9	Намотувальний верстат	5	0,18	
10-11	Верстат карусельний	2	44,5	
12-15, 18- 20	Автомат револьверний	7	21,2	
21-27	Верстат повздовжньо- фрезерний	7	40,5	
28-30	Верстат вертикально- свердлильний	3	12,7	
31-35	Верстат токарний	5	22,0	
В1, В2	Вентилятор витяжний	2	4,0	
П1, П2	Вентилятор приточний	2	3,0	
16, 17	Зварювальний трансформатор	2	42,0 кВА	ПВ=60%
36	Піч опору	1	87,0	
37, 38	Піч камерна	2	26,0	
39	Кран мостовий	1	17,6	ПВ=60%
37, 38	Піч камерна	2	26,0	

1.2. Вибір роду струму і напруги

Найбільше поширення на промислових підприємствах мають установки напругою 380/220В з глухим заземленням нейтралі. Вибір цієї напруги забезпечує можливість використання трансформаторів для сумісного живлення силових і освітлювальних навантажень. Найбільша потужність трифазних електроприймачів, які живляться від системи напругою 380/220В, не повинна перевищувати значення, при якому допускається застосування контакторів на струм 600 А.

Напруга 660В, у порівнянні з напругою 380 В, дає деяку економію щодо витрат кольорових металів, проте збільшення вартості захисної і пускорегулювальної апаратури на 10-15 % і необхідність установа окремих трансформаторів для освітлювального навантаження дещо зменшують її переваги. Напруга 660/380 В є доцільною на підприємствах, де не можна або важко наблизити цехові ТП до потужних приймачів або на підприємствах з великою кількістю електродвигунів потужністю 250...600 кВт. У цьому випадку знижуються втрати електроенергії та напруги, збільшується радіус дії цехових ТП приблизно в 2 рази, витрата кольорових металів зменшується в 2 рази. Пропускна здатність мережі збільшується у $\sqrt{3}$ разів, підвищується одинична потужність трансформаторів, а отже, скорочується їх кількість, число апаратів та ліній напругою вище 1 кВ, порівняно з напругою 380/220В.

Напруга не вище 42 В змінного струму застосовується в приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних для стаціонарного місцевого освітлення та ручних переносних ламп. Напруга 12 В застосовується в приміщеннях особливо небезпечних для ручних переносних світильників та за особливо несприятливих умов.

Напругу 380/220 В слід застосовувати у всіх випадках, якщо техніко-економічними розрахунками не доведена доцільність застосування більш високої напруги.

Для силових електричних мереж ремонтного цеху застосовуємо в основному трифазний змінний струм, оскільки, немає необхідних умов

технологічних процесів для використання постійного струму, а саме плавного регулювання частоти обертання електродвигунів, зарядки акумуляторних батарей, живлення гальванічних ванн, магнітних столів, тощо.

Джерелом живлення цеху є ТЕЦ, далі напруга підвищується до 110 кВ, а потім знижується на ГПП (10 кВ). На вибір напруги (від головної понижувальної підстанції (ГПП) до трансформаторних підстанцій (ТП)) істотний вплив чинить передбачувана наявність на об'єкті електродвигунів напругою вище 1 кВ (6, 10 кВ), електричних печей і інших електроприймачів. У даному цеху в основному використовується не високовольтне ремонтне устаткування, тому для живлення цехових трансформаторних підстанцій застосовуємо напругу 10 кВ, для силового навантаження вибираємо напругу 380/220 В, оскільки в цеху споживачі малої потужності до 110 кВт. Для загального освітлення вибираємо напругу 220 В, для переносного ремонтного – 24 В. Частота мережі 50 Гц.

Живлення токарно-револьверного верстату моделі AP41M здійснюється напругою 380 В трифазного змінного струму із частотою 50 Гц.

Для кола керування передбачена напруга 100 В з частотою 50 Гц, що знижується через трансформатор напруги.

1.3. Категорія надійності електропостачання

Щодо забезпечення надійності електропостачання електричні приймачі за ПУЕ поділяють на три категорії (позначаються римськими цифрами).

Електричні приймачі **I категорії** – електричні приймачі, перерва електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей, значний збиток суб'єктам господарювання, пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства.

Зі складу електричних приймачів I категорії виділяється *особлива група* електричних приймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного

зупину виробництва, з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням дорогого основного обладнання.

Електричні приймачі **II категорії** – електричні приймачі, перерва електропостачання яких приводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

Електричні приймачі **III категорії** – решта електричних приймачів, що не підпадають під визначення I і II категорій.

Незалежне джерело живлення електроприймача або групи електроприймачів – джерело живлення, на якому зберігається напруга в межах, регламентованих ПУЕ для післяаварійного режиму, при зникненні її на іншому або інших джерелах живлення цих електроприймачів.

Електроприймачі першої категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерва їх електропостачання при порушенні електропостачання від одного з джерел живлення може бути допущена лише на час автоматичного відновлення живлення.

Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервуючого джерела живлення.

Як третє незалежне джерело живлення для особливої групи електроприймачів і як друге незалежне джерело живлення для решти електроприймачів I категорії можуть бути використані місцеві електростанції, електростанції енергосистем, спеціальні агрегати безперебійного живлення, акумуляторні батареї тощо.

Електроприймачі ремонтного цеху відносяться до III категорії.

Для електроприймачів III категорії електропостачання може виконуватися від одного джерела живлення за умови, що перерви електропостачання, необхідні для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищують однієї доби.

2. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ЦЕХУ

Найбільшу частину серед усього електроустаткування цеху займають металорізальні верстати, основними видами яких є: токарні, фрезерні, свердлильні, розточувальні, стругальні й шліфувальні.

Верстати токарної групи відносяться до найпоширеніших металорізальних верстатів і широко застосовуються на промислових підприємствах, у ремонтних майстернях тощо. На частку токарних верстатів доводиться близько 60 % від всіх верстатів, використовуваних у промисловості. У цю групу входять: універсальні токарні й токарно-гвинторізні, револьверні, токарно-лобові, карусельні, токарно-копіювальні верстати, токарні автомати й напівавтомати. На таких верстатах виконується обробка зовнішніх, внутрішніх і торцевих поверхонь тіл обертання циліндричної, конічної й іншої форми, а також прорізка канавок, нарізка зовнішнього й внутрішнього різьблення тощо. Характерною рисою верстатів токарної групи є здійснення головного руху за рахунок обертання оброблюваної деталі. Для точного регулювання швидкості у верстатах особливої точності застосовують двигуни постійного струму. Завдяки можливості плавно змінювати напругу на якорі двигуна й на обмотці збудження стає можливим не тільки плавна зміна частоти обертання вала, але й двозонне регулювання швидкості обертання – як вниз, так і вгору від номінальної. Вниз від номінальної швидкості обертання регулюється зміною напруги на якорі, а вгору від номінальної – шляхом зменшення потоку збудження. Такі двигуни зазвичай включаються по схемах «Генератор-Двигун», «Тиристорний перетворювач-Двигун».

Виходячи із усього перерахованого вище, вибираємо для прикладу розрахунку електроустаткування спеціального токарно-револьверного верстату моделі AP41M. На даному верстаті встановлені два трифазні короткозамкнені асинхронні електродвигуни й один двигун постійного струму, включений за схемою «Генератор-Двигун»:

електродвигун головного привода M1,
електродвигун змащення M2,
електродвигун насоса охолодження M3.

З лицьової сторони електрошкафа верстату встановлені наступні органи керування:

трифазний вимикач для приєднання верстата до живильної мережі;
сигнальна лампа, що показує стан роботи верстата;

Вбудований у світильник вимикач для включення й виключення місцевого освітлення.

Захист електроустаткування верстата від струмів коротких замикань забезпечується запобіжниками в колії керування, сигналізації й місцевого освітлення.

Захист електродвигунів від перевантаження здійснюється тепловими реле, а від струмів короткого замикання – автоматичним вимикачем QF1 з комбінованим розщеплювачем.

У схемі передбачені електричні блокування магнітних пускачів з метою виключення можливості одночасного їхнього включення.

Основні технічні характеристики:

Габаритні розміри верстата:

довжина – 2300 мм; ширина – 1030 мм; висота - 1400 мм.

Маса верстата – 1850 кг.

Клас точності – Б

Найбільший діаметр оброблюваного виробу:

над станиною – 320 мм. над супортом – 160 мм.

Найбільша довжина оброблюваного виробу – 710 мм.

Межі регулювання частоти обертання шпинделя – $10 \dots 2000 \text{ хв}^{-1}$

Межі подач:

поздовжніх – $0,018 \dots 1,1 \text{ мм/об.}$

поперечних – $0,01 \dots 0,625 \text{ мм/об.}$

2.1. Розрахунок і вибір потужності електродвигунів

Розглянемо приклад розрахунку електродвигуна головного руху й насосів токарно-револьверного верстата моделі AP41M.

Розрахунок виконуємо за методикою, що наводиться у навчальній літературі.

Вибір потужності електродвигуна N , кВт, визначаємо по формулі:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{102 \cdot 60}, \quad (2.1)$$

де P_z – сила різання, кГ; v – швидкість різання, м/хв.

Швидкість різання обчислюють по формулі:

$$v = \frac{C_v}{T^{m_t} X_v^{X_v} S^{Y_v}} K_v, \quad (2.2)$$

де C_v – коефіцієнт, що характеризує властивості оброблюваного матеріалу різця, а також вид токарної обробки; T – стійкість різця, хв; t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об; m , X_v , Y_v – показники ступеня, що залежать від властивостей оброблюваного матеріалу різця й виду обробки; K_v – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на швидкість різання.

Стійкість різця T приймаємо рівним 60 хвилин.

Глибина різання t для чорнової обробки дорівнює від 3 до 30 мм. Приймаємо $t = 3 \text{ мм.}$

За паспортним даними подача становить $S = 0,70 \text{ мм/об.}$

Показники ступеня й коефіцієнт C_v визначаються за довідниковою літературою.

Результати вибору показників ступеня й коефіцієнта C_v зводимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Коефіцієнт і показники ступеня для поздовжнього загострення заготовок із конструкційної сталі різцями зі швидкорізальної сталі при подачі $S = 0,70$ мм/об

C_v	X_v	Y_v	m
340	0,15	0,45	0,20

K_v являє собою добуток з ряду коефіцієнтів:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} K_{\varphi v} K_{\varphi 1v} K_{rv} K_{qv} K_{ov}, \quad (2.3)$$

де K_{mv} – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей матеріалу на швидкість різання; K_{nv} – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує стан поверхні заготовки. Приймаємо для заготовки з поверхнею без кірки $K_{nv} = 1$; K_{uv} – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує вплив матеріалу ріжучої частини різця. Приймаємо $K_{uv} = 1$; K_{ov} – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує вплив виду обробки. Приймаємо для поздовжнього загострення $K_{ov} = 1$; $K_{\varphi v}$, $K_{\varphi 1v}$, K_{rv} , K_{qv} – поправочні коефіцієнти на швидкість різання, що враховують вплив параметрів різця, прийняті за довідниковою літературою залежно від головного кута в плані φ , град, прийнятого $\varphi = 30^\circ$.

Результати вибору поправочних коефіцієнтів $K_{\varphi v}$, $K_{\varphi 1v}$, K_{rv} , K_{qv} на швидкість різання, що враховують вплив параметрів різця зводимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Поправочні коефіцієнти на швидкість різання, що враховують вплив параметрів різця

$K_{\varphi v}$	$K_{\varphi 1v}$	K_{rv}	K_{qv}
1,4	1	0,94	0,93

K_{mv} розраховується по формулі:

$$K_{mv} = C_m \left(\frac{75}{\sigma_{\hat{a}}} \right)^{n_v}, \quad (2.4)$$

де C_m і n_v – коефіцієнти для розрахунку коефіцієнта K_{mv} .

Приймаємо для вуглеводної сталі ($C \leq 0,6\%$): $C_m = 1$, $n_v = 1,75$; $\sigma_b = 75$ кг/мм².

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{75}{75} \right)^{1,75} = 1.$$

Підставляємо значення поправочних коефіцієнтів у формулу (2.3)

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 1 = 1,223.$$

Швидкість різання по формулі (2.2)

$$v = \frac{340}{60^{0,20} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,05^{0,45}} \cdot 1,223 = 600,895 \text{ м/хв}.$$

Осьова складова сили різання P_x визначається по формулі:

$$P_x = C_p t^{x_p} S^{y_p} v^{n_p} K_p, \quad (2.5)$$

де C_p – постійна для даних умов різання; t – довжина леза різця, мм; K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує зміни на відміну від табличних умов різання.

Розрахунок буде виконуватися для осьової складової сили різання, а, потім, сила різання буде виражена із складової. Для цього виписуємо необхідні показники.

Постійну C_p і показники ступеня X_p , Y_p , n_p для кожної із складових сили різання визначають за довідниковими даними.

Результати вибору постійної C_p і показників ступеня X_p , Y_p , n_p для осьової складової сили різання P_x зводимо в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Постійна C_p і показники ступеня X_p , Y_p , n_p для осьової складової сили різання

C_p	X_p	Y_p	n_p
67	1,2	0,65	0

K_p являє собою добуток з ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp}, \quad (2.6)$$

де K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей матеріалу на сили різання; $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} – коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента на сили різання.

Результати вибору коефіцієнтів $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} , що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента на сили різання зводимо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Поправочні коефіцієнти $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp}

Параметри		Поправочні коефіцієнти	
Найменування	Величина	Позначення	Величина коефіцієнта
Головний кут у плані φ_v , град	60	$K_{\varphi p}$	1,27
Передній кут γ_v , град	20	$K_{\gamma p}$	1,0
Кут нахилу головного леза λ , град	5	$K_{\lambda p}$	0,85
Радіус при вершині r , мм	5	K_{rp}	1,0

Коефіцієнт K_{mp} визначають за формулою:

$$\hat{E}_{i\delta} = \left(\frac{\sigma_{\hat{a}}}{75} \right)^{n_p}, \quad (2.7)$$

де n_p – показник ступеня для розрахунку коефіцієнта, що враховує вплив механічних властивостей матеріалу на сили різання. Приймаємо $n_p = 1,5$.

$$\hat{E}_{i\delta} = \left(\frac{75}{75} \right)^{1,5} = 1.$$

Підставляємо значення коефіцієнтів у формулу (2.6)

$$\hat{E}_{\delta} = 1,27 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,079.$$

Визначаємо по формулі (2.5) осьову складову сили різання

$$P_x = 67 \cdot 4^{1,2} \cdot 0,05^{0,65} \cdot 120,48^0 \cdot 1,079 = 54,181 \text{ Вт}.$$

Виражаємо силу різання:

$$P_x = (0,2 \dots 0,3) \cdot P_z;$$

$$P_z = \frac{54,181}{0,2} = 270,905 \text{ Вт}.$$

Підставляємо отримані значення сили різання й швидкості різання у формулу (2.1)

$$N = \frac{270,905 \cdot 600,895}{102 \cdot 60} = 26,598 \text{ Вт}.$$

Потужність електродвигуна привода головного руху дорівнює потужності різання з урахуванням втрат. Привод руху подачі також здійснюється від електродвигуна головного руху. Для цього, при виборі електродвигуна, враховується ККД передач. У цьому випадку потужність двигуна визначається по формулі:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta_{\text{дв}} \eta_{\text{п}}}, \quad (2.8)$$

де $\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна; $\eta_{\text{п}}$ – ККД передач привода подачі.

ККД беруться згідно довідникових даних.

Потужність двигуна по формулі (2.8)

$$N_{\text{дв}} = \frac{26,598}{0,8 \cdot 0,9} = 37,11 \text{ Вт}.$$

При постійному навантаженні визначаємо потужність $P_{\text{дв}}$ механізму, приведенного до валу двигуна, і по каталогу вибираємо двигун, що має найближчу не меншу за номінальну потужність $P_{\text{н}}$

$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{дв}}. \quad (2.9)$$

Вибираємо асинхронний двигун стандартної серії АИР по довіднику з номінальною частотою обертання $n_{\text{н}} = 1500 \text{ об/хв}$. Результати вибору зводимо в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні параметри вибраного двигуна

Тип двигуна	P _н , кВт	ККД, %.	cos φ	$\frac{M_{п}}{M_{н}}$	$\frac{M_{max}}{M_{н}}$
АИР180S4	22	90,5	0,87	1,7	2,4

Аналогічно вибираємо двигуни для інших верстатів і заносимо дані в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Технічні параметри вибраних двигунів

Номера верстатів на плані	Тип двигуна	P _н , кВт	ККД, %.	cos φ	$\frac{M_{п}}{M_{н}}$	$\frac{M_{max}}{M_{н}}$
1-4	АИР132М2	11	88	0,9	1,6	2,2
5-9	АИР56А2	0,18	68	0,78	2,2	2,2
10-11	АИР200М2	37	91,5	0,87	1,6	2,8
12-15,18-20	АИР160М2	18,5	90,5	0,89	2	2,7
21-27	АИР200М2	37	91,5	0,87	1,6	2,8
28-30	АИР132М2	11	88	0,9	1,6	2,2

Розрахунок електродвигуна насоса охолодження й гідронасоса.

Потужність електродвигуна насоса P_{дв}, кВт, розраховується по формулі:

$$P_{\text{дв}} = k_z \frac{\rho g Q (H_c + \Delta H)}{\eta_m \eta_i} \cdot 10^{-3}, \quad (2.10)$$

де k_з – коефіцієнт запасу; ρ – густина рідини, що перекачується, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; Q – продуктивність насоса, м³/с; H – статичний напір, м; ΔH – втрата напору в трубопроводах, м; η_{ном} – ККД насоса; η_п – ККД передач.

Дані для розрахунку вибираємо з довідникових джерел. Результати вибору зводимо в табл. 2.7 і 2.8.

Таблиця 2.7

Результати вибору даних для розрахунку насоса охолодження

k_3	ρ , кг/м ³	Q , м ³ /з	$H+\Delta H$, м	$\eta_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{п}}$
1,5	1200	$1,1 \cdot 10^{-3}$	12	0,5	0,5

Таблиця 2.8

Результати вибору даних для розрахунку гідронасоса

k_3	ρ , кг/м ³	Q , м ³ /з	$H+\Delta H$, м	$\eta_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{п}}$
1,3	960	$0,37 \cdot 10^{-3}$	8	0,55	0,6

Розраховуємо по формулі (2.10) потужність двигуна насоса охолодження

$$P_{\text{дв}} = 1,6 \frac{1200 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{0,5 \cdot 0,5} \cdot 10^{-3} = 0,994 \text{ кВт}.$$

При постійному навантаженні визначаємо потужність $P_{\text{дв}}$ механізму, приведенного до вала двигуна, і по каталогу вибираємо двигун, що має найближчу не меншу за номінальну потужність $P_{\text{н}}$.

Вибираємо двигун стандартної серії АИР по довіднику із синхронною частотою обертання $n_{\text{н}} = 1500$ об/хв. Результати вибору зводимо в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Технічні параметри вибраного двигуна

Тип двигуна	$P_{\text{н}}$, кВт	ККД, %	$\cos \varphi$	$S_{\text{н}}$, %	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{п}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}$	Момент інерції, кг·м ²	Маса, кг
АИР80А4	1,5	73	0,86	11	1,5	1,3	1,9	4,5	0,0013	8,1

Визначаємо по формулі (2.10) потужність двигуна гідронасоса

$$P_{\text{дв}} = 1,3 \frac{960 \cdot 9,81 \cdot 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot 8}{0,55 \cdot 0,6} \cdot 10^{-3} = 0,11 \text{ кВт}.$$

При постійному навантаженні визначаємо потужність $P_{\text{дв}}$ механізму, приведенного до вала двигуна, і по каталогу вибираємо двигун, що має найближчу не меншу за номінальну потужність $P_{\text{н}}$.

Вибираємо двигун стандартної серії АИР по довіднику із синхронною частотою обертання $n_{\text{н}} = 1500 \text{ об/хв}$. Результати вибору зводимо в табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Технічні параметри вибраного двигуна

Тип двигуна	$P_{\text{н}}$, кВт	ККД, %	$\cos \varphi$	$S_{\text{н}}$, %	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{п}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}$	Момент інерції, кг·м ²	Маса, кг
АИР56А4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00070	3,35

2.2. Розрахунок і вибір апаратури керування й захисту двигунів

Розрахунок апаратури керування й захисту токарно-револьверного верстата моделі АР41М почнемо з розрахунку автоматичного вимикача. Розрахуємо номінальні струми кожного із двигунів верстата, а потім визначимо розрахунковий струм верстата (на плані №31-35).

Визначимо номінальні струми кожного двигуна:

$$I_i = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot U_i \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, \quad (2.11)$$

де P_i – номінальна потужність, кВт; U_i – номінальна напруга, В; $\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності; η_i – ККД електроприймача.

$$I_{i1} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,905} = 42,55 \text{ А},$$

$$I_{i2} = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,73 \cdot 0,86} = 3,64 \text{ А},$$

$$I_{i3} = \frac{0,12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,63 \cdot 0,66} = 0,4 \text{ А}.$$

Визначимо розрахунковий струм верстата

$$I_p = I_{i1} + I_{i2} + I_{i3}.$$

$$I_p = 42,55 + 3,64 + 0,4 = 46,59 \text{ А}.$$

Вибір автоматичного вимикача виконуємо по наступних умовах:

по номінальному струму

$$I_{\delta} \geq I_{\delta}, \quad (2.12)$$

по струму теплового розщеплювача

$$I_{\delta} \geq 1,15 \cdot I_{\delta}, \quad (2.13)$$

по струму відсічки

$$I_{\delta} \geq 1,25 \cdot I_{\delta}, \quad (2.14)$$

де I_{δ} – піковий струм, А;

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\delta} = i_{\text{п.м}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{с}} \cdot i_{\text{н.м}}), \quad (2.15)$$

де $i_{\text{п.м}}$ – найбільший з пускових струмів двигунів у групі, А; $I_{\text{р}}$ – розрахунковий струм навантаження всієї групи ЕП, А; $i_{\text{н.м}}$ – номінальний струм двигуна з найбільшим пусковим струмом, А; $k_{\text{с}}$ – коефіцієнт використання, характерний для механізму з електродвигуном, що має найбільший пусковий струм.

$$i_{\text{п.м}} = I_{\text{н.макс}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (2.16)$$

де $I_{\text{н.макс}}$ – максимальний номінальний струм двигунів у групі, А; $K_{\text{п}}$ – кратність пуску, $K_{\text{п}} = 7$.

Знаходимо $i_{\text{п.м}}$:

$$i_{\text{п.м}} = 22 \cdot 7 = 154 \text{ А.}$$

Знаходимо піковий струм

$$I_{\text{п.п}} = 154 + (46,59 - 0,14 \cdot 22) = 197,51 \text{ А.}$$

$$I_{\text{т.р}} \geq 1,15 \cdot 46,59.$$

$$I_{\text{відс}} \geq 1,25 \cdot 197,51.$$

Подібним чином робимо вибір інших автоматів. Дані заносимо в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Вибір автоматичних вимикачів для ліній, що відходять від розподільчого пристрою до устаткування

Номер ЕП на плані	Данні верстату		Автоматичний вимикач			Тип вимикача
	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$1,15 \cdot I_p, \text{А}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{н.р.}}, \text{А}$	$K_{\text{от.р}}$	
1	2	3	4	5	6	7
1-4	28,1	32,3	100	40	7	ВА51-31
5-9	5,6	6,44	100	8	7	ВА51-31
10-11	85,2	97,9	100	100	7	ВА51-31
12-15, 18-20	41,8	48,1	100	50	7	ВА51-31
21-27	79,5	91,4	100	100	7	ВА51-31
28-30	26,6	30,6	100	31,5	7	ВА51-31
31-35	46,59	43,6	100	50	7	ВА51-31
36-39	42,5	48,9	100	50	7	ВА51-31
В1, В2	8,5	9,8	100	10	7	ВА51-31
П1, П2	6,6	7,6	100	8	7	ВА51-31

У цеху встановлено устаткування, яке необхідно захищати запобіжниками, відповідно зробимо їхній вибір.

Розрахунок плавкої вставки запобіжника для одиночних електропечей виконується по формулі:

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{ном.печ}}, \quad (2.17)$$

Як приклад, виконаємо розрахунок і вибір запобіжників для печі опору.

По [1] вибираємо запобіжник ПН2-250 з

$$I_{\text{ном.вст}} = 160 \text{ А} \geq I_{\text{ном.печ}} = 132,1 \text{ А}.$$

Аналогічний розрахунок провобимо для печі індукційної. Дані розрахунку й вибору заносимо в табл. 2.12.

Визначимо плавку вставку запобіжника для зварювального напівавтомата:

$$I_{\text{ном.вст}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\sigma \Delta t}, \quad (2.18)$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм зварювального трансформатора, прийнятий по каталогу для повторно-короткочасного режиму, А;

ТВ – тривалість включення, відн. од.

По [1] вибираємо запобіжник ПН2-100 з

$$I_{\text{ном}} = 63 \text{ А} > 1,2 \cdot 48,2 \cdot \sqrt{0,6} = 56,2 \text{ А}.$$

Таблиця 2.12

Вибір запобіжників для ліній, що відходять від розподільчого пристрою до устаткування

Номер ЕП по плану	Номінальний струм, А	Запобіжник		Тип запобіжника
		$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{вст}}, \text{А}$	
16, 17	48,2	100	63	ПН2-100
36	132,1	250	160	ПН2-250
37, 38	39,5	100	40	ПН2-100

2.3. Розрахунок і вибір перерізу проводів і кабелів, що живлять двигуни

Для силового кола токарно-револьверного верстата моделі АР41М за правилами ПУЕ вибираємо проводи по довідниковій літературі марки ПВ, прокладені в трубах. Вибір проводимо виходячи з номінального струму верстата й умов, що забезпечують механічну міцність

$$I_{\text{ном}}^2 \leq I_{\text{до}}^2, \quad (2.19)$$

$$I_{\text{до}}^2 \leq I_{\text{з}}^2$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм верстата, А; $I_{\text{з}}$ – номінальний струм апарату захисту, А.

Результат вибору зводимо в табл. 2.13.

Таблиця 2.13

Технічні параметри проводів АПВ

Марка проводу	Переріз, мм ²	Спосіб прокладки	Число проводів	Допустимий струм, А
АПВ	10	в трубах	4	50

Виконаємо перевірку умов вибору провідника:

$$46,59 \text{ A} < 50 \text{ A},$$

$$50 \text{ A} = 50 \text{ A}.$$

Умови виконуються.

Для кіл керування, сигналізації й місцевого освітлення використовуємо мідні багатожильні проводи. Вибір проводимо за умовами (2.19) і умовам, що забезпечують механічну міцність. Проводи вибираємо по довідниковій літературі. Результат вибору зводимо в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Технічні параметри проводу марки АПВ

Марка проводу	Переріз, мм ²	Спосіб прокладки	Допустимий струм, А
АПВ	6	відкрито	39

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

На промислових підприємствах у приміщеннях і на місцях виконання зовнішніх робіт передбачається робоче й аварійне штучне освітлення. Аварійне штучне освітлення у свою чергу буває евакуаційне й для продовження роботи. Для забезпечення електроенергією освітлювальних приладів необхідні освітлювальні мережі, які діляться на живильні й групові.

Вибір освітлювальних установок здійснюється з урахуванням всіх умов електропостачання проектного об'єкта. При цьому для забезпечення необхідної якості освітлення велике значення має вибір джерел живлення.

Звичайним завданням розрахунку освітленості є визначення числа й потужності світильників, необхідних для забезпечення заданого значення освітленості. Значно рідше виконуються перевірочні розрахунки, тобто визначення очікуваної освітленості при заданих параметрах установки.

Методи розрахунку освітлення:

1. метод коефіцієнта використання;
2. «точковий» метод;
3. метод питомої потужності.

Метод коефіцієнта використання застосовується в основному для розрахунків освітлення основних приміщень цехів, «точковим методом» перевіряється точність розрахунків освітлення методом коефіцієнта використання. А метод питомої потужності застосовується для розрахунків освітлення допоміжних приміщень.

Світлотехнічні розрахунки є одними з найбільш масових інженерних розрахунків; їх доводиться постійно виконувати багатьом тисячам людей, а у своїх первісних формах вони є досить трудомісткими.

У даному проєкті розглянемо розрахунок електроосвітлення цеху, що включає електроосвітлення основного приміщення й електроосвітлення допоміжних приміщень, а саме: термічної ділянки, приміщення венткамери, електромайстерню й приміщення КТП. Електроосвітлення головного приміщення, а також приміщень венткамери й електромайстерні виконано люмінесцентними лампами, а приміщення складу й КТП – лампами розжарювання.

3.1. Світлотехнічний розрахунок

Вихідні дані для розрахунків зведемо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вихідні дані

Найменування цеху	Розміри, м			Тип ламп
	Довжина А, м	Ширина В, м	Висота Н, м	
Ремонтний	42	36	9	люмінесцентні

Для головного приміщення цеху визначаємо площину нормування освітленості і її висота від підлоги Г=0,8, м, освітленість $E = 300$, лк, і коефіцієнт запасу $K_3=1,5$. Категорія приміщення по вибухонебезпеці й пожежній небезпеці типу Д – негорючі речовини й матеріали в холодному стані.

Вибираємо світильник ЛПО-2х80. ККД світильника дорівнює 0,68; застосовується з лампами потужністю 2х80 Вт; L:h розраховане по максимуму і дорівнює 1,4; габаритні розміри 1540х270х210 мм.

Розрахунок ведеться за методикою [8].

Визначаємо висоту h , м, між світильником і робочою поверхнею:

$$h = H - (h_{\text{на}} + h_{\text{д}}), \quad (3.1)$$

де H – повна висота приміщення, м; $h_{\text{на}}$ – відстань світильника від перекриття (звис), м; $h_{\text{д}}$ – висота робочої поверхні над підлогою, м.

$$h = 9 - (6 + 0,8) = 2,2 \text{ м.}$$

Розраховуємо попередню відстань $L_{\text{в}}$, м, між рядами світильників по формулі:

$$L_{\hat{A}} = \lambda \cdot h, \quad (3.2)$$

$$L_B = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \text{ м.}$$

Розраховуємо попередню відстань $l_{\hat{A}}$, м, від стін до крайніх рядів:

$$l_{\hat{A}} = (0,3...0,5) \cdot L_{\hat{A}}, \quad (3.3)$$

$$l_B = 0,4 \cdot 3,08 = 1,23 \text{ м.}$$

Обчислюємо попередню кількість рядів R по формулі:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l_{\hat{A}}}{L_{\hat{A}}} + 1, \quad (3.4)$$

де B – ширина приміщення, м.

$$R = \frac{36 - 2 \cdot 1,23}{3,08} + 1 = 11,89 \approx 12 \text{ рядів.}$$

Перевіряємо дотримання рівності:

$$L_{\hat{A}} \cdot (R - 1) + 2 \cdot l_{\hat{A}} = B, \quad (3.5)$$

$$3,08 \cdot (12 - 1) + 2 \cdot 1,23 = 36,34 \approx 36.$$

Невідповідність становить 34 см.

Розраховуємо попередню відстань $L_{\hat{A}}$, м, між світильниками в ряді по формулі:

$$L_{\hat{A}} = \frac{L_{\hat{A}}}{1,4} = \frac{3,08}{1,4} = 2,2 \text{ м.} \quad (3.6)$$

Визначаємо відстань $l_{\hat{A}}$, м, від стін до крайніх світильників ряду:

$$l_{\hat{A}} = (0,3...0,5) \cdot L_{\hat{A}} \text{ м.} \quad (3.7)$$

$$l_A = 0,4 \cdot 2,2 = 0,88 \text{ м.}$$

Попередня кількість світильників N_R розраховується по формулі:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L_A} + 1, \quad (3.8)$$

де A – довжина приміщення, м.

$$N_R = \frac{42 - 2 \cdot 0,88}{2,2} + 1 = 19,29 \approx 19 \text{ світильників.}$$

Перевіряємо дотримання рівності:

$$L_{\hat{A}} \cdot (N_R - 1) + 2 \cdot l_A = A, \quad (3.9)$$

$$2,2 \cdot (19 - 1) + 2 \cdot 0,88 = 41,36 \text{ м.}$$

Невідповідність становить 64 см.

Оскільки, при розрахунку використовуємо лінію, що світиться, то кількість світильників у ряді N_D буде визначатися по формулі:

$$N_D = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L_{\hat{N}\hat{A}}}, \quad (3.10)$$

де L_{CB} – довжина світильника, м.

$$N_D = \frac{42 - 2 \cdot 0,88}{1,54} = 26,12 \approx 26 \text{ світильників.}$$

Загальна кількість світильників знаходиться по формулі:

$$N = R \cdot N_D, \quad (3.11)$$

$$N = 12 \cdot 26 = 312 \text{ світильників.}$$

Приймаємо приблизні значення коефіцієнта відбиття від стін $\rho_c = 10\%$, стелі $\rho_i = 30\%$, робочої поверхні $\rho_d = 10\%$.

Індекс приміщення обчислюємо по формулі:

$$z = \frac{\hat{A} \cdot \hat{A}}{h \cdot (\hat{A} + \hat{A})} = \frac{42 \cdot 36}{2,2 \cdot (42 + 36)} = 8. \quad (3.11)$$

По [8] визначаємо коефіцієнт використання.

$$\eta = 33 \%$$

Обчислюємо світловий потік Φ , лм, необхідний для одного світильника по формулі:

$$\hat{O} = \frac{\hat{A} \cdot \hat{E}_z \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.12)$$

де E – нормована освітленість, лк; K_z – коефіцієнт запасу; S – площа приміщення, м²; η – коефіцієнт використання світлового потоку; N – кількість світильників.

$$\text{Тоді } \hat{O} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1512 \cdot 1,1}{312 \cdot 0,33} = 12461,5 \text{ лм.}$$

Визначаємо світловий потік однієї лампи Φ_l у світильнику

$$\Phi_l = \Phi / 2,$$

$$\Phi_l = 6230 \text{ лм.}$$

Вибираємо для світильника стандартну лампу, номінальний світловий потік якої не повинен відрізнятися від розрахованого більш ніж на -10%...+20%.

Визначимо похибку у розрахунках:

$$\Delta \hat{O} = \frac{\hat{O}_{\text{е}} - \hat{O}_{\text{е.нò}}}{\hat{O}_{\text{е.нò}}} \cdot 100,$$

$$\Delta \hat{O} = \frac{6230 - 5220}{5220} \cdot 100 = +19,3 \, \%.$$

Невідповідність входить у межі від -10% до +20%.

Параметри вибраної лампи наведемо в табл. 2.24.

Таблиця 3.2

Технічні параметри лампи

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Струм лампи, А	Світловий потік, лм	Довжина лампи, мм
ЛБ80-40	80	102	0,865	5220	1500

Виконаємо перевірку світлотехнічного розрахунку основного приміщення цеху точковим методом. Цей метод призначений для визначення освітленості в певних точках, так званих контрольних. Він найбільш придатний для забезпечення мінімальної освітленості, регламентованої нормами для великої частини освітлюваних об'єктів. Застосування точкового методу доцільно для розрахунку освітленості при підвищеній нерівномірності освітлення, а також для розрахунку освітленості для негоризонтальних поверхонь.

Для перевірки розрахунку точковим методом по масштабу визначаємо на плані значення відносної освітленості ϵ , лк.

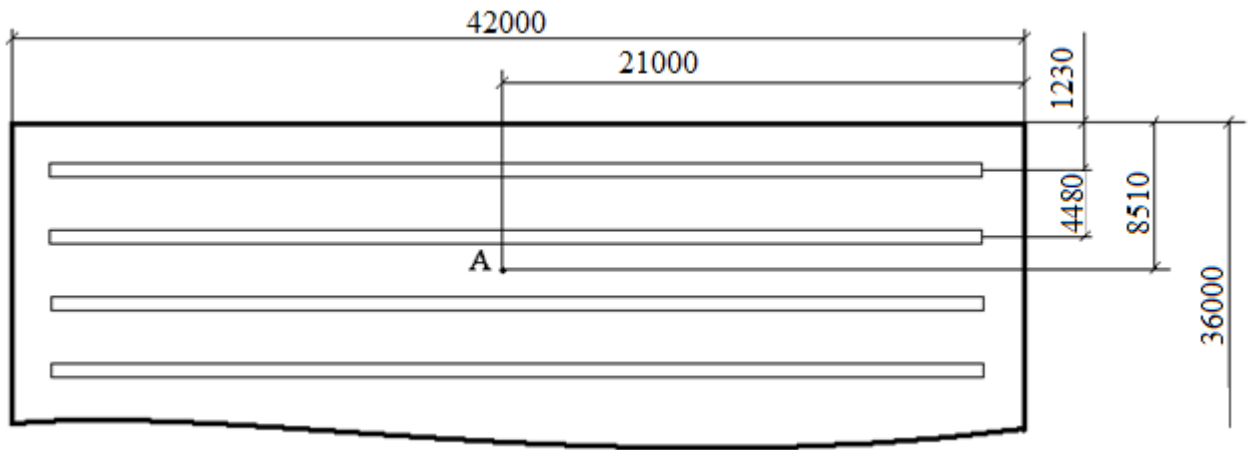


Рис. 3.1. План розташування ламп освітлення

Отримані значення зводимо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Визначення умовної освітленості

Напівряд	p	L	p'	L'	ε
1	5,62	24,32	1,7	6	20
2	1,88	24,32	0,4	6	75
3	1,88	24,32	0,4	6	75
4	5,62	24,32	1,7	6	20
					$\sum \varepsilon = 190$

Обчислимо світловий потік по формулі:

$$\hat{O} = \frac{1000 \cdot \hat{A} \cdot \hat{E}_{\zeta} \cdot h^2}{\mu \cdot \sum z}, \quad (3.13)$$

де μ – коефіцієнт, що враховує дію віддалених світильників і знаходиться в межах 1,1...1,2.

$$\hat{O} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 2,2^2}{1,1 \cdot 190} = 11463,15 \text{ лм.}$$

Оскільки, у світильнику дві лампи, то світловий потік однієї лампи становить:

$$\Phi_{\text{л}} = \Phi / 2,$$

$$\Phi_{\text{л}} = 11463,15 / 2 = 5731,5 \text{ лм.}$$

Визначимо похибку у розрахунках:

$$\Delta \hat{O} = \frac{\hat{O}_{\ddot{e}} - \hat{O}_{\ddot{e}.\tilde{n}\hat{o}}}{\hat{O}_{\ddot{e}.\tilde{n}\hat{o}}} \cdot 100,$$

$$\Delta \hat{O} = \frac{5731,5 - 5220}{5220} \cdot 100 = +9,8 \text{ \%}.$$

Невідповідність входить у межі від -10% до +20%.

Розрахунки освітлення в допоміжних приміщеннях будемо виконувати по методу питомої потужності. Розглянемо для прикладу, розрахунок освітлення в такому допоміжному приміщенні як електромайстерня.

Вихідні дані для розрахунків наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Вихідні дані

Назва приміщення	Розміри			Тип ламп
	довжина	ширина	висота	
електромайстерня	6	10	4	люмінесцентні

Для даного приміщення визначаємо площину нормування освітленості і її висоту від підлоги Г-0,8, м, освітленість $E = 75$ лк, і коефіцієнт запасу $K_3=1,3$.

Вибираємо світильник ЛПБ-2х80. ККД світильника дорівнює 0,68; застосовується з лампами потужністю 2х80 Вт; L:h розраховане по максимуму і дорівнює 1,4; габаритні розміри 1540х270х210 мм.

Визначаємо висоту h, м, між світильником і робочою поверхнею

$$h = H - (h_{ce} + h_p) \quad (3.14)$$

$$h = 4 - (1,2 + 0,8) = 2 \text{ м}.$$

Визначаю площу приміщення по формулі

$$S = A \cdot B, \quad (3.15)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м.

$$S = 6 \cdot 10 = 60 \text{ м}^2.$$

Вибираємо з довідників питому потужність $P_{num} = 6,5$ Вт/м².

Обчислюємо потужність лампи по формулі:

$$E_{\text{НА}} = \frac{\delta_{\text{ред}} \cdot S}{n}, \quad (3.16)$$

де n – кількість ламп.

$$E_{\text{НА}} = \frac{6,5 \cdot 60}{12} = 32,5 \text{ Вт.}$$

Вибираємо для світильника стандартну лампу. Результати вибору зводимо в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Технічні параметри люмінесцентної лампи

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Струм лампи, А	Світловий потік, лм	Довжина лампи, мм
ЛБ36	36	102	0,43	2800	1200

Розглянемо приклад розрахунку освітлення такого допоміжного приміщення як КТП. Методика розрахунків аналогічна як і для приміщення електромайстерні, тільки для КТП вибираємо лампи розжарювання.

Вихідні дані для розрахунків наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Вихідні дані

Назва приміщення	Розміри			Тип ламп
	довжина	ширина	висота	
КТП	6	7	8	розжарювання

Для даного приміщення визначаємо площину нормування освітленості і її висоту від підлоги $H=0,8$, м, освітленість $E=100$, лк, і коефіцієнт запасу $K_3=1,5$.

Вибираємо світильник ПСХ-60 із пластмасовим корпусом зі сталевим відбивачем, частково пилезахищений із кріпленням на гак. Технічні параметри світильника зводимо в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Технічні параметри світильника «Астра-11»

Тип	Номінальна потужність, Вт	Габарити (ДхН), мм	Маса, кг	Захисний кут, град
ПСХ-60	100	208х315	1,4	30

Визначаємо висоту h , м, між світильником і робочою поверхнею по формулі (3.14)

$$h = 8 - (3,2 + 0,8) = 4 \text{ м.}$$

Визначаю площу приміщення по формулі (3.15)

$$S = 6 \cdot 7 = 42 \text{ м}^2.$$

Вибираємо питому потужність $P_{\text{пит}} = 2,8 \text{ Вт/м}^2$.

Обчислюємо потужність лампи по формулі (3.16):

$$P_{\text{НА}} = \frac{2,8 \cdot 42}{8} = 14,7 \text{ Вт.}$$

Вибираємо стандартну лампу. Результати вибору зводимо в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Технічні параметри лампи розжарювання

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга, В	Світловий потік, лм
В 220-230-15-2	15	220	110

Аналогічно розраховуємо освітлення в приміщеннях венткамери.

Таблиця 3.9

Вихідні дані

Назва приміщення	Розміри			Тип ламп
	довжина	ширина	висота	
венткамера	6	6	6	люмінесцентні

Для даної ділянки визначаємо площину нормування освітленості і її висоту від підлоги $h = 0,8$, м, освітленість $E = 50$, лк, і коефіцієнт запасу $K_3 = 1,5$.

Вибираємо світильник ЛПБ-2х80. ККД світильника дорівнює 0,68; застосовується з лампами потужністю 2х80 Вт; L:h розраховане по максимуму і дорівнює 1,4; габаритні розміри 1540х270х210 мм.

Визначаємо висоту h , м, між світильником і робочої поверхня по формулі (3.14)

$$h = 6 - (1,2 + 0,8) = 4 \text{ м.}$$

Визначаю площу приміщення по формулі (3.15)

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

Вибираємо питому потужність $P_{\text{ном}} = 4,8 \text{ Вт/м}^2$.

Обчислюємо потужність лампи по формулі (3.16)

$$P_{\text{ЛА}} = \frac{4,8 \cdot 36}{6} = 28,8 \text{ Вт.}$$

Вибираємо стандартну лампу. Результати вибору зводимо в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Технічні параметри люмінесцентної лампи

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Струм лампи, А	Світловий потік, лм	Довжина лампи, мм
ЛБ36	36	102	0,43	2800	1200

Оскільки, і приміщення венткамери й приміщення термічної ділянки відрізняються в розмірах у два рази, а розрахунок освітлення такий же, то для приміщення термічної ділянки необхідно 12 ламп типу ЛБ36 потужністю 36 Вт.

Розрахунок аварійного освітлення цеху виконуємо за методикою [8].

Аварійне освітлення може бути евакуаційним і для продовження роботи. Для цеху вибираємо евакуаційне аварійне освітлення.

Для аварійного евакуаційного освітлення необхідно створити освітленість 0,5 лк. Світильники евакуаційного висвітлення виділяємо із числа світильників робочого освітлення. Кількість аварійних ламп визначаємо по формулі:

$$N = \frac{A \cdot \hat{E}_c \cdot S \cdot z}{\hat{O} \cdot \eta}, \quad (3.17)$$

де E – значення аварійної освітленості, лк.

$$N = \frac{0,5 \cdot 1,5 \cdot 1512 \cdot 1,1}{5220 \cdot 0,33} = 8 \text{ ламп.}$$

3.2. Електричний розрахунок освітлення цеху

Розрахунок виконуємо за методикою [8].

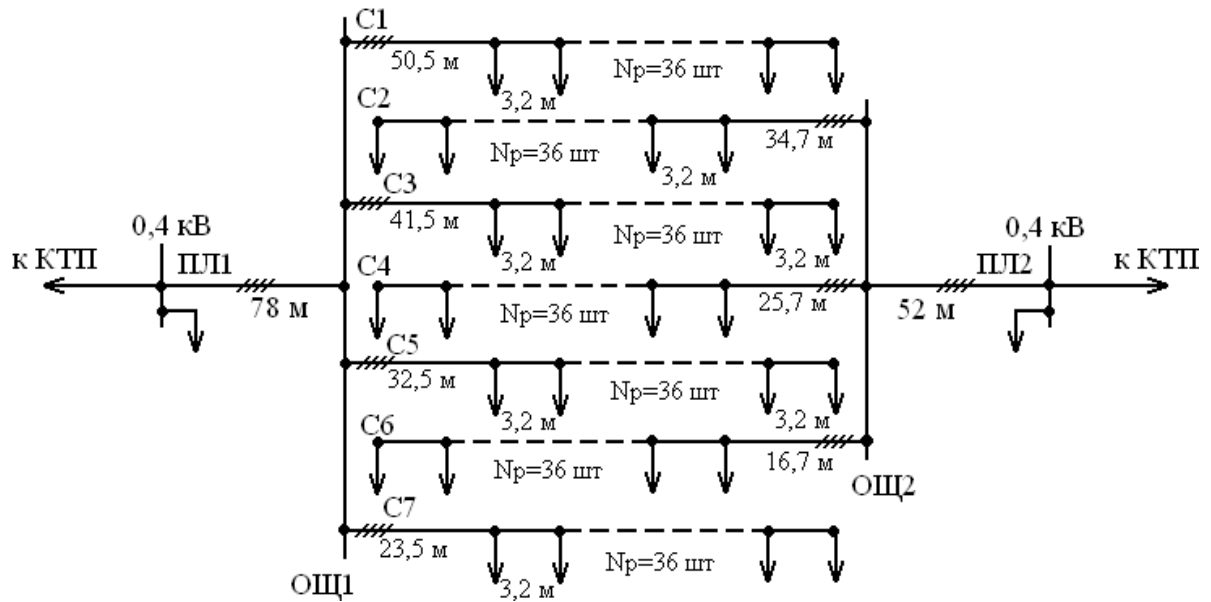


Рис. 3.2. Схема освітлювальної мережі

Параметри групових ліній зведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Параметри групових ліній

Параметри лінії	Лінія						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
$l_1, \text{м}$	50,5	34,7	41,5	25,7	32,5	16,7	23,5
$l, \text{м}$	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
$N_p, \text{шт.}$	36	36	36	36	36	36	36
$P_{\text{ном}}, \text{Вт}$	2x80	2x80	2x80	2x80	2x80	2x80	2x80
$\cos\varphi$	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

Визначимо втрату напруги в трансформаторі по формулі:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_{\hat{e},\hat{a}} \cdot \cos \varphi_T + U_{\hat{e},\hat{\delta}} \cdot \sin \varphi_T), \quad (3.18)$$

де β_T – коефіцієнт завантаження трансформатора, для масляного $\beta_T=0,85$;

$\cos \varphi_T$ – коефіцієнт потужності навантаження трансформатора;

$U_{\hat{e},\hat{a}}$, $U_{\hat{e},\hat{\delta}}$ – активні й реактивні складові напруги короткого замикання, визначені по формулах:

$$U_{\hat{e},\hat{a}} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{\hat{m}}} \cdot 100; \quad (3.19)$$

$$U_{\hat{e},\hat{\delta}} = \sqrt{U_{\hat{e}}^2 - U_{\hat{e},\hat{a}}^2}, \quad (3.20)$$

де ΔP_{κ} – втрати короткого замикання трансформатора, кВт; $S_{\hat{m}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

По формулах (3.18), (3.19) і (3.20) визначимо втрату напруги в трансформаторі (вибраного в подальших розрахунках):

$$U_{\hat{e},\hat{a}} = \frac{7,6}{630} \cdot 100 = 1,21 \%;$$

$$U_{\hat{e},\hat{\delta}} = \sqrt{5,5^2 - 1,21^2} = 5,37 \%;$$

$$\Delta U_T = 0,52 \cdot (1,21 \cdot 0,72 + 5,37 \cdot 0,69) = 2,38 \%.$$

Допустиму втрату напруги знайдемо по формулі

$$\Delta U_{\hat{a}\hat{n}} = 10 - \Delta U_{\hat{o}}, \quad (3.21)$$

$$\Delta U_{\hat{a}\hat{n}} = 10 - 2,38 = 7,62 \%.$$

Визначимо розрахункові активні навантаження ліній за умовою:

$$P_{\hat{o}} = \hat{E}_{\hat{i}} \cdot \sum_{z=1}^n \hat{E}_{i\hat{o}\hat{a}^z} \cdot P_{\hat{m}^z}, \quad (3.22)$$

де $\hat{E}_{\hat{i}}$ – коефіцієнт попиту, $\hat{E}_{\hat{i}} = 1$;

$\hat{E}_{i\hat{o}\hat{a}^z}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в пускорегулюючій апаратурі i -ої газорозрядної лампи, $\hat{E}_{i\hat{o}\hat{a}^z} = 1,2$;

$P_{\hat{m}^z}$ – номінальна потужність i -ої лампи, Вт;

n – кількість ламп, що живляться по лінії, шт.

лінія С1 $P_{\hat{o}1} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\hat{o}80) = 6,9$ кВт;

лінія С2 $P_{\hat{o}2} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\hat{o}80) = 6,9$ кВт;

$$\text{лінія С3} \quad D_{\delta 3} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\delta 80) = 6,9 \text{ кВт};$$

$$\text{лінія С4} \quad D_{\delta 4} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\delta 80) = 6,9 \text{ кВт};$$

$$\text{лінія С5} \quad D_{\delta 5} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\delta 80) = 6,9 \text{ кВт};$$

$$\text{лінія С6} \quad D_{\delta 6} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\delta 80) = 6,9 \text{ кВт};$$

$$\text{лінія С7} \quad D_{\delta 7} = 1 \cdot 1,2 \cdot 36 \cdot (2\delta 80) = 6,9 \text{ кВт}.$$

Для живильної лінії:

$$D_{\delta .i1} = 4 \cdot 6,9 = 27,6 \text{ кВт};$$

$$D_{\delta .i2} = 3 \cdot 6,9 = 20,7 \text{ кВт}.$$

Власні моменти ліній знайдемо по формулі:

$$\dot{I} = D_{\delta} \cdot L, \quad (3.23)$$

де L – довжина лінії, м, визначається по формулі:

$$L = l_1 + l \cdot \frac{N_{\delta} - 1}{2}, \quad (3.24)$$

де l_1 – довжина ділянки лінії від освітлювального щитка до першого світильника, м; l – відстань між сусідніми світильниками, м; N_{δ} – число світильників в одному ряді, шт.

Виходячи із цього знайдемо власні моменти ліній:

$$\text{лінія С1} \quad \dot{I}_1 = 6,9 \cdot (50,5 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 734,9 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\text{лінія С2} \quad \dot{I}_2 = 6,9 \cdot (34,7 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 625,8 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\text{лінія С3} \quad \dot{I}_3 = 6,9 \cdot (41,5 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 672,8 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\text{лінія С4} \quad \dot{I}_4 = 6,9 \cdot (25,7 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 563,7 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\text{лінія С5} \quad \dot{I}_5 = 6,9 \cdot (32,5 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 610,7 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\text{лінія С6} \quad \dot{I}_6 = 6,9 \cdot (16,7 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 501,6 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\text{лінія С7} \quad \dot{I}_7 = 6,9 \cdot (23,5 + 3,2 \cdot \frac{36-1}{2}) = 548,6 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

лінія ПЛ1 $\dot{I}_{\text{л}1} = 27,6 \cdot 78 = 2152,8 \text{ кВт} \cdot \text{м};$

лінія ПЛ2 $\dot{I}_{\text{л}2} = 20,7 \cdot 52 = 1076,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$

Визначимо наведені моменти навантажень для живильні лінії по формулі:

$$\dot{I}_{\text{л}0} = \sum \dot{I} + \sum \dot{a} \cdot \dot{a}, \quad (3.25)$$

де $\sum \dot{I}$ – сума моментів даного й всіх наступних по напрямку струму ділянок з тим же числом проводів лінії, що й на даній ділянці, кВт м;

$\sum \dot{a} \cdot \dot{a}$ – сума наведених моментів ділянок з іншим числом проводів кВт м;

$\dot{a}$ – коефіцієнт приведення моментів, приймаємо $\dot{a} = 1,85$.

$$\dot{I}_{\text{л}1} = 2152,8 + 734,9 + 672,8 + 610,7 + 548,6 = 4719,8 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\dot{I}_{\text{л}2} = 1076,4 + 625,8 + 563,7 + 501,6 = 2767,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Площу перерізу жил кабелів вибираємо по формулі:

$$F = \frac{\dot{I}_{\text{л}0}}{\tilde{N} \cdot \Delta U_{\text{аіі}}}, \quad (3.26)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт, величину якого приймаємо, $C=44$.

$$F_1 = \frac{4719,8}{44 \cdot 7,62} = 14,1 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо $F_1 = 16 \text{ мм}^2$. Вибираємо кабель АВВГ-3х16+1х10 з $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$.

$$F_2 = \frac{2767,5}{44 \cdot 7,62} = 8,3 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо $F_2 = 10 \text{ мм}^2$. Вибираємо кабель АВВГ-3х10+1х6 з $I_{\text{доп}} = 42 \text{ А}$.

Виконаємо розрахунок живильних ліній по допустимому нагріванню. Для цього знайдемо середньозважене значення коефіцієнта потужності навантаження по формулі:

$$\cos \varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i \cdot P_{pi}}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (3.27)$$

де $\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності навантаження i -ої лінії;

P_{pi} – розрахункова потужність освітлювального навантаження i -ої лінії;

n – кількість групових ліній.

$$\cos\varphi_1 = \frac{0,95 \cdot 4 \cdot 6,9}{4 \cdot 6,9} = 0,95.$$

Знайдемо розрахунковий струм лінії:

$$I_{\delta 1} = \frac{27,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 44,1 \text{ А.}$$

Оскільки, $60 \text{ А} > 44,1 \text{ А}$, то вибраний по допустимій втраті переріз жил кабелю проходить по нагріванню розрахунковим струмом.

Аналогічно проводимо розрахунки для живильної лінії ПЛ2.

$$\cos\varphi_2 = \frac{0,95 \cdot 3 \cdot 6,9}{3 \cdot 6,9} = 0,95.$$

$$I_{\delta 2} = \frac{20,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 33,1 \text{ А.}$$

Оскільки, $42 \text{ А} > 33,1 \text{ А}$, то вибраний по допустимій втраті переріз жил кабелю проходить по нагріванню розрахунковим струмом.

Фактичну втрату напруги визначаємо по виразу:

$$\Delta U = \frac{I}{\tilde{N} \cdot F}, \quad (3.28)$$

Для живильної лінії ПЛ1

$$\Delta U_1 = \frac{2152,8}{44 \cdot 25} = 1,96 \text{ \%}.$$

Для живильної лінії ПЛ2

$$\Delta U_2 = \frac{1076,4}{44 \cdot 16} = 1,53 \text{ \%}.$$

Обчислюємо величини, що залишилися, допустимих втрат напруги, по яких розраховуються групові лінії:

$$\Delta U'_{\text{гн} 1} = 7,62 - 1,96 = 5,66 \text{ \%};$$

$$\Delta U'_{\text{гн} 2} = 7,62 - 1,53 = 6,09 \text{ \%}$$

Визначаємо площу перерізу провідників групових ліній С1 - С7 по формулі (3.26)

$$\text{лінія С1} \quad F_1 = \frac{734,9}{14,7 \cdot 5,66} = 8,8 \text{ мм}^2.$$

$$\text{лінія С2} \quad F_2 = \frac{625,8}{14,7 \cdot 6,09} = 7 \text{ мм}^2.$$

$$\text{лінія С3} \quad F_3 = \frac{672,9}{14,7 \cdot 5,66} = 8,1 \text{ мм}^2.$$

$$\text{лінія 34} \quad F_4 = \frac{563,7}{14,7 \cdot 6,09} = 6,3 \text{ мм}^2.$$

$$\text{лінія С5} \quad F_5 = \frac{610,7}{14,7 \cdot 5,66} = 7,3 \text{ мм}^2.$$

$$\text{лінія С6} \quad F_6 = \frac{501,6}{14,7 \cdot 6,09} = 5,6 \text{ мм}^2.$$

$$\text{лінія С7} \quad F_7 = \frac{548,9}{14,7 \cdot 5,66} = 6,6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо для ліній С1 і С3 провід АПВ-3(1х10) з $I_{\text{доп}} = 50 \text{ А}$, для ліній С2, С4, С5 і С7 провід АПВ-3(1х8) з $I_{\text{доп}} = 43 \text{ А}$ й для лінії С6 провід АПВ-3(1х6) з $I_{\text{доп}} = 36 \text{ А}$.

Знаходимо розрахунковий струм ліній. Оскільки, потужності ліній, напруга й коефіцієнт потужності однакові, то струм на всіх лініях також буде однаковий

$$I_{\delta} = \frac{6,9}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 0,95} = 19,1 \text{ А}.$$

Вибрані перерізи задовольняють умовам нагрівання, тому що $50 \text{ А} > 19,1 \text{ А}$, $43 \text{ А} > 19,1 \text{ А}$ і $36 \text{ А} > 19,1 \text{ А}$. Але економічно доцільно застосовувати для всіх групових лініях провід АПВ-3(1х6).

Вибираємо автоматичний вимикач на всі лінії. Результати вибору зводимо в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Технічні дані автоматичного вимикача з комбінованим розщеплювачем

Тип вимикача	Номінальний струм, А		Кратність струму відсічки відносно $I_{\text{ном.р}}$
	Вимикача	Розщеплювача	
ВА 51-25	25	20	10

Вибираємо автоматичний вимикач для живильної лінії ПЛ1. Результати вибору зводимо в табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Технічні дані автоматичного вимикача з комбінованим розщеплювачем

Тип вимикача	Номінальний струм, А		Кратність струму відсічки відносно $I_{ном.р}$
	Вимикача	Розщеплювача	
ВА 51-31	100	50	10

Вибираємо автоматичний вимикач для живильної лінії ПЛ2. Результати вибору зводимо в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

Технічні дані автоматичного вимикача з комбінованим розщеплювачем

Тип вимикача	Номінальний струм, А		Кратність струму відсічки відносно $I_{ном.р}$
	Вимикача	Розщеплювача	
ВА 51-31	100	40	10

Знаходимо розрахункові струми у всіх допоміжних приміщеннях

$$I_{\delta 1}^2 = I_{\delta 2}^2 = \frac{12 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 0,95} = 2,7 \text{ А};$$

$$I_{\delta 3}^2 = \frac{8 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 1} = 2,1 \text{ А};$$

$$I_{\delta 4}^2 = \frac{4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 1} = 1,05 \text{ А}.$$

Сумарний розрахунковий струм всіх допоміжних приміщень дорівнює

$$I_{\delta}^2 = 2,7 + 2,7 + 2,1 + 1,05 = 8,55 \text{ А}.$$

Вибираємо ввідний автоматичний вимикач для всіх допоміжних приміщень. Результати вибору зводимо в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

Технічні дані автоматичного вимикача з комбінованим розщеплювачем

Тип вимикача	Номінальний струм, А		Кратність струму відсічки відносно $I_{ном.р}$
	Вимикача	Розщеплювача	
ВА 51-29	63	10	-

Вибираємо автоматичні вимикачі для кожного допоміжного приміщення. Оскільки, розрахункові струми допоміжних приміщень дуже малі, то для всіх

приміщень вибираємо однакові автоматичні вимикачі. Результати вибору зводимо в табл. 3.16.

Таблиця 3.16

Технічні дані автоматичного вимикача з комбінованим розщеплювачем

Тип вимикача	Номинальний струм, А		Кратність струму відсічки відносно $I_{ном.р}$
	Вимикача	Розщеплювача	
ВА 51-29	63	6,3	-

Знаходимо розрахунковий струм для аварійного освітлення:

$$I_{\text{д.а}}^2 = \frac{8 \cdot 80}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 1} = 1,7 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач для аварійного освітлення. Результати вибору зводимо в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

Технічні дані автоматичного вимикача з комбінованим розщеплювачем

Тип вимикача	Номинальний струм, А		Кратність струму відсічки відносно $I_{ном.р}$
	Вимикача	Розщеплювача	
ВА 51-29	63	6,3	-

Вибираємо щитки освітлення для живильних ліній ПЛ1 і ПЛ2, для допоміжних приміщень і для аварійного освітлення. Результати вибору зводимо в табл. 3.18.

Таблиця 3.18

Технічні характеристики щитків освітлення

Тип панелі	Номинальний струм, А і кількість приєднань	Комутаційні й захисні апарати
ЩО70-07	250x4	Роз'єднувачі (один на два приєднання), автоматичні вимикачі

4. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

При розрахунку електричних навантажень необхідно мати дані про призначення (технологічні, сантехнічні, ремонтні, допоміжні), взаємозв'язки у виконуваному технологічному процесі (незв'язані, що відносяться до потоково-транспортних систем, агрегатовані і т.п.), вимоги щодо безперебійності живлення, номінальну потужність і режим роботи електроустановок і окремих ЕП, а також відомості про їх розташування в цеху або на окремих виробництвах.

Для зручності пошуку електроприймачів на плані їх рекомендується пронумерувати у зростаючому порядку зліва направо, зверху вниз, групуючи по відділеннях, дільницях, виробничих зонах з урахуванням технологічних особливостей об'єкта. Передбачається, що виділені технологічні підрозділи надалі будуть живитися від окремих розподільних шаф (ШР), магістральних або розподільних шинопроводів (ШМА, ШРА), щитів і шаф станцій управління (ЩСУ, ШСУ) або розподільчих щитів (РЩ), трансформаторних підстанцій (ТП), число і місце розташування яких уточнюватиметься в процесі проектування.

При розв'язанні основних задач з електропостачання необхідно знати:

1. Середні навантаження:

а) за максимально завантажену зміну (активне $P_{зм}$, реактивне $Q_{зм}$, повне $S_{зм}$ і струмове $I_{зм}$);

б) за рік (активне $P_{ср}$, реактивне $Q_{ср}$, повне $S_{ср}$, струмове $I_{ср}$). Активне $P_{зм}$ і реактивне $Q_{зм}$ навантаження використовуються для визначення розрахункових активного P_m і реактивного Q_m навантажень, а величини $P_{ср}$ і $Q_{ср}$ – для визначення витрат і втрат електроенергії за рік.

2. Максимальні навантаження:

а) тривалістю 30 хв (розрахункове активне P_m , реактивне Q_m , повне S_m , струмове I_m).

Ці величини необхідні для розрахунку перерізів провідників за нагрівом і економічною густиною струму, вибору потужності трансформаторів, перетворювачів, джерел реактивної потужності та іншого електромережного устаткування, визначення втрат і відхилень напруги, максимальних втрат потужності й інших характеристик системи електропостачання;

б) тривалістю 1-2 с (зазвичай визначається струмове I_n або повне S_n , рідше активне P_n і реактивне Q_n навантаження). Ці навантаження, звані „піковими”, необхідні для оцінки коливань напруги, вибору плавких вставок, уставок розчеплювачів автоматичних вимикачів і струму спрацьовування захисних пристроїв, перевірки електричних мереж за умов самозапуску електродвигунів.

Для визначення розрахункових електричних навантажень промислових об'єктів використовуються методи: коефіцієнта попиту; упорядкованих діаграм (метод коефіцієнтів використання і максимуму); статистичний.

Кінцевими результатами цього етапу є:

- розрахункові навантаження технологічних ділянок, створювані силовими електроприймачами напругою до 1 кВ;

- розрахункові навантаження, створювані освітлювальними установками на кожній ділянці і об'єкті в цілому;

- розрахункове навантаження в цілому по об'єкту (цеху, групи цехів і т.п.), включаючи освітлювальні установки і ЕП на напругу більше 1кВ;

- щільність навантаження (σ , кВт/м²) на окремих ділянках і об'єкті в цілому;

- картограма навантажень на плані об'єкта (цеху, групи цехів і т.п.) з виділенням навантажень освітлювальних і силових електроустановок, а також навантажень високовольтних ЕП.

У графічній частині результати розрахунку подаються у вигляді картограм навантажень (активних і реактивних), суміщених з планом розташування

технологічних механізмів і ЕП. Картографи використовуються для розміщення основних елементів системи електропостачання (РП, КТП, ШМА, ШРА, ЩР, ККУ та інші) на плані об'єкта.

Розрахунок електричних навантажень у даному проєкті зробимо за допомогою методу розрахункових коефіцієнтів (або методу упорядкованих діаграм) за табличною формою (табл. 4.1).

Метод упорядкованих діаграм покладений в основу «Вказівок з визначення електричних навантажень в промислових установках». За розрахункове активне навантаження приймають його півгодинний максимум, який визначається на всіх рівнях розподільних і постачальних мереж за коефіцієнтами використання і максимуму номінальної активної потужності робочих електроприймачів.

Для виконання розрахунків розбиваємо електроприймачі на групи по вузлах живлення (ШР, ШС). Вихідні дані для розрахунку – графі 1-6 заповнюємо на підставі отриманих даних і відповідно до довідкових матеріалів – графі 5-6.

Для електродвигунів з повторно-короткочасним режимом роботи їхня повна потужність приводиться до тривалого режиму:

$$D_t = D_i \cdot \sqrt{\bar{O}\bar{A}}, \quad (4.1)$$

де D_i – паспортна потужність електродвигуна, кВт;

TB – повторність включень у відносних одиницях.

Для зварювальних трансформаторів:

$$D_t = S_i \cdot \sqrt{\bar{O}\bar{A}} \cdot \cos \varphi_i, \quad (4.2)$$

де S_i – паспортна потужність трансформатора, кВ·А;

$\cos \varphi_i$ – паспортний коефіцієнт потужності трансформатора.

Приведені потужності записуються в графу 3.

У графах 7-8 розраховуємо активну й реактивну потужності:

$$D_{\tilde{n}\tilde{o}} = \hat{E}_{\hat{a}} \cdot D_t, \quad (4.3)$$

$$Q_{\tilde{n}\tilde{o}} = \hat{E}_{\hat{a}} \cdot D_t \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.4)$$

де $\hat{E}_{\hat{a}}$ – коефіцієнт використання;

D_t – номінальна потужність одного електроприймача, кВт.

У підсумковому рядку визначаємо суму цих величин.

Визначимо груповий коефіцієнт використання $\hat{E}_{\hat{a}}$ для даного вузла:

$$\hat{E}_{\hat{a}} = \sum \hat{E}_{\hat{a}} \cdot D_i / D_i, \quad (4.5)$$

Значення $\hat{E}_{\hat{a}}$ заноситься в графу 5 підсумкового рядка.

Для наступного визначення ефективного числа електроприймачів $n_{\hat{a}\hat{o}}$ – у графі 9, порядково визначаємо для кожної групи електроприймачів:

$$n \cdot p_i^2, \quad (4.6)$$

де n – кількість електроприймачів одного найменування, шт.;

p_n – потужність індивідуального електроприймача, кВт.

У підсумковому рядку визначаємо суму цієї величини.

Визначаємо ефективне число електроприймачів для підсумкового рядка графі 10:

$$n_{\hat{a}\hat{o}} = \sum D_i^2 / \sum n \cdot \sum p_i^2, \quad (4.7)$$

Знайдене значення n_{ef} округляється до найближчого найменшого числа.

Залежно від середньозваженого коефіцієнта використання K_e й ефективного числа електроприймачів n_{ef} , по таблицям довідникових даних, визначаємо коефіцієнт навантаження K_p і заносимо в підсумковий рядок графі 11.

Активну розрахункову потужність P_p , підключених до вузла живлення електроприймачів визначаємо по формулі:

$$P_{\hat{o}} = \hat{E}_{\hat{o}} \sum \hat{E}_{\hat{a}} \cdot D_i, \quad (4.8)$$

Розрахункове значення заносимо в підсумковий рядок графі 12.

Визначимо розрахункову реактивну потужність $Q_{\hat{o}}$ виходячи з наступних умов:

$$\text{якщо } n_{\hat{a}\hat{o}} \leq 10 \text{ то } Q_{\hat{o}} = 1,1 \cdot \hat{E}_{\hat{a}} \cdot D_i \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.9)$$

$$\text{якщо } n_{\hat{a}\hat{o}} > 10 \text{ то } Q_{\hat{o}} = \hat{E}_{\hat{a}} \cdot D_i \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4.10)$$

Отриманий результат заносимо в графу 13.

У графу 14 заносимо значення повної потужності S_p , що визначається з виразу:

$$S_{\delta} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (4.11)$$

Розрахунковий струм групи електроприймачів розраховується:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (4.12)$$

де U_n – номінальна напруга мережі, кВ.

Як приклад, зробимо розрахунок для групи верстатів А1-1.

Аналогічно виконуємо розрахунок і для інших електроприймачів у цій групі. У підсумковому рядку визначимо суму цих величин.

Визначимо загальну потужність кожної групи верстатів заживлених від шинопроводу А1-1.

Автомат револьверний

$$P_i = 4 \cdot 21,2 = 84,8 \text{ кВт.}$$

Верстат токарний

$$P_i = 5 \cdot 19,0 = 95,0 \text{ кВт.}$$

Верстат повздовжньо-фрезерний

$$P_i = 3 \cdot 40,5 = 121,5 \text{ кВт.}$$

Визначимо груповий коефіцієнт використання K_g для даного вузла живлення:

$$\hat{E}_g = \frac{0,16 \cdot 84,8 + 0,16 \cdot 95,0 + 0,12 \cdot 121,5}{84,8 + 95,0 + 121,5} = 0,14.$$

Аналогічно робимо розрахунок і для інших груп електроприймачів. У підсумковому рядку табл. 4.1 визначаємо суму цих величин для всього вузла.

Визначимо ефективне число електроприймачів для підсумкового рядка табл. 4.1:

$$n_{\hat{a}\hat{o}} = \frac{(84,8 + 95,0 + 121,5)^2}{(4 \cdot 21,2)^2 + (5 \cdot 19,0)^2 + (3 \cdot 121,5)^2} = 10,7 \text{ шт.}$$

Знайдене значення n_{ef} округляється до найближчого найменшого числа.

Приймаємо $n_{ef} = 10,0$ шт.

Залежно від середньозваженого коефіцієнта використання K_e й ефективного числа електроприймачів n_{ef} , за довідниковими даними визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження K_p і заносимо в підсумковий рядок табл. 4.1.

Визначаємо розрахункову активну потужність P_p , підключених до вузла живлення електроприймачів:

$$P_{\delta} = 1,65 \cdot 43,3 = 71,5 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність Q_p , квар виходячи з умови $n_{ef} > 10$:

$$Q_{\delta} = 1,0 \cdot 71,6 = 71,6 \text{ кВт.}$$

Отриманий результат заносимо в підсумкову рядки.

Розрахуємо значення повної потужності S_p , кВА яка визначається з виразу:

$$S_{\delta} = \sqrt{71,5^2 + 71,6^2} = 101,2 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Розрахунковий струм I_p , А групи електроприймачів, до даного вузла розраховується:

$$I_{\delta} = \frac{101,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 153,8 \text{ А.}$$

Таблиця 4.1

Розрахунок силових навантажень цеху

Вихідні дані						Розрахункові величини			Ефективне число ЕП	Коефіцієнт розрахунку навантаження K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, А	
Згідно завдання				Довідникові дані		$K_v \cdot P_n$	$K_v \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$	$n \cdot P_n^2$	$n_e = (\sum P_n)^2 / \sum n \cdot P_n^2$		Активна, кВт	Реактивна, кВАр	Повна, кВА	$I_p = S_p / \sqrt{3} \cdot U_n$	
Найменування	Кількість ЕП, шт n	номінальна		коефіцієнт використання K_v	коефіцієнт						$P_p = K_p \cdot K_v \cdot P_n$	$Q_p = 1,1 \cdot K_v \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$ при $n_e \leq 10$ $Q_p = K_v \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$ при $n_e \geq 10$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$		
1	2	3	4		5	6		7	8	9	10	11	12	13	14

ШС-1

Верстати токарні	5	22	110	0,16	0,54	1,56	17,6	27,43	2420,0						
Верстати повздовжньо-фрезерні	3	40,5	121,5	0,112	0,50	1,73	14,58	25,25	4920,8						
Автомати револьверні	4	21,2	84,8	0,16	0,52	1,64	13,57	22,29	1797,8						
Всього	12		316,3	0,14			45,75	74,97	9138,5	10	1,65	75,48	74,97	106,39	153,37

ШС-2

Верстати повздовжньо-фрезерні	4	40,5	162	0,12	0,5	1,73	19,44	33,67	6561,0						
Автомати револьверні	3	21,2	63,6	0,16	0,52	1,64	10,18	16,72	1348,3						
Верстати вертикально-сверлильні	2	12,7	25,4	0,14	0,5	1,73	3,56	6,16	322,6						
Всього	9		251	0,13			33,17	56,55	8231,9	8	1,8	59,71	62,2	86,22	131,0

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШС-3														
Зварювальний трансформатор	2	15	30	0,13	0,45	1,98	3,9	7,74	450,0					
Верстат шліфувальний	3	13,8	41,25	0,13	0,45	1,98	5,36	10,64	567,2					
Верстати карусельні	2	44,5	89	0,13	0,45	1,98	11,57	22,96	3960,5					
Всього	7		160,3	0,13			20,83	41,34	4977,7	5	2,02	42,08	45,48	61,96 94,14
ШР-1														
Вентилятор витяжний	2	4	8	0,8	0,8	0,75	6,4	4,8	32,0					
Вентилятор приточний	2	3	6	0,8	0,8	0,75	4,8	3,6	18,0					
Всього	4		14,0	0,8			11,2	8,4	50,0	4	2,02	22,62	9,24	24,44 37,13
ШР-2														
Верстат намотувальний (однофазний)	5	0,18	0,9	0,2	0,6	1,33								
Всього	5		0,9				11,2	8,4	50,0	0	2,02	22,62	9,24	24,44 64,13
ШР-3														
Піч опору	1	87	87	0,8	1,0	0	69,6	0	7569					
Піч камерна	2	26	52	0,8	1,0	0	41,6	0	1352,0					
Всього	3		139	0,8			111,2	0	8921,0	2	2,02	224,62	0	224,62 341,28
ШР-4														
Верстат шліфувальний	1	13,8	13,75	0,13	0,45	1,98	1,79	3,55	189,1					
Верстат вертикально-свердильний	1	12,7	12,7	0,14	0,5	1,73	1,78	3,08	161,3					
Всього	2		26,45	0,13			3,57	6,63	350,4	2	2,02	7,2	7,29	10,25 15,57
Кран мостовий	1	17,6	17,6	0,3	0,4	2,29	5,28	12,1	309,8	1	5,0	26,4	13,31	29,56 44,92
Освітлення			39	1,0	0,95	0,33	39,0	12,82			1,0	39,0	14,1	41,47 108,83
Всього по цеху	43											519,75	235,83	609,35 990,37

5. ВИБІР ЧИСЛА, ПОТУЖНОСТІ ТА РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Найчастіше на промислових підприємствах застосовуються одно- та двотрансформаторні безшинні цехові підстанції, що забезпечує найпростіші конструктивні рішення. При добре укомплектованому складському резерві однострансформаторні цехові підстанції можна застосовувати для живлення ЕП не тільки III, але і II категорії. Їх можна застосовувати також при навантаженнях I категорії, якщо потужність останніх не перевищує 15-20% та їх резервування забезпечується за допомогою перемичок на вторинній напрузі. При цьому питання живлення споживачів економічно вирішується у періоди малих навантажень за рахунок відключення частини підстанцій та використання перемичок, призначених для взаємного резервування.

Оскільки, ремонтний цех відноситься до споживачів III категорії по надійності електропостачання, то вибираємо однострансформаторну підстанцію.

Обчислюємо приблизну потужність трансформаторів:

$$S_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{\beta_{\Sigma} \cdot N}, \quad (5.1)$$

де P_{Σ} – розрахункове активне навантаження електроприймачів цеху, кВт;

β_{Σ} – коефіцієнт завантаження трансформаторів, $\beta_{\Sigma} = 0,9$;

N – число трансформаторів, шт.

$$S_{\Sigma} = \frac{519,75}{0,9 \cdot 1} = 577,5 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Виходячи з отриманих розрахунків до установки приймаємо масляний трансформатор типу ТМЗ-630/10/0,4, технічні параметри якого наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Технічні характеристики силового трансформатора

Потужність	Напруга первинна, кВ	Напруга вторинна, кВ	Напруга короткого замикання, %	Потужність втрат, кВт		Струм холостого ходу, %	Габарит, мм	Маса, т
				холостого ходу	короткого замикання			
630	10	0,4	5,5	1,56	7,6	2	1750х 1275х 2150	3

З урахуванням зменшення пожежонебезпеки приміщення (КТП розташовуємо всередині цеху в окремому приміщенні).

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Для зниження втрат електричної енергії приймається компенсація реактивної потужності, тобто зниження споживання реактивної потужності, що досягається в основному застосуванням компенсуючих КБ (конденсаторні батареї).

Вибір засобів компенсації реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств із приєднаною потужністю менш 750 кВА здійснюється відповідно до «Вказівки по проектуванню установок компенсації реактивної потужності в електричних мережах загального призначення промислових підприємств».

Сумарна розрахункова потужність $Q_{\text{кв}}$, квар визначається по формулі:

$$Q_{\text{кв}} = D_{\text{д.і.}} \cdot (\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2), \quad (6.1)$$

де $\text{tg}\varphi_1$, $\text{tg}\varphi_2$ – кути зсуву фаз до й після компенсації реактивної потужності.

Слід зазначити, що зазвичай не рекомендується компенсувати РП повністю (до $\cos\varphi = 1$), тому що при цьому можлива перекомпенсація (за рахунок змінної величини активної потужності навантаження й інших випадкових факторів). Зазвичай намагаються досягти значення $\cos\varphi = 0,90 \dots 0,95$.

$\text{tg}\varphi_2$ – нормативний коефіцієнт реактивної потужності, що відповідає оптимальному значенню коефіцієнта потужності, прийmemo 0,4.

P_p – активна потужність (приймається з табл. 4.1), кВт.

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_{\text{д.і.}}}{S_{\text{д.і.}}} = \frac{519,75}{609,35} = 0,85.$$

$\cos\varphi_1 = 0,85$, тоді $\text{tg}\varphi_1$ дорівнює 0,6.

Отже,

$$Q_{\text{кв}} = 519,75 \cdot (0,6 - 0,4) = 103,95 \text{ квар.}$$

По довіднику вибираємо конденсаторну батарею УКРМ 0.4 160/6-20, що має шість ступеней регулювання потужності (20+20+20+30+30+40).

Конденсаторну батарею розміщуємо в приміщенні КТП, яка підключається її шин низької напруги трансформатора.

Коефіцієнт активної потужності $\cos\varphi$ після компенсації реактивної потужності знаходимо по формулі:

$$\cos\varphi = \frac{D_{\delta}}{\sqrt{D_{\delta}^2 + (Q_{\delta} - Q_{\dot{E}O})^2}} \quad (6.2)$$

$$\cos\varphi = \frac{519,75}{\sqrt{519,75^2 + (235,83 - 160)^2}} = 0,98.$$

Отримане значення $\cos\varphi = 0,98$ нас задовільняє, а отже конденсаторна батарея вибрана вірно й реактивна потужність компенсується.

Обчислюємо фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора з урахуванням компенсації реактивної потужності:

$$\beta_{\dot{O}} = \frac{\sqrt{P_{\delta.i}^2 + (Q_{\delta.i}^2 - Q_{\dot{E}O})^2}}{S_{\dot{m}}} = \frac{\sqrt{519,75^2 + (235,83 - 160)^2}}{630} = 0,83.$$

7. РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Надійне й економічне постачання електроприймачів електроенергією необхідної якості – необхідна умова нормального функціонування будь-якого промислового підприємства. Особливістю промислового підприємства як споживача електроенергії є те, що для здійснення технологічного процесу використовується велике число різноманітних електроприймачів різних потужностей і номінальних напруг, однофазного й трифазного змінного струму різної частоти, а також електроприймачів постійного струму. Електроустановки промислових підприємств розвиваються й удосконалюються з урахуванням сучасних технологій, створюючи умови для автоматизації виробничих процесів. Удосконалювання виробництва, поліпшення умов праці на підприємствах приводить до росту електроспоживання. Досвід показує, що електричні навантаження багатьох підприємств у нормальних умовах функціонування за 10 років зростають в 1,5-2 рази. Застосування нових, більш ефективних технологій на промислових підприємствах може зажадати зміни й розширення схем електричних мереж в умовах виробництва. Отже, необхідно проектувати й створювати такі схеми й конструкції електричних мереж, які дозволяють перебудовувати їх в умовах діючого підприємства без порушення виробничого процесу.

7.1. Вибір схеми електропостачання цеху

Характерною рисою схем внутрішньозаводського розподілу електроенергії є велика розгалуженість мережі й наявність великої кількості комутаційно-захисної апаратури, що значно впливає на техніко-економічні показники й на надійність системи електропостачання.

З метою створення раціональної схеми розподілу електроенергії потрібне всебічне урахування багатьох факторів, таких як конструктивне виконання мережних вузлів схеми, спосіб каналізації електроенергії, струми КЗ при різних варіантах, тощо.

Радіальними схемами є такі, у яких електроенергія від джерела живлення передається безпосередньо до приймального пункту. Часто застосовують радіальні схеми із числом ступенів не більше двох.

Одноступінчасті радіальні схеми застосовують на невеликих й середніх по потужності підприємствах для живлення зосереджених споживачів (насосні станції, печі, перетворювальні установки, цехові підстанції), розташованих у різних напрямках від центра живлення. Радіальні схеми забезпечують глибоке секціонування всієї системи електропостачання, починаючи від джерел живлення й кінчаючи збірними шинами до 1 кВ цехових підстанцій. Живлення великих підстанцій і підстанцій або РП із перевагою споживачів I категорії здійснюють не менше ніж двома радіальними лініями, що відходять від різних секцій джерела живлення. Двоступінчасті радіальні схеми із проміжними РП застосовують на великих й середніх по потужності підприємствах для живлення через РП великих пунктів споживання електроенергії, оскільки, недоцільно завантажувати основний центр живлення підприємства з дорогими ячейками РУ великою кількістю дрібних ліній, що відходять.

Магістральна схема застосовується для живлення електроприймачів, що не вимагають роботи у централізованому або заблокованому режимі роботи й розташованому в одному напрямку від пункту живлення. Найбільше поширення знаходять змішані схеми електричних мереж, що суміщають у собі елементи як радіальних, так і магістральних схем.

Таким чином, перевагу віддаємо магістральній схемі, оскільки вона в цьому випадку є найбільш доцільною. В якості магістральної лінії вибираємо магістральний шинопровід серії ШМА, до нього через комутаційні апарати підключаються розподільчі пункти, шинні збірки, великі електроприймачі.

7.2. Розрахунок і вибір апаратури керування й захисту силової мережі

Заживлення технологічного устаткування, розташованого по виробничій площі рівномірно й рядами, здійснимо за допомогою розподільчих шинопроводів і розподільчих пунктів, які являють собою комплектні електротехнічні пристрої для внутріцехової мережі. Оскільки, умови навколишнього середовища в цеху нормальні, то розподільчі мережі виконуємо шинопроводами типу ШРА 4 і розподільчими пунктами ШР11.

Зробимо вибір розподільчих шинопроводів, силових ящиків за умовою, так щоб номінальний струм розподільчого устаткування не був менше розрахункового струму, тобто:

$$I_{\text{ном.ш}} \geq I_{\text{р}}, \quad (7.1)$$

Розрахунковий струм для вибору шинопровода А1-1 беремо із таблиці електричних навантажень (табл.4.1) $I_{\text{р}} = 153,37 \text{ А}$.

За умовою (7.1) номінальний струм шинопровода А1-1 більше розрахункового.

$$I_{\text{ном.ш}} \geq 153,37 \text{ А}.$$

Вибираємо шинопровід ШРА4-250А з $I_{\text{ном.ш}} \geq 250 \text{ А}$

Аналогічний вибір зробимо для інших шинопроводів даного цеху й результати зводимо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Вибір розподільчих пристроїв

№ групи	Тип розподільчого пристрою	$I_{\text{н}}, \text{ А}$	$I_{\text{р}}, \text{ А}$	Число автоматів або запобіжників на відходящих лініях і їх $I_{\text{тр}}, \text{ А}$	Ящик комутаційний
1	2	3	4	5	6
А1-1	ШРА4-250	250	153,37	-	ЯБПВУ-2
А2-1	ШРА4-250	250	131,0	-	ЯБПВУ-2
А3-1	ШРА4-250	250	94,14	-	ЯБПВУ-2

Вибираємо розподільчі шафи. Їхні дані заносимо в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Вибір розподільчих шаф

№ шафі	Тип	Тип пускового апарату, його номінальний струм	Число і номінальні струми запобіжників
A4	ШР11-73701	P18-353 250A	5×63
A5	ШР11-73701	P18-353 250A	5×100
A6	ШР11-73702	P18-353 250A	3×100+ 2×250
A7	ШР11-73706	P18-373 400A	5×63

Таблиця 7.3

Вибір захисних апаратів для розподільчих пристроїв

№ на плані	I _p , А	Запобіжник	
		Тип	I _{вст} , А
A1	153,8	ПН2-250	160
A2	131,0	ПН2-250	200
A3	94,14	ПН2-250	125

Зробимо вибір апаратів захисту, що встановлюються у розподільчих шинопроводах і силових шафах і заносимо в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Вибір апаратів захисту, що встановлюються у розподільчих шинопроводах і силових шафах

Позначення на плані	Тип вимикача	Номінальний струм вимикача, А	Струм розщеплювача, А	Струм приймача, А
A1-1	ВА55-39	250	200	153,4
A2-1	ВА55-39	250	200	131,0
A3-1	ВА55-39	250	125	94,14
A4	ВА55-39	250	125	37,1
A5	ВА51-31	100	31,5	15,6
A6	ВА55-39	250	125	64,1
A7	ВА55-39	250	250	239,5

7.3. Розрахунок перерізу живильних і розподільчих проводів і кабелів

Зробимо розрахунок і вибір живильних провідників у розподільчій мережі. Як приклад, зробимо розрахунок для токарних верстатів (на плані № 31-35).

Визначимо тривало допустиме струмове навантаження:

$$I_{\text{доп}}^2 \geq \frac{I_{\text{ном}}^2}{K_{\text{поп}}}, \quad (7.2)$$

де $K_{\text{поп}}$ – поправочний коефіцієнт на умови прокладки проводів і кабелів [1].

$$I_{\text{доп}}^2 \geq \frac{46,59}{1} = 46,59 \text{ А.}$$

Вибираємо провід АПВ-0,66 4(1×50) з $I_{\text{м.д.}} = 120 \text{ А}$.

Переріз провідника також повинен бути узгоджений із захистом, для того щоб при протіканні по провіднику струму, що нагріває його вище, ніж захисним апаратом. Звідси випливає друга умова для вибору перерізу провідника:

$$I_{\text{доп}}^2 \geq \frac{I_{\text{з}}^2}{K_{\text{з}}}, \quad (7.3)$$

де $I_{\text{з}}$ – номінальний струм або струм спрацьовування захисного апарату, А;

$K_{\text{з}}$ – кратність допустимого тривалого струму провідника відносно номінального або струму спрацьовування захисного апарату.

$$I_{\text{доп}}^2 \geq \frac{1 \cdot 100}{1} = 100 \text{ А.}$$

Оскільки, $I_{\text{м.д.}} = 120 \text{ А} \geq I_{\text{доп}} = 100 \text{ А}$, то відповідно провідник вибраний вірно.

Аналогічно розраховуємо проводи й кабелі для інших споживачів електричної енергії.

Таблиця 7.5

Вибір живильних провідників для ліній, що відходять від розподільчого пристрою до устаткування

Номер ЕП за планом	I_n, А	$I_{н.розш}/I_{пл.вст}$ А	$K_3 I_3$ А	Переріз і марка проводу	$I_{доп}$, А
1-4	28,1	40	40	АПВ-0,66 4(1× 16)	55
5-9	5,6	8	8	АПВ-0,66 4(1× 2,5)	19
10-11	85,2	100	100	АПВ-0,66 4(1× 50)	120
12-15, 18-20	41,8	50	50	АПВ-0,66 4(1× 16)	55
21-27	79,5	100	100	АПВ-0,66 4(1× 50)	120
28-30	26,6	31,5	31,5	АПВ-0,66 4(1× 8)	37
31-35	46,59	100	100	АПВ-0,66 4(1× 50)	120
36-39	42,5	50	50	АПВ-0,66 4(1× 16)	55
В1, В2	8,5	10	10	АПВ-0,66 4(1× 2,5)	19
П1, П2	6,6	8	8	АПВ-0,66 4(1× 2,5)	19
16, 17	48,2	63	20,8	АПВ-0,66 4(1× 25)	70
40	132,1	160	52,8	АПВ-0,66 4(1× 70)	140
41, 42	39,5	40	13,2	АПВ-0,66 4(1× 16)	55

Таблиця 7.6

Вибір кабелів, що живлять розподільчі пристрої й шафи

Позначення на плані	I_n, А	Переріз і марка кабелю
А 1-н1	153,4	АВВГ 3х120+1х70
А 1-н2	153,4	АВВГ 3х120+1х70
А 2-н1	131,0	ВВГ 3х120+1х70
А 2-н2	131,0	ВВГ 3х120+1х70
А 3-н1	94,14	АВВГ 3х70+1х35
А 3-н2	94,14	АВВГ 3х70+1х35
А 4-н1	37,1	АВВГ 3х70+1х35
А 5-н1	15,6	АВВГ 4х16
А 6-н1	64,1	АВВГ 3х70+1х35
А 7-н1	239,5	ВВГ 4х70

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА ВИСОКІЙ СТОРОНІ ТРАНСФОРМАТОРА

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Коротким замиканням (КЗ) називають будь-яке випадкове або навмисне, не передбачене нормальним режимом роботи електричне з'єднання різних точок електроустановки між собою й землею, при якому струми в вітках електроустановки різко зростають, перевищуючи найбільший допустимий струм тривалого режиму.

Все електроустаткування, що встановлюється в системах електропостачання, повинне бути стійким до струмів короткого замикання й вибирається з урахуванням величин цих струмів.

Розрахунковим видом КЗ для вибору або перевірки параметрів електроустаткування зазвичай вважають трифазне коротке замикання.

Розрахунок короткого замикання зробимо від джерела нескінченної потужності (у відносних одиницях).

Для розрахунків струмів короткого замикання складаємо розрахункову схему системи електропостачання й на її основі схему заміщення, у якій кожний елемент замінюємо своїм опором (рис. 8.1 і рис. 8.2).

Задаємося базисними умовами:

$$S_6 = 300 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{61} = 115 \text{ кВ}; U_{62} = 37 \text{ кВ}; U_{63} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Визначимо опір трансформаторів на ГПП1:

$$\tilde{\alpha}_{*\partial\partial-\partial\partial} = \frac{U_{\partial\%} \cdot S_{\partial}}{100 \cdot S_{i.\partial\partial}}, \quad (8.1)$$

де $U_{\partial\%}$ – напруга короткого замикання трансформатора, %;

$S_{\text{н.тр}}$ – номінальна потужність трансформатора, МВ·А.

$$\tilde{\alpha}_{*\partial\partial-\partial\partial} = \frac{10,5 \cdot 300}{100 \cdot 63} = 0,5.$$

Визначимо результуючий опір трьох трансформаторів на ГПП1:

$$\tilde{\sigma}_{*d\dot{a}c\dot{o}d} = \frac{\tilde{\sigma}_{*2} \cdot \tilde{\sigma}_{*3} \cdot \tilde{\sigma}_{*4}}{\tilde{\sigma}_{*2} + \tilde{\sigma}_{*3} + \tilde{\sigma}_{*4}}, \quad (8.2)$$

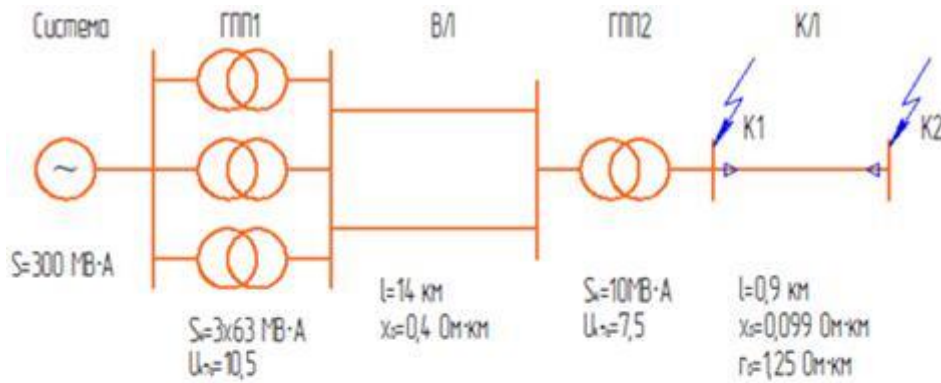


Рис. 8.1. Розрахункова схема

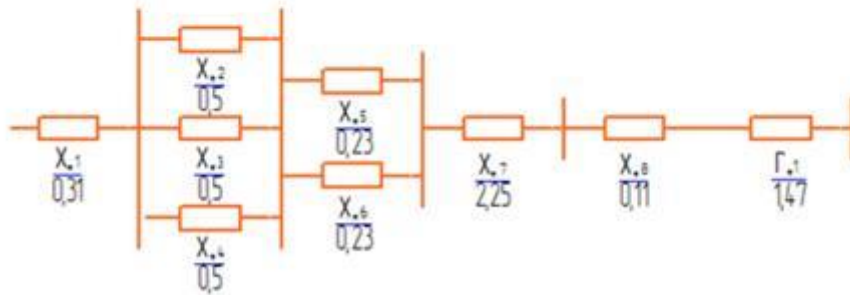


Рис. 8.2. Схема заміщення

$$\tilde{\sigma}_{*d\dot{a}c\dot{o}d} = \frac{0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,5 + 0,5 + 0,5} = 1.$$

Визначимо опір трансформатора на ГПП2 по (8.1)

$$\tilde{\sigma}_{*7} = \frac{7,5 \cdot 300}{100 \cdot 10} = 2,25.$$

Розрахуємо опір повітряної лінії:

$$\tilde{\sigma}_{*i.\ddot{e}} = \tilde{\sigma}_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\dot{a}1}^2}, \quad (8.3)$$

де x_0 – реактивний опір одного кілометра повітряної лінії Ом/км;

l – довжина лінії, км.

$$\tilde{\sigma}_{*i.\ddot{e}} = 0,4 \cdot 14 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,23.$$

Визначимо результуючий опір двох повітряних ліній, що працюють паралельно:

$$\tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta\ddot{i}. \ddot{e}} = \frac{\tilde{\sigma}_{*5} \cdot \tilde{\sigma}_{*5}}{\tilde{\sigma}_{*5} + \tilde{\sigma}_{*6}}, \quad (8.4)$$

$$\tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta\ddot{i}. \ddot{e}} = \frac{0,23 \cdot 0,23}{0,23 + 0,23} = 0,12.$$

Визначимо результуючий опір до точки K1:

$$\tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta} = \tilde{\sigma}_{*1} + \tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta\partial\partial} + \tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta\ddot{i}. \ddot{e}} + \tilde{\sigma}_{*7}, \quad (8.5)$$

$$\tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta} = 0,31 + 1 + 0,12 + 2,25 = 3,68.$$

Визначимо реактивний і активний опір кабельної лінії:

$$\tilde{\sigma}_{*\dot{e}. \ddot{e}} = \tilde{\sigma}_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\dot{a}2}^2}, \quad (8.6)$$

$$r_{*\dot{e}. \ddot{e}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\dot{a}2}^2}, \quad (8.7)$$

$$\tilde{\sigma}_{*\dot{e}. \ddot{e}} = 0,099 \cdot 0,9 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,11,$$

$$r_{*\dot{e}. \ddot{e}} = 1,25 \cdot 0,9 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 1,47.$$

Визначимо результуючий опір до точки K2 з урахуванням активного опору кабельної лінії:

$$z_{*\partial\dot{a}\zeta} = \sqrt{(\tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta} + \tilde{\sigma}_{*\dot{e}. \ddot{e}})^2 + r_{*\dot{e}. \ddot{e}}^2}, \quad (8.8)$$

$$z_{*\partial\dot{a}\zeta} = \sqrt{(3,68 + 0,11)^2 + 1,47^2} = 4,06.$$

Розрахуємо базисний струм:

$$^2_{\dot{a}} = \frac{S_{\dot{a}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\dot{a}2}}, \quad (8.9)$$

$$^2_{\dot{a}} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Визначимо струм короткого замикання в точці K1:

$$^2_{\dot{e}} = \frac{^2_{\dot{a}}}{\tilde{\sigma}_{*\partial\dot{a}\zeta}}, \quad (8.10)$$

$$I_{\epsilon}^2 = \frac{5,5}{3,68} = 7,857 \text{ кА.}$$

Визначимо струм короткого замикання в точці К2

$$I_{\epsilon}^2 = \frac{5,5}{4,06} = 4,621 \text{ кА.}$$

Розрахуємо ударні струми для точок К1 і К2:

$$I_{\sigma\alpha}^3 = \sqrt{2} \cdot \hat{E}_{\sigma} \cdot I_{\epsilon}^2, \quad (8.11)$$

де k_y – ударний коефіцієнт струму короткого замикання.

$$I_{\sigma\alpha 1}^3 = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,857 = 19,941 \text{ кА;}$$

$$I_{\sigma\alpha 2}^3 = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,621 = 8,730 \text{ кА.}$$

8.2. Вибір високовольтної апаратури й високовольтного кабелю

Для вибору кабелю напругою понад 1 кВ необхідно дотримання 3 умов:

1) по економічній густині струму:

$$F_{\alpha\epsilon} = \frac{I_{\epsilon}^2}{j_{\alpha\epsilon}}, \quad (8.11)$$

де j_{ϵ} – економічна густина струму, береться з [2].

2) по максимальному струму:

$$I_{\alpha\epsilon\tilde{n}}^2 = \frac{1,4 \cdot S_{\tilde{m}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\tilde{m}}}, \quad (8.12)$$

де 1,4 – допустимий коефіцієнт перевантаження трансформатора.

3) по термічній стійкості:

$$F_{i\alpha\epsilon} = \frac{\sqrt{\hat{A}_{\epsilon}}}{\tilde{N}}. \quad (8.13)$$

де B_k – тепловий імпульс струму короткого замикання, A^2/c .

$$F_{\alpha\epsilon} \geq \frac{36,4}{1,4} = 26 \text{ мм}^2,$$

$$I_{\sigma}^2 = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А,}$$

$$I_{\alpha\epsilon\tilde{n}}^2 = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,96 \text{ А}$$

$$B_k = I_{\infty}^2 \cdot (t_{\text{відк}} + t_a) = (10^3 \cdot 7,857)^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 37,7 \cdot 10^6 \text{ A}^2/\text{с},$$

$$F_{\text{зі}} = \frac{\sqrt{37,7 \cdot 10^6}}{90} = 68,2 \text{ мм}^2.$$

Отже, вибираємо кабель марки NA2XS2Y6/10kV з перерізом алюмінієвої жили 1*70RM/16 і $I_{\text{доп}} = 208 \text{ А}$ при прокладанні його в землі.

Таблиця 8.1

Вибір високовольтного вимикача

Параметри	Каталожні дані	Розрахована величина установки	Умови вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{ном}}$ 10	$U_{\text{ном}}$ 10	$U_{\text{ном А}} \geq U_{\text{ном В}}$
Номінальний струм, А	$I_{\text{ном А}}$ 630	I_p 36,4	$I_{\text{ном А}} \geq I_p$
Номінальний струм відключення, кА	$I_{\text{ном відкл}}$ 12,5	I 7,857	$I_{\text{ном відкл}} \geq I_A$
Динамічна стійкість, кА	i_d 32	i_y 19,941	$i_d \geq i_y$
Термічна стійкість, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{кн}}$ 1600	B_k 37,7	$B_{\text{кн}} \geq B_k$

Вибираємо вакуумний вимикач типу ВВ/ЕL-12,5/630.

Таблиця 8.2

Вибір ізолятора

Параметри	Каталожні	Розраховані	Умови вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{ном А}}$ 10	$U_{\text{ном В}}$ 10	$U_{\text{ном А}} \geq U_{\text{ном В}}$
Номінальний тривалий струм, А	$I_{\text{ном А}}$ 630	I_p 57,8	$I_{\text{ном А}} \geq I_p$
Допустиме зусилля на головку ізолятора, Н	$F_{\text{доп}}$ 7500	$F_{\text{розр}}$ 180	$F_{\text{доп}} \geq F_{\text{розр}}$

Вибираємо ізолятори типу ИП-10/630-7,5УХЛ2:

$$F_{\text{розр}} = 1,7 \cdot i_y \cdot L/a \cdot 9,81 \cdot 10^{-1}, \quad (8.14)$$

де L – проміжок між ізоляторами, м;

a – відстань між осями шин, м

$$F_{\text{розр}} = 1,7 \cdot 20,69^2 \cdot 10^3 \cdot (0,9/0,3 \cdot 9,81 \cdot 10^{-1}) = 300 \text{ Н.}$$

Розрахункова умова для прохідного ізолятора:

$$F_{\text{розр пр}} = 0,6 \cdot F_{\text{розр}}, \quad (8.15)$$

$$F_{\text{розр пр}} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ Н.}$$

Таблиця 8.3

Вибір трансформаторів струму

Параметри	Каталожні	Розраховані	Умови вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{ном}}$ 10	$U_{\text{ном}}$ 10	$U_{\text{ном А}} \geq U_{\text{ном}}$
Номінальний тривалий струм, А	$I_{\text{ном А}}$ 75	I_p 36,4	$I_{\text{ном А}} \geq I_p$
Динамічна стійкість, кА	i_d 45	i_y 19,941	$i_d \geq i_y$
Термічна стійкість, кА ² ·с	$B_{\text{кн}}$ 6075	B_k 37,7	$B_{\text{кн}} \geq B_k$

Таблиця 8.4

Вибір трансформаторів напруги

Прилад	Тип	Клас точності	Споживана потужність котушки, В·А (Вт)	
			напруги	струму
Амперметр	Э335	1,0	-	0,5
Вольтметр	Э335	1,5	2,0	-
Вольтметр	Д335	1,5	1,5	0,5
Варметр	Д335	1,5	1,5	0,5
Лічильник повного обліку	EMS-112-110.3	1,0	10	38,7

Вибираємо трансформатори напруги типу НОМ-10.

Таблиця 8.5

Вибір комплектного розподільчого пристрою

Параметри	Номінальні дані
Номінальна напруга, кВ	10
Найбільша робоча напруга, кВ	12
Номінальний струм головних ланцюгів, А	630
Номінальний струм збірних шин, А	630
Найбільша електродинамічна стійкість головних ланцюгів, кА	25
Струм термічної стійкості, кА	25
Вид керування апаратом	зручним приводом
Термін служби, років	25
Вид установки	у спеціальному приміщенні

Вибираємо комплектний розподільчий пристрій типу КСО-394М-2-630У3.

9. ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Ефективність використання енергії на підприємстві залежить від рівня механізації й автоматизації процесів. Актуальним завданням в області економії енергії на підприємствах є здійснення комплексної механізації й автоматизації процесів виробництва, створення автоматичних ліній, ділянок і автоматизованих підприємств.

Основними напрямками економії електроенергії на підприємствах є:

1) Удосконалювання й раціоналізація технологічних процесів. Втрати електроенергії, викликані нераціональною технологією й організацією виробництва, у ряді випадків можуть перевищувати втрати енергетичних процесів і навіть корисну витрату енергії. Так, застосування на промислових підприємствах індукційного способу термообробки деталей і загартування їх струмами високої частоти замість термообробки в печах опору дозволяє в 2-3 рази скоротити витрату електроенергії.

2) Впровадження прогресивних технологічних режимів і методів роботи устаткування. Сюди варто віднести підвищення швидкості різання на верстатному устаткуванні, скорочення числа припусків при прокаті, введення оптимальних температурних режимів при електронагріву, термообробці металів. Дослідження показують, що збільшення швидкості різання на верстатах з 50 до 200 м/хв знижує витрату електроенергії на 17 %, а застосування швидкісних плавок при оптимальному режимі в сполученні з організаційними заходами на 20-30 % скорочує питому витрату електроенергії.

3) Поліпшення якісних характеристик використовуваного устаткування. Аналіз енергобалансів електротермічних печей, які є самими енергоємними електроустановками, показує, що втрати теплоти через поверхню становлять близько 48 % від всієї споживаної електроенергії. Відповідно резерви економії тут надзвичайно великі.

4) Удосконалювання конструкцій промислових будівель і споруд. Досвід закордонної енергетики показує, що тільки за рахунок застосування таких очевидних заходів, як посилення теплоізоляції будинків, пристрої ущільнюючих вікон і дверей, раціональне скорочення площі вікон і т.д., можна значно знизити (до 50%) споживання енергії на опалення промислових будівель і споруд.

5) Впровадження прямого технологічного використання електроенергії. Найбільший ефект від застосування електроенергії досягається в тому випадку, коли електроенергія використовується безпосередньо на виконання технологічної операції.

6) Зменшення обсягу металу, спіяного при обробці. У результаті заміни механічної обробки малодоходним і штампуванням, а також точним литтям за рахунок зменшення обробки різанням питома витрата електроенергії скорочується на 15 - 20%.

7) Узгодження потужності двигунів верстатів тільки по їх номінальних навантаженнях недостатньо. При узгодженні необхідно враховувати режим роботи й характеристики двигуна й привода. При зменшенні навантаження знижується ККД електродвигуна й робочої машини й збільшується витрата електроенергії.

8) Заміна асинхронних двигунів синхронними. Цей захід може здійснюватися без попередніх техніко-економічних розрахунків. Основними перевагами синхронних двигунів, крім видачі в мережу реактивної потужності, є більш високий ККД (у порівнянні з асинхронними) на 1 - 3% вище й менша чутливість до зміни напруги в мережі.

9) Установка обмежувачів холостого ходу на верстатах завжди виправдана економією електроенергії, якщо по технологічній операції його час становить 10 секунд і більше.

10) Раціоналізація експлуатації освітлювальних установок. Заміна ламп розжарювання люмінесцентними й ртутними лампами, підтримання світильників у чистоті, автоматизація включення й відключення освітлення можуть принести до 10 % економії електроенергії, що витрачається на освітлення.

10. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА

Основними видами пошкодження у трансформаторі є: замикання між фазами всередині кожуха трансформатора та на зовнішніх висновках обмоток; замикання в обмотках між витками однієї фази (виткові замикання); замикання на землю обмоток або їх зовнішніх виводів, пошкодження магнітопроводу трансформатора, що призводять до появи місцевого нагріву та пожежі сталі.

Для трансформаторів з вищою напругою 10 кВ повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від наступних видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

- 1) міжфазних коротких замикань в обмотках та на виводах (струмова відсікання без витримки часу);
- 2) струмів в обмотках, обумовлених зовнішніми КЗ (максимальний струмовий захист);
- 3) струмів в обмотках, обумовлених перевантаженням (максимальний струмовий захист від навантаження).

Максимальний захист трансформатора та струмова відсічка виконано із застосуванням пристрою мікропроцесорного захисту «SEPAM T-20».

SEPAM серії 20 є терміналом для використання в простих захистах одного приєднання, заснованих на вимірюванні струмів або напруг. Наприклад: захист повітряних ліній із вбудованим АПВ; захист вводів та фідерів підстанції від міжфазних КЗ та замикань на землю; захист трансформаторів 10 кВ малої потужності від перевантажень (у тому числі тепловий захист з урахуванням температури навколишнього середовища та двома групами уставок для різних режимів обдування); захист двигунів від внутрішніх пошкоджень та пошкоджень, що залежать від навантаження з контролем режиму пуску, включаючи захист від перевантажень (у тому числі термічний захист з урахуванням температури

навколишнього середовища та кривої холодного стану, яку можна відрегулювати відповідно до характеристик двигуна).

Для цифрових терміналів SEPAM уставки розраховуються та задаються у первинних величинах або у відсотках від номінальних значень.

Максимальний струмовий захист трансформатора встановлюється з боку введів 10 кВ і одночасно є захистом вводу робочого живлення 0,4 кВ. На реакційних лініях 10 кВ МСЗ є єдиним захистом від міжфазних КЗ, оскільки при захисті цих ліній швидкодіючі захисти не застосовуються. МСЗ виконує функцію резервного захисту струмових захистів трансформатора при їх відмові або виведенні з дії. Вибір уставок спрацьовування МСЗ здійснюється за умови неспрацьовування захисту при самозапуску електродвигунів. Причому значення струмів самозапуску можуть значно перевищувати номінальні значення струмів трансформатора. При використанні як захисту цифрових терміналів SEPAM захист виконується із застосуванням трансформаторів струму у трьох фазах.

Захист повинен бути відбудований від максимально можливого струму навантаження, з урахуванням струмів самозапуску електродвигунів:

$$I_{\text{іаа.іаеñ}}^{\text{max}} = \frac{S_{\text{іаа.іаеñ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м.іаі}}}; \quad (10.1)$$

$$I_{\text{ñ.ç.}} = \frac{k_{\text{і}} \cdot k_{\text{ñçі}}}{k_{\text{а}}} \cdot I_{\text{іаа.іаеñ}}, \quad (10.2)$$

де $k_{\text{сзп}}$ – коефіцієнт самозапуску електродвигунів, приймається равним $1,3 \div 1,5$;

$I_{\text{наг.макс.}}$ – максимальний струм навантаження, А.

Для цифрових терміналів SEPAM значення $k_{\text{н}}$ приймають рівним 1,1, а $k_{\text{в}}$ приймають 0,935. Максимальне навантаження приймаємо рівним сумарному розрахунковому навантаженню цеху з урахуванням компенсації реактивної потужності, тобто $\Sigma S_{\text{розр}} = 525 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

$$I_{\text{іаа.іаі}}^{\text{max}} = \frac{525}{\sqrt{3} \cdot 10} = 30,3 \text{ А};$$

$$I_{\text{ñ.ç.}} = \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 30,3 = 46,3 \text{ А}.$$

Чутливість МСЗ перевіряється за коефіцієнтом чутливості зі сторони 0,4 кВ:

$$k_{\dot{z}} = \frac{I_{\dot{z}}^{(2)}}{I_{\dot{n}.c.}} \geq 1,5, \quad (10.3)$$

де $I_{\dot{z}}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ на виводах трансформатора зі сторони 0,4 кВ.

$$k_{\dot{z}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,621 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3}{46,3} = 3,46.$$

Захист чутливий.

Час спрацювання МСЗ визначимо за формулою:

$$t_{i\dot{n}.c.} = t_{\dot{n}.m\ddot{a}.o.} + \Delta t, \quad (10.4)$$

де $t_{сп.попер.}$ – час спрацювання попереднього захисту, с, у нашому випадку автоматичний вимикач встановлений на стороні 0,4 кВ. За рекомендаціями на термінали SEPAM застосовується тимчасова ступінь селективності $\Delta t = 0,3$ с.

$$t_{i\dot{n}.c.} = 0,03 + 0,3 = 0,33 \text{ с.}$$

Витримка часу МСЗ трансформатора приймається $t_{\dot{n}.a.} = 0,33$ с.

Розрахунок захисту від симетричних навантажень.

Захист від симетричних перевантажень на стороні 10 кВ призначений для виявлення режиму симетричних перевантажень трансформатора, що захищається. Захист від симетричних навантажень діє на сигнал. Цей захист, як правило, виконується за допомогою одного з ступенів МСЗ SEPAM. Захист від симетричних навантажень не встановлюється на реакційних лініях напругою 10,5 кВ. Струм спрацьовування захисту від навантаження визначається з виразу:

$$I_{\dot{n}.c.i} = \frac{k_{\dot{i}.o.\dot{n}}}{k_{\dot{a}}} \cdot I_{\dot{m}.o.}; \quad (10.5)$$

$$I_{\dot{n}.c.i} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 36,4 = 42,8 \text{ А.}$$

Час спрацювання захисту від симетричних перевантажень має перевищувати час спрацювання основних захистів трансформатора.

$$t_{i\dot{A}.B} = t_{i\dot{n}.c.} + \Delta t;$$

$t_{i\dot{A}.B} = 0,33 + 0,3 = 0,63$ с. Оскільки, захист від перевантаження діє на сигнал, то перевіряти чутливість нема необхідності. Витримка часу приймається $t_{\dot{n}.a.} = 0,63$ с.

11. ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

У системі електропостачання промислового підприємства слід вимірювати поточні значення величин струму, напруги і потужності, що характеризують режими роботи як самої системи, так і її елементів, а також здійснювати облік споживаної та виробленої електроенергії.

Амперметри встановлюються в цехах, в яких необхідний контроль струму (вводи РП, трансформатори, лінії, що відходять, перемички між секціями збірних шин, конденсаторні установки, деякі електроприймачі.

Напруга вимірюється кожної секції збірних шин РП і ТП. На знижувальних підстанціях допускається вимірювати напругу тільки на боці низької напруги, якщо встановлення трансформатора напруги на первинній стороні не потрібно для інших цілей. У трифазних установках зазвичай проводиться вимір однієї міжфазної напруги. У мережах із ізольованою нейтраллю (напругою 6-35 кВ) вольтметри використовуються для контролю ізоляції. Для цієї мети застосовуються три вольтметри (або один вольтметр з перемикачем), що включаються на фазну напругу через вимірювальний трансформатор типу ЗНОЛП, що належить до секції РП.

Облік електроенергії на промислових підприємствах поділяється на розрахунковий (комерційний) та технічний (контрольний).

Розрахунковий облік електроенергії призначений для здійснення грошових розрахунків за вироблену, а також відпущену споживачам електроенергію. Основні положення щодо організації та здійснення розрахункового обліку на підприємствах полягає в наступному:

- розрахункові лічильники активної та реактивної енергії рекомендується встановлювати на межі розділу електропостачальної організації та підприємства;

- якщо з боку підприємства за згодою енергосистеми проводиться видача реактивної енергії в мережу енергосистеми, необхідно встановити два лічильники реактивної енергії зі стопорами, в інших випадках повинен встановлюватися один лічильник реактивної енергії зі стопором;

- лічильник активної енергії повинен мати клас точності не нижче 0,2, клас точності лічильника реактивної повинен вибиратися на один ступінь нижче класу точності лічильника активної енергії;

- для підприємства, що розплачується з електропостачальною організацією за двоставковим тарифом, слід передбачати встановлення лічильника із зазначенням максимуму навантаження за наявності одного пункту обліку, при двох і більше пунктах – застосування автоматизованих систем обліку електроенергії.

На даному підприємстві для автоматичного обліку встановлюється СИКОН (контролер мережевий індустріальний).

В табл. 11.1 наведені щитові електровимірні прилади та прилади обліку електричної енергії.

Таблиця 11.1

Щитові електровимірні прилади

Прилад	Тип	Клас точності	Споживана потужність котушки, В·А (Вт)	
			напруги	струму
Амперметр	Э335	1,0	-	0,5
Вольтметр	Э335	1,5	2,0	-
Вольтметр	Д335	1,5	1,5	0,5
Варметр	Д335	1,5	1,5	0,5
Лічильник повного обліку	EMS-112-110.3	1,0	10	38,7

12. КОНТРОЛЬ І ПІДТРИМАННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

12.1. Загальні положення нормування якості електричної енергії

Як і всякий вид продукції електрична енергія має якість, що є сукупністю властивостей, які обумовлюють її придатність задовольняти конкретні у виробництві та побуті. До того ж електроенергія має задовольняти вимогам щодо забезпечення економічності та ергономічності енерговикористовуючих технологічних процесів. Якість електроенергії обумовлює певний рівень втомлюваності персоналу, що залежить від рівня напруги, її коливань у мережі освітлення. Електроенергія є також першопричиною шумів та вібрацій електрифікованого обладнання, її якість впливає на естетичність виробництв і окремих робочих місць через світлову і колірну гаму інтер'єру. Нарешті низька якість електроенергії може у ряді випадків призвести до погіршення санітарно-гігієнічних умов, безпеки виконання робіт, що безумовно знижує ефективність технологічних процесів.

Погіршення якості електричної енергії відбувається за межами електростанції – у мережах та у споживачів.

Формування системи показників якості електроенергії має базуватися на таких загальних положеннях:

- 1) достатніми для задоволення вимог до електроенергії є симетрична і синусоїдальна трифазна система напруг з номінальними значеннями напруги і частоти (можливі деякі незначні відхилення);
- 2) у разі асиметрії, і (або) несинусоїдальності системи напруг, значних відхилень напруги і частоти споживачі зазнають негативного впливу – брак чи недовипуск продукції, прискорення старіння ізоляції, поряд з цим можуть виникнути аварійні ситуації в електроустановках, зокрема відмови комутаційних

апаратів, систем автоматики, вихід з ладу конденсаторних батарей, освітлювальних приладів тощо;

3) показники якості електричної енергії є випадковими величинами, оскільки характеристики як мереж, так і споживачів змінюються у часі за законами теорії ймовірності.

Серед основних вимог до встановлення і нормування показників якості електроенергії (ПЯЕ) слід зазначити такі:

1) ПЯЕ мають кількісно характеризувати основні властивості електроенергії;

2) гранично допустимі значення ПЯЕ мають враховувати як технічні, так і економічні передумови, зокрема одержані з досвіду експлуатації;

3) ПЯЕ мають нормуватися як імовірнісні величини за час, достатній для забезпечення достовірності інформації;

4) ПЯЕ та засоби їх одержання мають бути універсальними щодо метрологічного забезпечення вимірювань;

5) нормування значень ПЯЕ має здійснюватися на затискачах електроприймачів або ж на межі балансової приналежності електромереж.

Для оцінки ступеню взаємного впливу різних видів електрообладнання, що не порушував (знижував ефективність) електрифікованих технічно-логічних процесів, введене поняття «електромагнітна сумісність». Залежить вона від особливостей мережі живлення (скажімо наявності напівпровідникових перетворювачів і конденсаторних батарей.

Розробка і впровадження ПЯЕ є комплексною проблемою, що поєднує у собі обґрунтований вибір:

1) методів розрахунку власне показників якості електричної енергії;

2) методів розрахунку електромагнітної і технологічної складових збитків від зниження якості електроенергії;

3) методів забезпечення належного рівня якості електроенергії.

Є вкрай важливими також розробка та виготовлення приладового забезпечення контролю показників якості електроенергії поряд із завданнями щодо його налагодження, використання, обслуговування та ремонту.

Оптимальні рівні ПЯЕ для окремих електроприймачів (споживачів) можна теоретично визначити на основі таких даних:

- виробничо-економічна характеристика споживача;
- механізм і ступінь впливу параметрів електроенергії на режими роботи обладнання і мереж;
- вартісні показники технічних заходів підвищення якості електроенергії (включаючи їх монтаж, налагодження та експлуатацію).

Щодо практичного вирішення цього завдання, то воно стримується труднощами інформаційного і організаційного характеру, оскільки необхідну для оцінки якості електроенергії інформацію можна одержати та зберегти лише за наявності належного приладового забезпечення – комплексу складних і досить дорогих приладів. При цьому існує дилема: 1) висувати більш жорсткі вимоги до електроприймачів, що погіршують якість електроенергії, зокрема генеруючи до мережі перешкоди; 2) знижувати сприйнятливість інших електроприймачів до цих перешкод.

Затрати за кожним із варіантів теоретично можна оптимізувати, але обидва варіанти практично неможливо реалізувати в умовах експлуатації електроприймачів – це складно і дуже дорого.

До того ж електромагнітна обстановка в електромережі не залишається постійною у часі, що потребує безперервної адаптації електроприймачів шляхом зміни їх параметрів.

Слід зазначити, що визначення оптимальних значень ПЯЕ, навіть із застосуванням ПЕОМ, є дуже складною роботою.

Дещо простішим є інший шлях – нормування ПЯЕ з метою збереження допустимої електромагнітної обстановки у мережі. Це потребує наявності комплексу взаємно-узгоджених норм, що діяли б як на стадії проектування мереж, так і в умовах експлуатації.

Можна визначити такі групи норм:

1) норми на граничні рівні спотворень, що вносяться до мережі окремими електроприймачами – регламентують питання проектування (конструювання) вказаних електроприймачів;

2) норми на граничні рівні спотворень, що вносяться до мережі окремими споживачами електроенергії; відносяться до меж розділу балансової приналежності електромереж та визначають характер заходів, яких необхідно вжити споживачам, що мають різноманітні електроприймачі з високим рівнем генерованих перешкод, такі електроприймачі можуть не впливати на «своїх» приймачів, але шкодити мережі загалом; норми використовуються під час проектування чи реконструкції мережі споживача з метою обмежити (усунути) негативний вплив вказаних електроприймачів на якість електроенергії; на цих нормах в умовах експлуатації має базуватися система надбавок до тарифів на електроенергію за внесення споживачами спотворень понад допустимий рівень;

3) норми на якість електроенергії, що поставляється споживачеві – є по суті умовами постачання електричної енергії енергопостачальною організацією і відповідають межі балансової належності електромереж; в умовах експлуатації на цих нормах має базуватися система скидок з тарифів на електроенергію низької якості, яка надходить до споживача;

4) норми на граничні рівні спотворень на вводах електроприймачів, чутливих до них; використовуються під час конструювання електроприймачів, на їх основі розробляються заходи щодо захисту електроприймачів від перешкод у мережі; вказані норми мають бути жорсткішими порівняно із нормативними значеннями ПЯЕ для нормальних умов електропостачання, оскільки:

- у після аварійних режимах електроенергія має низьку якість;
- рівень спотворень на затискачах електроприймачів може перевищувати рівень на межі балансової належності мереж за рахунок власних генерованих перешкод.

12.2. Контроль показників якості електричної енергії

Чинними Правилами користування електричною енергією визначені взаємні зобов'язання споживачів та електропередавальної організації щодо контролю та підтримання належного рівня якості електричної енергії.

Метою контролю якості електроенергії у мережах є:

- перевірка відповідності реальних значень ПЯЕ на межі балансової належності мереж встановленим стандартом значенням;
- виявлення причин і винуватця погіршення якості електроенергії;
- визначення розміру скидок і надбавок до тарифу за якість електроенергії;
- розробка заходів щодо нормалізації якості електроенергії.

Споживач зобов'язаний здійснювати відповідно до договору з електропостачальною організацією безперервний, періодичний або епізодичний контроль за показниками якості електричної енергії, на межі балансової належності та в інших точках електромереж відповідно до вимог стандарту. Поряд з цим споживач має вживати заходів щодо покращення якості електроенергії у своїх мережах.

Такі ж зобов'язання покладаються на електропередавальну та електропостачальну організації. У разі відпуску споживачеві електричної енергії з показниками якості, що виходять за межі допустимих значень, встановлених стандартом і вказаних у договорі на користування електроенергією, електропостачальна організація сплачує споживачеві штраф.

Окремим додатком до договору фіксуються точки контролю якості електроенергії у мережі, встановлюється рівень напруги та діапазон допустимих значень ПЯЕ у періоди максимального і мінімального навантажень. Додаток визначає також приладове забезпечення контролю показників якості електроенергії.

На ринку є значна кількість аналізаторів якості електроенергії як для трифазних, так і для однофазних мереж.

12.3. Вплив відхилень показників якості електричної енергії на роботу електроприймачів

Всяка зміна показників якості електричної енергії у порівнянні з їх допустимими значеннями, встановленими чинним стандартом, викликає відповідні зміни у роботі електроприймачів.

Відхилення напруги в мережі, від якої живляться асинхронні електродвигуни, призводить до змін частоти обертання, величини втрат активної потужності і споживання реактивної потужності.

Втрати активної потужності у навантажених електродвигунах з постійним моментом опору на вал, при зниженні напруги зростають, оскільки зростає споживаний струм, а при підвищенні напруги зменшуються. При малих навантаженнях двигуна характер зміни втрат потужності має свої особливості: скажімо при $K_{зав}=0,75$ у діапазоні відхилень $-10...0\%$ втрати зменшуються, а у діапазоні $0...10\%$ – знову зростають.

Споживання реактивної потужності зростає із збільшенням напруги живлення електродвигуна – у середньому на 1% приросту напруги на 3%, що обумовлюється підвищеними втратами на намагнічування.

Механізм впливу відхилень напруги на частоту обертання електродвигуна є таким:

- додатні відхилення напруги понад номінальне значення викликають підсилення електромагнітного зв'язку між статором і ротором, зменшення ковзання та обертання у незначних межах;
- від'ємні відхилення (зниження напруги) викликають зниження частоти обертання електродвигуна.

Відхилення напруги поряд із рівнем навантаження електродвигуна обумовлюють ступінь теплового зношування ізоляції та знижують строк її служби.

Відхилення напруги спричиняють зміни продуктивності електронагрівного обладнання.

Суттєво впливають відхилення напруги на роботу освітлювальних установок, причому залежно від типу джерел світла. Підвищення напруги збільшує світловий потік та світловіддачу ламп розжарювання, однак при цьому різко знижується строк їх служби.

Несиметрія напруги у трифазних мережах викликає додаткові втрати в елементах мереж, скорочує строк служби машин та електрообладнання і погіршує ефективність його роботи.

В електродвигунах змінного струму поряд із основним магнітним полем виникає поле подвійної синхронної частоти, протилежне основному. Воно обумовлює гальмівний електромагнітний момент та додатковий нагрів, переважно обмотки ротора, струмами подвійної частоти.

Зміни електромагнітного моменту при коефіцієнті несиметрії в межах 5...6% є незначними порівняно із скороченням строку служби ізоляції, викликаного додатковим нагрівом електродвигуна.

Несиметрія напруг попри незначний вплив на роботу повітряних і кабельних ліній електропередачі викликає додатковий нагрів силових трансформаторів і тим самим скорочує їх строк служби.

Коливання напруги, обумовлені наявністю потужних різкозмінних навантажень, зокрема електродвигунів та зварювальних агрегатів, негативно впливаючи на освітлювальні установки, призводять до зниження продуктивності праці і шкодять зору працюючих. Поряд з цим у разі розмаху коливань напруги понад 10% можуть погаснути газорозрядні лампи, "відпасти" рухомі контакти електромагнітних пускачів або контакторів, "пробити" конденсатори та напівпровідникові прилади. Ще одним наслідком коливань амплітуди і фази напруги є значні вібрації електродвигунів та металевих конструкцій і зокрема трубопроводів електронасосних агрегатів.

Несинусоїдальність напруги, що виникає внаслідок наявності в електромережах нелінійних навантажень — газорозрядних ламп низького і високого тиску, вентильних перетворювачів, магнітних підсилювачів, є причиною відмов та збоїв релейного захисту, автоматики, телемеханіки і зв'язку. Із-за

несинусоїдальності виникають додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах, мережі, порушується робота комплектних конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності. Скорочується також строк служби електрообладнання та кабельних ліній електропередачі внаслідок фізико-хімічних процесів, викликаних полями вищих гармонік та додаткового нагрівання струмоведучих частин.

12.4. Система заходів щодо підтримання належного рівня якості електроенергії

Підтримання належного рівня якості електроенергії потребує здійснення цілеспрямованих заходів технічного та організаційного спрямування:

1) щодо контролю ПЯЕ:

- періодичне знімання графіків рівня напруги на вводах віддалених від споживчої трансформаторної підстанції споживачів;
- періодичні (не рідше 2-х разів протягом року у періоди максимуму і мінімуму навантажень) вимірювання струмів і напруги з метою оцінки несиметрії навантажень фаз.

2) щодо усунення відхилень напруги:

- своєчасне перемикання відгалужень обмоток трансформаторів споживчих підстанцій перемикачем ПБВ відповідно до сезону року та рівня навантаження;
- встановлення на шинах 0,4 кВ споживчих підстанцій та на вводах до енергонасичених виробничих об'єктів комплектних конденсаторних установок;

3) щодо запобігання коливанням напруги:

- розміщення потужних електродвигунів зі змінним навантаженням, що може викликати значне зниження напруги у інших споживачів, поблизу потужних підстанцій або ж спорудження для них окремих підстанцій;
- застосування схем обмеження пускових струмів (зниження напруги у мережі);

4) щодо усунення несиметрії напруг:

- рівномірний розподіл навантаження по фазах мережі 0,38 кВ у населених пунктах;

- встановлення на споживчих трансформаторних підстанціях, що живлять комунально-побутових споживачів, трансформаторів типу ТМГСУ із симетрувальним пристроєм або трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зигзаг із виведеною нульовою точкою»;

5) щодо запобігання виходу з ладу електрообладнання внаслідок надмірного підвищення напруги в мережі у нічний час:

- використання обмежувачів напруги ТОН-3,....,ЭОН-1 та ін. для живлення освітлювальних установок.

13. ОХОРОНА ПРАЦІ

13.1. Організаційні заходи з електробезпеки для працівників під час роботи в електроустановках

Роботи в електроустановках стосовно їх організації поділяються на такі, що виконуються: за нарядом-допуском (далі нарядом), за розпорядженням та в порядку поточної експлуатації.

Організаційними заходами, якими досягається безпека робіт в електроустановках, є: затвердження переліку робіт, що виконуються за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації; призначення осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт; оформлення робіт нарядом, розпорядженням або затвердженням переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації; підготовка робочих місць; допуск до роботи; нагляд під час виконання робіт; переведення на інше робоче місце; оформлення перерв в роботі та її закінчення.

На Харківському тракторному заводі наказом затверджений перелік робіт, які виконуються за нарядами, за розпорядженнями та в порядку поточної експлуатації та призначені особи, відповідальні за безпечну організацію і безпечне виконання цих робіт.

Працівники, відповідальні за безпеку робіт

Відповідальними за безпеку робіт, що виконуються в електроустановках ремонтного цеху заводу є: працівник, який видає наряд, розпорядження; працівник, який дає дозвіл на підготовку робочого місця; працівник, який готує робоче місце, допуск; працівник, який допускає до роботи (далі – допускач); керівник робіт; працівник, який наглядає за безпечним виконанням робіт (далі – наглядач); члени бригади.

Працівник, який видає наряд, розпорядження, встановлює можливість безпечного виконання роботи. Він відповідає за достатність і правильність зазначених у наряді заходів безпеки, за якісний і кількісний склад бригади і призначення працівників, відповідальних за безпечне виконання робіт, а також за відповідність груп з електробезпеки працівників, які зазначені в наряді, роботі, що виконується в ремонтному цеху Харківського тракторного заводу.

Право видачі нарядів та розпоряджень надається адміністративно-технічним працівникам заводу, які мають групу V в електроустановках понад 1000 В та групу IV – в електроустановках до 1000 В.

Працівник, який дає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск, несе відповідальність за достатність передбачених для безпечного виконання робіт заходів по вимкненню та заземленню устаткування і можливість їх здійснення, а також за координацію часу і місця роботи бригад, що допускаються в електроустановку ремонтного цеху. Давати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск мають право оперативні працівники з групою V – в електроустановках понад 1000 В і групою IV – в електроустановках до 1000 В.

Працівник, який готує робоче місце, відповідає за правильне виконання заходів щодо підготовки робочого місця, вказаних у наряді, а також тих, що вимагаються умовами роботи (встановлення замків, плакатів, огорож). Готувати робочі місця мають право чергові або оперативно-ремонтні працівники, які допущені до оперативних перемикачів в електроустановці ремонтного цеху.

Допускач відповідає за правильність і достатність вжитих заходів безпеки та їх відповідність до характеру і місця роботи, зазначених у наряді, за правильний допуск до роботи, а також за повноту та якість проведеного ним інструктажу. Допускачами призначаються оперативні або оперативно-ремонтні працівники. В електроустановках понад 1000 В допускачі повинні мати групу IV, а в електроустановках до 1000 В – групу III.

Керівник робіт відповідає за: вжиття заходів безпеки, передбачених нарядом чи розпорядженням та їх достатність; чіткість і повноту інструктажу членів бригади; наявність, справність і правильне застосування необхідних засобів

захисту, інструменту, інвентарю та пристосувань; збереження та постійність перебування на робочому місці заземлень, огорожень, знаків і плакатів безпеки, запірних пристроїв протягом робочої зміни; організацію і безпечне виконання робіт в ремонтному цеху і дотримання правил техніки безпеки. Керівник робіт повинен мати групу з електробезпеки IV під час виконання робіт в електроустановках понад 1000 В і групу III – в електроустановках до 1000 В.

Наглядач призначається для нагляду за бригадами будівельних робітників, різноробочих, такелажників та інших неелектротехнічних працівників під час виконання ними робіт в електроустановці ремонтного цеху за нарядами та розпорядженнями. Наглядач контролює наявність встановлених на місці роботи заземлень, огорожень, плакатів, запірних пристроїв та відповідає за безпеку членів бригади відносно ураження електричним струмом. Наглядачам забороняється поєднувати нагляд з виконанням будь-якої роботи і залишати бригаду без нагляду під час роботи. Наглядачами призначаються електротехнічні працівники з групою III.

Списки працівників, які мають право на видачу нарядів, розпоряджень, керівників робіт, допускатів, переліки робіт, що виконуються за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації, визначаються особою, відповідальною за електрогосподарство ремонтного цеху, і затверджуються керівником Харківського тракторного заводу.

Порядок видачі та оформлення наряду

Наряд на роботу виписується у двох примірниках за умови дотримання чіткості і ясності записів в обох примірниках.

Наряд виписують на одного керівника робіт (наглядача) з однією бригадою. На руки керівнику робіт видається тільки один наряд. На однотипні роботи, що виконуються без зняття напруги однією бригадою, може бути виданий один спільний наряд для виконання їх в порядку черги на кількох приєднаннях, в одному або різних РУ, у різних приміщеннях підстанцій.

В електроустановках, де напруга знята з усіх струмовідних частин, у тому числі й з виводів ПЛ та КЛ, і замкнутий вхід до суміжної електроустановки

(збірки та щити до 1000 В можуть залишатися під напругою), допускається видавати один наряд для одночасної роботи на всіх приєднаннях.

В разі розширення робочого місця чи зміни кількості робочих місць слід видавати новий наряд.

В разі заміни керівника робіт, а також зміни складу бригади більше ніж наполовину, має бути виданий новий наряд.

Оперативні працівники під час чергування з дозволу старшого в зміні оперативного працівника можуть залучатись до участі в роботі ремонтної бригади без включення в наряд, з записом в оперативному журналі після цільового інструктажу і розпису за нього.

Наряд видається на термін не більше 15 календарних днів від дня початку роботи. Наряд може бути продовжений один раз на термін не більше 15-ти календарних днів від дня продовження. Продовжити наряд може працівник, який видав наряд, або інший працівник, який має право видачі нарядів на роботи в електроустановці ремонтного цеху.

В кожному електрогосподарстві Харківського тракторного заводу роботи за нарядами і розпорядженнями обліковуються в призначеному для цього журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

Склад бригади, що працює за нарядом

Чисельність бригади та її склад з врахуванням кваліфікації і груп з електробезпеки працівників визначає працівник, який видає наряд (розпорядження), виходячи зі складності роботи, умов її виконання, а також потреби забезпечення можливості повноцінного нагляду за безпечним виконанням робіт всіма членами бригади з боку керівника робіт (наглядача).

У випадку роботи за нарядом бригада повинна складатися не менше ніж із двох працівників, включно з керівником робіт. До складу бригади з розрахунку на кожного її члена з групою III допускається включати одного працівника з групою I, але загальна кількість членів бригади з групою I має бути не більше ніж дві особи.

Змінювати склад бригади дозволяється працівнику, який видав наряд, або іншому працівнику, який має право видачі нарядів на виконання робіт в електроустановці ремонтного цеху. Вказівки про зміни складу бригади можуть бути передані по телефону виконавцю робіт або допускачеві, який у наряді за своїм підписом записує прізвище та ініціали працівника, що дав вказівку про зміну.

Керівник робіт зобов'язаний проінструктувати працівників, заново введених до складу бригади, про заходи по безпечному проведенню робіт.

Зміни в складі бригади оформлюються працівником, який видав наряд, а за його відсутності – працівником, який має право видачі нарядів на роботи в даній електроустановці.

Підготовка робочого місця і допуск до виконання робіт

Підготовка робочих місць і допуск можуть провадитись тільки з дозволу оперативних працівників, а на підприємствах, де таких працівників немає, – з дозволу особи, яка видала наряд чи розпорядження за узгодженням з особою, відповідальною за електрогосподарство.

Підготовку робочих місць, як правило, виконують два працівники, які мають право на оперативні перемикання в даній електроустановці. Дозволяється виконувати підготовку робочого місця керівнику робіт з одним із членів бригади, якщо вони мають права на оперативні перемикання в даній електроустановці. Підготовку робочого місця може виконувати один працівник, крім встановлення переносних заземлень в електроустановках понад 1000 В і виконання перемикань, що здійснюються на двох і більше приєднаннях в електроустановках понад 1000 В, що не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій.

Допускач разом з керівником робіт повинні перевірити виконання технічних заходів по підготовці робочого місця. Якщо керівник робіт суміщає обов'язки допускача, то таку перевірку він виконує з одним із членів бригади, який має групу III. Допуск до роботи за нарядами та розпорядженнями слід провадити безпосередньо на робочому місці. Допуск провадиться після перевірки технічних заходів з підготовки робочого місця. В цьому разі допускач має: перевірити, чи

відповідає склад бригади зазначеному у наряді або розпорядженні, та наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань; провести інструктаж: ознайомити бригаду зі змістом наряду, розпорядження; зазначити межі робочого місця і підходи до нього; показати найближче до робочого місця устаткування та струмовідні частини приєднань, що ремонтуються, та суміжних, до яких забороняється наближатися незалежно від того, перебувають вони під напругою чи ні; довести бригаді, що напруга відсутня, показом встановлених заземлень та перевіркою відсутності напруги, якщо заземлення не видно з робочого місця, а в електроустановках 35 кВ і нижче (де дозволяє конструктивне виконання) з наступним дотиком рукою до струмовідних частин, після перевірки відсутності напруги.

Після інструктажу допускача бригаду повинен проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин. Без проведення інструктажу допуск бригади забороняється.

Нагляд під час виконання робіт за нарядом

З моменту допуску бригади до робіт нагляд за нею, з метою запобігання порушенням вимог правил техніки безпеки, покладається на керівника робіт або наглядача. Керівник робіт і наглядач повинні весь час перебувати на місці робіт, в міру можливості – на тій ділянці, де виконується найвідповідальніша і найбільш травмонебезпечна робота. Наглядачеві забороняється поєднувати нагляд з виконанням будь-якої роботи.

З дозволу керівника робіт можливе тимчасове залишення робочого місця одним або декількома членами бригади. Члени бригади з групою III можуть виходити з РУ чи повертатися на робоче місце самостійно. Члени бригади з групою I і II – тільки у супроводі члена бригади з групою III або особи, яка має право одноособового огляду електроустановок. Кількість членів бригади, що залишаються на робочому місці, має бути не менше двох, включно з керівником робіт. Члени бригади, які повернулися, можуть стати до роботи тільки з дозволу керівника робіт. Під час короткочасних відлучень членів бригади виводити їх з

наряду не вимагається. До їх повернення керівнику робіт (наглядачеві) забороняється залишати робоче місце, якщо приміщення, де розміщується електроустановка, не можна замкнути на замок.

Оформлення перерв у роботі

Під час перерв у роботі протягом робочого дня (на обід, за умовами проведення робіт) бригада у повному складі виводиться з робочого місця. Двері приміщень РУ і огорожень електроустановки замикаються на замок. Наряд залишається у керівника робіт (наглядача). Плакати, огороження, заземлення залишаються на місці. Члени бригади не мають права повертатися на робоче місце за відсутності керівника робіт (наглядача). Допуск бригади до роботи після такої перерви здійснюється керівником робіт без оформлення в наряді. Під час перерв у роботі, пов'язаних із закінченням робочого дня, увесь склад бригади виводиться з робочого місця (РУ, електроустановки, ПЛ). Двері приміщень РУ та огорожень електроустановки замикаються на замок. Плакати, огороження, заземлення залишаються на місці.

Переведення бригади на нове робоче місце

В електроустановках понад 1000 В, що експлуатуються місцевими оперативними працівниками, переведення бригади на інше робоче місце здійснюється допускатчем. Це переведення може здійснювати працівник, який видав наряд, або керівник робіт. Переведення на інше робоче місце оформлюється записом в наряді. В електроустановках до 1000 В на різних робочих місцях одного приєднання, а також на різних робочих місцях однієї ПЛ, ПЛЗ, КЛ будь-яких напруг переведення на інше робоче місце здійснюється керівником робіт без оформлення в наряді. У випадках робіт в електроустановках без зняття напруги на струмовідних частинах оформлення допуску на інше робоче місце визначається тільки в разі переведення бригади з ВРУ однієї напруги у ВРУ іншої напруги, або з одного приміщення ЗРУ в інше. В усіх електроустановках під час виконання робіт за розпорядженням, оформлення переведення на інше робоче місце не вимагається.

Закінчення робіт. Закриття наряду

Після повного закінчення робіт робочому місцю слід надати належного стану. Послідовно виконуються: виведення бригади з робочого місця; зняття тимчасових огорожень і плакатів; зняття заземлень; встановлення на місце стаціонарних огорожень і плакатів, зняття огорожень і плакатів, вивішених перед початком робіт; закриття на замки дверей, приміщень.

Наряд може бути закритим лише після огляду устаткування і місць роботи, перевірки відсутності людей, сторонніх предметів і інструменту на робочих місцях і у разі надання належної чистоти. Закриття наряду оформлюється керівником робіт записом у наряді та журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями. Контроль за правильністю оформлення нарядів здійснюється працівниками, які видали їх, та керівними електротехнічними працівниками, періодично вибірковою перевіркою.

13.2. Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Організаційні заходи в ремонтному цеху повинні включати:

- організацію пожежної охорони (профілактичного й оперативного обслуговування об'єктів). Вид пожежної охорони (воєнізована, професійна, добровільні формування і т.п.), порядок профілактичного й оперативного обслуговування об'єктів, необхідність організації підрозділів пожежної охорони і їхня чисельність визначаються у встановленому порядку. Діяльність різних видів пожежної охорони установлюється відповідно до положень про них;
- організацію навчання робітників, службовців і населення правилам пожежної безпеки;
- розробку та реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про порядок роботи з пожежонебезпечними речовинами і матеріалами, про дотримання протипожежного режиму й про дії людей при виникненні пожежі;
- виготовлення і застосування засобів наочної агітації щодо забезпечення пожежної безпеки.

13.3. Розрахунок заземлюючих пристроїв

Виконаємо розрахунок заземлювального пристрою для трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ ремонтного цеху.

Для електроустановок напругою до 1000 В мережі з ізольованою нейтраллю значення найбільшого допустимого опору захисного заземлювального пристрою при потужності генераторів або трансформаторів більше 100 кВ·А $R_{\text{доп}} = 4$ Ом.

Визначимо опір одиничного заземлювача розтіканню струму, Ом:

$$R_{\text{сò}} = \frac{0,366 \cdot \rho}{l} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot H + l}{4 \cdot H - l} \right), \quad (13.1)$$

де d – діаметр стержня-труби, який приймаємо рівним $d = 0,95$ м;

l – довжина стержня-електрода, яку приймаємо рівною $l = 3,5$ м;

ρ – наближене значення питомого опору ґрунту, приймаємо для суглинку $\rho = 150$ Ом·м;

H – глибина закладання стержня-електрода, що визначається як:

$$H = H_0 + \frac{l}{2}, \quad (13.2)$$

де H_0 – глибина закладання верхніх кінців стержней і з'єднувальних провідників, яку приймаємо рівною $H_0 = 0,7$ м.

Тоді глибина закладання стержня-електроду

$$H = 0,7 + \frac{3,5}{2} = 2,45 \text{ м.}$$

$$R_{\text{сò}} = \frac{0,366 \cdot 150}{3,5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3,5}{0,95} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,45 + 3,5}{4 \cdot 2,45 - 3,5} \right) = 14,303 \text{ ô.}$$

Визначимо кількість стержнів-заземлювачів без урахування впливу з'єднувальних смуг як заземлювачів та їх впливу на екранування:

$$n = \frac{R_{\text{ñò}}}{\eta_{\text{ñò}} \cdot R_{\text{аñ}}}, \quad (13.3)$$

де $\eta_{\text{ñò}}$ – коефіцієнт використання вертикального стержневого заземлювача знаходиться з довідників за попереднім значенням числа стержнів $n = 10$ при

$\eta_{\tilde{n}\tilde{o}}=1$, причому заземлюючий пристрій виконано у вигляді контуру. Через це приймаємо $\eta_{\tilde{n}\tilde{o}} = 0,55$.

$$n = \frac{14,303}{0,55 \cdot 4} = 6 \text{ од.}$$

Довжину сполучної смуги заземлювача обчислюємо за формулою, м:

$$l_{\tilde{n}\tilde{e}} = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (13.4)$$

де a – відстань між стержнями-електродами, яку приймаємо рівною $a=7$ м.

$$l_{\tilde{n}\tilde{e}} = 1,05 \cdot 7 \cdot 6 = 44,1 \text{ м.}$$

Визначаємо опір розтіканню струму з'єднувальної смуги, Ом

$$R_{\tilde{n}\tilde{e}} = \frac{0,366 \cdot \rho}{l_{\tilde{n}\tilde{e}}} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_{\tilde{n}\tilde{e}}^2}{b \cdot H_{\tilde{n}\tilde{e}}}, \quad (13.5)$$

де b – ширина полиці стержня-куточка, м, оскільки заземлюючий пристрій виконано зі стержня-куточка розмірами $60 \times 60 \times 4$, то приймаємо $b = 0,06$ м.

Тоді за (13.5)

$$R_{\tilde{n}\tilde{e}} = \frac{0,366 \cdot 150}{44,1} \cdot \lg \frac{2 \cdot 44,1^2}{0,06 \cdot 0,7} = 6,183 \text{ Ом.}$$

Опір групового штучного заземлювача, що складається з паралельно включених стержневих заземлювачів і смуги, дорівнює Ом:

$$R_{\tilde{a}\tilde{o}} = \frac{R_{\tilde{n}\tilde{e}} \cdot R_{\tilde{n}\tilde{o}}}{R_{\tilde{n}\tilde{e}} \cdot \eta_{\tilde{c}\tilde{o}} \cdot n + R_{\tilde{n}\tilde{o}} \cdot \eta_{\tilde{n}\tilde{e}}}, \quad (13.6)$$

де $\eta_{\text{пол}}$ – коефіцієнт використання одиночної смуги з'єднувального провідника, приймаємо $\eta_{\text{пол}}=0,48$ при відношенні відстані між стержневими заземлювачами до їх довжини рівним 2.

$$\text{Тоді } R_{\tilde{a}\tilde{o}} = \frac{6,183 \cdot 14,303}{6,183 \cdot 0,55 \cdot 6 + 14,303 \cdot 0,48} = 3,243 \text{ Ом.}$$

Перевіряємо виконання умови: опір заземлювального пристрою розтіканню струму має бути рівним або трохи менше допустимого опору, тобто:

$$R_{\tilde{a}\tilde{o}} \leq R_{\tilde{a}\tilde{n}} \text{ ,} \quad (13.7)$$

Відповідно до (13.7) $3,243 \text{ Ом} \leq 4,0 \text{ Ом}$, умова виконується, а отже розрахунок можна вважати закінченим.

14. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ ГРОЗОСТІЙКОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

14.1. Методи та засоби захисту ЛЕП з захищеними проводами

Експлуатація мережевих об'єктів вимагає надійної системи захисту від грозових перенапруг відповідно до прийнятих національних стандартів і нормативів з використанням сучасних технічних засобів.

У розподільчих мережах через низьку міцність ізоляція схильна до перекриття як від перенапруг при прямих ударах блискавки, так і від індуктованих перенапруг, які наводяться при розряді блискавки поблизу лінії. Надійність електропостачання споживачів залежить від ефективності грозозахисних заходів, вибраних відповідно до діючих національних нормативів [11].

Із метою обмеження небезпечних для обладнання комутаційних перенапруг застосовуються розрядники вентильні (РВ) або обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН), електромагнітні трансформатори напруги або інші пристрої, а також поєднання їх із заходами щодо обмеження тривалих підвищень напруги (установлення шунтуючих і компенсаційних реакторів, схемні заходи, системна і протиаварійна автоматика).

У мережах напругою 330, 500 і 750 кВ заходи з обмеження тривалих підвищень напруги і внутрішніх перенапруг передбачають залежно від схеми мережі, кількості ліній і трансформаторів. Необхідність обмеження квазіусталених і внутрішніх перенапруг і параметрів засобів захисту від них, визначається шляхом розрахунку можливих перенапруг відповідно до національних методик.

Комутаційні перенапруги на шинах ПС 330, 500 і 750 кВ обмежують залежно від рівня ізоляції обладнання, а для РУ 110–500 кВ передбачають технічні рішення, що унеможливлюють появу ферорезонансних перенапруг, які виникають при послідовних включеннях електромагнітних трансформаторів напруги та ємнісних дільників напруги вимикачів.

Установлення грозозахисних тросів – це традиційний спосіб зниження числа грозових вимкнень ПЛ високої напруги. Грозозахисний трос застосовують в основному на ЛЕП 110 кВ і вище.

Ефективність тросозахисту безпосередньо залежить від рівня ізоляції ПЛ і величини опору заземлення опори. На розподільчих ПЛ через порівняно низький рівень їх ізоляції встановлення тросозахисту для мінімізації наслідків прямих ударів блискавки недоцільно.

Недолік блискавкозахисту з використання троса полягає в тому, що він захищає ЛЕП лише від прямих ударів блискавки, але не захищає від перенапруги при ударі блискавки як в трос, так і поблизу ЛЕП.

Для мереж напругою 150-220 кВ в ряді країн використовується метод підвищення рівня ізоляції гірлянди підвіски проводів шляхом установлення додаткових ізоляторів. Розрахунки показали, що такий спосіб захисту від перекриття шляхом установки одного додаткового ізолятора дозволяє знизити кількість відключень приблизно на 10 %. Однак, такий спосіб підвищення грозоупорності вже діючої лінії електропередачі технічно складний і економічно недоцільний [11].

Для вирішення цієї проблеми у 80-ті рр. ХХ століття для захисту ПЛ від перенапруг було розроблено нелінійні обмежувачі перенапруг, які мають нелінійну характеристику опору, що дозволяє знижувати рівень напруженості на ЛЕП від дії блискавки і таким чином захищати її від перенапруги. ОПН знайшли застосування для захисту ЛЕП і підстанцій у багатьох країнах. Існують два типи ОПН: без іскрового проміжку – ОПН-Л і з зовнішнім іскровим проміжком – ОПН-ЛІ.

Сьогодні у багатьох зарубіжних країнах у розподільчих мережах використовуються захищені проводи. Повітряні лінії із захищеними проводами (ПЛЗ) мають відчутні експлуатаційно-технічні переваги перед ПЛ з неізовльованими проводами, щодо меншої пошкоджуваності, надійності електропостачання споживачів, безпеки, матеріаломісткості, габаритів, але вимагають спеціального вирішення питання їх грозозахисту.

З початку 1950-х рр. захищені провода стали застосовуватися у Франції. Пізніше захищені провода почали впроваджувати у Швеції, Фінляндії, Італії та інших країнах.

Особливістю проблеми грозозахисту ПЛЗ є те, що в разі відсутності спеціальних заходів захисту при грозовому перекритті ізолятора лінії, супроводжуваному пробоем твердої ізоляції проводу, утворювана дуга промислової частоти не має можливості переміщатися по проводу і горить в місці пробоем ізоляції до моменту відключення лінії. Це призводить до випалу ізоляції проводу, ізолятора лінії, а в разі великих струмів КЗ – до перепалу проводів. Тому заходи щодо запобігання перепалу проводу стають головною умовою, що визначає необхідність обов'язкового застосування тих чи інших грозозахисних заходів, зокрема, встановлення захисних пристроїв, захисних тросів, довгоіскрових розрядників, часткове зачищення ізоляції проводів тощо.

У багатьох країнах для захисту від перепалу проводів розроблено спеціальні пристрої, зокрема, пристрої для захищення ізоляції проводів, встановлення спеціальних металевих дугозахисних затискачів тощо.

Особливості грозозахисту як розподільчих мереж, так і ліній електропередачі високої напруги в окремих зарубіжних країнах наведено нижче.

В Японії практично всі розподільчі ПЛ забезпечено тросами. Найбільш застосовуваний спосіб блискавкозахисту – встановлення ОПН (нерідко в поєднанні з тросом), що дозволяє захистити лінію як від прямого удару блискавки, так і від перенапруги, викликані дією блискавки. На дволанцюговій ПЛ, ОПН розташовуються по-різному: на трьох фазах одного ланцюга (97,07 %),

на всіх шести фазах двох ланцюгів (2,58 %), на двох фазах одного ланцюга (0,35 %), на одній з шести фаз (всього два пристрої) [11].

Щорічно в країні встановлюється близько 7000 комплектів таких пристроїв. Аналіз експлуатованих ПЛ з підвісними ОПН в Японії показав істотне підвищення їх надійності. Так, на ПЛ з ОПН в кожній фазі вимикань одночасно двох ланцюгів не спостерігалось, в 60 % випадків відбувалися вимикання лише одного ланцюга. На ПЛ, не оснащених підвісними ОПН, у 60 % випадків мали місце вимикання двох ланцюгів, в інших – одного ланцюга.

Особливо широке застосування для грозозахисту повітряних ліній отримали ОПН в розподільчих мережах Японії, де прийнято рішення про заміну всіх голих проводів розподільчих ПЛ на захищені і діють жорсткі вимоги щодо надійності електропостачання споживачів. При установленні ОПН, розрахованих на грозовий струм 2,5 кА, паралельно кожному ізолятору ПЛЗ з підключенням їх до проводу через іскровий проміжок, вони ефективно запобігають дуговим замиканням та відключенням лінії при індукованих перенапругах. Однак, при прямому ударі блискавки в провід вони пошкоджуються і підлягають заміні.

Японські дослідники запропонували метод захисту від пошкоджень захищених проводів, запровадивши спеціальні пристрої з іскровим проміжком [11].

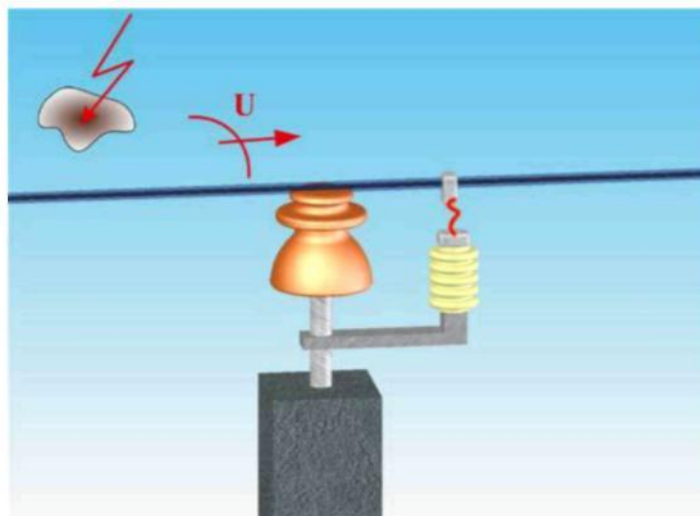


Рис. 14.1. Японська система захисту проводів від перенапруг, ОПН з іскровим проміжком

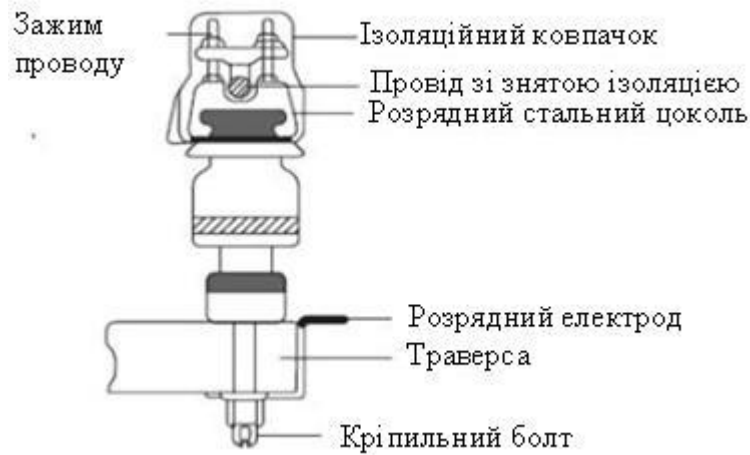


Рис. 14.2. Ізолятор з розрядним проміжком, розроблений в Японії

У США системи ОПН-Л знаходять все більшого застосування на всіх класах напруги. Вибір захисних тросів і ОПН визначено вимогами в стандарті США – IEEE Std. 1410-1997.

Американська система захисту проводів від перепалу полягає в тому, що в місці кріплення проводу до ізолятора ізоляція знімається на певній ділянці, на кінцях якої встановлюються дугові затиски. При цьому, дуга переміщається до затискачів з наступним переходом її на заземлену частину опори лінії [11].

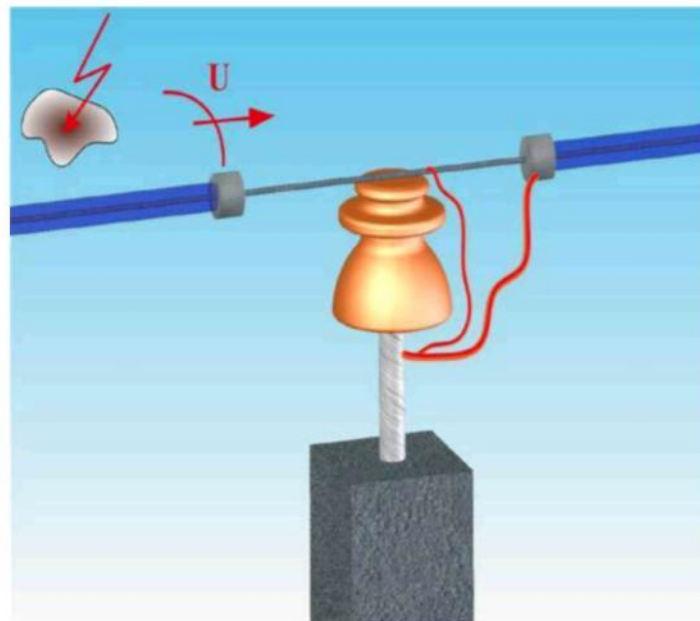


Рис. 14.3. Американська система захисту проводів ПЛЗ від перепалу

У Бразилії для підвищення надійності ПЛ класів напруги до 230 кВ, де 50–70 % усіх пошкоджень відбулося через грозові перенапруги, до 2006 р. було встановлено понад 2500 апаратів ОПН-Л.

У Франції обмежувачі ОПН-Л розміщуються на ПЛ 63–90 кВ, що проходять поблизу місць перебування людей (парки, ігрові майданчики). Захисні апарати встановлюються на кожній опорі.

Перехід на захищені проводи у Франції дозволив знизити річну кількість пошкоджень ПЛ з 10 разів на 100 км (ПЛ з неізолюваними проводами) до 2,5 рази для ПЛ із захищеними проводами.

В енергосистемі Румунії для захисту ЛЕП від ударів блискавки для опор ліній передачі напругою 110, 220 і 400 кВ застосовуються спеціальні розрядники Protecta*Lite. Досвід застосування захисних розрядників на лінії 400 кВ Брашов – Гутінас став типовим національним рішенням для всіх ЛЕП з високою імовірністю аварійних грозових вимкнень. Зокрема, на ділянці довжиною 125 км, розташованій у гірській місцевості, було встановлено 36 блоків розрядників Protecta*Lite. Слід відмітити, що тривалість дії розрядника менша від уставки спрацьовування релейного захисту. В енергетиці країни також знайшли застосування ОПН-Л.

У Фінляндії для захисту від перепалу проводів запроваджено спосіб відведення дуги на спеціальні «роги», які встановлюються на кінцях ділянки проводу зі знятою ізоляцією.

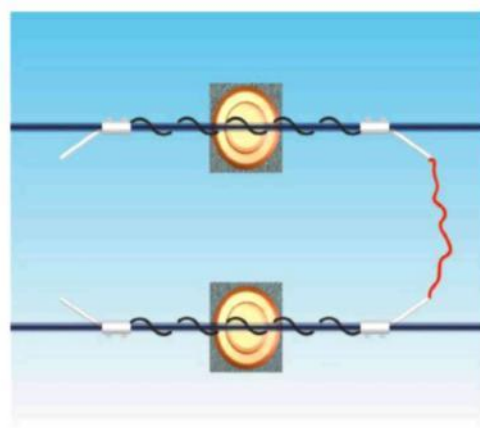
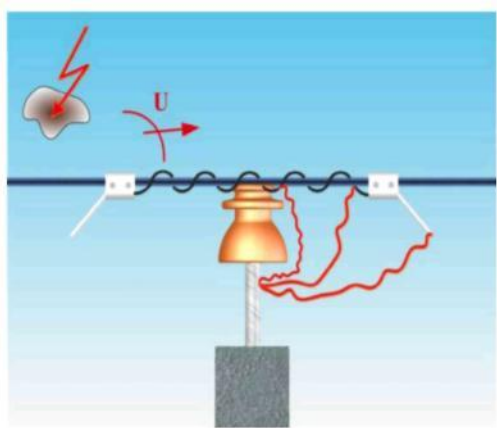


*Рис. 14.4. Фінська система захисту проводів від перепалу.
Дугозахисні «роги»*

На оголеній ділянці навколо проводу встановлюється сталеві спіраль, а на кінцях оголеної ділянки – дугозахисні «роги». Дуга має виходити на кінець «рогів» і замикатися на сусідню фазу (двофазне КЗ). У процесі дуговідведення відбувається інтенсивне обгорання «рогів». Це вимагає їх періодичної заміни, що є істотним недоліком цієї системи, від застосування якої в ряді країн відмовилися [11].

У Фінляндії також розроблено і широко застосовується дугозахисний затиск конструкція, якого потребує зачищення проводу лише всередині затиску. Така система отримала назву SAX.



Рис. 14.5. Конструкція дугогасного затиску, розробленого у Фінляндії

В енергосистемі Китаю також широко застосовуються захисні апарати ОПН, зокрема, ці апарати встановлено на кожній опорі ПЛ 132 і ПЛ 400 кВ, розташованих переважно на пагорбах. Національними рекомендаціями частоту їх встановлення на кожній ПЛ визначають залежно від необхідного рівня надійності захисту.

У країнах бувшого СНД широко використовуються різні пристрої блискавкозахисту – такі як стержневі і тросові системи, розрядники різних типів, ОПН. Також набирають темпів впровадження нові пристрої, такі як довго-іскрові розрядники (РДІ), мультикамерні розрядники (РМК), а також ізолятори-розрядники мультикамерні (ІМРК) і гірлянди, що комплектуються з них (ГІМРК).

Апарати ОПН широко застосовуються при грозозахисті ПС і ЛЕП. Наприклад, на одній з двоколових ЛЕП грозіві перенапруги призводили до одночасного вимкнення двох ланцюгів в середньому 1–2 рази на рік. Після оснащення такої лінії апаратами ОПН-Л на «проблемних» ділянках протягом чотирьох років з моменту встановлення апаратів не було зафіксовано ні грозових вимкнень, ні пошкоджених ОПН.

Широке застосування в електромережах напругою 6-10 кВ знайшли РДІ, дія якого базується на принципі відведення іскрового перекриття з ізолятора лінії на тіло розрядника, що дозволяє «розтягнути» дугу і полегшити її гасіння, а також зменшити середній градієнт робочої напруги впродовж каналу грозового перекриття.

Розрядники РМК і ІМРК прості за конструкцією і базуються, як і РДІ, на принципі відведення іскрового перекриття від ізолятора і складаються з мультикамерної системи, склопластикового стрижня і вузла кріплення розрядника до арматури ізолятора. Розрядник встановлюється на металевий стрижень ізолятора з іскровим проміжком 3–6 см між верхнім кінцем розрядника і універсальним затискачем на проводі ПЛ. Застосовується для ЛЕП напругою 6-20 кВ.

Особлива відмінність між ІМРК і РМК полягає в тому, що мультикамерна система встановлюється по периметру кромки ізолятора, а в місці кріплення ізолятора встановлено електрод, на який і переходить розряд блискавки. Гірлянди із ІМРК мають назву ГІМРК. Так, для ПЛ 35 кВ така гірлянда складається із 3, для ПЛ 110 – із 7, для 220 кВ – із 14 ГІРМК.

14.2. Порівняння різних засобів блискавкозахисту

Ефект від застосування грозозахисного троса для захисту від прямих ударів блискавки розподільчих ПЛ невисокий і ускладнюється особливо в місцях з високим питомим опором ґрунту.

Застосування троса вимагає значних витрат. Однак, застосування тросу дозволяє зменшувати індуковані перенапруги на таких лініях.

Використання ОПН дозволяє захистити лінію від індукованих перенапруг, проте слід враховувати можливість пошкодження ОПН при прямих ударах блискавки і необхідність їх своєчасної заміни для відновлення грозоупорності лінії. Незважаючи на сучасні технології виробництва ОПН, кількість пошкоджень ОПН досягає 5 %, і тому експлуатаційне обслуговування обмежувачів перенапруг з урахуванням заміни тих, що вийшли з ладу, і їх діагностики буде дуже витратним.

Використання РДІ є ефективним способом запобігання дуговим замиканням струмами промислової частоти, але цей засіб доцільно застосовувати тільки в розподільній мережі із ізольованою нейтраллю. Для розподільної мережі з заземленою нейтраллю довжина РДІ буде значною і вартість його значно зросте.

Розрядники РМК та ІРМК, за існуючих істотних переваг, поки не знайшли широкого застосування [11].

Що ж стосується ПЛЗ, то для їх блискавкозахисту застосовуються різні засоби і способи, порівняння яких наведено в табл. 14.1.

Всі вище вказані засоби захисту потребують допоміжних дій та експлуатаційних витрат. На основі цих розробок, фахівцями Харківського політехнічного інституту запропоновано засіб, де у вигляді довго-іскрового розрядника буде використовуватися сам провід. Схематично це виглядає наступним чином:

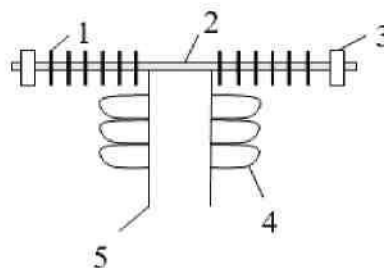


Рис. 14.6. Захисний пристрій:

1 – бандаж, 2 – захищений провід, 3 – проколюючий затискач, 4 – ізолятор лінії, 5 – опора

Таблиця 14.1

Способи зниження числа пошкоджень захищених проводів та їх порівняння

Засіб	Функція	Вартість	Застосування		Ефект	Обслу- говува ння
			Старі лінії	Нові лінії		
Грозахисний трос	Перехват прямого розряду блискавки, зменшення індукованої перенапруги	Висока	Тяжко	Легко	Середній	Ні
ОПН	Поглинання енергії блискавки та обмеження грозової перенапруги	Висока	Тяжко	Легко	Високий	Дуже часто
ОПН з захисним тросом	Поглинання енергії блискавки та обмеження грозової перенапруги, зменшення кількості уражень розрядників	Дуже висока	Тяжко	Легко	Дуже високий	Часто
РДІ	Збільшення шляху розряду, усунення горіння дуги	Низька	Легко	Легко	Високий	Практично не має
Часткове збільшення товщини ізоляції	Збільшення шляху розряду, усунення горіння дуги	Висока	Дуже тяжко	Тяжко	Середній	Ні
Застосування ізоляторів з високою розрядною напругою перекриття	Збільшення допустимого імпульсного рівня та скорочення кількості грозових перекриттів	Низька	Неможливо	Легко	Середній	Ні
Ізоляційна система з каскадним з'єднанням елементів	Скорочення уражень головної лінії за рахунок наявності місць зі слабкою ізоляцією	Середня	Неможливо	Вирігдно	Високий	Ні
Ізолятори з іскровими проміжками	Сприяння можливості горіння дуги та недопущення ураження проводу	Висока	Тяжко	Легко	Високий	Ні
Застосування нового посиленого захищеного проводу	Збільшення дугостійкості проводу	Висока	Неможливо	Легко	Середній	Не часто
Часткова зачистка ізоляції та установка зажиму	Сприяння можливості горіння дуги та недопущення ураження проводу	Низька	Тяжко	Тяжко	Високий	Практично не вимагає

На захищений провід одягаються бандажі, товщина бандажу 1 см, відстань між бандажами може коливатись від 5 до 10 см. Відстань до проколюючого затискача 70 см, оскільки це є критичною довжиною дуги для класу напруги лінії 6 кВ, для класу напруги 20 кВ – відстань дорівнює 1 м.

Цей пристрій дозволяє не використовувати будь-які інші допоміжні пристрої. Завдяки цьому пристрою реалізується так званий ковзаючий розряд, в

результаті чого отримуєть гасіння дуги при переході через 0, це дуже добре впливає на ізоляцію.

Також цими фахівцями була розглянута інша конструкція даного захисного пристрою, схематично зображена на рисунку 14.7.

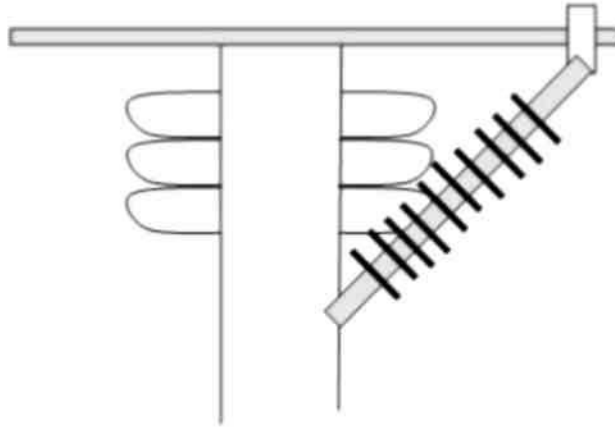


Рис. 14.7. Запропонований захисний пристрій іншої конструкції

Відмінність полягає у наступному, що цей варіант пристрою кріпиться безпосередньо до опори, що дає змогу значно знизити різницю потенціалів між проводом та опорою лінії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підруч. /В.Є. Шестеренко. - Вінниця: Нова Книга, 2011. - 656 с.
2. Сірий О.М. Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання: навч. посіб. /О.М.Сірий; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. університет харч. технол. - К.: НУХТ, 2011. - 319 с.
3. В.Є.Шестеренко. Проектування систем електропостачання. /В.Є. Шестеренко, О.В. Шестеренко. - Київ: ПП «К» 2017. – 436 с.
4. Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування. В.Є. Шестеренко, О.В. Шестеренко. - Київ: 2013. - 424 с.
5. Силові споживачі електричної енергії: [навч. посіб.] /[Соловей О. І., Розен В. П., Ситник О. О. та ін.]; за заг. ред. О. І. Солов'я; М-во освіти і науки, Черкас. держ. технол. ун-т. - Черкаси : ФОП Кандич С. Г., 2016. - 121 с.
6. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Держнаглядохоронпраці від 09. 01. 98 № 4.
8. ДБН В .2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. К. – Мінрегіон України, 2018 р.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем. Навч. посібник /В.П. Кідиба. - Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка». - 2013. - 500 с.

10. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання [Текст]: навч. посібник для студ. електротехнічних спец. вищ. навч. закладів України / П. П. Говоров [та ін.]. –Х.: Інститут змісту і методів навчання; Харківська держ. академія міського господарства. - 1996. - 228 с.

11. Дривецький С.І. Захист ліній електропередавання з захищеними проводами від наведених блискавкою перенапруг. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrelektro.com.ua/ua/p802875126-vyklyuchatel-vakuumnyj-vvtel.html>.

13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tf-k.net/catalog/kabelno_provodnikovaya_produktsiya/kabel.

14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energotransbud.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=67&Itemid=89.