

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній (освітньо-кваліфікаційний) рівень)

на тему: **Розробка заходів підвищення ефективності системи
електропостачання промислового підприємства з технологічним
впливом на якість електроенергії**

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕМ-61

напряму підготовки (спеціальності) 141 –

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Щербатюк В. Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Євтух П. С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О. О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Козак К. М.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕІ

проф. Тарасенко М. Г.

«02» вересня 2019 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Щербатюку Владиславу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка заходів підвищення ефективності системи електро-

постачання промислового підприємства з технологічним впливом на якість електроенергії

Керівник проекту (роботи) Євтух Петро Сильвестрович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «23» серпня 2019 року № 4/7-731

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 15 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Генеральний план підприємства із зварювальним виробництвом, схема електропостачання, потужність ТПС, характеристики споживачів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Вступ

2. Аналітична частина

3. Науково-дослідна частина

4. Технологічна частина

5. Проектно-конструкторська частина

6. Спеціальна частина

7. Обґрунтування економічної ефективності

8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

9. Екологія

10. Загальні висновки до дипломної роботи

11. Перелік посилань

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

1. План основного виробництва та схема силової мережі

1л. ф – А1

2. Схема однолінійна електричних з'єднань ВРП

1л. ф – А1

3. Схема однолінійна електричних з'єднань ШРА1 та ШРА2

1л. ф – А1

4. Схема однолінійна електричних з'єднань РП1–РП6

1л. ф – А1

5. Схема електричних з'єднань освітлювальної мережі

1л. ф – А1

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічна частина	Мельник Л. М., д.е.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		
	Стручок В. С., ст. викл.		
Екологія	Зварич Н. М., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання **06 вересня 2019 року**

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	16.09.2019	
2	Аналітична частина	23.09.2019	
3	Науково-дослідна частина	07.10.2019	
4	Технологічна частина	21.10.2019	
5	Проектно-конструкторська частина	04.11.2019	
6	Спеціальна частина	18.11.2019	
7	Обґрунтування економічної ефективності	25.11.2019	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	02.12.2019	
9	Екологія	02.12.2019	
10	Висновки	06.12.2019	
11	Оформлення пояснювальної записки	09.12.2019	
12	Оформлення графічної частини	09.12.2019	

Студент _____
(підпис)

Щербатюк В. Р. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Євтух П. С. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Щербатюк В. Р. Розробка заходів підвищення ефективності системи електропостачання промислового підприємства з технологічним впливом на якість електроенергії. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроенергетики. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕМ–61. - Тернопіль : ТНТУ, 2019.

Стор. - 126; рис. - 18; табл. - 33; креслень - 6; джерел - 47; додатків - .

У дипломній роботі проведено модернізацію системи електропостачання підприємства з технологією інструментально–зварювального виробництва для вирішення завдання підвищення якості електроенергії та надійності електропостачання споживачів.

Розроблені заходи щодо створення умов для високоефективної й безперебійної роботи технологічних установок з пристроями для компенсування реактивної потужності та фільтрокомпенсувальними пристроями, налаштованими на нейтралізацію діючих в електромережі вищих гармонійних складових електроенергії.

Досліджена математична модель для визначення термічної стійкості і терміну служби ізоляції асинхронного електродвигуна в залежності від режиму його навантаження при наявності спотворень напруги живлення.

Виконаний розрахунок електричних навантажень, внесені конструктивні зміни в діючу електричну схему живлення електроспоживачів, вибрані ефективні перерізи кабельно–провідникової продукції, виконаний розрахунок струмів к. з.

Ключові слова: ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, МОДЕЛЬ ТЕРМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ, СХЕМО–ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ.

ANNOTATION

Shcherbatiuk V. Development of measures to improve the efficiency of the power supply system of an industrial enterprise with technological impact on the quality of electricity. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group EEm-61. - Ternopil : TNTU, 2019.

Pages - 126; Illustrations - 18; Tables - 33; Drawings - 6; Sources - 47; Applications -.

In diploma paper the modernization of the enterprise power supply system with the technology of tool and welding production to solve the problem of improving the quality of electricity and reliability of power supply to consumers are carried out,

The measures to create the conditions for high-efficiency and uninterrupted operation of technological installations with reactive power compensation devices and filter compensators, which are configured to neutralize the higher harmonic components of electricity in the electrical network, are developed.

A mathematical model for determining the thermal stability and service life of an asynchronous motor, depending on the mode of its load at the presence of distortions of the supply voltage is researched.

The calculation of electrical loads is executed, the design changes in the current electrical scheme of power consumers are made, effective cross-sections of cable-conductor products are selected, the calculation of short-circuit currents is executed.

Keywords: ELECTRIC NETWORK, QUALITY OF ELECTRICITY, TERM STABILITY MODEL, SCHEME-TECHNICAL SOLUTIONS.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	13
1.1 Вимоги до систем електропостачання	13
1.2 Підвищення ефективності систем електропостачання	14
1.3 Проблеми якості електричної енергії в електромережах промислових підприємств	15
1.4 Вплив відхилень якості електроенергії на ефективність функціонування електроприймачів	18
1.5 Аналіз економічних збитків при експлуатації електромереж з низьким рівнем якості електроенергії	22
1.6 Коротка довідка про підприємство	23
1.7 Особливості системи електропостачання інструментально - зварювального виробництва	26
1.8 Вибір класу напруги системи електропостачання	27
1.9 Висновки до розділу	28
2 НАУКОВО–ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	29
Дослідження електромереж промислових підприємств з впливом технологічного устаткування на показники якості електроенергії	29
2.1 Вплив спотворення напруги електромережі на роботу технологічного електроустаткування	29
2.2 Визначення спотворення форми напруги в електромережах	35
2.3 Особливості розрахунку вищих гармонік в електромережах споживачів	36
2.4 Дослідження енергетичних затрат у моделі ділянки системи електропостачання з асинхронним електродвигуном при наявності вищих гармонік	39

2.5 Висновки до розділу	40
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	42
Розрахунок системи електропостачання інструментально- зварювального виробництва	42
3.1 Аналіз вихідних даних на проектування та загальна характеристика електроприймачів	43
3.2. Розрахунок електричних навантажень виробництва	44
3.3 Розрахунок навантаження розподільчих пунктів і шинопроводів	46
3.4 Вибір місця розташування цехової трансформаторної підстанції	48
3.5 Розрахунок електричного освітлення приміщень інструментально–зварювального виробництва	49
3.6 Розрахунок навантаження щитків освітлення	55
3.7 Розрахунок потужності ділянок виробництва	55
3.8 Вибір номінальної потужності трансформаторів	56
3.9 Вибір компенсуючих пристроїв реактивної потужності	58
3.10 Обмеження рівня вищих гармонік в електромережах промислових підприємств	60
3.11 Висновки до розділу	63
4 ПРОЕКТНО–КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	64
Розрахунок струмів коротких замикань, вибір елементів мережі живлення, комутаційних апаратів та захисту	64
4.1 Вибір перерізу кабельних ліній напругою понад 1 кВ	64
4.2 Вибір розподільної мережі 0,4 кВ	66
4.3 Вибір комутаційних апаратів	73
4.4 Розрахунок струмів короткого замикання	77
4.5 Вибір основного електрообладнання цехової підстанції і низьковольтної мережі цеху	82
4.6 Перевірка струмопровідних частин на термічну стійкість	85
4.7 Релейний захист трансформаторів цехової підстанції	85

4.8 Висновки до розділу	86
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	87
Якість електроенергії в мережі підприємства зі зварювальним виробництвом	87
5.1 Погіршення показників якості електроенергії зварювальними агрегатами	87
5.2 Дослідження гармонійних складових електромережі з джерелами живлення зварювальної дуги	90
5.3 Дослідження порівняльного впливу зварювальних апаратів різних типів на показники якості електроенергії мережі живлення	92
5.4 Висновки до розділу	98
6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	99
6.1 Визначення вартості розробки проекту	100
6.2 Визначення вартості реалізації проекту	101
6.3 Витрати на експлуатацію системи електропостачання	103
6.4 Аналіз результатів	107
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	108
7.1 Заходи з електробезпеки на інструментально–зварювальному виробництві	108
7.2 Заходи пожежної безпеки на інструментально–зварювальному виробництві	110
7.3 Причини виникнення виробничих надзвичайних ситуацій	113
7.4 Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій	114
8 ЕКОЛОГІЯ	116
8.1 Заходи щодо зменшення впливу забруднювачів від інструментально–зварювального виробництва	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	120
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	122

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з розвитком ринкових відносин в енергетиці України проблема забезпечення якості електричної енергії (ЯЕ) стає більш гострою і актуальною. Особливої уваги потребує вирішення цього питання для промислових підприємств, оскільки для них характерна наявність значної кількості обладнання, на роботу якого істотно впливає ЯЕ. Для обґрунтування заходів щодо забезпечення необхідного рівня ЯЕ необхідна інформація про показники ЯЕ в досліджуваній точці мережі, а також їх вплив на роботу споживачів [12, 13].

Дослідження останніх років показали, що ЯЕ в електричних мережах часто не відповідає вимогам ГОСТ 13109-97 та ДСТУ 3466–96 [45, 47], що призводить до негативних наслідків: збільшення втрат електроенергії, скорочення терміну служби електрообладнання, порушення технологічного процесу, погіршення роботи приладів обліку електроенергії і т. ін. [11, 21, 23].

В той же час недостатньо уваги приділено питанням обліку комплексного впливу всіх показників ЯЕ на роботу електроприймачів, а також ступеня впливу складових економічного збитку на роботу електроприймачів промислових підприємств [24, 25].

Зниження якості спожитої електроенергії кількісно можна виразити у вигляді економічних збитків, при визначенні яких слід враховувати, що шкода є результатом спільного впливу всіх показників ЯЕ на роботу електрообладнання, крім того його визначення носить наближений характер і призначене для попередніх розрахунків економічної доцільності застосування заходів щодо підвищення ЯЕ [35, 43].

Тому, актуальною як для промислових підприємств, так і для країни в цілому залишається проблема виявлення факторів, що найбільше впливають на якість електроенергії та розробка інструментарію і заходів для усунення невідповідностей показників ЯЕ.

Виходячи з цього, при модернізації системи електропостачання необхідно приділити увагу надійному та безперебійному забезпеченню споживачів електроенергією відповідної якості згідно встановлених вимог.

Мета і завдання дослідження. Метою дипломної роботи є модернізація схеми електропостачання підприємства з технологією інструментально–зварювального виробництва, яка забезпечить покращення рівня якості електроенергії та відповідатиме вимогам з енергоефективності, а також проведення аналізу стану електромережі підприємства для розроблення технічних і організаційних заходів щодо нейтралізації впливу коливань напруги та вищих гармонійних складових мережі живлення, генерованих технологічним устаткуванням.

Поставлена в дипломній роботі мета вимагає вирішення таких задач:

- аналіз заходів, які використовуються на сучасних підприємствах для підвищення якості електроенергії та зменшення її втрат;
- аналіз впливу несинусоїдності напруги на електроустаткування інструментально–зварювального виробництва і методів розрахунку струмів вищих гармонік;
- аналіз математичних моделей термічної стійкості, навантажувальної здатності та надійності електрообладнання при наявності вищих гармонік в електромережі підприємства;
- аналіз ефективності схемо–технічних рішень покращення якості електроенергії для зменшення її втрат в системах електропостачання;
- вибір схеми електропостачання та розрахунок навантажень електроспоживачів підприємства;
- розрахунок силової та освітлювальної електромережі й вибір потужності трансформаторів;
- розрахунок струмів к. з. та вибір високовольтного й низьковольтного електрообладнання, а також оптимального січення кабельно–провідникової продукції;
- вибір та перевірка сучасного комутаційного обладнання за умовами термічної та електродинамічної стійкості;
- розроблення заходів щодо підвищення енергоефективності підприємства з технологією інструментально–зварювального виробництва й зниження втрат електроенергії та потужності в електромережі підприємства.

Об’єкт дослідження - процес підвищення якості електроенергії та

зменшення її втрат в електромережах промислових підприємств.

Предмет дослідження - показники ефективності роботи технологічного електрообладнання в умовах дії коливань напруги та наявності вищих гармонік електричної мережі.

Наукова новизна отриманих результатів.

– Дістало подальший розвиток дослідження факторів, що найбільше впливають на якість електроенергії в мережах промислових підприємств з технологічним устаткуванням різної інтенсивності дії на електромережу.

– Дістало подальший розвиток дослідження заходів зменшення втрат електроенергії шляхом впровадження ефективних схемо–технічних рішень компенсації вищих гармонік й реактивної потужності в електромережі підприємства.

– Дістало подальший розвиток дослідження математичної моделі для визначення терміну служби ізоляції та надійності асинхронних електродвигунів, які враховують наявність вищих гармонік в мережі живлення.

Практичне значення отриманих результатів.

Представлені математичні моделі можуть бути використані для оцінки впливу несинусоїдності напруги на термін служби ізоляції і навантажувальні характеристики асинхронних електродвигунів.

Подане схемо–технічне рішення електромережі з компенсацією реактивної потужності та фільтрокомпенсувальними пристроями для фільтрації виявлених гармонічних складових сприятиме підвищенню якості електроенергії в умовах дії інтенсивних чинників технологічного устаткування і дозволить суттєво підвищити енергоефективність виробництва.

Апробація. Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [20].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 8-и розділів, висновків, переліку посилань (47 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 126 стор., 33 табл., 18 рис.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Вимоги до систем електропостачання

Сучасні системи електропостачання промислових підприємств, міст, сільського господарства і транспорту повинні відповідати рівню розвитку технологій, обсягу споживання електричної енергії, забезпечувати показники якості електроенергії та відповідну до вимог споживача надійність за максимальної економічної ефективності. Практично на стадії проектування об'єкта в систему електропостачання повинні закладатися такі технічні вирішення, які забезпечили б виконання згаданих умов. Завдання ускладнюється тим, що з часом попередні умови можуть змінюватись як у частині значень електричних навантажень, територіальному їх розташуванні, так і з боку енергосистеми, сторонніх споживачів тощо. До того ж, деякі вихідні дані можуть бути задані з певним наближенням або просто відсутні. Тому розроблена електропостачальна система повинна бути досить універсальною і легко пристосовуватися до деякої варіації вихідних умов, а також має передбачатись можливість її подальшого розвитку.

Звідси випливають основні вимоги до систем електропостачання [9]:

1. Повинна забезпечуватись максимальна економічна ефективність з урахуванням усіх можливих факторів.
2. Повинні бути забезпечені показники якості електроенергії відповідно до чинних стандартів.
3. Надійність системи повинна відповідати категорії електроприймачів щодо надійності електропостачання.
4. Схеми повинні бути простими та наочними, що забезпечує підвищення надійності експлуатації.
5. Електропостачальна система повинна бути гнучкою.
6. Система повинна бути придатною до розширення або реконструкції.
7. Повинна забезпечуватись максимальна електро- пожежо- та вибухо- безпека під час експлуатації.
8. Необхідно застосовувати найсучасніші способи постачання

електроенергії, силові елементи та елементну базу захисту, автоматики, керування тощо.

9. Система повинна мінімально впливати на довкілля, бути екологічно чистою.

1.2 Підвищення ефективності систем електропостачання

Споживання енергії людством протягом останнього сторіччя постійно зростало і досягло такого рівня, який істотно впливає на глобальні світові процеси.

Споживання енергії на одну людину у світі становить 1,9 *t* умовного палива. Це означає, що загалом у світі на потреби людини видобувається величезна кількість палива, запаси якого не є нескінченними. Звідси випливає необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, а також запровадження економніших, енергоощадних технологій. Це і є дві основні глобальні проблеми енергетики та енергоспоживання.

В системах електропостачання енергоефективність полягає головним чином у зменшенні втрат електроенергії в елементах електричних мереж під час її передавання та перетворення, зокрема під час споживання, а також у ширшому застосуванні найсучасніших матеріалів і конструкцій окремих елементів та споруд загалом. Значну роль у підвищенні економічної ефективності систем електропостачання має компенсація реактивної потужності, вирівнювання графіків навантажень, використання вищих номінальних напруг та підтримання їхнього підвищеного (в межах допустимого) рівня під час роботи, зниження та зміщення пікових потужностей, застосування сучасних нешкідливих матеріалів, обладнання та устаткування, що найменше впливає на довкілля [25].

Значну роль у підвищенні ефективності роботи споживачів електроенергії мають такі властивості електропостачальних систем, як надійність та здатність забезпечити високі показники якості електроенергії. Проблема визначення оптимальних показників надійності електропостачання та якості електроенергії є однією із визначальних.

Важливою проблемою в електропостачанні є перехід на нову елементну

базу вторинних кіл - запровадження мікропроцесорних пристроїв захисту, автоматичного керування, сигналізації, обробки даних, аналізу аварій, діагностики тощо. Завдяки цьому з'являється можливість значного зменшення потужності трансформаторів струму та напруги, габаритів вторинних пристроїв, підвищення надійності та ефективності їх роботи. Широке застосування ЕОМ, поєднане з мікроелектронними пристроями вимірювання, захисту, автоматики тощо, повинно підвищити гнучкість та надійність електропостачальних систем, скоротити чисельність обслуговуючого персоналу і загалом дати великий економічний ефект [7].

Усе більшого значення набувають питання захисту довкілля. Є багато методів зменшення негативного впливу систем електропостачання та окремих її елементів на довкілля. Це і застосування екологічно чистіших рідин для трансформаторів, конденсаторів, вимикачів і розроблення досконаліших конструкцій елементів, розподільних споруд, ліній, і забезпечення пожежо- та вибухобезпеки [6].

Важливого значення набуває проблема міжнародної співпраці в галузі електроенергетики, особливо в частині узгодження національних стандартів, правил улаштування, експлуатації та номенклатури обладнання.

1.3 Проблеми якості електричної енергії в електромережах промислових підприємств

Електрична енергія є продукцією електроенергетичних систем. До її якості пред'являються такі ж вимоги, які й до якості будь-якої промислової продукції. Електрична енергія як продукт істотно відрізняється від продукції інших галузей промисловості тим, що вона не складається. Проте від якості електричної енергії значною мірою залежать умови роботи її споживачів. Тому забезпечення необхідної якості електричної енергії має велике народногосподарське значення. Підвищення якості електричної енергії зазвичай пов'язане з додатковими витратами, оскільки вимагає застосування додаткових пристроїв. Доцільно розрізняти такі показники якості електричної енергії: гранично допустимі значення за технічними умовами, нормовані значення і оптимальні або

економічно обґрунтовані значення. Ці значення можуть помітно різнитися і залежать від ряду умов [22].

Як правило, за технічними умовами допускаються гранично допустимі відхилення від номінальних значень. За умовами економічності часто доцільним виявляється їх зменшення. Здебільшого нормуватися можуть тільки значення, що визначаються технічними умовами. Оптимальні значення повинні визначатися в кожному конкретному випадку особливо, хоча деякі типові рішення не виключаються.

До останнього часу вважалося, що на промислових підприємствах в мережах трифазного струму напруги повинні складати практично симетричну систему і повинні змінюватися практично синусоїдально в часі. Насправді положення різко змінилося за останні 15-20 років у зв'язку з широким застосуванням приймачів електричної енергії, що мають несприятливі з точки зору роботи системи електропостачання характеристики. До таких приймачів відносяться: вентиляльні перетворювачі, установки однофазного і трифазного електрозварювання, потужні електротермічні установки, зокрема дугові сталеплавильні печі, а також силові трансформатори і газорозрядні лампи. Вольтамперна характеристика таких пристроїв нелінійна. Це призводить до погіршення якості електричної енергії внаслідок значного спотворення кривих струмів і напруги в системі електропостачання промислових підприємств [23].

У системі електропостачання промислового підприємства сумарна доля участі електротермічних і вентиляльних навантажень може дійти найближчими роками до (30–40)%. Тому, такі явища, як порушення симетрії напруги і синусоїдності їх зміни в часі, доводиться вважати постійно діючими, проте відповідно до норм ГОСТ 13109-97 [45] вони повинні знаходитися в допустимих межах; в іншому випадку потрібне проведення відповідних заходів щодо нормалізації їх стану.

Слід розрізняти показники якості електроенергії, зумовлені живлячою електроенергетичною системою і приймачами електричної енергії. Так, наприклад, відхилення частоти залежить від живлячої системи; коливання частоти, несинусоїдність форми кривої напруги, коливання напруги, несиметрія напруги, зміщення нейтралі зумовлюються роботою окремих потужних приймачів

електричної енергії [35].

Не усі показники якості електричної енергії мають жорстко нормовані значення. Так, за величиною і тривалістю нормуються тільки відхилення частоти, інші - тільки за величиною. Відхилення і коливання напруги нормуються за швидкістю зміни напруги; для інших показників якості електричної енергії швидкість зміни не встановлюється, хоча для усіх них потрібен постійний моніторинг [13].

Слід зазначити, що ряд показників якості електроенергії проявляються в однаковій дії на роботі приймачів електричної енергії. Тому, нормованими можуть бути тільки ті, що можуть бути результатом їх сумарної дії.

До того ж якщо порушення технічних умов роботи електрообладнання може бути помічене за непрямими проявами (перегрівання елементів електроустаткування, підвищена пошкоджуваність, збільшення браку продукції і т. ін.), то зниження техніко-економічних показників роботи систем електропостачання промислових підприємств, транспорту і побуту може залишатися непоміченим. Для його виявлення потрібно ретельний контроль, виконання розрахунків, зіставлення з іншими, аналогічними умовами [13].

Якість електричної енергії можна поліпшити засобами живлячої мережі або застосуванням відповідного додаткового устаткування на основі досвіду проектних і експлуатаційних організацій. Питання якості електричної енергії вимагають ретельнішої розробки і вивчення явищ, що відбуваються при цьому. Особливі труднощі викликаються відсутністю необхідних вимірювальних приладів в електричних мережах і необхідністю зміни методів вимірів. Це пов'язано, зокрема, з впливом зміни навантажень випадкового характеру, що у свою чергу вимагає застосування статистичних приладів і відповідної обробки отриманої інформації - використання ймовірно-статистичних методів розрахунку [22].

У сучасних умовах необхідно зважати на дійсний склад приймачів електричної енергії в даній мережі і проводити відповідний аналіз усієї системи електропостачання. При розробці відповідних заходів покращення якості електроенергії повинні використовуватися необхідні засоби контролю, методи розрахунку і методи дії.

1.4 Вплив відхилень якості електроенергії на ефективність функціонування електроприймачів

Залежно від режиму навантаження промислового підприємства напруга на затискачах приймачів електроенергії не залишається постійною і може відрізнятись від номінальної.

Зміни напруги розділяються на відхилення і коливання. Допустимі значення відхилень напруги від номінального на затисках різних приймачів електроенергії регламентуються стандартами: ГОСТ 13109-97 та ДСТУ 3466–96 [45, 47].

На затискачах приладів робочого освітлення, встановлених у виробничих приміщеннях і громадських будівлях, де потрібна значна зорова напруга, а також в прожекторних установках зовнішнього освітлення допускаються відхилення напруги в межах від - 2,5 до +5% номінального. На затискачах електричних двигунів і апаратів для їх пуску і управління допускаються відхилення напруги в межах від - 5 до +10% номінального.

На затискачах інших приймачів електричної енергії допускаються відхилення напруги в межах $\pm 5\%$ номінального. У післяаварійних режимах допускається додаткове пониження напруги на 5% [39].

Основними чинниками, що визначають якість напруги в системах електропостачання, є: дотримання балансу реактивної потужності у вузлі навантажень, способи і режим регулювання напруги в центрі живлення, способи і засоби місцевого регулювання напруги, наявність однофазних навантажень і їх розподіл по фазах, наявність ударних навантажень та заходи щодо зниження і локалізації їх впливу і т. ін. [9].

В умовах безперервного росту електричних навантажень на промислових підприємствах важливим чинником поліпшення якості напруги є підвищення рівня номінальної напруги внутрішньозаводської розподільної мережі і вибір раціональної напруги для систем електропостачання при проектуванні [36].

Необхідність застосування тих або інших засобів регулювання напруги в системі електропостачання промислових підприємств є наслідком недосконалості самої системи. При відхиленнях напруги у приймачів електроенергії вище за

норми ГОСТ 13109-97 [45] часто доцільніше не встановлювати засоби регулювання напруги, яка збільшує капітальні витрати на мережу і втрати електроенергії, а перебудувати систему електропостачання, перейшовши до вищих рівнів напруги розподільних мереж. Цей захід одночасно зменшить втрати електроенергії в елементах системи електропостачання і дозволить безперешкодно вводити в експлуатацію нові електричні навантаження при розширенні промислового підприємства [9].

1.4.1 Вплив вищих гармонік на ізоляцію електричних машин, трансформаторів і кабелів

Поява вищих гармонійних складових в кривій напруги помітно позначається на виникненні і протіканні іонізаційних процесів в ізоляції електричних машин і трансформаторів. За наявності газових включень в ізоляції виникає іонізація, яка полягає в утворенні об'ємних зарядів і наступній їх нейтралізації.

Процес нейтралізації пов'язаний з розсіянням енергії, що, у свою чергу, є причиною електричної, механічної і хімічної дії на діелектрик ізоляції. У результаті в ізоляції розвиваються місцеві дефекти, які стають причиною зниження її електричної міцності, росту діелектричних втрат і скорочення терміну служби ізоляції [43].

У більшості випадків за рахунок вищих гармонійних складових крива напруги набуває більш загостреної форми в порівнянні з синусоїдною, а тому наявність спотворень форми напруги в електричних мережах призводить до прискореного старіння ізоляції електричних машин.

За наявності вищих гармонік в кривій напруги процес старіння ізоляції в конденсаторах відбувається інтенсивніше, ніж у разі, коли конденсаторні установки працюють при синусоїдальній нарузі. Це пояснюється тим, що фізико-хімічні процеси в діелектриках, що викликають їх старіння, значно прискорюються при високих частотах електричного поля. Додатковий нагрів, викликаний дією вищих гармонік струму, також прискорює процес старіння ізоляції. Спотворення форми напруги навіть в допустимих межах призводить до підвищення інтенсивності процесу старіння ізоляції конденсаторів [43].

При підключенні силових електричних кабелів до джерела несинусоїдальної напруги також відбувається посилене старіння ізоляції. Дослідження показали, що при рівні вищих гармонік (6 ... 8,5)% струм витоку через 2-3 роки експлуатації збільшився на (35 ... 43)% більше, ніж при живленні кабелю від джерела напруги синусоїдальної форми. Це є причиною значного підвищення вірогідності однофазних замикань в кабелі.

1.4.2 Вплив несинусоїдних режимів на прилади обліку електроенергії

При несинусоїдних струмах і напрузі облік електричної енергії пов'язаний зі значними похибками. Особливий вплив вищих гармонік позначається на лічильниках індукційної системи, що мають негативну частотну похибку на частотах вище 50 Гц. Залежно від того, містить електроприймач лінійне або нелінійне навантаження, можливий недооблік або переоблік спожитої електроенергії.

Таким чином, у разі лінійних навантажень має місце недооблік енергії, а при нелінійних навантаженнях і живленні їх від джерела несинусоїдальної напруги відбувається переоблік електроенергії. Ця обставина призводить до виникнення протиріч і конфліктів між організаціями електропостачання і споживачами при розрахунку останніх за електроенергію.

При великих спотвореннях напруги і переважанні 5–13-ї гармонік струмів позитивна похибка виміру енергії, споживаної перетворювачами тиристорів, досягають 3-4 %. Найбільшою мірою вплив несинусоїдальності на погрішності індукційних лічильників проявляється на частотах 11-ї та 13-ї гармонік [43].

Зміна електричних величин при несинусоїдальних струмах і напрузі пов'язана з появою додаткових похибок. При вимірі амплітудних значень струмів і напруги максимальна похибка виміру залежить від рівня спотворень.

1.4.3 Вплив вищих гармонік на пристрої управління і зв'язку

Дія вищих гармонійних складових на системи управління може привести до виникнення явища гармонійної нестійкості, яке полягає в появі на шинах силового перетворювача великої напруги парної гармоніки, при цьому в кривій напруги з'являються також інші парні гармоніки, менші за величиною.

Спотворення напруги мережі можуть бути такими великими, що в інверторному режимі перетворювачів можлива поява порушень комутації, при цьому система імпульсно-фазового управління також може стати нестійкою. В деяких системах управління перетворювачами за рахунок проникнення вищих гармонік струму виникають автоколивання, що викликають коливання струму навантаження і аварійне відключення усього перетворювача [43].

Несинусоїдність струму і напруги в мережі погіршують роботу пристроїв телемеханіки і в деяких випадках викликають збої. Вищі гармоніки струму в повітряних лініях, зокрема в тяговій мережі залізниць, знижують ефективність роботи каналів зв'язку і створюють перешкоди для роботи високочастотного зв'язку, релейного захисту і автоматики енергосистем. Також унаслідок сильного спотворення синусоїдальної форми напруги і струмів найбільш вірогідні помилкові спрацьовування в роботі систем захисту, заснованих на вимірі опорів.

Особливістю вищих гармонійних складових напруги і струму є те, що вищі посилюють дії інших видів електромагнітних завад. А при різких зниженнях напруги в мережі вірогідність відмов електронних систем в умовах несинусоїдальних режимів значно зростає.

1.4.4 Вплив вищих гармонік на втрати в електричних машинах і трансформаторах.

При роботі синхронних і асинхронних двигунів в умовах несинусоїдальної напруги виникають додаткові втрати потужності, зумовлені вищими гармоніками струму в обмотках статора і ротора. З'являються додаткові втрати в сталі ротора і статора, але в порівнянні з втратами в міді вони незначні. Основна частина додаткових втрат від гармонік в синхронних машинах припадає переважно на обмотки статора і збудження, втрати в обмотці ротора опиняються меншими. У асинхронних двигунах високої напруги втрати в статорі і роторі приблизно однакові [24].

Слід зазначити, що навіть при значному спотворенні напруги додаткові втрати від вищих гармонік в синхронних машинах з шихтованою магнітною системою не перевершують декількох відсотків від номінальних втрат.

Досвід експлуатації електроустаткування показує, що при живленні його

несинусоїдною напругою найбільший збиток від вищих гармонік складає збільшення активних втрат і скорочення терміну служби ізоляції електродвигунів і силових трансформаторів.

1.5 Аналіз економічних збитків при експлуатації електромереж з низьким рівнем якості електроенергії

Характеристики роботи приймачів електричної енергії по напрузі можна розділити на технічні і економічні. Технічні характеристики - це залежності наприклад, частоти обертання двигунів, часу плавки в електричних печах, світлового потоку освітлювальних приладів, активної потужності, споживаної двигунами, терміну служби приймачів електричної енергії від напруги на їх затискачах.

За наявності даних про кількісний вплив напруги на технічні характеристики приймача електричної енергії можна визначити економічний збиток при відхиленнях напруги в системах електропостачання. Збиток в даному випадку оцінюється по зміні витрат, що мають місце при роботі з напругою, відмінною від номінальної. Якщо при роботі з $U_{ном}$ для вироблення заданої кількості продукції потрібні витрати $Z(U_{ном})$ і термін служби приймача дорівнює розрахунковому, то при $U \neq U_{ном}$ для вироблення тієї ж кількості продукції з урахуванням зміни продуктивності установок, питомої витрати електроенергії, можливого браку і т. ін. потрібні інші витрати $Z(U)$. При цьому може мати місце збиток, який може бути визначений як [25]:

$$Z_{\Sigma} = Z(U) - Z(U_{ном}). \quad (1.1)$$

Збитки доцільно оцінювати в грошових одиницях за деякий проміжок часу, наприклад за час технологічного циклу або тривалість зміни.

Позитивний знак збитку означає, що робота приймача електричної енергії при цій напрузі менш ефективна, ніж при номінальному. У разі негативного знаку збитку робота приймача при даній напрузі ефективніша.

Користуючись економічними характеристиками, можна визначити оптимальні режими напруги в різних точках мережі промислового підприємства і ефективні способи їх підтримки.

Для практичних розрахунків важливо оцінити вплив кожного з перерахованих чинників на результуючу економічну характеристику.

1.6 Коротка довідка про підприємство

ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» – світлотехнічне виробниче підприємство, що займається проектуванням, конструюванням та виготовленням освітлювальних приладів.

«ВАТРА» виготовляє освітлювальні прилади: вибухозахищені, пожежобезпечні, пиле-вологозахищені - індустріальні, офісні, вуличні, спеціальні з металогалогеновими, натрієвими, люмінесцентними і світлодіодними джерелами світла.

Засноване 1957 році у місті Тернопіль як державне підприємство «Електроарматура». Від 1971 року – виробниче об'єднання (ВО), від 1988 – науково-виробниче об'єднання (НВО), від 1996 – відкрите акціонерне товариство (ВАТ). Від 2006 – ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА». З 1965 року підприємство повністю переорієнтувалось на випуск світлотехнічного обладнання. [42].

На рубежі тисячоліття завод повністю оновив номенклатуру. Розроблено та освоєно десятки типів сучасних світильників та прожекторів для освітлення вибухонебезпечних та промислових об'єктів. У 2006 році розпочато випуск світлодіодних конструкцій освітлювальних приладів. В даний час підприємство є найбільшим виробником світлотехніки на пострадянському просторі. Цілком забезпечуються потреби України щодо промислової світлотехніки. Понад 60% своєї продукції підприємство поставляє на експорт в такі країни, як Польща, Росія, Білорусь, Молдова, Казахстан, Узбекистан і ін.

Уся продукція сертифікована в системах УкрСЕПРО і ДСТ Росії. Система управління якістю на виробництві сертифікована за міжнародним стандартом ISO 9001.

Дослідження зразків освітлювальних приладів проводяться на власній випробувальній базі.

Розробка засобів технологічного оснащення і нових технологічних процесів виконуються службою головного технолога, а також іншими спеціалізованими

вітчизняними і закордонними організаціями. Наприклад, разом з фірмою AMADA (Японія) введено в дію координатно-револьверний прес гнуття з ЧПУ.

Підприємство виготовляє освітлювальні прилади, які вже давно зарекомендували себе, працюючи в шахтах і на рудниках, на підприємствах видобутку й переробки нафти й газу, металургійних комбінатах, хімічних заводах, об'єктах транспортної інфраструктури, текстильних і харчових фабриках. Окремим напрямком є прожекторне освітлення спортивних споруджень (стадіонів і т. ін.), а також великих відкритих просторів [42].

1.6.1 Виробничі потужності ТОВ «ОСП Корпорації ВАТРА»

Ливарне виробництво спеціалізується на виготовленні відливок з алюмінієвого сплаву: щільних, з високою чистотою поверхні, різноманітної конфігурації, з декоративними художніми поверхнями.

Виробництво пластмасових деталей виготовляє пластмасові деталі методом лиття під тиском термопластичних матеріалів, прямого і миттєвого пресування реактопластів і проводить їхню механічну обробку.

Механообробне виробництво займається обробкою литих деталей з алюмінієвого сплаву на універсальних, спеціалізованих і агрегатних верстатах, а також виготовленням деталей з чорних і кольорових сплавів.

Штампувально-зварювальне виробництво, дільниці якого представлені на рис. 1.1 та рис. 1.2 виготовляє деталі методом глибокої витяжки, штампування з металопрокату, зварюванням у середовищі вуглекислого газу, аргону, й при атмосферних умовах [26].



Рисунок 1. 1 - Дільниця зварювання

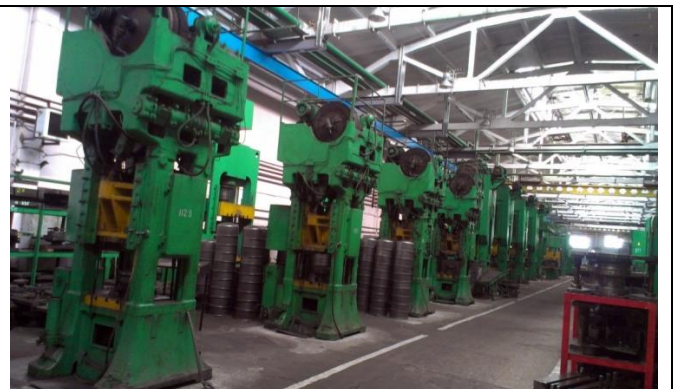


Рисунок 1.2 - Дільниця штампування

Інструментальне виробництво виготовляє оснащення для ливарного, штампувального, металообробного, гальвано-фарбувального виробництв та займається виготовленням спеціального оснащення і виконанням індивідуальних замовлень.

Гальвано-фарбувальне виробництво займається фарбуванням литих, штампованих та ін. деталей методом пневматичного або електростатичного розпилення, нанесенням декоративних покриттів: хромуванням, цинкуванням, а також здійснює електрохімічне полірування, фосфатування деталей.

Транспортне господарство займається внутрішніми (внутрішньоцеховими і міжцеховими) і зовнішніми перевезеннями, підвісним і наземним електротранспортом, автомобільним і залізничним транспортом (з території підприємства).

Складальне виробництво проводить складання виробів на складальних конвеєрах та індивідуальних робочих місцях за допомогою спеціального електро- і пневмообладнання [26].

1.7 Особливості системи електропостачання інструментально - зварювального виробництва

Система електропостачання інструментально-зварювального виробництва, технологічне обладнання якого, вимагає надійного та безперебійного забезпечення електроенергією з найменшою подачею вищих гармонік у мережу. Для того щоб згладити криву напруги і струми застосовують фільтрокомпенсуючі пристрої, встановлюють конденсаторні батареї та згладжувальні реактори.

Згладжувальний реактор - це статичний електромагнітний пристрій, призначений для використання його індуктивності в електричному ланцюзі з метою зменшення вмісту вищих гармонік (пульсацій). Згладжувальний реактор, зазвичай, встановлюється послідовно з споживачем, таким чином, через нього протікає весь струм навантаження. Переріз та тип кабелю вибираються залежно від необхідних параметрів реактора [7].

Реактори володіють великою міцністю на розрив, вітровою стійкістю і сейсмостійкістю. Така унікальна конструкція реакторів дозволяє застосовувати їх

у всіх кліматичних умовах без зміни характеристик протягом тривалого часу і забезпечує безаварійну роботу в умовах підвищеної забрудненості і агресивності навколишнього середовища. На реакторах можуть встановлюватися регулювальні відводи, що дозволяють змінювати індуктивність реактора. Існує кілька способів регулювання індуктивності: для точного налаштування або для крокової зміни індуктивності.

1.8 Вибір класу напруги системи електропостачання

При проектуванні системи електропостачання штампувально - зварювального виробництва, одним з головних завдань є визначення величини напруги живлення. Для живлення великих і особливо великих підприємств слід застосовувати системи глибокого вводу за допомогою напруг 110, 150, 220, 330 і 500 кВ [39].

Напруга 35 кВ застосовується для живлення підприємств середньої потужності і для розподілу електричної енергії на першому ступені електропостачання за допомогою глибоких введень у вигляді магістралей, до яких приєднуються цехові підстанції 35/10 кВ. Глибоке введення - система електропостачання з наближенням високої напруги до електричних установок з мінімальною кількістю етапів проміжної трансформації [27].

На другому ступені напруга рівна 10 кВ, живить цехові трансформаторні підстанції. Така напруга в 10 кВ застосовується у внутрішньозаводському розподілі електроенергії, а також на підприємстві з потужними двигунами, що допускають безпосереднє приєднання до мережі 10 кВ, на підприємствах невеликої і середньої потужності. Напругу 10 кВ слід застосовувати в якості основної як найбільш економічну на відміну від напруги 6 кВ. Напруга 6 кВ, зазвичай, застосовується за наявності на підприємстві значної кількості електроприймачів на 6 кВ.

На третьому ступені напруга 380/220 В застосовується, в основному на електричних установках до 1000 В, для живлення електроприймачів від загальних трансформаторів, але, як правило, від окремих мереж.

Напруга 220 В призначена для живлення однофазних електроприймачів

таких як освітлювальні лампи та побутові прилади [9].

На досліджуваному підприємстві основне електропостачання виконане напругою 10 кВ, оскільки такою напругою живляться підстанції малої потужності. На інструментально-зварювальних ділянках виробництва усі споживачі живляться від змінного струму промислової частоти 50 Гц з напругою 380 і 220 В [1].

1.9 Висновки до розділу

Для живлення цехової підстанції підприємства обираємо напругу 10 кВ; для розподільчої мережі інструментально - штампувальної ділянки та ділянки зварювання - напруги 380 і 220 В змінного струму промислової частоти 50 Гц.

При живленні електрообладнання виробництва несинусоїдною напругою найбільший збиток від вищих гармонік складає збільшення активних втрат і скорочення терміну служби ізоляції електродвигунів, силових трансформаторів та кабельних ліній.

У сучасних умовах необхідно зважати на дійсний склад приймачів електричної енергії в даній мережі і проводити відповідний аналіз усієї системи електропостачання з визначенням збитків при неналежній якості електроенергії. Для цього необхідно використовувати засоби контролю, методи розрахунку і методи дії.

Технологічне обладнання інструментального та інших виробництв вимагають надійного та безперебійного забезпечення електроенергією з найменшою подачею вищих гармонік у мережу. Для цього застосовують компенсуючі пристрої, встановлюють конденсаторні батареї та згладжувальні реактори.

2 НАУКОВО–ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Дослідження електромереж промислових підприємств з впливом технологічного устаткування на показники якості електроенергії

2.1 Вплив спотворення напруги електромережі на роботу технологічного електроустаткування

При під'єднанні до шин електростанцій або підстанцій групи різнорідних споживачів (див. рис. 2.1), що складаються з електродвигунів і навантажень, що спотворюють синусоїдність форми кривої напруги чи струму (див. рис. 2.2), останні чинять вплив на стійку роботу вузла електричних навантажень.

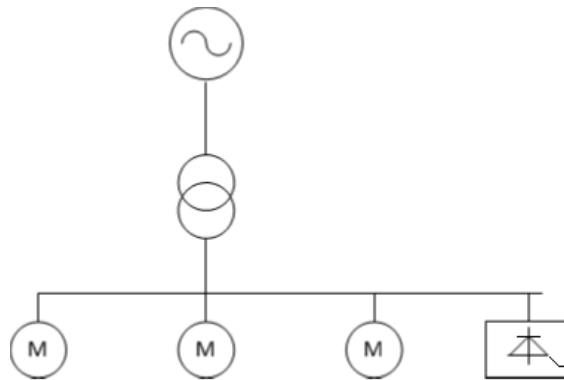


Рисунок 2.1 - Вузол СЕП з асинхронним (М) та несинусоїдним навантаженням (тиристорний перетворювач)

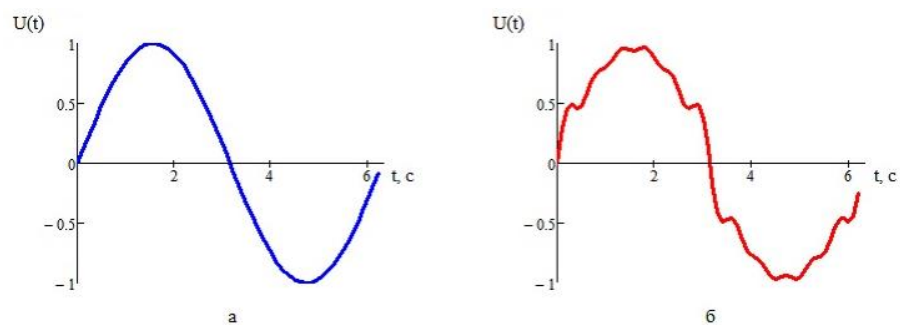


Рисунок 2.2 - Форма напруги у вузлі навантаження:

- а) без спотворень; б) з коефіцієнтом спотворення по напрузі $k_U = 12\%$

Показником, що чисельно характеризує спотворення синусоїдності форми кривої напруги чи струму, є коефіцієнт несинусоїдності.

У теорії електричних машин (праці Ріхтера, Вольдека) показано, що вища гармонійна складова напруги створює додаткові моменти обертання від взаємодії струмів і потоків одного порядку, а також коливальних моментів від взаємодії між собою гармонік різних порядків (рис. 2.3). Згідно [43] спотворення механічної характеристики асинхронних двигунів (АД) спостерігається при значеннях ковзань, близьких до одиниці.

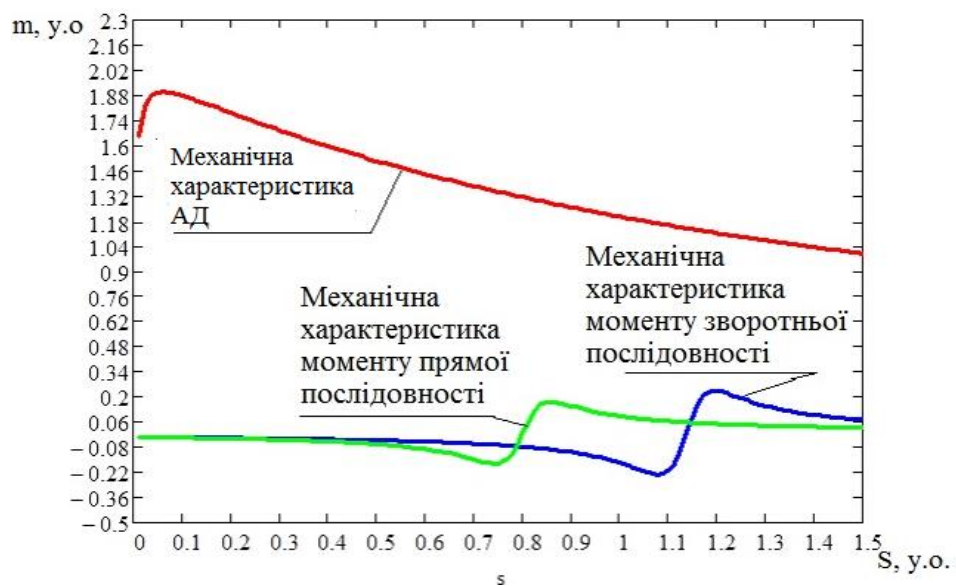


Рисунок 2.3 - Виникнення додаткових обертальних моментів при несинусоїдності живлячої напруги

Несинусоїдність напруги впливає на усі види електроприймачів. Викликано це не лише тепловим додатковим нагрівом електроприймачів від вищих гармонік струму, але і тим, що вищі гармоніки утворюють складові прямої послідовності (1-а, 4-а, 7-а і так далі), зворотної послідовності (2-а, 5-а, 8-а і так далі) і нульової послідовності (гармоніки кратні трьом). Ці послідовності розрізняються порядком чергування фаз напруги (струму), чим і викликана відмінність в їх впливі на роботу електроприймачів. Зокрема, струми нульової послідовності створюють додаткове підмагнічування сталі в електричних машинах, що приводить до погіршення характеристик цих електроприймачів і додаткового нагріву статорів АД і магнітопроводів трансформаторів.

Зазвичай вищі гармоніки напруги, підсумовуючись з основною гармонікою, сприяють підвищенню діючого значення напруги на затисках електроприймачів (ЕП).

Вищі гармоніки напруги і струму несприятливо впливають на електроустаткування, створюючи додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах і мережах, скорочуючи термін служби ізоляції електричних машин і апаратів, підвищуючи аварійність в кабельних мережах, викликаючи збої в роботі систем релейного захисту, автоматики, телемеханіки і зв'язку.

Також вищі гармоніки напруги і струму впливають на значення коефіцієнта потужності, крутного моменту електродвигунів. Проте зниження цих характеристик, навіть при коефіцієнті спотворення форми кривою напруги 10-15%, виявляється дуже невеликим. Рівень додаткових активних втрат від вищих гармонік в основних мережах електричних систем складає декілька відсотків від втрат при синусоїдальній напрузі. У мережах підприємств, великих промислових центрів ці втрати можуть досягати 10-15% основних технічних втрат [23].

Особливо чутливі до появи вищих гармонік кабельні лінії. Збільшення коефіцієнта спотворення синусоїдальної форми кривої напруги K_U призводить до старіння ізоляції.

Якість діелектрика кабелів характеризується струмом витоку, що визначає втрати в ізоляції кабелю. Вимірами [43] встановлено, що при $K_U = 6,85\%$ за 2,5 років струм витоку зростає на 36%, а через 3,5 років - на 43%.

При несинусоїдальній напрузі спостерігається прискорене старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, конденсаторів і кабелів в результаті підвищеного нагріву струмоведучих частин, а також безповоротних фізико-хімічних процесів, що протікають під впливом електричних полів, що створюються вищими гармоніками струму.

Розрахунки показують, що для асинхронних двигунів втрати активної потужності при несинусоїдальній напрузі незначні. Такий ефект можна пояснити тим, що струми вищих гармонік не проникають в обмотку статора через те, що вона є досить великим опором, і тим більшим, чим більший порядок гармоніки. Крім того, амплітуди гармонік напруги істотно убувають з ростом порядку гармоніки. Виключення можуть представляти явища, пов'язані з резонансами

напруги.

На промислових підприємствах, як показали обстеження [43], перегрів АД в мережах з великим рівнем вищих гармонік напруги ($K_U = 10 - 15\%$) не спостерігався ні при зниженому, ні при номінальному навантаженні.

Вплив на терміни служби машин, що обертаються, проявляється в основному через перевищення температури обмоток над допустимим значенням, що викликає прискорене старіння ізоляції. Нагрів обмоток зумовлений одночасною дією температури довкілля, відносного завантаження машини по потужності β_m , відхиленням напруги δU , напругою зворотної послідовності U_2 і вищих гармонік U_v . Чотири останні параметри визначають перевищення температури обмоток над температурою довкілля.

Найбільший нагрів відбувається при повному завантаженні двигуна $\beta_m = 100\%$ і нижній межі допустимого відхилення напруги $\delta U = -5\%$. При таких значеннях цих параметрів будь-який вплив інших чинників приведе до неприпустимого підвищення температури обмоток. При зниженні завантаження двигуна і підвищенні напруги на його введенні виникає запас температурної дії, в межах якого допустима дія певних рівнів напруги зворотної послідовності і вищих гармонік. Струми зворотної послідовності і вищих гармонік в обмотках двигунів визначаються не лише значеннями U_2 і U_v , але і кратністю пускового струму, тому допустимі значення U_2 і U_v , залежатимуть від типу двигуна. На підставі досліджень [43], запаси температурної дії по завантаженню двигуна A_β і по коливаннях напруги $A_{\delta U}$ можна визначити згідно таблиць 2.1, 2.2 (більші значення для двигунів з $k_n = 4,5$ і менші для двигунів з $k_n = 7$).

Цей запас повинен перевищувати температурну дію зворотної послідовності і вищих гармонік ν , що визначається за формулою:

$$A_{2,\nu} = 120 \sqrt{K_{2U}^2 + \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{U_\nu^2}{\sqrt{\nu}}}. \quad (2.1)$$

Таблиця 2.1 - Запас температурної дії по завантаженню асинхронного двигуна

Завантаження $\beta_M, \%$	100	90	80	70	60
Запас $A_p, \%$	0	3,2-5,1	5,8-9,1	7,0-11,8	8,6-13,2

Таблиця 2.2 - Запас температурної дії щодо відхилення напруги

Коливання напруги $\delta U, \%$	-5	0	+5	+10
Запас $A_{\delta U}, \%$	0	5,0-8,5	7,0-10,5	7,5-11,5

З виразу 2.1 випливає, що допустимі з точки зору нагріву обмоток устаткування параметри електроенергії не обмежуються допустимими показниками якості електроенергії, що встановлюються в стандартах для мереж загального призначення.

Додаткові втрати активної потужності, зумовлені несиметрією і несинусоїдністю напруги, не залежать від навантаження двигунів і визначаються з виразу [23]:

$$\Delta P_{\text{Ад}} = \Delta P_{\text{м1ном}} \cdot k_{\text{п}}^2 \left(2,41 \cdot K_{2U}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 \cdot \frac{\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right), \quad (2.2)$$

де $\Delta P_{\text{м1ном}}$ - втрати в міді статора при номінальному струмі основної частоти;

$k_{\text{п}}$ – кратність пускового струму при номінальній напрузі основної частоти;

K_{2U} – коефіцієнт несиметрії напруги, рівний відношенню напруги зворотної послідовності до номінальної;

U_v – відношення напруги v -ої гармоніки до номінальної;

знак «+» під знаком кореня відповідає симетричним складовим гармонік, що створюють поля обертання, зустрічні полю основної гармоніки, а знак «-» - попутні.

Для практичних розрахунків використовується така формула додаткових втрат [23]:

$$P_{\text{Ад дод}} = \left(k_2 \cdot K_{2U}^2 + k_{\text{г}} \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \cdot \frac{P_{\text{н}}}{10^4}, \quad (2.3)$$

де $P_{\text{н}}$ номінальна потужність електромашини.

Для асинхронних двигунів значення коефіцієнтів визначають згідно формул [33]:

$$k_2 = 2,41k_d; \quad (2.4)$$

$$k_T = 2k_d. \quad (2.5)$$

Коефіцієнт k_d залежить від номінальної потужності двигуна і визначається згідно формул:

$$\begin{aligned} &\text{при } P_H \leq 5 \text{ кВт, } k_d = 3 + 0,3(5 - P_H); \\ &\text{при } 5 < P_H \leq 100 \text{ кВт, } k_d = 1 + 0,02(100 - P_H); \\ &\text{при } 100 < P_H \leq 1000 \text{ кВт, } k_d = 0,4 + 0,0007(1000 - P_H); \\ &\text{при } P_H > 1000 \text{ кВт, } k_d = 0,4. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Додаткове перегрівання обмоток АД, зумовлене несиметрією і несинусоїдальністю живлячої напруги, обчислюється за формулою [33]:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta P_{M1\text{НОМ}} \cdot k_{\Pi}^2}{B} \left(1,55 \cdot K_{2U}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 \cdot \frac{\sqrt{v} + 0,39 \cdot \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right), \quad (2.7)$$

де B - тепловий параметр асинхронного двигуна.

Тривалість служби ізоляції визначається згідно емпіричної формули [33]:

$$Z = C e^{-b\theta}, \quad (2.8)$$

де C і b - постійні коефіцієнти для цього виду ізоляції;

θ - температура ізоляції.

Відносне значення тривалості служби ізоляції при температурі θ :

$$z = \frac{Z}{Z_{\text{НОМ}}} = e^{-b\Delta\tau}, \quad (2.9)$$

де $Z_{\text{НОМ}}$ - тривалість служби при номінальній температурі;

$\Delta\tau = \theta - \theta_{\text{НОМ}}$ - перевищення температури.

Зазвичай використовується спрощена формула для тривалості служби ізоляції електродвигуна:

$$z = \exp \left[-280 \cdot \left(1,55 \cdot K_{2U}^2 + 1,39 \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \right]. \quad (2.10)$$

Величина, зворотна z , називається кратністю зниження терміну служби електродвигуна:

$$\gamma = \frac{1}{z} = \exp(b \cdot \Delta\tau) = \exp(k_{\text{сповне}}), \quad (2.11)$$

де $k_{\text{сповне}}$ - коефіцієнт спотворення.

Для асинхронних двигунів

$$k_{\text{спомв}} = 389 \cdot K_{2U}^2 + 434 \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}}. \quad (2.12)$$

При коефіцієнті несиметрії напруги порядку 2%, термін експлуатації асинхронних двигунів, зважаючи на додаткові втрати активної потужності, скорочується на (10 ... 12)%, трансформаторів - на (4 ... 5)% [2]. Для того, щоб уникнути додаткового нагріву статора електродвигуна, його навантаження (момент на валу) має бути понижене. При номінальному навантаженні трансформатора і коефіцієнті несиметрії струмів рівному 0,1 термін експлуатації ізоляції трансформатора скорочується на (14 ... 16)%.

2.2 Визначення спотворення форми напруги в електромережах

Несинусоїдність напруги характеризується значенням показника якості електроенергії (ПЯЕ) - коефіцієнтом спотворення кривої напруги $K_{\text{нс}U}$, %, який визначається відношенням діючого значення напруги $K_{(n)}$ вищих гармонік до номінальної напруги $U_{\text{ном}}$ згідно такого виразу [45]:

$$K_{\text{нс}U} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_{\text{ном}}}, \%, \quad (2.13)$$

де U_n - діюче значення напруги основної частоти, В, кВ.

Згідно вимог діючого стандарту ГОСТ 13109–97 [45] нормативне значення коефіцієнта несинусоїдності $K_{\text{нс}U}$ в електричних мережах різних номіналів напруги регламентується в межах:

до 1 кВ - не більше 8,0 (граничне значення - 12,0);
6-20 кВ - 5,0 8,0 ;
35кВ - 4,0 6,0;
110-330 кВ - 2,0 3,0

Коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$ обчислюють так:

$$K_{U(n)} = 100 \cdot \frac{U_n}{U_{\text{ном}}}, \quad (2.14)$$

де $U_{(n)}$ - діюче значення n -ї гармонічної складової напруги, B , kB .

Допускається визначати даний ПЯЕ згідно формули [45]:

$$K_{U(n)} = 100 \cdot \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}}, \% . \quad (2.15)$$

2.3 Особливості розрахунку вищих гармонік в електромережах споживачів

Розрахунок вищих гармонік в електромережах споживачів зводиться до визначення струмів вищих гармонік, що генеруються різноманітними джерелами, та обчислення коефіцієнта несинусоїдності напруги з врахуванням опорів ланок мережі електроживлення, які піддаються дії вищих гармонік.

В табл. 2.3 наведені електроприймачі з нелінійними характеристиками щодо струмів споживання, які є джерелами вищих гармонік, а також їх порядок, що враховується у розрахунках коефіцієнта несинусоїдності, та формули для їх визначення стосовно різних джерел гармонік.

Розрахунок струмів вищих гармонік, що протікають в елементах електричних мереж, проводиться згідно схеми заміщення, яка складається для кожної з n гармонік струму окремо і має джерело струму вищих гармонік.

Таблиця 2.3 - Формули для розрахунку гармонічного складу струму споживання

Джерело вищих гармонік	Порядок гармоніки, n	Формули для обчислень струму
Вентильні перетворювачі нерегульовані: 6-фазна схема випрямлення 12-фазна схема випрямлення	5; 7; 11; 13 11; 13	$I_n = \frac{I_{ном}}{3 \cdot n}, A$ де n - порядок гармоніки; $I_{ном}$ - номінальний струм перетворювача (або групи) зі сторони живлення, A
Тиристорні перетворювачі частоти з 3-фазною мостовою схемою	5; 7; 11; 13	$I_n = \frac{I_{ном}}{1,11 \cdot (n \pm 1)}, A$ де для $n = 5; 13$ - знак «+»; для $n = 7$;

		11 - знак «-»
Дугові сталеплавильні печі (ДСП) в режимі розплаву	5; 7; 11; 13	$I_n = 1,25 \frac{I_{ном}}{n^2}, A$ $I_{ном}$ - номінальний струм електропечі, A
Сильові магнітні підсилювачі	3; 5; 7	$I_3 = 0,1 \cdot I_{ном}, A; I_5 = 0,25 \cdot I_{ном}, A;$ $I_7 = 0,3 \cdot I_{ном}, A$
Установки дугового електрозварювання, що отримують живлення від випрямлячів, зібраних за 3-фазною мостовою схемою	5; 7; 11; 13	$I_n = \frac{I_{(1)}}{n^2}, A$ де $I_{(1)}$ - 1-а гармоніка лінійного струму зі сторони живлення, A
Газорозрядні лампи	3; 5	$I_3 = 0,1 \cdot I_{(1)}, A; I_5 = 0,03 \cdot I_{(1)}, A$

При цьому, у схемі заміщення враховуються як джерела вищих гармонік не тільки перетворювачі, під'єднані до даної секції, але й інші джерела, що входять до складу мережі.

Невантажені трансформатори, печі електричні опору; дугогасильні реактори, кабелі у схемах заміщення не враховуються.

2.3.1 Розрахунок струму n -ї гармоніки у колі батареї конденсаторів

Величину струму n -ї гармоніки визначаємо з виразу:

$$I_{Cn} = k_n \cdot I_{(n)}, A \quad (2.16)$$

де k_n - коефіцієнт *кратності* струму n -ї гармоніки I_n, A , що визначає значення цього струму через батарею конденсаторів (БК).

Розрахунок еквівалентного струму у колі батареї косинусних конденсаторів.

Величину еквівалентного струму визначаємо як:

$$I_C = \sqrt{\sum_{n=3}^N I_{Cn}^2 \cdot k}, A \quad (2.17)$$

де I_{Cn} - струм першої та наступної генерованих гармонік, A;

$k = \frac{U_{BH}}{U_{HH}}$ коефіцієнт трансформації трансформатора живлення у місці

розташування БК;

U_{BH} і U_{HH} - напруги на високій та низькій стороні трансформатора, кВ.

Розрахунок кратності перенавантаження батареї косинусних конденсаторів струмами вищих гармонік.

Величину коефіцієнта кратності перенавантаження визначаємо як:

$$k_{H_n} = \frac{I_c}{I_{c(1)}} \quad (2.18)$$

де $I_{c(1)}$ - номінальний струм основної частоти у місці розташування БК.

Конденсаторну батарею необхідно перевірити на можливість виникнення резонансу струмів згідно умови: $n \cdot X_L = \frac{X_c}{n}$. Звідси визначається номер

гармоніки n , при якій стає можливим резонанс: $n = \sqrt{\frac{X_c}{X_L}}$.

Відлаштування від резонансу виконується для найменшої з частот вищих гармонік у місці під'єднання БК. Тому для більш високих гармонік результуючий опір реактора та конденсаторів завжди буде індуктивним.

2.4 Дослідження енергетичних затрат у моделі ділянки системи електропостачання з асинхронним електродвигуном при наявності вищих гармонік

Для замірів енергетичних втрат на моделі електромережі з асинхронним електродвигуном типу 4 АА М50 А4 У3 потужністю 0,1 кВт використовувались:

- електронний лічильник типу НІК 2303;
- електронний осцилограф типу ADS–2111;
- генератор низькочастотних сигналів типу ГЗ–56/М.

Результати замірів енергетичних затрат в електромережі при наявності вищих гармонік непарних порядків подані в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Енергетичні затрати у моделі електромережі при наявності вищих гармонік

Порядок	Енергетичний	Відносна величина напруги гармоніки
---------	--------------	-------------------------------------

гармоніки	показник	$U_{\text{норм}} = 5\%$	$U = 10\%$	$U = 15\%$
1	2	3	4	5
$n = 3$	$\Delta P, \%$	+14,3	+17,6	+19,8
	$\Delta Q, \%$	+3,8	+5,4	+7,2
	$\Delta W_a, \%$	+0,62	+0,88	+1,94
	$\Delta W_p, \%$	+1,74	+2,11	+4,68

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
$n = 5$	$\Delta P, \%$	+20,8	+23,5	+24,1
	$\Delta Q, \%$	+7,4	+9,0	+11,7
	$\Delta W_a, \%$	+0,92	+1,04	+2,16
	$\Delta W_p, \%$	+2,14	+2,33	+2,84
$n = 7$	$\Delta P, \%$	+19,2	+22,1	+23,8
	$\Delta Q, \%$	+7,2	+8,8	+10,2
	$\Delta W_a, \%$	+0,86	+0,92	+1,84
	$\Delta W_p, \%$	+2,06	+2,18	+2,64
$n = 9$	$\Delta P, \%$	+12,8	+13,9	+16,4
	$\Delta Q, \%$	+4,8	+5,6	+7,3
	$\Delta W_a, \%$	+0,52	+0,68	+1,34
	$\Delta W_p, \%$	+1,32	+1,56	+1,72

Тут прийняті такі позначення:

$\Delta P, \%$ - додаткові втрати активної потужності в моделі електромережі при наявності вищих гармонік;

$\Delta Q, \%$ - додаткові втрати реактивної потужності в моделі електромережі при наявності вищих гармонік;

$\Delta W_a, \%$ - додаткові витрати активної енергії за 1 год. для потреб моделі електромережі при наявності вищих гармонік;

$\Delta W_p, \%$ - додаткові витрати реактивної енергії за 1 год. для потреб моделі електромережі при наявності вищих гармонік.

2.5 Висновки до розділу

Навантаження електромережі, що спотворюють форму напруги, перетворюють частину енергії в енергію спотворень, зумовлену струмами зворотної й нульової послідовності, та передають в мережу у вигляді додаткових втрат.

Додаткові втрати в електромережі від наявності вищих гармонік можуть

досягати значень (10 ... 12)% сумарних втрат потужності.

Вплив вищих гармонік на терміни служби двигунів проявляється в основному через перевищення температури обвиток над допустимим значенням, що зумовлює прискорене старіння ізоляції.

Представлена математична модель додаткового перегрівання обвиток електродвигуна для визначення тривалості служби ізоляції.

Представлені математичні моделі дозволяють оцінити вплив несинусоїдності напруги на надійність електродвигунів потужністю (0,5 ... 250) кВт, що дозволить приймати рішення щодо зниження навантаження на них при підвищенні несиметрії і несинусоїдності напруги.

Установка фільтрокомпенсувальних пристроїв з визначеними фільтрами гармонійних складових в електромережах з потужними електроприймачами, що активно спотворюють форму напруги, забезпечує рівень синусоїдності кривої напруги та наявності вищих гармонік в межах норм стандарту.

Результати дослідження моделі електромережі з асинхронним електродвигуном при наявності спектру вищих гармонік вказують на більш швидке зростання енергетичних втрат на низьких гармоніках, причому найбільший вплив на втрати потужності спричиняє 7-а гармоніка, а на втрати енергії - 3-я гармоніка промислової частоти.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Триваючий процес збільшення електричних навантажень, ріст одиничних потужностей агрегатів промислових підприємств, розширення й поглиблення електрифікації технологічних процесів, автоматизації й інформатизації пред'являють все більш високі вимоги до надійності електропостачання і якості електричної енергії. Від якості електроенергії залежить якість продукції, що випускається, та її кількість.

Низька якість електроенергії значно впливає на продуктивність і термін служби електрообладнання, а також на енергоефективність систем електропостачання споживачів. Одним з показників якості електроенергії, який часто перевищує допустимі значення, є повільні відхилення напруги в ту чи іншу сторону в електромережах із змінним навантаженням споживачів.

Внаслідок збільшення електроспоживання ускладнюються системи електропостачання промислових підприємств. В них включаються мережі високих напруг, розподільчі мережі, а в деяких випадках і мережі промислових ТЕЦ. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств і виробничих процесів, здійснювати повну диспетчеризацію процесів виробництва із застосуванням телесигналізації і телеуправління, вести активну роботу щодо економії електроенергії.

Зміна технологічних процесів виробництва пов'язана, як правило, з їх ускладненням, що призводить до необхідності модернізації і реконструкції систем електропостачання. Загальна задача оптимізації систем промислового електропостачання включає раціональні рішення щодо вибору січення проводів і жил кабелів, способів компенсації реактивної потужності, автоматизації, диспетчеризації та забезпечення відповідної якості електроенергії.

3.1 Аналіз вихідних даних на проектування та загальна характеристика електроприймачів

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

Номер на плані	Назва виробничого обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість обладнанн, одиниць
1. Інструментально-штампувальна дільниця			
1-8	Плоско шліфувальний верстат 3Б722	17	8
9-12	Машина для згинання	2,5	4
13-16	Різьбонарізний верстат	2,8	4
17,18	Прес гідравлічний	7,0	2
19	Вертикально-свердлувальний верстат 2Н135	2,1	1
20	Вертикально-свердлувальний верстат 2Н135	2,8	1
21,22	Вали для згинання	2,8	2
23	Кран мостовий ПВ = 0,4 (Р1 + Р2)	20+15	1
24-27	Прес фракційний	7,0	4
28-30	Прес кривошипний	2,8	3
31,32	Прес кривошипний	6,5	2
33-38	Прес ексцентрований	4,5	6
39-41	Прес ексцентрований	10,3	3
42-44	Пресс для загинання	7,5	3
45-47	Прес холодного штампування	10,6	3
48-52	Прес холодного штампування	12,0	5
53	Пресування і сушка електродів	8,5	1
54,55	Пресування і сушка електродів	12	2
	Всього	470,8	55
2. Зварювальна дільниця			
2.1 - 2.5	Напіваавтомат контактного зварювання	18	5
2.6 - 2.9	Зварювальний трансформатор автомат СТН-500	50	4
2.10 - 2.13	Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-250	25	4
2.14 - 2.16	Напіваавтомат для зварювання в середовищі СО ₂	15	3
2.17; 2.18	Перетворювач зварювальний Ма-500	30	2
2.19	Стіл для газозварювальних робіт	0,8	1
2.20 - 2.23	Машина електрозварювальна НШМ-75	75	4
	Всього	795	23

3.2. Розрахунок електричних навантажень виробництва

Виробниче обладнання, що встановлене на інструментально–штампувальній та зварювальній дільницях виробничого комплексу ТОВ «ОСП Корпорація Ватра», його кількість, номінальна потужність та завантаженість подані у табл.

3.2 для проведення подальших розрахунків.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку

Назва виробничого обладнання	Встановлена потужність $P_{\text{н}}$ кВт	Кількість обладнання n , од.	Сумарна потужність $P_{\text{сум}}$ кВт	Коефіцієнт використання k_e	Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	Тангенс $tg\varphi$	$P^2 n \cdot n$, кВт ²
1	2	3	4	5	6	7	8
Інструментально - штампувальна дільниця							
Плоско шліфувальний верстат 3Б722	17	8	136	0,25	0,65	1,169	2312
Машина для згинання	2,5	4	10	0,45	0,89	0,512	25
Різьбонарізний верстат	2,8	4	11,2	0,16	0,6	1,333	31,36
Прес гідравлічний	7,0	2	14	0,25	0,65	1,169	98
Вертикально-свердлувальний верстат 2Н135	2,1	1	2,1	0,16	0,7	1,020	4,41
Вертикально-свердлувальний верстат 2Н135	2,8	1	2,8	0,16	0,6	1,333	7,84
Вали для згинання	2,8	2	5,6	0,3	0,7	1,020	15,68
Кран мостовий ПВ = 0,4 (Р1 + Р2)	20+15	1	35	0,1	0,5	1,732	1225
Прес фракційний	7,0	4	28	0,25	0,75	0,881	196
Прес кривошипний	2,8	3	8,4	0,25	0,7	1,020	23,52
Прес кривошипний	6,5	2	13	0,3	0,65	1,169	84,5
Прес ексцентрований	4,5	6	27	0,25	0,6	1,333	121,5
Прес ексцентрований	10,3	3	30,9	0,25	0,6	1,333	318,27
Прес для загинання	7,5	3	22,5	0,2	0,6	1,333	168,75
Прес холодного штампування	10,6	3	31,8	0,25	0,65	1,169	337,08
Прес холодного штампування	12,0	5	60	0,25	0,65	1,169	720
Пресування і сушка електродів	8,5	1	8,5	0,45	0,7	1,020	72,25
Пресування і сушка електродів	12	2	24	0,4	0,75	0,881	288

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Всього	-	55	470,8	-	-	-	6049
Дільниця зварювання							
Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-350	25	4	100	0,35	0,6	1,33	2500
Зварювальний трансформатор автомат СТН-500	50	4	200	0,35	0,6	1,33	10000
Машина електрозварювальна НШМ-75	75	4	300	0,35	0,6	1,33	22500
Перетворювач зварювальний Ма-500	30	2	60	0,35	0,6	1,33	1800
Стіл для газозварювальних робіт	0,8	1	0,8	0,35	0,6	1,33	0,64
Напівавтомат для зварювання в середовищі CO ₂	15	3	45	0,35	0,6	1,33	675
Напівавтомат контактного зварювання	18	5	90	0,35	0,6	1,33	1620
Всього	-	23	795,8	-	-	-	39095
Всього на дільницях:	-	78	1266	-	-	-	45144

Тут, сумарна потужність визначається як добуток встановленої потужності на кількість обладнання. Тангенс кута φ обчислюється за формулою: $tg\varphi_i = tg[\arccos(\cos\varphi_i)]$ згідно [36].

Визначаємо груповий коефіцієнт використання обладнання дільниць:

$$K_{\epsilon} = \frac{\sum_{i=1}^{78} p_{n_i} \cdot k_{\epsilon_i}}{\sum_{i=1}^{78} p_{n_i}}. \quad (3.1)$$

Визначаємо середню активну потужність навантаження:

$$P_c = K_{\epsilon} \cdot \sum_{i=1}^{78} p_{n_i}. \quad (3.2)$$

Знаходимо ефективну кількість електроприймачів n_e :

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^{78} p_{n_i})^2}{\sum_{i=1}^{78} p_{n_i}^2}. \quad (3.3)$$

Отримане число заокруглюємо до більшого.

При $n_e=36$ і $K_{\epsilon}=0,32$ визначаємо коефіцієнт максимуму, який становить $K_{max}=1,15$.

Розраховуємо активну розрахункову потужність:

$$P_p = P_c \cdot K_{\max} \cdot \quad (3.4)$$

Визначаємо реактивну розрахункову потужність:

$$Q_p = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{78} P_{ni} \cdot k_{ei} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \cdot \quad (3.5)$$

Визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3.6)$$

3.3 Розрахунок навантаження розподільчих пунктів і шинопроводів

Електроприймачі, що розміщені на інструментально–штампувальній дільниці та заживлені від шинопроводу ШРА1, подані в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Електроприймачі, що заживлені від шинопроводу ШРА1

№ на плані	Назва обладнання	Кількість	Потужність $P_{\text{н}}, \text{кВт}$
1-4,5-8	Плоско шліфувальний верстат 3Б722	8	17
9-10,11-12	Машина для згинання	4	2,5
17,18	Прес гідравлічний	2	7
19	Вертикально-свердильний станок 2Н135	1	2,1
20	Вертикально-свердильний станок 2Н135	1	2,8
21,22	Вали для згинання	2	2,8
31,32	Прес кривошипний	2	6,5
42	Прес для загинання	1	7,5
53	Пресування і сушка електродів	1	8,5
54,55	Пресування і сушка електродів	2	12
Всього:		24	223,5

Визначаємо груповий коефіцієнт використання:

$$K_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} P_{ni} \cdot k_{ei}}{\sum_{i=1}^{24} P_{ni}} \cdot \quad (3.7)$$

Визначаємо середню активну потужність навантаження ШРА 1:

$$P_c = K_{\text{в}} \cdot \sum_{i=1}^{24} P_{ni} \cdot \quad (3.8)$$

Знайдемо ефективну кількість електроприймачів n_e для даного ШРА 1 за

формулою:

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^{24} p_{Hi}\right)^2}{\sum_{i=1}^{24} p_{Hi}^2}. \quad (3.9)$$

При $n_e=17$ і $K_g=0,28$ визначаємо коефіцієнт максимуму, який становить $K_{max}=1,34$.

Розраховуємо активну розрахункову потужність ШРА 1:

$$P_p = P_c \cdot K_{max}. \quad (3.10)$$

Визначаємо реактивну розрахункову потужність ШРА:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, Q_p = K_{max} \cdot \sum_{i=1}^{24} (p_{Hi} \cdot k_{u_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i). \quad (3.11)$$

Визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3.12)$$

Визначаємо розрахунковий струм ШРА 1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (3.13)$$

Визначаємо номінальний струм ШРА 1:

$$I_H = \frac{P_\Sigma}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}. \quad (3.14)$$

Електроприймачі, що розміщені на інструментально–штампувальній дільниці та заживлені від шинопроводу ШРА2, подані в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Електроприймачі, що заживлені від шинопроводу ШРА2

№ з/п	Назва обладнання	Кількість	Потужність $P_{н}$, кВт
2,8	Різьбонарізний верстат	4	2,8
7	Прес фракційний	4	7
2,8	Прес кривошипний	3	2,8
4,5	Прес ексцентрований	6	4,5
10,3	Прес ексцентрований	3	10,3

7,5	Пресс для загинання	2	7,5
10,6	Пресс холодної штамповки	3	10,6
12	Пресс холодної штамповки	5	12
Всього:		30	212,3

Аналогічним чином проводимо розрахунки для електроприймачів, що розташовані на ділянці зварювання й заживлені від розподільчих пристроїв РП1–РП6 та ШТА (див. табл. 3.5). Отримані результати обчислень заносимо в табл. 3.12.

Таблиця 3.5 – Електроприймачі, заживлені від РП1–РП 6 та ШТА

№ на плані	Назва групи	Назва обладнання	Кількість	Потужність P_n , кВт
2.1 - 2.5	РП5	Напівавтомат контактного зварювання	5	18
2.6 - 2.9	РП1	Зварювальний трансформатор автомат СТН-500	4	50
2.10-2.13	РП6	Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-350	4	25
2.14-2.16	РП2	Напівавтомат для зварювання в середовищі CO2	3	15
2.17; 2.18		Перетворювач зварювальний Ма-500	2	30
2.19		Стіл для газозварювальних робіт	1	0,8
2.20; 2.21	РП 3	Машина електрозварювальна НШМ-75	2	75
2.22; 2.23	РП 4	Машина електрозварювальна НШМ-75	2	75
24	ШТА	Кран мостовий	1	20+15

3.4 Вибір місця розташування цехової трансформаторної підстанції

Розміщуємо трансформаторну підстанцію (ТП) в центрі електричних навантажень цехів підприємства, приймаючи до уваги, що обладнання по території цеху розміщене рівномірно. Якщо ж прийняте розміщення ТП перешкоджає технологічним процесам, зміщаємо її до більшої сторони цеху в бік центру живлення головної понижувальної підстанції.

Перевіряємо правильність розташування трансформаторної підстанції (див. рис. 3.1) за критеріальним моментом [36].

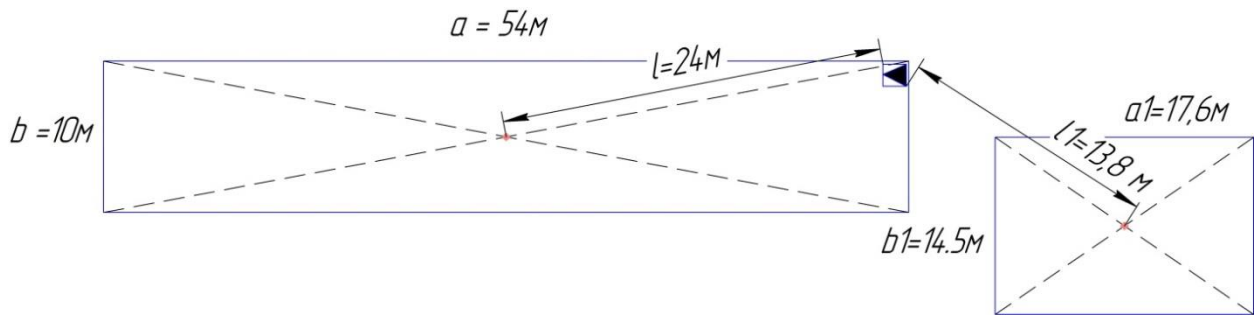


Рис. 3.1 - Схема розміщення цехової підстанції

$$M = \frac{S_P}{4} \cdot l; \quad M = \frac{1143,4}{4} \cdot 24 = 6860,4 \text{ кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{м}; \quad (3.15)$$

$$M_1 = \frac{S_P}{4} \cdot l_1; \quad M_1 = \frac{1143,4}{4} \cdot 13,8 = 3944,73 \text{ кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{м},$$

що в обох випадках менше критичного моменту передачі електроенергії $M_{кр} = 15000 \text{ кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{м}$. Отже місце розташування підстанції вибране вірно.

3.5 Розрахунок електричного освітлення приміщень інструментально-зварювального виробництва

Ефективне використання світла - важливий етап підвищення продуктивності праці і якості продукції, зниження травматизму людей. При незадовільному освітленні різко знижується продуктивність праці, можливі прикрі випадки: поява близькорукості, швидка втома.

В залежності від джерела світла виробниче освітлення може бути трьох видів [30]: природне, штучне, комбіноване. Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатнє природне освітлення, а також для освітлення під час сутінок. Згідно призначення штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне та чергове.

Робоче освітлення забезпечує нормальні умови роботи, необхідну освітленість на робочих місцях. Аварійне освітлення виконується для продовження роботи при раптовому вимкненні робочого освітлення. Евакуаційне освітлення виконують для евакуації людей з приміщень при аваріях, пожежах, задимленості та ін.

Джерела світла поділяються на: люмінесцентні, світлодіодні, лампи

високого тиску та лапи розжарення. Сукупність джерела світла та освітлювальної арматури є світильником. Найбільш важливими функціями освітлювальної арматури є захист очей від занадто великої яскравості джерела світла, а також перерозподіл світлового потоку лампи, який підвищує ефективність установки.

Задачею розрахунку освітлення є визначення потрібної потужності, кількості й типу ламп та світильників, їх розподіл у приміщеннях[30].

Для освітлення дільниць основного виробництва використовуємо стельові світильники розсіяного світла загального освітлення типу ЖСП 04В-250-598 та РСП 20-400-171-440.

Розташування світильників визначається параметрами приміщення вказаними нижче.

Для виробничих приміщень:

$H = 6\text{ м}$ – висота приміщення;

$h_c = 1,0\text{ м}$ – віддаль світильника від перекриття;

$h_n = 5\text{ м}$ – висота світильника над підлогою;

$h_p = 1,0\text{ м}$ – висота розрахункової поверхні над підлогою;

$h = h_n - h_p = 4\text{ м}$ – розрахункова висота від світильника до розрахункової поверхні.

Для допоміжних виробничих приміщень:

$H = 3\text{ м}; h_c = 0,3\text{ м}; h_p = 0,8\text{ м}; h = h_n - h_p = 1,9\text{ м}$.

Для інших приміщень (коридор; туалет; комора): $h_c = 0,3\text{ м}; h_p = 0\text{ м}; h = h_n - h_p = 2,7\text{ м}$.

Проведемо розрахунок освітлення, вибір освітлювальної установки і місця розташування світильників для штампувально-інструментальної дільниці. Для інших приміщень розрахунок проводимо аналогічно; параметри приміщень подані в табл. 3.6; отримані дані вносимо в табл. 3.7.

Таблиця 3.6 - Основні параметри приміщень

Приміщення	Довжина a , м	Ширина b , м	Площа S , м ²
Штампувально - інструментальна дільниця	54	10	540
Дільниця зварювання	14,5	17,6	255,2 +
	2,7	1,5	4,05
Склад сировини	2,7	2,6	7,02
Кімната відпочинку	2,7	4,3	11,61
Санвузол	2,7	2	5,4
Ремонтна майстерня	2,7	2,8	7,56
Склад деталей	2,7	2,2	5,94
Кімната майстра	2,7	2,2	5,94

Для кожного типу світильника встановлена оптимальна відносна відстань між світильниками, рівна відношенню відстані між ними до висоти підвісу над робочою поверхнею згідно виразу:

$$\lambda = \frac{L}{h}. \quad (3.16)$$

Звідси: $L = \lambda \cdot h$; $L = 1,6 \cdot 4 = 6,4$ м.

Рекомендована відстань між стіною і крайніми світильниками $0,5 \cdot L$:

$$l = 0,5 \cdot 6,4 = 3,2 \text{ м.} \quad (3.17)$$

Число світильників у ряду і число рядів світильників визначають згідно таких виразів:

$$N_A = \frac{A}{L}; \quad N_B = \frac{B}{L}; \quad (3.18)$$

$$N_A = \frac{54}{6,4} \approx 9; \quad N_B = \frac{10}{6,4} \approx 2,$$

де A, B – довжина і ширина приміщення, м.

Дробове значення N_A і N_B округляємо до цілого більшого числа.

Для освітлення інструментально–штампувальної дільниці плануємо 18 світильників. Світильники монтуємо у два ряди з відстанню від стіни 3,2 метри та між собою – 6,4 метрів.

Згідно таблиці 4.4 [40] приймаємо таку освітленість дільниці: $E_l = 300$ лк.

Коефіцієнт запасу для всіх приміщень однаковий: $K_3 = 1,3$ (внаслідок відсутності якихось особливостей вибираємо його з ряду 1,3 ... 1,8).

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{\left[h_p \cdot (a + b) \right]}, \quad (3.19)$$

де h_p - розрахункова висота приміщення, м;

a, b - довжина і ширина приміщення, м.

Визначаємо коефіцієнт використання η світильника, виходячи з приблизної оцінки коефіцієнтів відбивання поверхонь на ділянці.

Стіни пофарбовані, підлога бетонна, конструктивне виконання світильників – з відбивачами. Оцінюємо коефіцієнти відбивання поверхонь приміщення величинами [40]: $\rho_C = 90\%$ - для стелі; $\rho_{CT} = 30\%$ - для стін; $\rho_{II} = 10\%$ - для підлоги. Таким чином, згідно таблиці 5.11 [40] коефіцієнт використання світильника $\eta_1 = \eta_2 = 0,65$.

Визначаємо необхідний світловий потік освітлювальної установки для даного приміщення за формулою:

$$\Phi_y = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta_1 \cdot N}; \quad (3.20)$$

$$\Phi_y = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 540 \cdot 1,15}{0,65 \cdot 18} = 20700 \text{ [Лм]},$$

де S – площа ділянки, м²;

z – поправка на мінімальну освітленість; приймаємо $z = 1,15$.

Вибираємо світильники типу РСП 20-400-171-440 з паспортними характеристиками: $P_{II} = 440 \text{ Вт}$; $U_H = 220 \text{ В}$; $\cos\varphi = 0,95$; $\tan\varphi = 0,32$; $\Phi_{II} = 22000 \text{ Лм}$; $K_B = 0,85$.

Згідно норм освітленості запас світлового потоку може знаходитись у межах $\delta = (-10 \dots +20)\%$ і визначається за формулою:

$$\delta = \frac{\Phi_{II} - \Phi_y}{\Phi_{II}}, \quad (3.21)$$

Запас світлового потоку для вибраного світильника на інструментально-штампувальній ділянці:

$$\delta = \frac{22000 - 20700}{22000} \cdot 100\% = +5,9\%.$$

Коефіцієнт запасу відповідає допустимим відхиленням. Таким чином, ділянку освітлюватиме 18 шт. світильників типу РСП 20-400-171.

Проводимо аналогічні розрахунки для інших ділянок виробництва і результати заносимо в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахункові дані освітлювальних установок.

Приміщення	Тип світильника	N_a	N_b	n	i	Φ_p	Φ_c	δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Інструментально-штампувальна ділянка	РСП 20-400-171	9	2	18	2,1	20700	22000	+5,9
Ділянка зварювання	Б-220-230-200-1	1	1	1	0,24	2794,5	3150	+11,28
	ЖСП 04В-250-598	3	2	6	1,98	28401,3	27000	-5
Склад сировини	НСП 11-100-414	1	1	1	0,33	1210,9	1380	+12,25
Кімната відпочинку	Селена 32А-СД-4	2	1	2	0,41	2670,3	3100	+13
Санвузол	Б-220-230-75-2	1	1	1	0,28	931,5	960	+2,9
Ремонтна майстерня	ЛСП 5У-55-313	2	1	2	0,34	2608,2	3000	+13
Склад деталей	НСП 11-100-801	1	1	1	0,3	1024,6	960	-6,6
Кімната майстра	Юпітер-21-04 (ЛПО 03В-4х20-020)	1	1	1	0,303	4098,6	4800	+14

Технічні характеристики обраних світильників заносимо в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Характеристики обраних світильників

Тип світильника	Кількість n	Потужність P Вт	$P \times n$ кВт	Напруга $U_{ном}$	$\cos\phi$
РСП 20-400-171-440	18	440	7,92	220	0,95
Б-220-230-200-1	1	200	0,2		0,96
ЖСП 04В-250-598	6	275	1,65		0,95
НСП 11-100-414	1	100	0,1		0,96
Селена 32А-СД-4	2	200	0,4		0,95
Б-220-230-75-2	1	75	0,075		0,96
ЛСП 5У-55-313	2	59,4	0,1188		0,95
НСП 11-100-801	1	100	0,1		0,96
ЛПО 03В-4 20-020 (Юпітер-21-04)	1	88	0,088		0,97

Розраховуємо потужності приладів освітлення і розеток, що живляться від щитка освітлення ЩО1.

Визначаємо активну розрахункову потужність освітлення дільниці:

$$P_{PI} = k_g P_H, \quad (3.22)$$

де $k_g = 0,85$.

Визначаємо реактивну розрахункову потужність ($\cos\varphi = 0,95$; $\operatorname{tg}\varphi=0,32$):

$$Q_{PI} = P_P \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (3.23)$$

Визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_{PI} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{PI}^2}. \quad (3.24)$$

Визначаємо розрахунковий струм:

$$I_{PI} = \frac{S_{PI}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1}}. \quad (3.25)$$

Визначаємо номінальний струм:

$$I_{H1} = \frac{P_{H1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1} \cdot \cos\varphi_1}. \quad (3.26)$$

Аналогічно розраховуємо потужності приладів освітлення і розеток, що живляться від щитка освітлення ЩО2.

Для комутації освітлення на виробничих дільницях біля входу у приміщення встановлюємо щитки освітлення (ЩО1; ЩО2).

3.6 Розрахунок навантаження щитків освітлення

Сумарна активна потужність освітлення, що живиться від ЩО1:

$$P_{O\Sigma} = 6,73 \text{ кВт}.$$

Розподіляємо активну потужність ЩО1 між трьома фазами:

– фаза "А" (ЕП (осв) 6 світильників): $P_A = 2,244 \text{ кВт}$;

– фаза "В"(ЕП (осв) 6 світильників): $P_B = 2,244 \text{ кВт}$;

– фаза "С" (ЕП (осв) 6 світильників): $P_C = 2,414 \text{ кВт}$.

Сумарна активна потужність освітлення, що живляться від ЩО2:

$$P_{O\Sigma} = 2,415 \text{ кВт}.$$

Сумарна активна потужність розеток ЩО2:

$$P_{P\Sigma} = 3 \text{ кВт}.$$

Загальна активна потужність освітлення та розеток ЩО2:

$$P_{\Sigma} = 2,415 + 3 = 5,415 \text{ кВт.}$$

Розподіляємо активну потужність ЩО2 між трьома фазами:

– фаза "А" - ЕП (осв) (дільниця зварювання, склад сировини):

$$P_A = 1,751 \text{ кВт};$$

– фаза "В" - ЕП (р) (кімната відпочинку, санвузол, майстерня, склад деталей

– по 1-й розетці): $P_B = 1,444 \text{ кВт};$

– фаза "С" – ЕП (р) (кімната майстра , 3 розетки) : $P_C = 1,882 \text{ кВт.}$

3.7 Розрахунок потужності ділянок виробництва

Розраховані у розділі 3.3 потужності розподільних пристроїв і шинопроводів та у розділі 3.6 потужності освітлювального устаткування зводимо у таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 - Розрахункові навантаження силових шаф і шинопроводів.

№з/п.	Назва електро-приймача	Напруга, В	Потужність, кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Розрахункові навантаження				
						P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВ·А	I_p , А	I_H , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ШРА 1	Шинопровід розподільний	380	223,5	0,7	1,01	84,8	90,76	124,2 2	188,7 3	483,38
ШРА 2	Шинопровід розподільний	380	221,3	0,36	1,19	71,84	85,17	111,4 3	169,2 9	501,38
РП 1	Розподільний пристрій	380	100	0,6	1,33	74,8	99,48	124,5	189,1	253,2
РП 2	Розподільний пристрій	380	200	0,6	1,33	130,9	174,1	217,8	330,9	506,4
РП 3	Розподільний пристрій	380	150	0,6	1,33	98,17	130,6	163,4	248,2	379,83
РП 4	Розподільний пристрій	380	150	0,6	1,33	98,17	130,5 7	163,3 6	248,2	379,83
РП 5	Розподільний пристрій	380	105,8	0,61	1,30 5	65,03	86,44	108,2	164,3	269,1
РП 6	Розподільний пристрій	380	90	0,6	1,33	63	83,79	104,8 3	159,2	227,9
ЩО 1	Щиток освітлення	220	7,92	0,95	0,32	6,73	2,15	7,06	18,55	21,88
ЩО 2 (о)	Щитки освітлення (світильники)	220	2,84	0,95	0,32	2,415	0,77	2,54	6,656	7,85

ЩО 2 (р)	Щиток освітлення (розетки)	220	6	0,89	0,51	3	1,53	3,37	8,5	17,7
ШТА	Тролейна лінія	380	20+15	0,5	1,73	12,7	1,52	12,86	19,56	106,35
ШМА	Шинопровід магістральний	380	1275,6			699,4 2	882,4	1130, 5	1698, 1	3107,4
ВРП	Ввідно - розподільний пристрій	380	1292,3 6			711,5 5	886,8	1143, 4	1731, 5	3154,5

3.8 Вибір номінальної потужності трансформаторів

При виборі кількості та потужності трансформаторів ПС враховуються такі фактори: категорія надійності електропостачання ЕП, розрахункове навантаження, компенсація реактивних навантажень при напрузі до 1 кВ, навантажувальна спроможність трансформаторів в нормальному та післяаварійному режимах, шкал стандартних номінальних потужностей трансформаторів.

Двотрансформаторні ПС застосовують при більшості ЕП 1-ї категорії та наявності ЕП особливої групи, а також для живлення ЕП 2-ї категорії надійності.

Якщо приймати коефіцієнти завантаження трансформаторів $\beta_T > 0,75$, то в цьому випадку з урахуванням допустимого перевантаження трансформаторів вимикають частину ЕП 3-ї категорії надійності. Для таких підстанцій також необхідний складський резерв. На час ремонту пошкодженої ПС та, що залишилася в роботі, має забезпечити електропостачання ЕП 1-ї категорії надійності.

ПС з кількістю трансформаторів більше двох застосовують лише при належному обґрунтуванні, а також при установленні окремих трансформаторів для живлення силових та освітлювальних навантажень.

При трьох і менше трансформаторах їх стандартну номінальну потужність вибирають за формулою [27]:

$$S_{ном} \geq S_{ном т. р} = \frac{P_p}{N \cdot \beta_T}, \quad (3.27)$$

де $S_{ном т. р}$ – повна номінальна розрахункова потужність трансформатора;

P_p – розрахункове активне навантаження;

N — кількість трансформаторів;

β_T — коефіцієнт завантаження трансформатора.

Оскільки значну частину навантаження становлять ЕП 2-ї та 3-ї категорії надійності, плануємо однострансформаторну підстанцію з можливістю резервування на низькій стороні електропостачання. Приймаємо коефіцієнт завантаження трансформатора: $\beta_T = 0,75$.

Потужність трансформатора ТП підбираємо з врахуванням сумарної активної розрахункової потужності P_p , яка складається з потужності силових споживачів, витрачається на освітлення й розетки виробництва, що живляться від даної підстанції.

Потужність силових споживачів виробництва $P_{p.c.} = 686,73 \text{ кВт}$;

Потужність, яка витрачається на освітлення $P_{p.o.} = 9,054 \text{ кВт}$;

Потужність, яка витрачається на розетки $P_{p.p.} = 3 \text{ кВт}$;

Потужність мостового крана: $P_{p.m.k.} = 12,3 \text{ кВт}$.

$$P_p = P_{p.c.} + P_{p.o.} + P_{p.p.} + P_{p.m.k.}$$

$$P_p = 686,73 + 9,054 + 3 + 12,3 = 711,08 \text{ кВА}$$

Отже, номінальна потужність трансформатора ПС становить:

$$S_{ном} \geq S_{ном т.р} = \frac{711,08}{1 \cdot 0,75} = 948,1157 \text{ кВА}$$

Згідно з розрахунком для ТП вибирається трансформатор типу ТМФ-1000-10/0,4 з характеристиками приведеними в табл. 3.10.

У даному випадку можна також розглянути варіант вибору двох трансформаторів типу ТМ(Г)-630-10/0,4 У1, але це потребує техніко-економічного обґрунтування.

Таблиця 3.10 - Характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Потужність, кВА	Напруга, В		Схема і група з'єднань	Напруга КЗ, %	Втрати, кВт		Габаритні розміри, мм			Маса, кг
		ВН	НН			ХХ	КЗ	L	B	H	
ТМФ-1000-10/0,4	1000	10	0,4	У/УН - 0	5,5	1,9	10,8	2080	1290	2150	3450

3.9 Вибір компенсуючих пристроїв реактивної потужності

Максимальна реактивна потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 6(10)/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта його завантаження β_T , становить:

$$Q_T = \sqrt{(N \cdot \beta_T \cdot S_{НОМ.Т})^2 - P_P^2}, \text{ кВАр}, \quad (3.28)$$

де N - кількість трансформаторів ТП, шт.;

$S_{НОМ.Т}$ - повна номінальна потужність трансформатора, кВА;

P_P - розрахункова активна потужність навантаження, кВт.

Якщо під квадратним коренем в результаті обчислень отримаємо величину зі знаком “мінус”, то приймаємо $Q_T = 0$.

Потужність конденсаторної установки (КУ) із конденсаторами на розрахункову реактивну потужність напругою 0,4 кВ визначається так [39]:

$$Q_{Н.К} = Q_P - Q_T; \quad (3.29)$$

$$Q_P = \sum Q_p, \quad (3.30)$$

де Q_p - розрахункова реактивна потужність.

Для застосування приймається найближча стандартна величина потужності комплектної (КУ) $Q_{Н.К.СТ}$, що вибирається з додатка К [36] або з інших інформаційних джерел.

Якщо $Q_{Н.К} \leq 0$, то встановлювати конденсатори не потрібно.

Визначаємо орієнтовну потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,75 \cdot 1000)^2 - 711,086^2} = 238,444 \text{ кВАр};$$

$$Q_P = 886,8 \text{ кВАр};$$

$$Q_{Н.К} = 886,8 - 238,444 = 648,35 \text{ кВАр}.$$

У зв'язку з тим, що трансформатор даної ПС не пропускає всю необхідну реактивну потужність у мережу напругою до 1 кВ, необхідно встановити конденсаторну установку. Вибираємо дві комплектні (КУ), найближча стандартна величина потужності яких становить 320 кВАр. Таким чином, з таблиці Л.2 [36] вибираємо установку типу УКРП-0,4-320-20 УЗ з кроком зміни реактивної потужності 20 кВАр.

3.10 Обмеження рівня вищих гармонік в електромережах промислових підприємств

Обмеження рівня вищих гармонік досягається застосуванням апаратних заходів й схемо–технічних рішень:

- збільшення потужності струмів к.з.у місці під'єднання джерел вищих гармонік;
- збільшення фазності схеми випрямлення вентильних перетворювачів;
- використання силових фільтрів (6–10) кВ на основі струмообмежувальних реакторів й конденсаторів;
- застосування фільтрокомпенсувальних пристроїв номіналом (6–10) кВ й 0,4 кВ заводського виготовлення, які включають в себе струмообмежувальні реактори з швидкодіючими тиристорними регуляторами реактивної потужності й фільтри вищих гармонік;
- використання в схемах електропостачання розщеплених відгалужень (секцій шин) (6–10) кВ силових трансформаторів для обмеження числа вентильних перетворювачів, що під'єднуються до однієї секції шин - зменшуються спотворення кривої напруги.

3.10.1 Розрахунок параметрів налаштування фільтрів вищих гармонік

Відомо, що найбільш ефективним джерелом живлення асинхронних двигунів є синусоїдальний струм основної частоти, оскільки струми інших частот збільшують навантаження на двигун і скорочують термін його служби; гармоніки, кратні двом, призводять до обертання ротора двигуна в протилежному напрямку, а гармоніки кратні трьом - до вібрації ротора.

Для усунення з електромережі гармонічних складових вищих частот використовують фізичне явище - резонанс. Як відомо, резонансним режимом роботи електричного ланцюга, що містить один або декілька індуктивних і один або декілька ємнісних елементів, називають такий режим, при якому струм співпадає по фазі з діючою ЕРС. На явищі резонансу працюють фільтри, які

можуть або пропускати струм потрібної частоти, або блокувати його [11].

Найбільш поширеним технічним засобом зменшення рівнів вищих гармонік (ВГ) напруги в сучасних системах електропостачання є фільтрокомпенсуючий пристрій (ФКП), який представляє собою багатофункціональний пристрій для зменшення несинусоїдальності та для компенсації реактивної потужності. ФКП складається із послідовно з'єднаних індуктивного та ємнісного елементів, параметри яких підбираються таким чином, щоб на частоті налаштування спостерігалось явище резонансу.

Розрахунок параметрів ФКП для конкретної електромережі з наявними вищими гармоніками проводиться аналогічно до поданої в [14] Методики. Так, для електромережі 0,4 кВ з сумарним лінійним та нелінійним навантаженням $S = 126 + 472 \approx 600 [\text{кВ} \cdot \text{А}]$, $\cos \varphi = 0,64$, струмами 3-ї, 5-ї, та 7-ї гармоніками на рівні $I_3 = 36 \text{ А}$, $I_5 = 268 \text{ А}$, $I_7 = 132 \text{ А}$, а також відповідними напругами гармонік $U_3 = 6,8\%$, $U_5 = 34,2\%$, $U_7 = 18,4\%$ й коефіцієнтом несинусоїдності $k_U = 39,4\%$ проведений розрахунок і вибрані елементи ФКП.

Результати розрахунку такі [14]:

– розрахункова потужність батарей конденсаторів для наявних в електромережі гармонійних складових струму, $\text{кВ} \cdot \text{Ар}$:

$$Q_{БК} \geq 1,2 \cdot k_c \cdot U_n \cdot I_v; \quad (3.31)$$

$$Q_{БК3} = 28,6 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}; \quad Q_{БК5} = 216,4 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}; \quad Q_{БК7} = 106,2 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

– коефіцієнт струморозподілу між ФКП та електромережею обчислюємо за виразом:

$$k_{v_p} = \sqrt{\frac{1 + v_p \cdot \text{tg}^2 \varphi_{екв}}{\left(1 + \frac{R_{\phi v}}{R_{екв}}\right)^2 + v_p \cdot \text{tg}^2 \varphi_{екв}}}; \quad (3.32)$$

$$k_{3p} = 0,72; \quad k_{5p} = 0,78; \quad k_{7p} = 0,84;$$

– кратність зниження напруг гармонійних складових:

$$k_{U_{vp}} = \frac{R_{\phi v}}{R_{екв}} \cdot \frac{k_{vp}}{1 + v_p \cdot \text{tg}^2 \varphi_{екв}}; \quad (3.33)$$

$$k_{U_{3p}} = 0,14; \quad k_{U_{5p}} = 0,12; \quad k_{U_{7p}} = 0,08;$$

– залишкова напруга, %:

$$U_{v\text{ зал}} = k_{Uvp} \cdot U_v; \quad (3.34)$$

$$U_{3\text{ зал}} = 0,95; \quad U_{5\text{ зал}} = 4,11; \quad U_{7\text{ зал}} = 1,47;$$

– коефіцієнт несинусоїдності після встановлення ФКП, %:

$$k_U = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_{v_i\text{ зал}}^2}; \quad (3.35)$$

$$k_U = 4,48;$$

– загальна потужність встановлених батарей конденсаторів для наявних в електромережі гармонійних складових струму, $kB \cdot Ap$: $Q_{BK\Sigma} = 351,2 kB \cdot Ap$.

Згідно з ГОСТ 13109-97 [45] нормально допустиме значення коефіцієнта несинусоїдності для напруги 0,38 кВ складає 8% (гранично допустиме - 12%). Отримане значення коефіцієнта несинусоїдності $k_U = 4,48\%$ не перевищує допустимого.

Вибираємо такі ФКП:

– для 3-ї гармоніки на потужність $Q_{BK3} = 28,6 kB \cdot Ap$ - ФКУ 0,4 кВ–45 А–30 кВ·Ар (5 кВ·Ар) IP31;

– для 5-ї гармоніки на потужність $Q_{BK5} = 216,4 kB \cdot Ap$ - ФКУ 0,4 кВ–360 А–250 кВ·Ар (25 кВ·Ар) IP31;

– для 7-ї гармоніки на потужність $Q_{BK7} = 106,2 kB \cdot Ap$ - ФКУ 0,4 кВ–220 А–150 кВ·Ар (25 кВ·Ар) IP31;

В окремих випадках допустимим є встановлення одного ФКП для істотного пониження домінуючої гармоніки, а також здешевлення затрат на компенсацію вищих гармонік.

Резонанс струмів на частотах небажаних гармонік на низькій стороні необхідно усунути методом відлаштування фільтрокомпенсувальних пристроїв, для чого провести розрахунок перевантаження струмами вищих гармонік і визначити коефіцієнт несинусоїдності кривої основної частоти.

3.11 Висновки до розділу

Проведений розрахунок навантажень виробничого обладнання з врахуванням його розміщення та потужності. Зроблені розрахунки навантажень розподільчих пунктів і шинопроводів діляниць з врахуванням: групового коефіцієнта використання обладнання; середньої активної потужності навантаження; ефективної кількості електроприймачів; активної, реактивної та повної розрахункової потужностей; розрахункового і номінального струмів як для окремих груп споживачів, так і для діляниць в цілому.

На основі розрахунків здійснено вибір потужності та місця розташування цехової трансформаторної підстанції. Оскільки більшість споживачів електроенергії виробництва належать до II-ї та III-ї категорій надійності, для живлення виробництва обрана однострансформаторна підстанція з трансформатором типу ТМФ 1000/10, з можливістю резерву на низькій стороні від найближчої ТП. Для компенсації реактивної потужності вибрані дві конденсаторні установки типу УКРП-0,4-320-20 УЗ потужністю 320 кВ·Ар.

З врахуванням значень нормованої освітленості для кожного з типів приміщень та їх характеристик проведено розрахунок освітлення, вибрані освітлювальні установки, місця їх розташування в інструментально-зварювальних ділянках виробництва. Для комутації освітлення на виробничих ділянках біля входу у приміщення встановлені щитки освітлення, активна потужність яких розподілена рівномірно між трьома фазами:

Оскільки зварювальні агрегати є джерелами вищих гармонік, що негативно впливають на устаткування виробництва розглянуто заходи з обмеження їх рівня в електромережах підприємства: проведено розрахунок потужності вищих гармонік та вибрані відповідні фільтрокомпенсуювальні пристрої.

4 ПРОЕКТНО–КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ, ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ, КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ ТА ЗАХИСТУ

4.1 Вибір перерізу кабельних ліній напругою понад 1 кВ

4.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом.

При виборі перерізу кабелю, який живить ТП з трансформатором 10/0,4 кВ, як струм нормального режиму $I_{нор}$ незалежно від числа трансформаторів ТП приймається номінальний первинний струм трансформатора, який визначається за паспортними даними трансформатора з відповідного каталогу або з таблиці Л.1 додатка [36] за формулою:

$$I_{НОРМ} = I_{НОМ.Т} = \frac{S_{НОМ.Т}}{\sqrt{3}U_{НОМ.Т}}, A, \quad (4.1)$$

$$I_{НОРМ} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,735 A,$$

де $S_{НОМ.Т}$ - номінальна потужність трансформатора, *кВА*;

$U_{НОМ.Т}$ - номінальна первинна напруга трансформатора, *кВ*.

Для кабелів із полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами при $T_{макс} = 3500 \text{ год/рік}$ економічно вигідний переріз кабелю в нормальному режимі роботи визначається за формулою:

$$S_{ек} = \frac{I_{НОРМ}}{J_{ек}}, \text{мм}^2, \quad (4.2)$$

$$S_{ек} = \frac{57,735}{2,5} = 23,094 \text{мм}^2,$$

де $I_{НОРМ}$ - струм нормального режиму, *А*;

$J_{ек}$ - нормоване значення економічно вигідної густини струму, *А/мм²*, з таблиці М.1 додатка М [36].

Розрахунковий економічно вигідний переріз $S_{ек}$ округляється до найближчого стандартного перерізу 25, *мм²*. Обираємо кабель типу ВВГ 5х25 довжиною 200 м.

4.1.2 Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом

У режимі максимального навантаження кабелів допустимий для даного кабелю струм з урахуванням умови прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов $I'_{доп}$ та коефіцієнтів допустимого перевантаження $K_{пер}$, які наводяться в таблицях М.2 і М.3 [36], порівнюють зі струмом його форсованого режиму $I_{ф}$ з урахуванням коефіцієнта резервування $K_{рез}$:

$$K_{пер} I'_{доп} \geq K_{рез} I_{норм}, A, \quad (4.3)$$

$$1,1 \cdot 84,85 = 93,34 \geq 1,4 \cdot 57,735 = 80,83 [A]$$

коефіцієнт допустимого перевантаження приймаємо $K_{пер} = 1,4$.

Допустимий тривалий струм для кабелів напругою 10 кВ з урахуванням умов прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх тривалому характері визначається так [36]:

$$I'_{доп} = K_{сер} K_{пр} I_{доп}, A, \quad (4.4)$$

$$I'_{доп} = 0,94 \cdot 1 \cdot 90 = 84,85 A$$

де $K_{сер}$ - поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відмінна від стандартної;

$K_{пр}$ - поправковий коефіцієнт на кількість кабелів, що лежать поруч у землі ;

$I_{доп}$ - допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу, А.

Поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ можна також обчислити за формулою:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (4.5)$$

де $T_{ж.н}$, $T_{сер.н}$ - нормовані тривало допустимі температури жили та середовища відповідно;

$T_{сер}$ - фактична температура навколишнього середовища.

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{60 - 20}{60 - 15}} = 0,94.$$

При резервуванні за допомогою шинних перемичок НН - $K_{рез} = 1,4$; без

резервування - коефіцієнт систематичного перевантаження дорівнює 1,0.
Оскільки рівність (4.3) виконується, то переріз кабелю обрано правильно.

4.2 Вибір розподільної мережі 0,4 кВ

4.2.1 Вибір перерізу кабелів до шинопроводів і розподільних пристроїв

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового:

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p \quad (4.6)$$

де I_p - розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання.

$I'_{\text{доп}}$ - допустимий тривалий струм для кабелів з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері. Визначається з урахуванням поправкового коефіцієнта $K_{\text{нопр}} = 0,925$ так [36]:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{нопр}} \cdot I_{\text{доп}}, \text{ А.} \quad (4.7)$$

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості поправковий коефіцієнт $K_{\text{нр}} = 1$, нормована температура середовища $T_{\text{сер.н}} - 25^\circ\text{C}$.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до великих втрат активної потужності та значних втрат напруги. Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ [31]: за умов допустимої втрати напруги та відповідності до захисного апарата. Форсований режим в електромережах напругою до 1 кВ буває досить рідко.

Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{P_p R_{\text{кб}} + Q_p X_{\text{кб}}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2}, \quad (4.8)$$

де P_p і Q_p - максимальні розрахункові активне і реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і кВАр ;

$R_{\text{кб}}$ і $X_{\text{кб}}$ - активний і реактивний опори кабелю відповідно, Ом ;

$U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ .

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами

$$R_{кб} = r_n \cdot l_{кб} \quad (4.9)$$

$$X_{кб} = x_n \cdot l_{кб} \quad (4.10)$$

де r_n і x_n - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км;
 $l_{кб}$ - довжина кабелю, км.

Результати розрахунків зводимо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристики кабелів, що живлять ШНВ, РП та ЩО

Кабель до ПЕ	$S_{см, 2}$ мм ²	$I'_{дон},$ А	$I_p,$ А	$\Delta U_{кб}$	$l,$ км	r_n	x_n	Марка кабелю
ЩО1	2,5	20,67	18,55	0,7	0,023	11,95	0	ПВС 5х2-380
ЩО2	2	16,54	15,15	0,1	0,031	11,95	0	ПВС 5х2,5-380
ШНВ	800	1800	1735	0,6	0,005	-	-	4 х ПВВ 1 х 800+1х400-380
ШМА	800	1800	1292,36	-	0,005	-	-	4 х ПВВ 1 х 800+1х400-380
РП 1	95	226,54	189,11	0,26	0,015	0,195	0,060	4хРП 1х95-380
РП 2	185	348,08	330,94	0,3	0,019	0,1	0,059	ПВВ 4 х185-380
РП 3	120	265,40	248,204	0,36	0,015	0,154	0,060	4 х РП 1х120-380
РП 4	120	265,40	248,205	3.5	0,022	0,154	0,060	4 х РП 1х120-380
РП 5	70	186,85	164,34	0,2	0,013	0,265	0,061	4 хПВ3 1х70-380
РП 6	70	186,86	159,276	0,4	0,007	0,265	0,061	4 хПВ3 1х70-380
ККУ 1	320	421,67	420	0,7	0,004	0,124	0,059	ПВВ4х240-380
ККУ 2	320	421,67	420	0,1	0,004	0,124	0,059	ПВВ4х240-380

4.2.2 Вибір шинопроводів.

Для головних магістралей випускають комплектні шинопроводи типу ШМА з номінальними струмами 1250, 1600, 2500, 3200 та 4000 А; для розподільних магістралей - комплектні шинопроводи типу ШРА з номінальними струмами 100, 250, 400 та 630 А.

Комплектні шинопроводи типу ШМА вибирають за струмом форсованого режиму силового трансформатора, до якого вони приєднані, за формулою:

$$I_{ном.ШМА} \geq I_{\Phi} = K_{рез} \cdot I_{ном.т}, \quad (4.11)$$

де $K_{рез}$ - коефіцієнт резервування, який враховує тривале перевантаження трансформатора залежно від кількості трансформаторів на ПС і умов резервування на стороні НН.

Номінальний вторинний струм трансформатора визначається так:

$$I_{ном.т} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.т}}, A, \quad (4.12)$$

де $S_{ном}$ - номінальна потужність трансформатора, $кВА$;

$U_{ном т}$ - номінальна вторинна напруга трансформатора, $кВ$.

Втрату напруги в ШМА обчислюємо за формулою [36]:

$$\Delta U_{ШМА} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} \cdot (r_n \cdot \cos \varphi + x_n \cdot \sin \varphi), \% \quad (4.13)$$

де r_n, x_n - питомі активний та індуктивний опори ШМА, відповідно;

I_p - розрахунковий струм ШМА, A ;

l - довжина ШМА, $км$;

Номінальний струм комплектних шинопроводів типу ШРА

$I_{ном.ШРА}$ вибирають за розрахунковим струмом рівня електропостачання:

$$I_{ном.ШРА} \geq I_p. \quad (4.14)$$

Площа перерізу та втрата напруги в ШРА визначається так як і для ШМА.

Отримані дані заносимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Характеристики обраних ШМА та ШРА

Назва	$S_{ст},$ $мм^2$	$I_{\phi},$ A	$I_{ном.ШМА},$ A	$\Delta U_{ШМА}$	$l,$ $км$	Тип шинопроводу
1	2	3	4	5	6	7
ШМА	300×160	1470,59	1600	0,309	0,01359	ШМА73 УПЗ

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7
ШРА	260×80	188,7	250	1,01	0,0442	ШРА73УЗ
ШРА	260×80	169,3	250	1,12	0,0487	ШРА73УЗ

4.2.3 Вибір ліній живлення першого рівня системи електропостачання

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу (кабелю) розподільних мереж завжди вибирають за умовою нагрівання в нормальному режимі за формулою:

$$I'_{дон} \geq I_p, \quad (4.15)$$

де I_p - розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання (номінальний струм електроприймача (ЕП)).

Для остаточного вибору перерізу проводу слід провести всі перевірки

відповідно до вимог ПУЕ [31]: за механічною міцністю, допустимою втратою напруги та за умови відповідності захисному апарату. За умовою механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів - 2,5 мм², мідних - 1,5 мм².

Втрата напруги в проводах у відсотках визначається згідно виразу (4.8).

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за виразами (4.9), (4.10).

Результати розрахунків зносимо в табл. 4.3 й табл. 4.4.

Таблиця 4.3 - Лінії живлення силових ЕП інструментально - штампувальної дільниці

№	Назва ЕП	$S_{см, 2}$ мм ²	$I_n,$ А	$I'_{дон}, А$	$I_0,$ А	$\Delta U,$ %	$l,$ км	Тип кабелю
1	Плоско шліфувальний верстат ЗБ722	16	39,7	56,16	75	0,07	0,005	4 х ПВЗ 1х16-380
2	Плоско шліфувальний верстат ЗБ723	16	39,7	56,16	75	2,75	0,005	4 х ПВЗ 1х16-380
3	Плоско шліфувальний верстат ЗБ724	16	39,7	56,16	75	3,85	0,007	4 х ПВЗ 1х16-380
4	Плоско шліфувальний верстат ЗБ725	16	39,7	56,16	75	3,85	0,007	4 х ПВЗ 1х16-380

Продовження таблиці 4.3

№	Назва ЕП	$S_{см, 2}$ мм ²	$I_n,$ А	$I'_{дон}, А$	$I_0,$ А	$\Delta U,$ %	$l,$ км	Тип кабелю
5	Плоско шліфувальний верстат ЗБ726	16	39,7	56,16	75	4,40	0,008	4 х ПВЗ 1х16-380
6	Плоско шліфувальний верстат ЗБ727	16	39,7	56,16	75	4,40	0,008	4 х ПВЗ 1х16-380
7	Плоско шліфувальний верстат ЗБ728	16	39,7	56,16	75	4,4	0,008	4 х ПВЗ 1х16-380
8	Плоско шліфувальний верстат ЗБ729	16	39,7	56,16	75	4,4	0,008	4 х ПВЗ 1х16-380
9	Машина для згинання	1,5	4,27	11,98	16	0,3	0,004	ПВС 4х1,5-380
10	Машина для згинання	1,5	4,27	11,98	16	0,52	0,007	ПВС 4х1,5-380
11	Машина для згинання	1,5	4,27	11,98	16	0,29	0,004	ПВС 4х1,5-380
12	Машина для згинання	1,5	4,27	11,98	16	0,52	0,007	ПВС 4х1,5-380
13	Різьбонарізний верстат	1,5	7,09	11,98	16	1,07	0,006	ПВС 4х1,5-380
14	Різьбонарізний верстат	1,5	7,09	11,98	16	0,89	0,005	ПВС 4х1,5-380
15	Різьбонарізний верстат	1,5	7,09	11,98	16	1,07	0,006	ПВС 4х1,5-380
16	Різьбонарізний верстат	1,5	7,09	11,98	16	0,89	0,005	ПВС 4х1,5-380
17	Прес гідравлічний	2,5	16,4	18,72	25	3,01	0,008	ПВС 4х2,5-380
18	Прес гідравлічний	2,5	16,4	18,72	25	1,88	0,005	ПВС 4х2,5-380
19	Вертикально-	1,5	4,56	11,98	16	0,53	0,005	ПВС 4х1,5-380

	свердлувальний верстат							
20	Вертикально-свердлувальний верстат 2Н136	1,5	7,09	11,98	16	1,07	0,006	ПВС 4x1,5-380
21	Вали для згинання	1,5	6,08	11,98	16	0,86	0,006	ПВС 4x1,5-380
22	Вали для згинання	1,5	6,08	11,98	16	1,14	0,008	ПВС 4x1,5-380
24	Прес фракційний	2	14,2	14,98	20	2,05	0,007	ПВС 4x2-380
25	Прес фракційний	2	14,2	14,98	20	2,05	0,007	ПВС 4x2-380
26	Прес фракційний	2	14,2	14,98	20	1,46	0,005	ПВС 4x2-380
27	Прес фракційний	2	14,2	14,98	20	1,46	0,005	ПВС 4x2-380
28	Прес фракційний	1,5	6,08	11,98	16	0,1	0,004	ПВС 4x1,5-380
29	Прес кривошипний	1,5	6,08	11,98	16	0,1	0,004	ПВС 4x1,5-380
30	Прес кривошипний	1,5	6,08	11,98	16	0,1	0,004	ПВС 4x1,5-380
31	Прес кривошипний	2,5	15,19	18,72	25	2,27	0,0065	ПВС 4x2,5-380
32	Прес кривошипний	2,5	15,2	18,72	25	2,27	0,0065	ПВС 4x2,5-380
33	Прес кривошипний	1,5	11,4	11,98	16	0,19	0,005	ПВС 4x1,5-380
34	Прес ексцентрований	1,5	11,4	11,98	16	0,25	0,0065	ПВС 4x1,5-380
35	Прес ексцентрований	1,5	11,4	11,98	16	0,19	0,005	ПВС 4x1,5-380
36	Прес ексцентрований	1,5	11,4	11,98	16	0,25	0,0065	ПВС 4x1,5-380
37	Прес ексцентрований	1,5	11,4	11,98	16	0,19	0,005	ПВС 4x1,5-380
38	Прес ексцентрований	1,5	11,4	11,98	16	0,25	0,0065	ПВС 4x1,5-380
39	Прес ексцентрований	6	26,1	29,95	40	2,58	0,005	ПВС 4x6-380
40	Прес ексцентрований	6	26,1	29,95	40	2,58	0,005	ПВС 4x6-380
41	Прес ексцентрований	6	26,1	29,95	40	2,58	0,005	ПВС 4x6-380
42	Прес для загинання	4	18,99	22,46	30	2,02	0,005	ПВС 4x4-380

Продовження таблиці 4.3

№	Назва ЕП	$S_{ст},$ мм ²	$I_n,$ А	$I'_{доп},$ А	$I_0,$ А	$\Delta U,$ %	$l,$ км	Тип кабелю
43	Прес для загинання	4	18,99	22,46	30	2,42	0,006	ПВС 4x4-380
44	Прес для загинання	4	18,99	22,46	30	2,42	0,006	ПВС 4x4-380
45	Прес холодного штампування	6	24,78	29,95	40	2,81	0,006	ПВС 4x6-380
46	Прес холодного штампування	6	24,78	29,95	40	2,81	0,006	ПВС 4x6-380
47	Прес холодного штампування	6	24,78	29,95	40	2,81	0,006	ПВС 4x6-380
48	Прес холодного штампування	6	28,05	29,95	40	2,12	0,004	ПВС 4x6-380
49	Прес холодного штампування	6	28,05	29,95	40	2,12	0,004	ПВС 4x6-380
50	Прес холодного штампування	6	28,05	29,95	40	2,12	0,004	ПВС 4x6-380
51	Прес холодного штампування	6	28,05	29,95	40	2,12	0,004	ПВС 4x6-380
52	Прес холодного штампування	6	28,05	29,95	40	2,12	0,004	ПВС 4x6-380
53	Пресування і сушка електродів	4	18,45	22,46	30	1,78	0,005	ПВС 4x4-380
54	Пресування і сушка електродів	6	24,31	29,95	40	2,03	0,005	ПВС 4x6-380

55	Пресування і сушка електродів	6	24,31	29,95	40	2,85	0,007	ПВЗ 4x6-380
----	-------------------------------	---	-------	-------	----	------	-------	-------------

Таблиця 4.4 - Лінії живлення силових електроприймачів зварювальної ділянки

№	Назва ЕП	$S_{ст}$, мм ²	I_n , А	$I'_{доп}$, А	I_0 , А	ΔU , %	l , км	Тип кабелю
2.1	Напівавтомат контактного зварювання	10	45,6	49,42	66	0,24	0,005	4 x ПВЗ 1x10-380
2.2	Напівавтомат контактного зварювання	10	45,6	49,42	66	0,48	0,008	4 x ПВЗ 1x10-380
2.3	Напівавтомат контактного зварювання	10	45,6	49,42	66	0,88	0,0098	4 x ПВЗ 1x10-380
2.4	Напівавтомат контактного зварювання	10	45,6	49,42	66	1,32	0,012	4 x ПВЗ 1x10-380
2.5	Напівавтомат контактного зварювання	10	45,6	49,42	66	1,8	0,014	4 x ПВЗ 1x10-380
2.6	Зварювальний трансформатор автомат СТН-500	16	63,3	65,146	87	0,5	0,0078	4 x ПВЗ 1x16-380

Продовження таблиці 4.4

№	Назва ЕП	$S_{ст}$, мм ²	I_n , А	$I'_{доп}$, А	I_0 , А	ΔU , %	l , км	Тип кабелю
2.7	Зварювальний трансформатор автомат СТН-501	16	63,3	65,146	87	0,5	0,0078	4 x ПВЗ 1x16-380
2.8	Зварювальний трансформатор автомат СТН-502	16	63,3	65,146	87	0,21	0,0051	4 x ПВЗ 1x16-380
2.9	Зварювальний трансформатор автомат СТН-503	16	63,3	65,14	87	0,21	0,0051	4 x ПВЗ 1x16-380
2.10	Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-350	50	126,6	132,54	177	1,08	0,0134	4 x ПВЗ 1x50-380
2.11	Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-351	50	126,6	132,54	177	0,77	0,0114	4 x ПВЗ 1x50-380
2.12	Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-352	50	126,6	132,54	177	0,48	0,009	4 x ПВЗ 1x50-380
2.13	Зварювальний трансформатор ручної зварки СТН-353	50	126,6	132,54	177	0,26	0,007	4 x ПВЗ 1x50-380
2.14	Напівавтомат для зварювання в середовищі CO ₂	10	37,98	49,42	66	0,54	0,009	4 x ПВЗ 1x10-380

2.1 6	Напівавтомат для зварювання в середовищі CO ₂	10	37,98	49,42	66	0,3	0,0063	4 x ПВЗ 1x10-380
2.1 7	Напівавтомат для зварювання в середовищі CO ₄	10	37,98	49,42	66	0,3	0,0063	4 x ПВЗ 1x10-380
2.1 8	Перетворювач зварювальний Ма-500	10	75,96	86,11	11 5	0,89	0,0076	4 x ПВЗ 1x10-380
2.1 9	Перетворювач зварювальний Ма-500	10	75,96	86,1	11 5	0,56	0,0063	4 x ПВЗ 1x10-380
2.2 0	Стіл для газозварювальних робіт	1,5	3,23	15,7	21	0,18	0,0066	ПВС 4x1,5-380
2.2 1	Машина електрозварювальна НШМ-75	95	189,9 2	205,2	27 4	0,19	0,0058	4 x ПВЗ 1x95-380
2.2 2	Машина електрозварювальна НШМ-75	95	189,9	205,2	27 4	0,14	0,0051	4 x ПВЗ 1x95-380

Продовження таблиці 4.4

2.2 3	Машина електрозварювальна НШМ-75	95	189,9	205,2	27 4	0,14	0,0052	4 x ПВЗ 1x95- 380
----------	--	----	-------	-------	---------	------	--------	----------------------

З урахуванням умов надійності і механічної міцності для живлення світильників і розеток обираємо кабель ВВГ 3x1,5 та ВВГ 3x2,5 відповідно.

4.3 Вибір комутаційних апаратів

Для виконання захисних функцій в автоматах застосовуються такі види роз'єднувачів: тільки теплові або тільки електромагнітні, комбіновані, напівпровідникові, мікропроцесорні. Теплові роз'єднувачі здійснюють захист від струмів перевантаження, електромагнітні - від струмів коротких замикань (КЗ). Напівпровідниковий роз'єднувач має канал захисту в зоні струмів перевантаження, який видає команду на вимкнення автомату з витримкою часу, а канал захисту в зоні КЗ спрацьовує з витримкою часу, яка не залежить від струму, і вихідний сигнал діє на котушку незалежного роз'єднувача, що викликає спрацювання автомата.

Комутаційні апарати слід обирати з урахуванням таких критеріїв:

- номінальна напруга автомата $U_{ном.а}$ - вказана в паспорті напруга, яка відповідає напрузі електричної мережі, де цей автомат може працювати;
- номінальний струм автомата $I_{ном.а}$ - найбільший струм, при протіканні якого автомат працює протягом тривалого часу без ушкоджень;
- номінальний струм роз'єднувача автомата $I_{ном.р}$ - це струм, який зазначений у паспорті, при протіканні якого протягом тривалого часу не відбувається спрацювання роз'єднувача. Струм уставки роз'єднувача - це найменший струм, при протіканні якого роз'єднувач спрацьовує.

Вибір автоматів здійснюється як описано нижче, обрані апарати заносимо в табл. (4.5- 4.8). Номінальна напруга цих автоматів вибирається так:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}, \quad (4.16)$$

де $U_{ном.м}$ - напруга електромережі.

Номинальний струм автоматів і номінальні струми роз'єднувачів не повинні бути меншими за струм форсованого режиму:

$$I_{ном.а} \geq I_{\phi}; \quad (4.17)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{\phi}. \quad (4.18)$$

Найбільше значення номінального струму роз'єднувача дорівнює номінальному струму автомата, тому:

$$I_{ном.а} \geq I_{ном.р}. \quad (4.19)$$

Струм форсованого режиму визначається за формулою:

$$I_{\phi} = K_{рез} \cdot I_p, \quad (4.20)$$

де $K_{рез}$ - коефіцієнт резервування;

I_p - розрахунковий струм.

Струм форсованого режиму I_{ϕ} для автомата вводу однострансформаторної ПС при резервуванні кабельною перемичкою між найближчими сусідніми ПС рівний $1,3 \cdot I_{ном.т}$; для лінійного автомата - розрахунковому струму 2-го рівня електропостачання $I_{р2}$; для автомата до окремого ЕП - розрахунковому струму 1-го рівня електропостачання I_p (його номінальному струму $I_{ном}$ ЕП при $k_3 = 1$). Уставка струму спрацювання від перевантаження $I_{с.н}$ вибирається за умови:

$$I_{с.н} = I_{у.т.р} \geq K \cdot I_p, \quad (4.21)$$

де K - коефіцієнт, який приймається рівним 1,1 для автомата вводу і для автомата другого рівня, 1,25 - для автомата 3-го рівня системи електропостачання, або 1,0 на лініях до силових ЕП, які не мають у своєму складі ЕД.

У лініях з лампами ДРЛ (ДРІ) уставка струму спрацювання вибирається так:

$$I_{с.н} = I_{у.т.р} \geq 1,3 \cdot I_{р.о}. \quad (4.22)$$

Для автомата вводу уставка спрацювання відсічки роз'єднувача миттєвої дії $I_{с.в}$ визначається за формулою:

$$I_{с.в} \geq (6 \dots 10) \cdot I_{ном.т}, \quad (4.23)$$

де $I_{ном.т}$ - номінальний струм трансформатора на стороні НН.

Умова перевірки від пікових струмів для групи ЕП і від пускових струмів для одного ЕП полягає у виборі уставки струму спрацювання відсічки роз'єднувача миттєвої дії $I_{с.в}$:

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 \cdot I_{нік}; \quad (4.24)$$

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (4.25)$$

де $I_{нік}$ та $I_{пуск}$ - піковий і пусковий струм ЕП чи групи ЕП.

Пусковий струм ЕП обчислюється згідно [36]:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.ЕП}, \quad (4.26)$$

де $k_{пуск}$ - коефіцієнт пуску;

$I_{ном.ЕП}$ - номінальний струм ЕП.

Коефіцієнти пуску $k_{пуск}$ приймають:

- п'ятикратним для асинхронних та синхронних двигунів;

- трикратним для зварювальних і пічних трансформаторів, машин контактного зварювання.

Піковий струм групи з 2-5 ЕП:

$$I_{нік} = I_{пуск.макс} + \sum_1^{n-1} I_{ном}, \quad (4.27)$$

де $I_{пуск.макс}$ - найбільший з пускових струмів одного з ЕП у групі;

$\sum_1^{n-1} I_{ном}$ - сумарний номінальний струм групи ЕП без урахування

номінального струму найбільшого за потужністю.

Для групи більше 5 ЕП:

$$I_{нік} = I_{пуск.макс} + (I_p - k_в \cdot I_{ном.макс}), \quad (4.28)$$

де I_p розрахунковий струм усіх ЕП групи;

$k_в$ - коефіцієнт використання ЕП з найбільшим пусковим струмом;

$I_{ном.макс}$ - номінальний струм ЕП з найбільшим пусковим струмом.

В системах електропостачання з комплектними конденсаторними установками (ККУ) струм спрацьовування відсічки визначається з виразу:

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,3 \cdot I_{ном.ККУ}, \quad (4.29)$$

де $I_{ном.ККУ}$ - номінальний струм ККУ.

Таблиця 4.5 - Обрані комутаційні апарати ЕП

№ на плані	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.р}, A$	$I_{ф}, A$	$I_{сн}, A$	$I_{с.в}, A$	$I_{пуск}, A$	$I_{нік}, A$	Тип обраного апарата
1-8	63	63	39,7	49,7	248,4	198,7	17	BA47-29B
9-12	6	6	4,27	5,34	26,67	21,34	2,5	BA47-29C
12-16; 20-22	10	10	7,09	8,86	44,31	35,45	2,8	BA47-29B
17; 18	20	20	16,36	20,45	102,26	81,81	7	BA47-29B
19	6	6	4,56	5,7	28,49	22,8	2,1	BA47-29C
23	160	145	106,3	132	665	531	-	BA57-35
24-27	16	16	14,2	17,72	88,62	70,9	7	BA47-29B
28-30	10	10	6,08	7,6	38	30,39	2,8	BA47-29B
31-32	16	16	15,2	19	95	76	6,5	BA47-29B
33-38	16	16	11,4	14,24	71,2	57	4,5	BA47-29B
39-41	32	32	26,01	32,6	163,01	130,4	10,3	BA47-29B
42-44	25	25	19	23,74	118,7	95	7,5	BA47-29B
45-47	32	32	24,78	30,97	154,9	123,9	10,6	BA47-29B
48-52	32	32	28,05	35,06	175,3	140,2	12	BA47-29B
53	25	25	18,45	23,06	115,3	92,25	8,5	BA47-29B
54-55	32	32	24,3	30,39	151,9	121,5	12	BA47-29B
2.1-2.5	63	63	45,6	45,6	170,9	136,7	18	BA47-29B
2.6-2.9	80	80	63,3	63,3	237,4	189,9	25	BA47-100C
2.10-2.13	160	160	126,6	126,6	474,8	379	50	BA57-35
2.14-2.16	63	50	38	38	142,4	113,9	15	BA47-29B
2.17-2.18	80	80	76	76	284,9	227,9	-	BA47-100C
2.19	4	4	3,2	3,2	12,1	9,69	-	BA47-29B
2.20-2.23	250	200	189,9	18,9	712,2	569,7	-	BA57- Ф35

Таблиця 4.6 - Комутаційні апарати освітлювальної мережі

Назва ЕП	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.р}, A$	$I_{ф}, A$	$I_{сн}, A$	$I_{с.в}, A$	$I_{пуск}, A$	Тип обраного апарата
Інструментально-штампувальна дільниця.	25	25	21,9	27,3	54,69	43,8	BA47-29B
Дільн. зварювання	6	6	4,89	6,07	12,15	9,7	BA47-29B
Склад сировини	1	1	0,83	1,04	2,07	1,65	BA47-29B

Продовження таблиці 4.6

Кімн. відпочинку	2	2	1,1	1,4	2,76	2,02	BA47-29B
Санвузол	0,5	0,5	0,21	0,26	0,52	0,4	BA47-29B
Майстерня	0,5	0,5	0,33	0,41	0,82	0,65	BA47-29B
Склад деталей	0,5	0,5	0,28	0,41	0,82	0,65	BA47-29B
Кімната майстра	0,5	0,5	0,28	0,35	0,69	0,55	BA47-29B
Кімн. відпоч. (розет.)	10	10	8,84	11,058	22,12	17,69	BA47-29B
Майстерня (розет.)	6	6	4,42	5,53	11,058	8,85	BA47-29B
Кімн. майстра (роз.)	6	6	4,42	5,53	11,058	8,85	BA47-29B

Таблиця 4.7 - Комутаційні апарати груп ЕП

Назва ЕП	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.р}, A$	$I_{ф}, A$	$I_{сн}, A$	$I_{с.в}, A$	$I_{нік}, A$	Тип обраного апарата
----------	----------------	----------------	------------	-------------	--------------	--------------	----------------------

ЩО1	20	20	15.15	16.7	24.6		BA47-29B
ЩО2	25	20	18.55	20.4	30		BA47-29B
РП1	200	200	189,1	364	474,75	379,8	BA57- Ф35
РП2	400	400	330,9	364	665,3	532,25	BA51- 35П3
РП3	250	250	248,2	273	949,5	759,6	BA57- Ф35
РП4	250	250	248,2	273	949,5	759,6	BA57- Ф35
РП5	200	200	164,3	180,7	398,8	319	BA57- Ф35
РП6	160	160	159,3	175,2	949,5	759,6	BA57- 35
ККУ 1	500	450	420	462	546		BA57- 39
ККУ 2	500	450	420	462	546		BA57- 39
ШМА	2000	2000	1735	198,5	2797,8	2238,2	BA55- 43
ШРА1	200	200	188,7	207,6			BA57- Ф35
ШРА2	200	200	169,3	186,2			BA57- Ф35

Таблиця 4.8 - Обраний комутаційний апарат вводу

Назва	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.р}, A$	$I_{н. транс}$	$I_{ф}, A$	$K_{рез}$	$I_{с.в}, A$	Тип обраного апарата
ВРП	2000	2000	1470	1911	1,3	8820	BA55- 43

4.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання в електромережі вищої напруги ($U_n = 10 \text{ кВ}$) проводимо в іменованих одиницях.

Складаємо розрахункову схему мережі: рис. 4.1, 4.2.

Розраховуємо потужність джерела живлення [37]:

$$S_c = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{\infty}, \text{ кВА}, \quad (4.30)$$

де $U_n = 10 \text{ кВ}$ - номінальна напруга мережі;

$I_{\infty}, \text{ кА}$ - струм трифазного КЗ на шинах ТП.

Отримаємо:

$$S_c = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 8,1 = 140,1 \text{ кВА}.$$

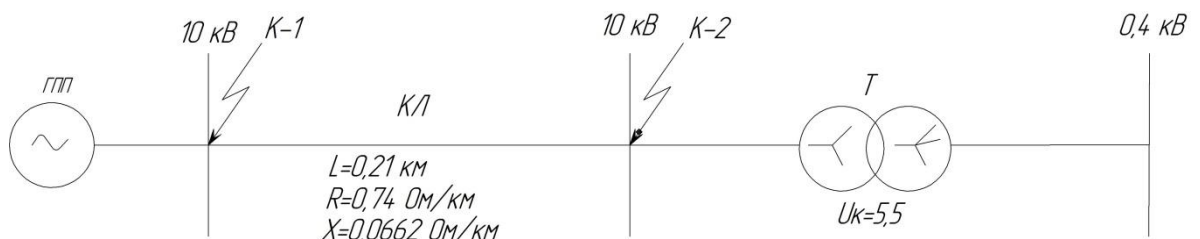


Рисунок 4.1 - Розрахункова схема мережі напругою 10 кВ

Складаємо схему заміщення мережі:

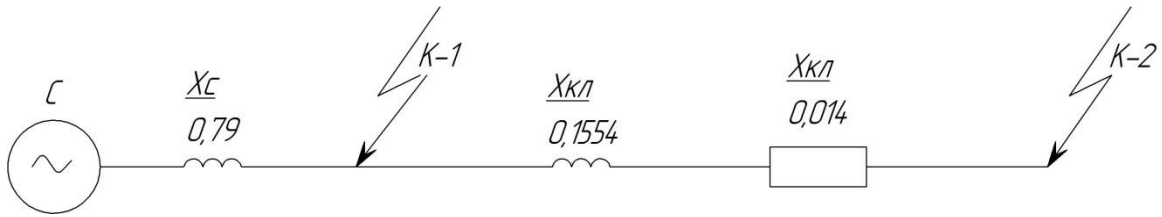


Рисунок. 4.2 - Схема заміщення мережі напругою 10 кВ

Знаходимо опір джерела живлення:

$$x_c = \frac{U_{cp}^2}{S_c} = \frac{10,5^2}{140,1} = 0,79 \text{ Ом}; \quad x_c = \frac{U_{cp}^2}{S_c} = \frac{10,5^2}{140,1} = 0,79 \text{ Ом}. \quad (4.31)$$

Опори елементів схеми заміщення:

$$r_{кл} = r_0 \cdot l, \text{ Ом} \quad (4.32)$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot l, \text{ Ом} \quad (4.33)$$

де r_0, x_0 - питомі активні та індуктивні опори кабельної лінії;

$l=0,21$ км – довжина кабельної лінії.

Отримаємо:

$$r_{кл} = 0,74 \cdot 0,21 = 0,1554 \text{ Ом}$$

$$x_{кл} = 0,0662 \cdot 0,21 = 0,014 \text{ Ом}.$$

Діюче значення струму короткого замикання в точці К-1:

$$I_\infty = I_{кз} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}, \quad (4.34)$$

де $K_y = f\left(\frac{x_\Sigma}{r_\Sigma}\right)$ – ударний коефіцієнт;

$I_{кз} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot z_{рез}}$ - величина струму короткого замикання.

$$I_\infty = 8,1 \text{ кА}.$$

Струм трифазного КЗ в точці К-1:

$$I_1'' = I_{\infty 1} = 8,1 \text{ кА}. \quad (4.35)$$

Потужність короткого замикання у цій точці:

$$S_{кз1} = S_c = 140,1 \text{ кВ}\cdot\text{А}. \quad (4.36)$$

Миттєве значення ударного струм КЗ в даній точці:

$$i_{y1} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I'' \quad (4.37)$$

Отримаємо:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 8,1 = 22,3 \text{ кА}.$$

Розраховуємо струм КЗ в точці К-2.

Сумарний опір до точки КЗ:

$$r_{\Sigma 2} = r_{кл} = 0,1554 \text{ Ом} \quad (4.38)$$

$$x_{\Sigma 2} = x_c + x_{кл} = 0,79 + 0,014 = 0,804 \text{ Ом} \quad (4.39)$$

$$z_{\Sigma 2} = \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{0,1554^2 + 0,804^2} = 0,82 \text{ Ом} \quad (4.40)$$

Струм трифазного КЗ в точці К-2 визначається як i для точки К-1:

$$I_{\infty 2} = 7,04 \text{ кА};$$

$$I_2'' = I_{\infty 2} = 7,04 \text{ кА};$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,04 = 17,92 \text{ кА};$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 7,04 = 121,94 \text{ МВА}.$$

Проводимо розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ. При цьому, точки КЗ обираємо на лініях живлення найбільш віддалених ЕП.

Складаємо схеми заміщення мережі живлення дільниць (рис. 4.3, 4.4).

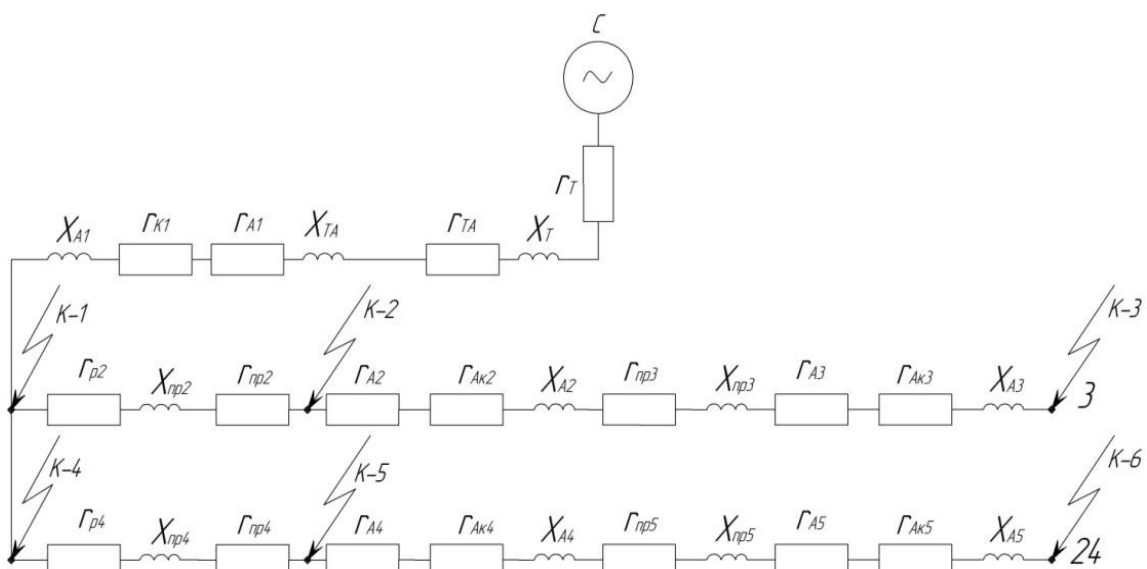


Рисунок 4.3 - Схема заміщення мережі інструментально – штампувальної дільниці.

Таблиця 4.9 - Розрахунок струмів короткого замикання низьковольтної електромережі виробництва

Точка КЗ	Опір схеми, МОм			$\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}$	K_y	$I_{\infty}^{(3)}$, кА	I'' , кА	i_y , кА	$S_{кз}$, МВА
	$r_{\Sigma}, МОм$	$x_{\Sigma}, МОм$	$z_{\Sigma}, МОм$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інструментально - штампувальна ділянка									
К- 1	2,123	8,836	9,087	4,162	1,4	24,14	24,142	47,799	15,89
К- 2	16,023	16,786	23,206	1,1	1,05	9,45	9,454	14,039	6,223
К- 3	36,682	25,824	44,86	0,7	1	4,89	4,891	6,916	3,219
К- 4	2,45	9,07	9,395	3,7	1,3	23,35	23,352	42,932	15,37
К- 5	32,54	17,83	37,105	0,55	1,01	5,913	5,913	8,446	3,892
К- 6	71,699	33,28	79,05	0,46	0,9	2,776	2,776	3,533	1,827
Ділянка зварювання									
К- 1	2,123	8,836	9,087	4,162	1,4	24,142	24,14	47,799	15,89
К- 2	6,953	10,426	12,532	1,5	1,1	17,51	17,507	27,234	11,52
К- 3	24,953	14,926	29,076	0,55	1,01	7,5458	7,545	10,778	4,97
К- 4	4,763	10,073	11,142	2,11	1,2	19,69	19,69	33,415	12,96
К- 5	36,723	19,673	41,661	0,55	1,01	5,266	5,266	7,522	3,466

Продовження таблиці 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К- 6	7,063	10,606	12,743	1,5	1,1	17,217	17,217	26,78	11,332
К- 7	10,617	11,906	15,952	1,1	1,05	13,753	13,753	20,422	9,052
К- 8	6,433	10,356	12,192	1,5	1,1	17,996	17,996	27,995	11,844
К- 9	10,291	11,756	15,624	1,14	1,08	14,042	14,04	21,447	9,242
К- 10	6,502	10,047	11,967	1,5	1,1	18,333	18,332	28,59	12,066
К- 11	48,962	20,047	52,907	0,46	0,9	4,147	4,147	5,278	2,729
К- 12	10,287	10,921	15	1,1	1,05	14,623	14,623	21,7147	9,625
К- 13	18,773	12,721	22,677	0,6	1,01	9,675	9,675	13,819	6,368

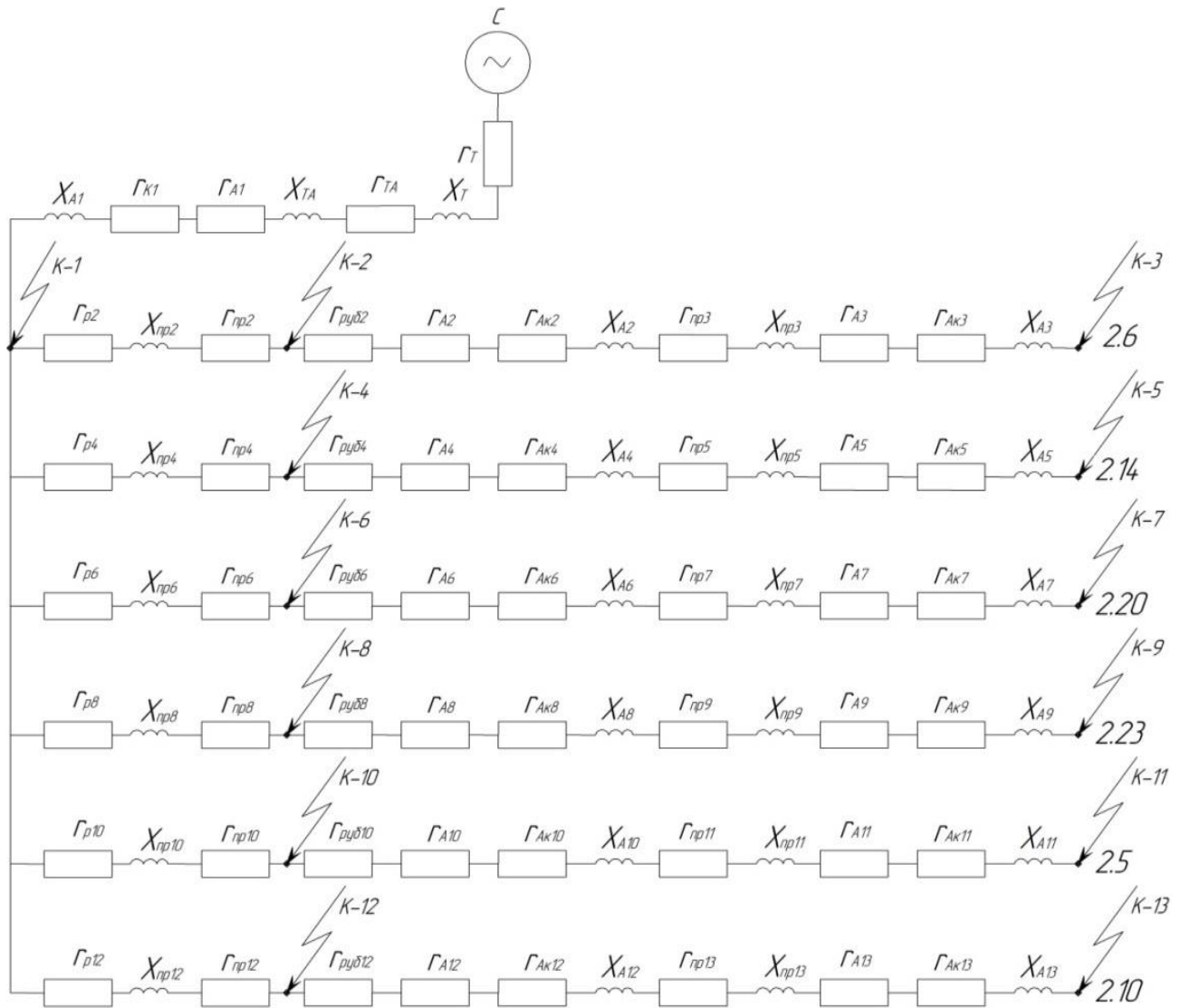


Рисунок 4.4 - Схема заміщення мережі живлення ділянки зварювання

4.5 Вибір основного електрообладнання цехової підстанції і низьковольтної мережі цеху

Проводимо вибір високовольтного вимикача, встановленого на ПП 10кВ, який вимикає високовольтну лінію, що живить цехову підстанцію.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.10

Таблиця 4.10 Вибір високовольтного вимикача ПП 10кВ

Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані вимикача
1. Номінальна напруга, кВ $U_{НВ} \geq U_{НВ}$	10	10
2. Довготривалий струм, А $I_{НВ} \geq I_{рв}$	36,5	630
3. Струм відмикання, кА $I_{Відм} \geq I_{\infty}$	8,1	15
4. Потужність відмикання, мВА $S_{відм} \geq S_{Кз}$	140,1	150

5. Ударний струм кз, кВ $i_{V.B} \geq i_V$	22,3	26
6. Струм термічної стійкості, кА $I_{H.T.C.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{\Pi}}{t_{HTC}}}$	4,1	12

- де U_{HB} - номінальна напруга вимикача;
 U_{HV} - номінальна напруга уставки;
 I_{HB} - номінальний струм вимикача;
 I_{PY} - розрахунковий струм уставки;
 I_{∞} - усталений струм КЗ в місці встановлення вимикача;
 $S_{відм}$ - потужність відмикання вимикача;
 $S_{Кз}$ - потужність КЗ в місці встановлення вимикача;
 $i_{V.B}$ - допустимий ударний струм вимикача;
 i_V - ударний струм КЗ;
 $I_{H.T.C.}$ - номінальний струм термічної стійкості вимикача;
 t_{Π} - приведений час дії струму КЗ;
 t_{HTC} - номінальний час дії струму КЗ.

За таблицями 23-29 джерела [39] вибираємо високовольтний вимикач типу ВМН-10. Проводимо вибір вимикача навантаження і запобіжника з високої сторони цехової трансформаторної підстанції. Результати вибору та перевірки зводимо в таблицю 4.11

Таблиця 4.11 Вибір вимикача навантаження і запобіжника

№ з/п	Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані вимикача
1	Номінальна напруга, кВ $U_{HB} \geq U_{HV}$	10	10
2	Довготривалий струм вимикача, А $I_{HB} \geq I_P$	36,5	40
3	Довготривалий струм запобіжника, А $I_{HB} \geq I_P$	36,5	40
4	Струм відмикання запобіжника, кА $I_{Відм} \geq I_{\infty}$	6,42	12
5	Потужність відмикання запобіжника, мВА $S_{відм} \geq S_{Кз}$	111,0	150
6	Ударний струм кз, кВ $i_{V.B} \geq i_V$	16,2	26

За таблицями 17-23 джерела [39] вибираємо автоматичний вимикач типу ВПП-17УЗ і запобіжник типу ПК-101.40.

Проводимо вибір трансформаторів струму, встановлених зі сторони низької напруги ТП. Результати розрахунку і вибору зводимо в таблицю 4.12

Таблиця 4.12 Вибір трансформаторів струму

№ з/п	Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові трансформатора
1	Номінальна напруга, кВ $U_{НВ} \geq U_{НУ}$	0,38	0,66
2	Струм первинної обмотки, А $I_{НВ} \geq I_{РУ}$	1000,1	1500
3	Навантаження на вторинну обмотку, кА $S_{2н} \geq S_2$	4,85	20
4	Кратність допустимого струму електродинамічної стійкості $K_{дин} \geq \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{НТ}}$	32,6	40
5	Кратність струму термічної стійкості, кА $I_{Н.Т.С.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{П}}{t_{НТС}}}$	4,18	20

За таблицями 23-39 джерела [39] вибираємо трансформатори струму ТНШЛ-0,66–1500.

Визначаємо допустиме навантаження вторинного кола трансформатора струму:

$$S_2 = S_P + I_{H2}^2 \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 1}{j \cdot S_{пров}} + R_K \right) B \cdot A, \quad (4.41)$$

де $S_P = 1B \cdot A$ - потужність, яка споживається реле і вимірювальними приладами, увімкненими у вторинне коло трансформатора струму;

$I_{H2} = 5A$ - номінальний струм вторинної обвитки трансформатора струму;

$l = 35m$ - довжина з'єднувальних провідників;

$j = 32 \frac{A}{mm^2}$ - провідність провідників;

$S_{пров} = 2,5 mm^2$ - переріз з'єднувальних провідників;

$R_K = 0,1 Om$ - опір контактів.

Отримаємо:

$$S_2 = 1 + 5^2 \left(\frac{\sqrt{3}}{32 \cdot 2,5} + 0,1 \right) = 4,85 \leq 20 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Проводимо вибір автоматичного вимикача, встановленого зі сторони 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції. Результати вибору і перевірки зводимо в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 Вибір та перевірка автоматичного вимикача

№ з/п	Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані вимикача
1	Номинальна напруга, кВ $U_{HA} \geq U_{HV}$	0,38	0,66
2	Довготривалий струм, А $I_{HA} \geq I_P$	1735	2000
3	Струм відмикання, кА $I_{відм} \geq I_\infty$	25,1	30

За таблицею 24-4 джерела [39] вибираємо автоматичний вимикач типу АВМ-10.

4.6 Перевірка струмопровідних частин на термічну стійкість

Проводимо перевірку кабельної лінії на термічну стійкість.

Умова перевірки:

$$S_{\min} \leq S_n, \text{ мм}^2, \quad (4.42)$$

де S_n - переріз вибраного кабелю, мм^2 (див. п. 4.1).

$$S_{\min} = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_n}}{C}, \text{ мм}^2, \quad (4.43)$$

де: I_∞ - усталений струм КЗ на початку лінії, що перевіряється, А;

t_n - приведений час дії струму КЗ, с;

$C = 105$ - коефіцієнт для кабелів з мідними жилами.

Отримаємо:

$$S_{\min} = \frac{8100 \cdot \sqrt{0,25}}{105} = 38,5 \text{ мм}^2.$$

Так як $S_{\min} = 38,5 \text{ мм}^2 \geq S_n = 25 \text{ мм}^2$, збільшуємо переріз і приймаємо кабель типу ВВГ 5х40.

4.7 Релейний захист трансформаторів цехової підстанції

Захист від струмів короткого замикання і перевантаження виконаний автоматичними вимикачами з електромагнітними і тепловими розчіплювачами та магнітними пускачами технологічного обладнання.

Оскільки зі сторони вищої напруги (10кВ) цехової трансформаторної підстанції встановлені вимикачі навантаження і запобіжники, то захист від коротких замикань і перенавантажень здійснюється за допомогою високовольтних запобіжників ПК-10/40, а захист від внутрішніх пошкоджень трансформаторів виконуємо за допомогою газового реле ПГЗ-22, яке подає сигнал на відключення вимикача навантаження.

4.8 Висновки до розділу

При виконанні даного розділу було проведено:

- вибір перерізу кабельних ліній напругою понад 1 кВ;
- вибір шинопроводів, комутаційних апаратів та елементів розподільної мережі 0,4 кВ;
- виконано перевірку струмовідних частин мережі за максимальним режимом, втратами напруги і термічною стійкістю;
- розраховано струми короткого замикання, на основі чого проведено вибір основного електрообладнання цехової підстанції і низьковольтної мережі виробництва.

Захист від струмів короткого замикання і перевантаження виконаний автоматичними вимикачами з електромагнітними і тепловими розчіплювачами та магнітними пускачами технологічного обладнання.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА ЗІ ЗВАРЮВАЛЬНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

5.1 Погіршення показників якості електроенергії зварювальними агрегатами

Зварюванням називається процес виготовлення нероз'ємних з'єднань твердих матеріалів, що здійснюється за рахунок використання міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Вказаному процесу зближення сприяє нагрівання зварюваних поверхонь до розплавленого або пластичного стану. Зварювання використовується при виготовленні нероз'ємних з'єднань металевих виробів і конструкцій, для з'єднання неметалевих матеріалів (пластмас, скла, деяких гірських порід, смол), а також металів з неметалевими матеріалами—керамікою, графітом, склом та ін.

Зварювання плавленням та електродугове зварювання є основним технологічним процесом зварювального виробництва. На багатьох підприємствах широко застосовуються установки дугового і контактного зварювання з інверторними випрямними джерелами живлення. Зварювальні випрямлячі живляться в основному від мереж 0,38 кВ. Потужність зварювальних апаратів автоматичного зварювання однофазним струмом промислової частоти досягає 1,5 МВ·А, зварювання трифазною дугою - декількох МВ·А.

Зварювальні випрямлячі чинять негативний вплив на роботу іншого електроустаткування. По своїй дії на електромережу зварювальні навантаження можна розділити на дві категорії: установки дугового і контактного електрозварювання змінного струму, установки дугового електрозварювання постійного струму [8].

Установки дугового електрозварювання змінного струму впливають на мережу живлення аналогічно дуговим сталеплавильним печам. Включення зварювальних установок *контактного* електрозварювання робиться за допомогою ігнітронних або тиристорних ключів, які для плавного регулювання

зварювального струму забезпечуються системами фазового регулювання кута запалення, що призводить до спотворення робочого струму зварювання вищими гармоніками, рівень яких аналогічний рівню гармонік для дугового зварювання змінним струмом.

Визначення струмів гармонік, генерованих установками дугового електрозварювання постійного струму, аналогічно визначенню струмів гармонік для вентильних перетворювачів. Струми гармонік (рекомендується враховувати тільки 5-у, 7-у, 11-у, 13-у гармоніки) одиначної установки дугового електрозварювання постійного струму визначаються за формулою [11]:

$$I_v = \frac{I_{cy}}{v}, \quad (5.1)$$

де I_{cy} - номінальний первинний струм установки.

Для групи установок електрозварювання незалежно від режиму роботи сумарні окремі струми гармонік визначаються за формулою [11]:

$$I_{vr} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2} \quad (5.2)$$

де I_{vi} - струм v -ої гармоніки i -ої установки;

n - загальне число працюючих установок.

Основною нормативно-технічною базою, нормуючою величину вищих гармонік (ВГ) струму в електромережі є стандарт ДСТУ 3466-96 [47], а також ГОСТ 13109-97 [45]. Для визначення міри спотворення нелінійності електричного струму в мережі за кордоном використовується коефіцієнт гармонік $THCD$ (Total Harmonic Current Distortion).

На рисунку 5.1 зображено спотворення кривої напруги зварювальними апаратами. Дослідженнями встановлено, що вищі гармоніки струму збільшують коефіцієнт нелінійних спотворень напруги K_U мережі, доводячи його до значень 7% і вище. Прийнятні значення коефіцієнта K_U обмежені стандартами [45, 47] значенням 3% для індивідуальних нелінійних навантажень. Допустиме значення визначене на рівні 5% для сукупних навантажень мережі. При значенні $K_U = 8\%$ вже істотно спотворюється синусоїдальна напруга мережі.

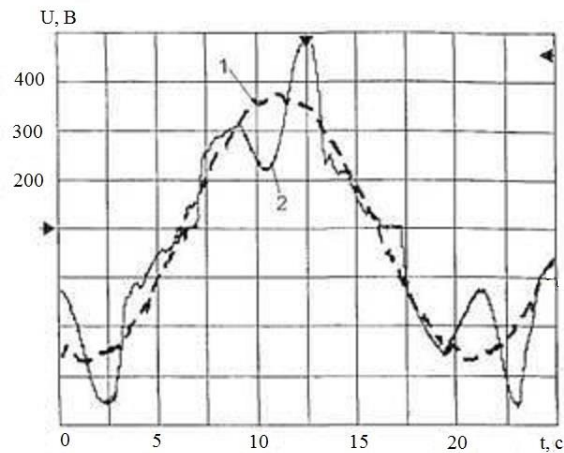


Рисунок 5.1 - Спотворення кривої напруги зварювальними апаратами:

1 - крива напруги мережі;

2 - крива спотворення напруги мережі

Значення коефіцієнта нелінійних спотворень струму $THCD$ при роботі зварювальних джерел живлення лежить в діапазоні (8 ... 12)%, а напруги K_U – (2,2 ... 6,7)%, що свідчить про погану електромагнітну сумісність з більшістю однофазних зварювальних джерел живлення. Особливо небезпечна генерація 3-ї і кратних їй гармонік струму [11].

Найбільш широкий спектр вищих гармонік струму генерують зварювальні інвертори, які значно спотворюють синусоїдну форму струму і напруги мережі, що вимагає обов'язкового застосування фільтрів вищих гармонік струму.

Зварювальні агрегати, в яких використовується електрична дуга, є нелінійним навантаженням, зварювальні випрямлячі і інвертори також є генераторами ВГ струму. У зв'язку з цим актуальними є заходи зменшення рівня гармонік струму при роботі зварювального устаткування.

Проблема вищих гармонік, генерованих зварювальним устаткуванням, актуальна також на підприємстві ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА», оскільки там присутня зварювальна дільниця з долею зварювального навантаження більше 70%, яке спричиняє істотний вплив на спотворення кривої напруги і струму.

5.2 Дослідження гармонійних складових електромережі з джерелами живлення зварювальної дуги

У промисловості широке застосування знаходять зварювальні установки, в яких в якості джерела живлення використовуються напівпровідникові випрямлячі. Зварювальні випрямлячі комутуються за трифазною мостовою схемою з використанням некерованих вентилів або керованих - тиристорів.

У розрахунках зварювальна дуга враховується у вигляді постійної зворотної електрорушійної сили (ЕРС). Струми ВГ, генеровані зварювальними випрямлячами, різні для окремих режимів роботи зварювальних установок. Залежно від навантаження зварювальний випрямляч, зібраний згідно трифазної мостової схеми, може працювати в одному з трьох режимів комутації [22]:

- режимі переривчастих струмів при малих навантаженнях, якому відповідає двовентильна комутація;
- режимі змішаної дво- чи тривентильної комутації при середніх навантаженнях;
- режимі тривентильної комутації при великих навантаженнях.

У кривих струму зварювальних випрямлячів рівні 5-ої і 7-ої гармонік струму є нестабільними, незначні зміни умов горіння дуги можуть вести до збільшення або зменшення струмів 5-ї і 7-ї гармонік у декілька разів. Також в полігармонічному сигналі є ВГ парних порядків і кратні трьом, головною причиною їх появи є розкид кутів запалення груп вентилів, який зумовлений розкидом і нестабільністю характеристик окремих вентилів. Відбувається підмагнічування магнітопроводу трансформатора [12].

Зварювальні апарати створюють безперервні по спектру частот складові, для кожного режиму свої. Тривалість кожного процесу варіюється від однієї до декількох секунд залежно від типу зварювального апарату. Коливання і спектр гармонік в типовому процесі роботи дугового зварювання, виміряні на вторинній обвитці зварювального трансформатора, приведені на рис. 5.2 [12].

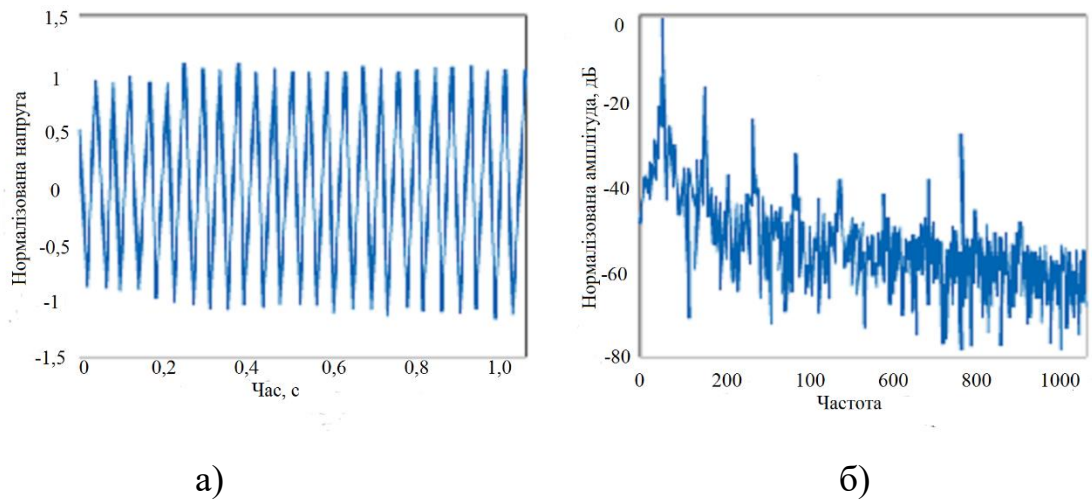


Рисунок 5.2 - Коливання і спектр гармонік в типовій дузі при роботі зварювального агрегата:

а) - коливання напруги; б) - спектр з гармоніками

У [22] було проведено дослідження таких джерел зварювальної дуги, що живляться від однофазної мережі змінного струму частотою 50 Гц:

- зварювальна установка з інверторним джерелом живлення типу ВДИ-L–200, призначена для ручного дугового зварювання низьковуглецевих сталей, різних кольорових металів будь-якими видами електродів;

- зварювальний трансформатор з поперечними магнітними потоками розсіяння і магнітним шунтом типу СТШ-250 для ручного дугового зварювання штучними електродами змінного і постійного струму;

- зварювальне джерело живлення з конденсаторним помножувачем напруги типу ВДУ-125-У3.

Для інверторного джерела живлення типу ВДИ-L–200 в електромережі наявні практично усі непарні гармоніки струму, зокрема, 3-я гармоніка струму, що становила 75% від 1-ої гармоніки; 5-а - 39,5%; 7-а - 10,5%; 9-а - 8% та 11-а - 7,5%, а також непарні гармоніки напруги, що перевершують нормовану величину 1%: 3-я - 5,0%; 5-а - 2,0%; 7-а - 1,5%. Коефіцієнти нелінійних спотворень струму і напруги цього джерела живлення рівні: $THCD = 86,4 \%$; $K_U = 5,9 \%$.

Для зварювального трансформатора СТШ-250 із стабілізатором горіння зварювальної дуги в електромережі наявні: 3-я гармоніка струму, що становила 15,5% від 1-ої гармоніки, і 5-а - 2,5%; інші непарні гармоніки струму не перевершували 1%. Непарні номери гармонік напруги мали значення: 3-я - 2,5 %;

5-а - 1,5%; 9-а - 1%. Коефіцієнти нелінійних спотворень струму і напруги цього джерела живлення рівні: $THCD = 15,9 \%$; $K_U = 3,1 \%$.

Для джерела живлення з конденсаторним помножувачем напруги ВДУ-125-У3 в електромережі були наявні: 3-я гармоніка струму, що становила 15,5% від 1-ої гармоніки, і 5-а - 4,5%; інші непарні гармоніки струму не перевершували 1%. Непарні номери гармонік напруги, що перевищували 1%, мали значення: 3-я - 1,5%; 5-а - 1,0%. Коефіцієнти нелінійних спотворень струму і напруги цього джерела живлення рівні: $THCD = 16,9 \%$; $K_U = 2,2 \%$.

Як бачимо, зварювальні інвертори генерують в електромережу найбільш широкий спектр гармонійних складових струму й істотно спотворюють синусоїдальну криву струму і напруги. Також вони створюють радіоперешкоди. Це свідчить про їх погану електромагнітну сумісність з системою електропостачання.

Однофазні зварювальні апарати на відмінність від трифазних значно завантажують нульовий провід, не призначений для великих навантажень, вищими гармоніками струму нульової послідовності.

5.3 Дослідження порівняльного впливу зварювальних апаратів різних типів на показники якості електроенергії мережі живлення

Параметри якості електроенергії в електромережі зварювального виробництва замірялися за допомогою цифрового графічного аналізатора якості електричної енергії моделі СА 8332 фірми CHAUVIN ARNOUX. Пристрій призначений для встановлення на енергооб'єктах і здійснює збір, обробку і зберігання інформації про параметри якості електричної енергії.

Для отримання експериментальних даних були вибрані різні по принципу роботи і потужності зварювальні трансформатори. Експерименти проводилися для різних режимів роботи трансформаторів [35]:

- режим холостого ходу;
- режим короткого замикання.

Перед випробуванням кожного зварювального трансформатора проводилися виміри параметрів електромережі без впливу зварювального

обладнання.

5.3.1 Вплив на електромережу зварювального трансформатора типу S - MIG-160

Виміри проводилися при зварюванні порошковим дротом без захисного газу. Зовнішній вигляд зварювального трансформатора S-MIG-160 поданий на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 - Зовнішній вигляд зварювального трансформатора типу S - MIG-160

Спектрограми гармонійних складових напруги для зварювального трансформатора типу S-MIG-160, заміряні для електромережі живлення в режимах холостого ходу і короткого замикання, приведені на рис. 5.4 [35].

З аналізу спектрограм можна зробити висновок, що коефіцієнти n -х гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$ за час виміру не перевищували межі нормально допустимих значень; до того ж у режимі холостого ходу зростають вклади 7-ї, 11-ї, 13-ї, 23-ї та 25-ї гармонійних складових, а в режимі короткого замикання – 5-ї, 9-ї, 11-ї, 23-ї гармонік.

Короткочасна доза флікера PSt за час виміру виходила за межі допустимих значень. При цьому її найбільше значення для фази А складало 7,74 у. о.

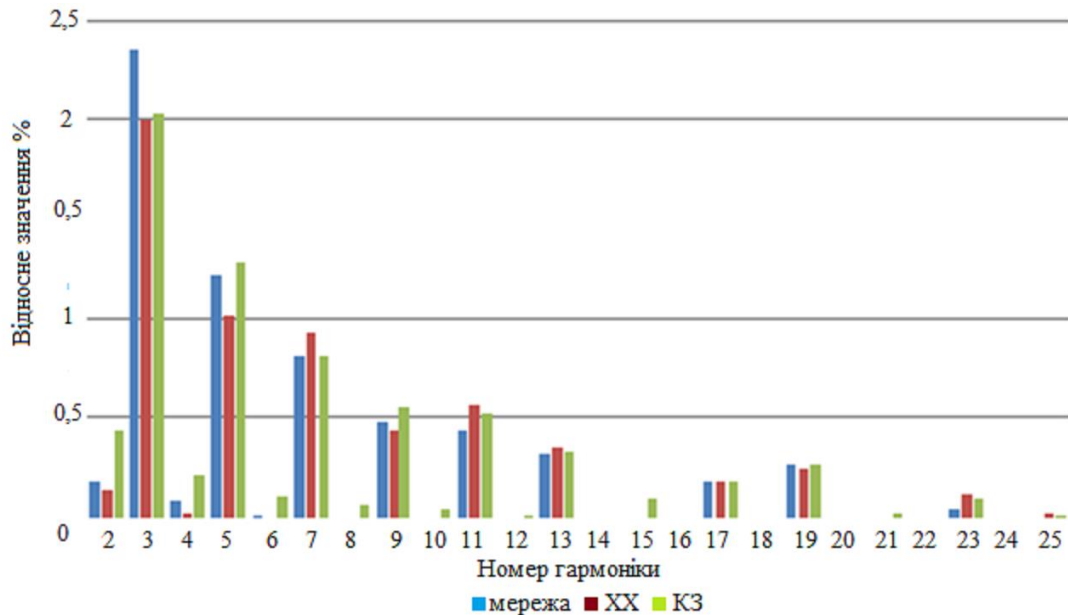


Рисунок 5.4 - Звідний спектр вищих гармонік напруги в трьох режимах роботи зварювального трансформатора типу S-MIG-160

Коефіцієнти спотворення синусоїдності кривої напруги K_U по фазі А за час виміру не перевищували нормального і граничного допустимого значень. При цьому, найбільше значення коефіцієнта K_U по фазі А за час виміру складало 4,32 % (при нормальному і граничному допустимих значеннях для номінальної напруги 0,38 кВ, рівних 8 і 12%).

Тривалість провалів напруги t_n за час виміру перевищувала значення, встановлені ГОСТ 13109-97 і знаходилася в діапазоні від 10 до 320 *мс*. При цьому, у фазі А за час виміру зареєстровано 23 провали напруги тривалістю більше 100 *мс*.

5.3.2 Вплив на електромережу інверторного зварювального трансформатора типу AC 150 INVERTER

Пристрій AC 150 INVERTER - це зварювальний інверторний апарат, розроблений для ручного зварювання електродугою постійного струму покритими плавкими електродами. Зовнішній вигляд зварювального трансформатора типу AC 150 INVERTER приведений на рис. 5.5.



Рисунок 5.5 - Зовнішній вигляд зварювального інверторного трансформатора типу AC 150 INVERTER

Спектрограми гармонійних складових напруги для зварювального інверторного трансформатора типу AC 150 INVERTER, заміряні для електромережі живлення в режимах холостого ходу і короткого замикання, приведені на рис. 5.6 [35].

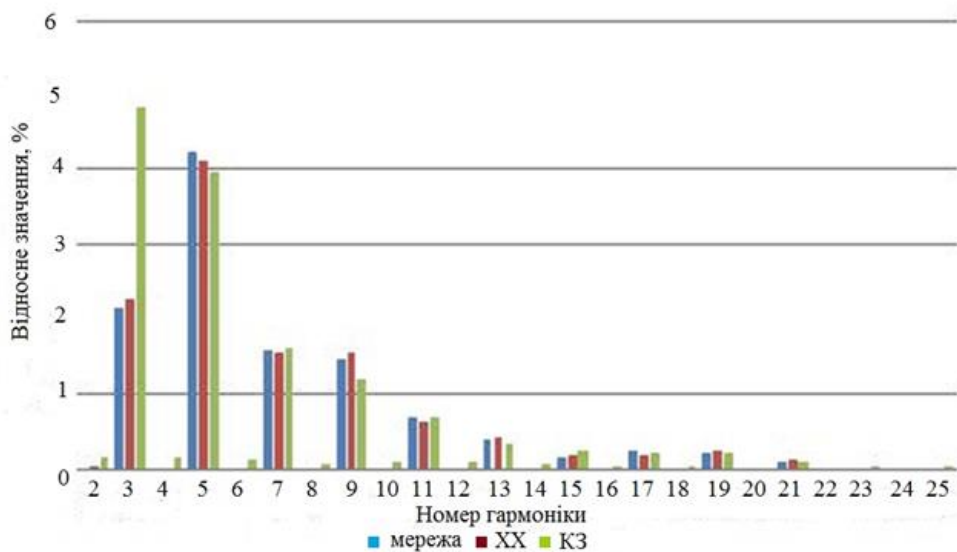


Рисунок 5.6 - Звідний спектр вищих гармонік напруги в трьох режимах роботи зварювального інверторного трансформатора типу AC 150 INVERTER

З аналізу спектрограм на рис. 5.6 можна зробити висновок, що коефіцієнти n -х гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$ за час виміру практично не перевищували межі нормально допустимих значень. Особливо виділялася в загальному спектрі гармонік лише 3-я гармонійна складова.

При роботі зварювального трансформатора AC 150 INVERTER в режимі холостого ходу коефіцієнти $K_{U(n)}$ практично не змінювалися в порівнянні з

електромережею живлення, а в режимі короткого замикання сильно зростає коефіцієнт 3-ої гармонійної складової напруги.

Короткочасна доза флікера PSt за час вимірів виходила за межі гранично допустимих значень (верхня допустима межа - 1,38 у. о.). При цьому найбільше значення для фази А складало 2,51 у. о., середнє значення - 1,32 у. о.

Коефіцієнти спотворення синусоїдності кривої напруги K_U по фазі А за час виміру короткочасно перевищували нормально допустимі значення. При цьому найбільше значення коефіцієнта K_U по фазі А за час виміру складало 8,48%, а середнє - 6,7%.

5.3.3 Вплив на електромережу зварювального трансформатора типу ВД-301УЗ

Випрямляч зварювальний типу ВД-301УЗ призначений для живлення електричної зварювальної дуги постійним струмом при ручному дуговому зварюванні, різанні або наплавлені металів електродами постійного струму.

Зовнішній вигляд зварювального трансформатора типу ВД-301УЗ приведений на рис. 5.7.

Спектрограми n -х гармонійних складових напруги для зварювального трансформатора типу ВД-301УЗ при роботі в режимі короткого замикання подані на рис. 5.8.



Рисунок 5.7 - Зовнішній вигляд зварювального трансформатора типу ВД-301УЗ

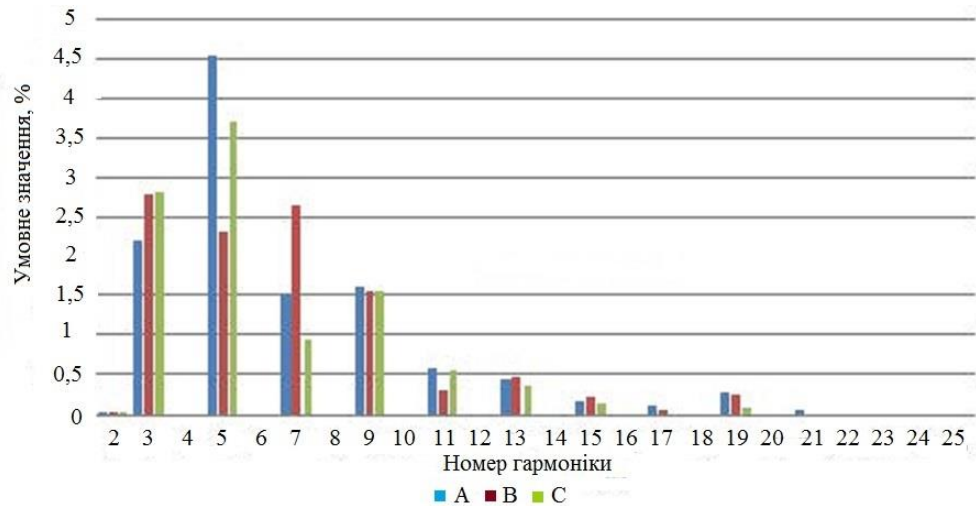


Рисунок 5.8 - Спектр вищих гармонік напруги при роботі зварювального трансформатора типу ВД-301УЗ в режимі роздільного короткого замикання фаз А, В і С

З аналізу рисунка 5.8 випливає, що в режимі короткого замикання зростає і проявляється на усіх фазах однаково коефіцієнт 9-ої гармонійної складової напруги, який дещо виходить за межі нормально допустимого значення і рівний для фази А - 1,6 %; В - 1,56 %; С - 1,54 % при нормі 1,5 %. Для інших гармонійних складових цей коефіцієнт є нестабільним і проявляється на фазах по різному в певний момент часу.

Коефіцієнти спотворення синусоїдності кривої напруги K_U на фазах А, В і С за час виміру не перевищували нормального і граничного допустимих значень. При цьому, найбільше значення коефіцієнта спотворення синусоїдності кривої напруги K_U на фазі А за час виміру складало 5,98 %, середнє - 5,57%; на фазі В - 5,07 %; середнє - 4,83 %; на фазі С - 5,57 %; середнє - 5,06%.

Стале відхилення напруги ΔU за час виміру перевищувало нормально допустимі значення для виводів приймачів електричної енергії на фазі С ($\pm 5\%$ від номінальної напруги електричної мережі). При цьому, найбільше значення сталого відхилення напруги на фазі С за час вимірів склало 5,63%, а найменше значення - 0,94%.

5.4 Висновки до розділу

З аналізу отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що

при використанні однофазних зварювальних апаратів в електромережі присутні всі непарні гармоніки від 3-ї до 25-ї включно.

Трифазний зварювальний апарат генерує гармоніки від 3-ї до 21-ї на усіх трьох фазах, особливо виділяється 9-а гармоніка, яка перевищує нормально допустиме значення також на усіх трьох фазах.

При під'єднанні до електромережі одного зварювального апарату спотворення синусоїди струму навантаження, що вносяться ним в електромережу, є незначними. Якщо ж розглядати всю зварювальну ділянку, в якій працюють одночасно декілька зварювальних апаратів, спотворення показників якості електричної енергії будуть істотнішими.

6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

У зв'язку з розвитком ринкових відносин в енергетиці України проблема забезпечення якості електричної енергії стає більш гострою та актуальною. Особливої уваги потребує вирішення цього питання для промислових підприємств, оскільки для них характерна наявність значної кількості обладнання, на роботу якого істотно впливає якість електроенергії.

Дослідження останніх років показали, що якість електроенергії в електричних мережах часто не відповідає вимогам ГОСТ 13109-97 [45], що призводить до негативних наслідків: збільшення втрат електроенергії, скорочення терміну служби електроустаткування, порушення технологічного процесу, погіршення роботи приладів обліку електроенергії та ін.

Зниження якості спожитої електроенергії кількісно можна виразити у вигляді економічних збитків, при визначенні яких слід враховувати, що шкода є результатом спільного впливу всіх показників якості електроенергії на роботу електрообладнання.

В даному розділі проведений розрахунок проекту системи електропостачання промислового підприємства з технологічним впливом на якість електроенергії, в якому враховані заходи щодо підвищення її ефективності завдяки нормалізації показників якості електроенергії в електромережі підприємства.

Слід врахувати, що прийняті в проекті рішення повинні носити комплексний характер і відображати зв'язок організаційно-технічних питань з результатами, отриманими на підставі техніко-економічних розрахунків. При цьому, надійна робота системи електропостачання повинна ґрунтуватися на кваліфікованій і раціональній організації експлуатації й чітко поставленого, своєчасного обслуговування обладнання.

Створення системи електропостачання виконується в один етап, тобто матеріальні засоби закупаються одноразово. При цьому передбачається, що подальша експлуатація електрообладнання відбувається з незмінними річними витратами, тобто розрахункова потужність, а отже втрати електроенергії, витрати на ремонт і обслуговування та інші витрати не змінюються з року в рік впродовж

даного терміну експлуатації [18].

6.1 Визначення вартості розробки проекту

Для визначення витрат на проектування системи електропостачання необхідно визначити витрати на оплату праці. Вартість проекту визначається кількістю і кваліфікацією фахівців, що беруть участь в розробці, а також затраченим часом. У табл. 6.1 приведені витрати на проектування згідно відповідних роботах та в цілому. Калькуляція вартості розробки проекту приведена в табл. 6.2.

Пряма заробітна плата визначається за формулою:

$$ЗП = \frac{МТС \cdot ТР}{Ч} = ГТС \cdot ТР, \quad (6.1)$$

де $МТС$ – місячна тарифна ставка, *грн.*;

$ТР$ – трудоємність робіт, *год.*;

$Ч$ – число робочих годин в місяці (прийнято - 168 годин).

Таблиця 6.1 – Заробітна плата на розробку проекту

Найменування робіт	Посада виконавця	Тр удо-ємність, год.	Тарифна ставка, грн.		Пр яма тарифна зарплата, грн.
			м ісячна	г один-на	
1	2	3	4	5	6
Розробка технічного завдання	ІТП	40	6 000	3 5,7	143 0,4
Розробка	ІТП	60	6	3	214
Розробка	ІТП	20	6	3	714
Розрахунок	ІТП	80	6	3	285
Вибір і перевірка обладнання	ІТП	90	6 000	3 5,7	321 3

Продовження таблиці 6.1

1	2	3		5	6	
Виконання розрахунків по релейному захисту	ІТП	100	000	7	35, 0	357
Розрахунки по аналізу ділянки мережі	ІТП	50	000	7	35, 5	178
Розрахунки по безпеці життєдіяльності	ІТП	20	000	7	35, 7	714
Розрахунки по економії	ІТП	20	000	7	35, 7	714
Креслення	ІТП	100	000	7	35, 0	357
Оформлення проекту	ІТП	70	000	7	35, 9	249
Разом		750				232 07
Премія (20 %)						464 1,48
Додатковий коефіцієнт (15 %)						348 1
Основна заробітна плата						313 92
Додаткова заробітна плата (8,5 % від основної)						266 8,3
Фонд оплати праці						340 60,32

Таблиця 6.2 – Калькуляція вартості розробки проекту

Стаття витрат	Примітка	Сум а, грн.
Оплата праці розробників (ФОП)	згідно таблиці 6.1	340 60,32
Єдиний соціальний податок (ЄСП)	ЄСП = 22 % від ФОП	749 3,27
Страховання професійного ризику (СПР)	СПР = 0,2 % від ФОП	68,1 2
Прямі витрати (ПВ)	ФОП + ЄСП + СПР	416 21,71
Накладні витрати (НВ)	12 % від ціни	499 5
Повна собівартість (ПС)	ПВ + НВ	466 16,32
Ціна проекту		466 16,32

6.2 Визначення вартості реалізації проекту

У вартість реалізації проекту входять витрати на купівлю обладнання, його транспортування, монтаж і наладку, а також постійні витрати (витрати на прибирання і благоустрій території, на фарбування та ін.).

Капітальні витрати на реалізацію проекту визначаються за формулою:

$$K = K_o + K_{mp} + K_{mr} + K_n + K_{nr} + K_p, \quad (6.2)$$

де K_o – капітальні витрати на обладнання, тис.грн.;

K_{mp} – транспортні витрати (20 % від K_o), тис.грн.;

K_{mr} – витрати на монтажні роботи (10 % від K_o), тис.грн.;

K_n – витрати на наладку і випробування обладнання (5% від K_o), тис.грн.;

K_{nr} – витрати на розробку проекту, тис.грн.;

K_p – постійні витрати (2 % від K_o), тис.грн.

Капітальні витрати на закупівлю, транспортування, монтаж і наладку

обладнання системи електропостачання даного виробництва приведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Капітальні витрати на улаштування системи електропостачання

Назва елемента	Д. вим.	Кіль- кість од. вим.	Ціна за од. вим., грн.	Вартість, грн.		
				зак упівлі	тра нспортува ння, монтажу і наладки	загаль на
1	2	3	4	5	6	7
Трансформатор:						
ТМФ 1000/10	т.	1	175000	175000	61250	236250
Конденсаторні установки:						
УКРП-0,4-320-20УЗ	т.	2	5000	11000	38500	148500
Комутаційні апарати						
ВМН-10	т.	1	8000	8000	2800	10800
ПК101	т.	3	70	370	129,5	499,5
ВР32И	т.	8	8087	1087	380,45	1467,45
ВА 57-39 500А	т.	2	700	4700	1645	6345
ВА 57-35 160А	т.	1	500	1500	525	2025
ВА 55-43 2000А	т.	1	500	500	1925	7425
ВА 57-Ф35 200А	т.	4	300	1300	455	1755

BA1- 35ПЗ 400А	Т	1	2	2	906,5	3496,5
BA 47-29B 63A	Т.	1	1	1	65,45	252,4
BA 47-29B 6A	Т	8	1	1	37,45	144,4
BA 47-29B 10A	Т.	9	1	1	37,45	144,4
BA 47-29B 20A	Т	3	1	1	40,25	155,2
BA 47-29B 16A	Т.	2	1	1	38,5	148,5
BA 47-29B 32A	Т	3	1	1	48,65	187,6
BA 47-100B 80A	Т.	6	4	4	140	540
BA 47-29B 4A	Т	1	8	8	29,05	112,0
BA 57-Φ35 250A	Т.	6	1	1	525	2025
BA 47-29B 25A	Т.	2	1	1	43,05	166,0
BA 47-29B 1A	Т	1	6	6	24,15	93,15
BA 47-29B 2A	Т.	1	7	7	25,2	97,2
BA 47-29B 0,5A	Т	3	6	6	22,75	87,75
Розподільна мережа						
ВВГ 5x25		2	3	6	2170	83700

ПВВ3 1x16	1	00	3 7,7	3 1310	1 5	3958, 5	15268 ,5
ПВС 4x25	1	5	3 8,1	2 83,5	9 25	344,2 25	1327, 725
ПВС 5x2	1	5	2 0	3 50	7	262,5	1012, 5
ПВВ 4x800+1x250	1	0	1 100	2 1000	2	7350	28350

Продовження таблиці 6.3

ПВВ 1x50		1 35	1 63	2 2005	7701, 75	29706 ,75
ПВС 4x1,5		1 25	2 0,2	2 525	883,7 5	3408, 75
ПВС 4x6		6 5	5 4,8	3 562	1246, 7	4808, 7
ПВВ 1x10		3 40	2 2	7 480	2618	10098
ПВС 4x4		3 0	4 4,2	1 326	464,1	1790, 1
ПВЗ 1x50		1 63,29	9 0	1 4696,1	5143, 635	19839 ,735
ПВЗ 1x2		2 80	5, 7	1 596	558,6	2154, 6
ПВЗ 1x1,5		8 00	3, 2	2 560	896	3456
ПВЗ 1x95		6 4,4	2 21,5	1 4264,6	4992, 61	19257 ,21
ШМА		4 8,7	2 083	1 01442,1	3550 4,735	13694 6,835
ШРА1 ШРА2		9 2,9	1 985	1 84406,5	6454 2,275	24894 8,775
ВРП-1-14- 20УхЛ4	т.	1	4 5000	4 5000	1575 0	60750
РП 24-72-11	т	6	5 00	3 000	1050	4050
ЩО 11Н	т	2	2 78	5 56	194,6	750,6
Разом				8	1837	10935

				10030,8	60,8	41,58
--	--	--	--	---------	------	-------

Капітальні витрати на устаткування будуть рівні:

$$K_o = 810,03 \text{ тис.грн.}$$

Капітальні витрати на реалізацію проекту згідно (6.2):

$$K = 1093541,58 + 46616,32 + 0,02 \cdot 810030,8 = 1156358,51 \text{ грн.}$$

6.3 Витрати на експлуатацію системи електропостачання

Витрати на експлуатацію системи електропостачання складаються з оплати праці керівного і ремонтного персоналу, що обслуговують цю систему, амортизаційних відрахувань, вартості витратних матеріалів, податку на майно і вартості втрат електроенергії.

6.3.1 Розрахунок облікової чисельності працівників, що обслуговують систему електропостачання підприємства

Спершу визначимо баланс робочого часу одного працівника за рік і зведемо результати в табл. 6.4.

Значна частина експлуатаційного персоналу становить черговий персонал. Чергова зміна триває впродовж 12-ти годин. Чергування впродовж двох змін підряд заборонено. В усіх інших працівників робочий день триває 8 годин.

Коефіцієнт облікової чисельності визначається за допомогою виразів [5]:

- для чергового персоналу:

$$R_q = \frac{T_k}{T_{ef}} ; \tag{6.3}$$

- для ремонтного персоналу:

$$R_p = \frac{T_u}{T_{ef}} . \tag{6.4}$$

Таблиця 6.4 – Баланс робочого часу одного працівника протягом року

Показники		12-ти годинний	8-ми годинний
Календарний час, T_k		365	365
Вихідні і неробочі дні		182	104 + 10
Номінальний фонд робочого часу, T_n		365 - 182 =	365 - 114
Невиходи на роботу з причин:	Чергові відпустки	24	36
	Хвороби	11	10
	Виконання державних обов'язків	0,5	0,5
	Учбова відпустка	0,5	0,5
	Разом невиходів	36	47
Ефективний фонд робочого часу, T_{ef}		183 - 36 =	251 - 47

Згідно (6.3) і (6.4) отримуємо:

$$R_q = \frac{365}{147} = 2,48; \quad R_p = \frac{251}{204} = 1,23$$

Розрахунок облікової чисельності працівників приведений в табл. 6.5.

Число робочих змін визначається множенням ефективного робочого часу (згідно з табл. 6.4) на розрахункову облікову чисельність. Кількість робочих годин визначається множенням кількості змін на тривалість зміни (згідно з табл. 6.4).

Число нічного часу (час роботи з 22 до 6 годин) визначають як 1/3 від загального робочого часу. Число святкових годин визначається множенням чисельності працівників в добу на кількість святкових днів в році (згідно з табл. 6.4) і на тривалість зміни.

Таблиця 6.5 – Облікова чисельність працівників

Найменування штатної одиниці	Кількість змін в добу	Тарифний розряд	Чи		Коеф. облікового складу	Об		Належить			
			сель-ність	пр		ліко-вий	склад	відпрацювати згідно			
								облікового складу			
			На зміну	На добу	Розрахунковий	Прийнятий	Змін	Годин	У		
									Нічний час	Святковий час	
Черговий											
Електросл юсар					,23	,23	51	008			
Електро монтер					,23	,23	51	008			
Електро монтер					,23	,23	51	008			

6.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати працівників

Пряма заробітна плата визначається множенням годинної тарифної ставки на кількість годин, які визначаються з табл. 6.5.

Премія обчислюється у відсотках від прямої тарифної заробітної плати. Доплата за нічні години роботи визначається множенням числа нічних годин роботи (згідно з табл. 6.5) на доплату за кожну годину. Доплата за кожну годину нічної роботи складає 40 % від годинної тарифної ставки. Доплата за роботу у святкові дні визначається множенням годинної тарифної ставки на кількість святкових годин (згідно з табл. 6.5).

Районна надбавка складає 15 % від прямої тарифної заробітної плати.

Основна заробітна плата визначається як сума прямої тарифної заробітної плати, премії, доплат і надбавки.

Додаткова заробітна плата виплачується за невідпрацьований час,

передбачений трудовим законодавством, і складає 8,5 % від основної [18].

Розрахунок фонду оплати праці працівників приведений в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Розрахунок фонду оплати праці працівників

Найменування штатної одиниці	Годинна тарифна ставка, грн./год..	Пряма тарифна заробітна плата, грн.	Премія з фонду заробітної плати		Доплата, грн.		Коефіцієнт надбавки, грн.	Основна заробітна плата, грн.
				Сума, грн.	Нічний час	Святковий час		
1		3		5	6		8	9
Оперативний черговий	3	201204	0	20722,4	26827,2	520	30180,6	384454,2
Електролюсар	8,5	37148	0	18574	-		5572,2	61294,2
Електромонтер розряд 4	0	40160	0	20080	-		6024	66264
Електромонтер розряд 5	4	48192	0	24096	-		7228,8	79516,8
Разом								591529,2
Додаткова заробітна плата								50279,98
Фонд оплати праці								641809,2

6.3.3 Розрахунок річного фонду заробітної плати керівного персоналу

Керівним персоналом працівників, що обслуговують систему електропостачання даного виробництва є майстер і головний енергетик.

Розрахунок фонду оплати праці керівного персоналу згідно місячних окладів наведений в табл. 6.7. Коефіцієнт надбавки і додаткова заробітна плата складають, відповідно, до 15 % і 8,5 % [18].

Таблиця 6.7 – Розрахунок фонду оплати праці керівників

Найменування штатної одиниці	Місячний оклад, грн./міс.	Пряма заробітна плата за рік, грн.	Премія, %	Сума премії, грн.	Коефіцієнт надбавки, грн.	Основна заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата, грн.	Фонд оплати праці, грн.
Майстер	7 000	8 4000	0	5 0400	1 2600	1 47000	1 2495	1 59495
Головний енергетик	8 000	9 6000	0	7 6800	1 4400	1 87200	1 5912	2 03112
Разом								3 62607

6.3.4 Визначення витрат на експлуатацію системи електропостачання

Розрахунок витрат на експлуатацію системи електропостачання зведемо в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Витрати на експлуатацію за рік

Стаття витрат	Примітка	Сума, грн.
ФОП	ФОП працівників + ФОП керівників (таблиці 6.6 і 6.7)	1004416, 18
ЕСП	ЕСП = 22 % від ФОП	220971,5 6

СПР	СПР = 0,2 % від ФОП	2008,832
Витрати на витратні матеріали	1 % від <i>K</i>	11563,5
Амортизаційні відрахування	4 % від <i>K</i>	46254.34
Податок на майно	2 % від <i>K</i>	23127,17
Інші витрати	5 % від амортизаційних відрахувань	2312.717
Разом		1310654. 25

6.4 Аналіз результатів

В результаті техніко-економічних розрахунків вибраний найбільш ефективний варіант системи електропостачання. Для розрахованого варіанту прийняті проектні рішення організаційно-економічного характеру - схема обслуговування енергогосподарства та складений кошторис на проведення проектних робіт щодо їх реалізації. Вибрана мінімальна чисельність персоналу для обслуговування обладнання системи електропостачання, його режим роботи, кваліфікація й заробітна плата.

Прийняте проектне рішення й розроблені заходи сприятимуть підвищенню ефективності системи електропостачання підприємства щодо унормовування показників якості електроенергії.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Заходи з електробезпеки на інструментально–зварювальному виробництві

При роботі на технологічних установках промислових підприємств виділяють три системи засобів і заходів з електробезпеки [29, 46]:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

До систем технічних засобів електробезпеки належать засоби і заходи з електробезпеки, що реалізуються в конструкціях електроустановок при їх розробці, виготовленні та монтажі відповідно до чинних нормативів.

За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки поділяють на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блокувальні пристрої безпеки;
- виконання електроустановок з ізолюванням від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;

- вирівнювання потенціалів.

З метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовуються всі з перерахованих вище технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією. Отже, одним із заходів при вирішенні питань електробезпеки є перевірка ізоляції струмовідних частин.

Ще одним із заходів при вирішенні питань електробезпеки є застосування блокувальних пристроїв безпеки. Блокувальні пристрої безпеки застосовуються в електроустановках, експлуатація яких пов'язана з періодичним доступом до огорожених струмовідних частин, в комутаційних апаратах, помилки в оперативних переключеннях яких можуть призвести до аварії і нещасних випадків, в рубильниках, пусковій апаратурі, автоматичних вимикачах, які працюють в умовах підвищеної небезпеки.

Призначення блокувальних пристроїв безпеки:

- унеможливити доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги;
- попередити помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок;
- не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання без попереднього від'єднання його від джерела живлення.

До числа заходів щодо вирішення питань з електробезпеки є виконання електричних мереж з ізолюванням від землі. В мережах, ізольованих від землі, при однофазному під'єднанні людини під напругу і відсутності пошкодження ізоляції інших фаз, величина струму через людину визначається опором ізоляції фаз відносно землі, який, щонайменше, становить 10^5 Ом (вимога ПУЕ [31]). Таким чином, виконання мереж, що ізольовані від землі, обмежує величину струму через людину

за рахунок опору ізоляції фаз відносно землі при умові забезпечення необхідного стану ізоляції. При наявності фаз з пошкодженою ізоляцією і доторканні людини до фазного проводу з непошкодженою ізоляцією сила струму через людину значно зростає. Тому, застосування мереж, ізольованих від землі, вимагає обов'язкового контролю опору ізоляції.

Одним із найголовніших заходів профілактики електротравм та інших нещасних випадків є проведення інструктажу з охорони праці на виробництві.

Виконання заходів електробезпеки при експлуатації електроустановок забезпечить безпечне виконання роботи працівниками на виробництві.

7.2 Заходи пожежної безпеки на інструментально–зварювальному виробництві

Пожежі представляють особливу небезпеку, оскільки зв'язані з великими матеріальними втратами. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалення. Горючими компонентами є: мастильні матеріали, ізоляція кабелів та ін.

Протипожежний захист - це комплекс організаційних і технічних заходів, направлених на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі [3].

Джерелами спалаху можуть бути електричні проводки, прилади, використані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

В електроустановках в безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні проводи, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливе оплавлення ізоляції. Для відведення надмірної теплоти служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи є додатковою пожежною небезпекою, а приміщення з їх розташуванням відносять до категорії В пожежної небезпеки [28].

Енергопостачання виробництва здійснюється від трансформаторної підстанції, на якій особливу небезпеку представляють трансформатори з оливним охолодженням. У зв'язку з цим перевагу слід віддавати сухим трансформаторам.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих спалахів, відносять внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. ін.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. За видом гасіння речовини вогнегасники поділяють на такі основні групи.

Водопінні вогнегасники - застосовуються для гасіння рідин, різних матеріалів, конструктивних елементів і устаткування, що горять, окрім електроустаткування, що знаходиться під напругою.

Газові вогнегасники - застосовуються для гасіння рідких і твердих речовин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою.

В приміщенні, де працюють електроустановки, застосовують головним чином вуглекислотні вогнегасники типу ВВ-5, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, збереження електричного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

Рекомендуються для гасіння електроустановок з напругою до 1000В, а також пожеж на транспорті в житлових і виробничих приміщеннях. Вимагають перезарядки один раз на п'ять років, а також контрольне зважування - один раз на рік для усунення витоків.

Вуглекислотні вогнегасники заборонено встановлювати поблизу нагрівальних приладів і під вплив прямих сонячних променів. Вогнегасники, що не пройшли контрольного зважування, або з вичерпаним терміном придатності необхідно перезарядити.

Для виявлення початкової стадії загоряння і сповіщення служби пожежної охорони використовують системи автоматичної пожежної сигналізації (АПС). Крім того, вони можуть самостійно приводити в дію установки пожежогасіння, коли пожежа ще не досягла великих розмірів. Системи АПС складаються з

пожежних сповіщувачів, ліній зв'язку і приймальних пультав (станцій).

Відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні» (Наказ МВС України за №1417 від 30.12.2014 р.) приміщення обладнуються димовими пожежними сповіщувачами. Їх застосовують в таких приміщеннях, де на початку пожежі при горінні різних мастильних, пластмасових, ізоляційних матеріалів виділяється значна кількість диму, але ще мало теплоти.

Щоб ліквідувати загоряння необхідно:

- а) припинити виділення предметом, що горить, горючих газів та парів, ізолювавши їх середовищем, яке не підтримує горіння;
- б) охолодити цей предмет нижче температури його спалаху або займання;
- в) видалити горючі речовини.

Під час роботи генераторів, електродвигунів, трансформаторів, випрямлячів, розподільних пристроїв буває надмірне нагрівання ізоляції обвиток та інших елементів, що може призвести до пожежі. Іскріння та електричні дуги, що виникають під час аварій та вимикання струму, можуть стати причиною спалахування накопиченого пилу й горючих газів. Тому залежно від пожежної небезпеки виробництва застосовується електроустаткування різних конструкцій, які перешкоджають виникненню пожежі.

Гасіння пожеж в електроустановках має такі особливості та порядок:

- а) відімкнути обладнання від мережі електропостачання;
- б) виявити джерело загоряння;
- в) при потребі викликати відповідні рятувальні служби (тел. 101);
- г) евакуювати персонал у безпечне місце;
- е) локалізувати та ліквідувати, по можливості, загоряння;
- є) обмежити доступ персоналу до місця загоряння.

Гасіння проводиться засобами, що не є провідниками. Для гасіння на електроустановках найкраще використовувати такі речовини:

- інертні гази (вуглекислота, азот), при гасінні якими відбувається зниження відсоткового вмісту кисню в повітрі, внаслідок чого уже при 12-15% вуглекислого газу в ньому горіння припиняється;

– гасіння піском або землею.

Використання заходів і засобів пожежної безпеки допоможе врятувати

життя працівників та матеріальні цінності виробництва, а також сприятиме зменшенню впливу пожеж на виробництво продукції.

7.3 Причини виникнення виробничих надзвичайних ситуацій

Виробничі надзвичайні ситуації - аварії можуть бути різноманітними. Причинами їх можуть бути: стихійні лиха (землетруси, зсуви, повені, пожежі тощо). а також порушення технології виробництва і правил техніки безпеки.

Найбільш типовими наслідками аварій можуть бути: вибухи, пожежі, затоплення, завали шахт, зараження навколишнього середовища сильнодіючими отруйними речовинами.

Аварії виникають і унаслідок необачного поводження з вогнем. Крім того, причинами аварії можуть бути:

- порушення вимог і правил техніки безпеки;
- низька трудова і технологічна дисципліна;
- відсутність належного контролю за процесом виробництва.

Аналіз причин аварій показує, що вони виникають головним чином унаслідок поганої навченості персоналу, допущеної халатності, порушень технологічного процесу виробництва і правил техніки безпеки.

Для запобігання аваріям на промислових підприємствах заздалегідь розробляються і здійснюються організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення їх стійкості й безаварійності роботи.

7.4 Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективний спосіб зменшення шкоди та збитків від надзвичайних ситуацій – запобігти їх виникненню, а в разі виникнення виконувати відповідні до даної ситуації заходи.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання

у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків.

Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру в нашій країні покликана виконувати Єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ), затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014р №11. ЄДСЦЗ включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організують проведення роботи із запобігання надзвичайним ситуаціям і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат. ЄДСЦЗ складається з постійно діючих функціональних та територіальних підсистем і має чотири рівні: загальнодержавний, регіональний, місцевий та об'єктовий. Кожен рівень ЄДСЦЗ має координуючі та постійні органи управління.

Координуючими органами ЄДСЦЗ є [41]:

- на загально державному рівні: - Державна комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій; Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення;
- на регіональному рівні – комісії обласних державних адміністрацій з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій;
- на місцевому рівні – комісія районних державних адміністрацій і виконавчих органів рад з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій;
- на об'єктовому рівні – комісії з питань надзвичайних ситуацій об'єктів.

До систем повсякденного управління ЄДСЦЗ входять оснащені необхідними засобами зв'язку, оповіщення, збирання, аналізу і передачі інформації:

- центри управління в надзвичайних ситуаціях, оперативно-чергові служби уповноважених органів з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення усіх рівнів;
- диспетчерські служби центральних та місцевих органів виконавчої

влади, державних підприємств, установ та організацій.

До складу сил і засобів ЄДСЦЗ входять військові і спеціальні цивільні аварійно-рятувальні (пошуково-рятувальні) формування, які укомплектовуються з урахуванням необхідності проведення роботи в автономному режимі не менше трьох діб і перебувають у стані постійної готовності, а також недержавні (добровільні) рятувальні формування. Залежно від масштабів і особливостей надзвичайної ситуації, що прогнозується або виникла, може існувати один із таких режимів функціонування ЄДСЦЗ: повсякденної діяльності, підвищеної готовності, діяльності у надзвичайній ситуації, діяльності у надзвичайному стані [41].

З метою ліквідації наслідків надзвичайної ситуації у мирний час може проводитись також цільова мобілізація [19].

Ефективність функціонування систем захисту населення і територій досягається через завчасну підготовку, оперативне реагування та ефективне управління під час надзвичайних ситуацій, своєчасне відновлення життєдіяльності населення в їх зоні.

8 ЕКОЛОГІЯ

В сучасний період взаємовідносини між людиною і природою є надзвичайно складними. Внаслідок цього відновлюваний потенціал природи став меншим за дію суспільства на неї, що викликало початок незворотної зміни навколишнього середовища.

Тому, в Україні відразу з проголошенням її незалежності прийнято кардинальні заходи з екологічної безпеки і прийнято Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (опубл. у Відомостях ВРУ за №41 від 1991 р.; чин. у поточн. ред. від 12.10.2018 р.).

Зараз особливо відчутний вплив на природу в сфері матеріального виробництва, при цьому значним джерелом забруднення навколишнього середовища є промислові підприємства. Вони викидають у повітря велику кількість золи, окисів вуглецю, сірки, азоту, а також викидають у каналізаційні мережі стічні води, забруднені хімічними відходами. Велику проблему складає утилізація, складання і знищення відходів промисловості [6].

Охорона природи стала одним з основних пріоритетів нашої держави, оскільки збереження біологічного та ландшафтного різноманіття є основою, яка забезпечує можливість будь-якого природокористування та розвитку суспільства.

8.1 Заходи щодо зменшення впливу забруднювачів від інструментально–зварювального виробництва

Розглянемо негативний вплив на людину таких забруднюючих речовин, що містяться у викидах інструментально-зварювального виробництва: окислів заліза, оксиду марганцю, оксиду алюмінію, сполук хрому, нікелю та газоподібних речовин - соляної кислоти, оксиду вуглецю, окислів азоту, сірчистого ангідриду та ін. [16].

Вплив оксиду заліза. Оксид заліза у вигляді пилу або диму при тривалому впливі може відкладатися у легенях, викликаючи розвиток особливого захворювання – сидерозу. Можливі бронхіт, початкова емфізема, сухий плеврит. Первинний рак легенів спостерігається в основному у робітників у віці старше 50

років з великим стажем роботи та наявністю в легенях сидирозного фіброзу. Гранично допустима концентрація для Fe_2O_3 з домішками сполучень марганцю - $4\text{мг}/\text{м}^3$.

Для захисту від пилу треба застосовувати протипилеві респіратори типу РН-21, ПРБ-1 та ін. й протипилеві окуляри.

Сполуки марганцю - сильні отрути, які діють в основному на центральну нервову систему, викликаючи в ній тяжкі органічні зміни. Зміни виникають також у легенях, печінці, периферичній крові. Вдихання пилу окислів марганцю викликає особливу форму пневмоконіозу - «марганоконіоз». Відома також висока захворюваність працюючих запаленням легенів. Гранично допустима концентрація оксиду марганцю - $0,3\text{мг}/\text{м}^3$.

Оксид алюмінію. При вдиханні пилу або диму, який містить оксид алюмінію вражаються головним чином легені. Захворювання називається «алюмініозом». Захворювання характеризується відсутністю апетиту, втратою ваги, іноді розладом травлення, болями у шлунку, нудотою, болем у всьому тілі, сухим та вологим кашлем. У ряді випадків виявлені затруднене дихання, сухі та дзвінкі хрипи. Після попадання частинок алюмінію в очі спостерігаються місцеві омертвіння, змінення пігментації роговиці, капсули кришталика, помутніння склоподібного тіла. Пил алюмінію подразнює слизові оболонки очей, носа, рота, статевих органів. Іноді на слизистій носу від пилу з'являються виразки та запальні ущільнення. Гранично допустима концентрація Al_2O_3 та сплавів алюмінію - $2\text{мг}/\text{м}^3$.

Нікель. Як біоелемент активує або пригнічує ряд ферментів. При будь-яких шляхах введення вражає тканину легенів, порушує процеси кровотворення, змінює рівні цукру у крові та кров'яний тиск. Пил, в якому міститься нікель, вражає шкіру людини з розвитком підвищення чутливості до нього. Гранично допустима концентрація для нікелю - $0,5\text{мг}/\text{м}^3$.

Сполуки хрому. Найбільш отруйні шестивалентні сполуки хрому, але токсичні також й тривалентні. Сполуки хрому подразнюють та припікають слизові оболонки й шкіру, зумовлюючи виразки. Серед працюючих, які були під впливом сполук хрому, часто виявляються ракові захворювання. Сенсibiliзація до хрому призводить до захворювань типу бронхіальної астми. Сполуки хрому

також можуть викликати малокрів'я, зменшення або збільшення лейкоцитів. Хром всмоктується через шкіру, даючи загальну токсичну дію. Гранично допустима концентрація для сполук хрому - $0,01\text{мг/м}^3$.

Вплив на організм окислів азоту змінюється в залежності від вмісту у газовій фазі різних окислів. При хронічному отруєнні розвиваються запальні захворювання слизових оболонок верхніх дихальних шляхів, хронічні бронхіти, на зубах з'являються зеленкуваті нальоти з металічним відтінком. В основному отруєння протікають згідно подразнювального типу дії. При контакті окислів азоту з вологою поверхнею легенів утворюється азотна та азотиста кислоти, які вражають альвеолярну тканину, що призводить до набряку легенів, в крові утворюються нітрати та нітроти, які діють безпосередньо на артерії та викликають розширення судин й зниження кров'яного тиску, перетворюють оксигемоглобін у метгемоглобін.

Сірчистий ангідрид подразнює переважно верхні, а при більш сильному впливові також і глибокі дихальні шляхи. Подразнююча дія пояснюється поглинанням сірчистого ангідриду вологою поверхнею слизових оболонок та послідовним утворенням сірчистої й соляної кислот. Сірчистий ангідрид спричиняє загальну дію, порушуючи обмінні та ферментативні процеси, впливаючи на кровотворні органи (кістковий мозок, селезінку), на зміни в кістках, а через подразнювальну дію впливає на нервові закінчення.

Усі вищезазначені речовини негативно впливають на організм людини, викликаючи ті чи інші захворювання. Таким чином, вони погіршують стан здоров'я, а у людей, які працюють на підприємстві з цими шкідливими речовинами, можуть викликати професійні захворювання, що проявляються з часом.

В умовах промислового виробництва найбільш розповсюджена припливно-втяжна система вентиляції із загальним припливом свіжого повітря в робочу зону та місцевим повітродувним відбиранням шкідливих речовин безпосередньо з місць їх утворення й подальшою їх утилізацією. При цьому, у виробничих приміщеннях, де виділяється значна кількість шкідливих газів, парів, пилу втяжна система повинна бути на 10% більш продуктивною, ніж припливна, щоб шкідливі речовини не витіснялись у суміжні приміщення з меншою шкідливістю

[34].

В системі припливно-витяжної вентиляції можливе використання не лише зовнішнього повітря, але й повітря самих приміщень після його очищення. Таке повторне використання повітря приміщень називається рециркуляцією і здійснюється в холодний період року для економії тепла, витраченого на підігрівання припливного повітря.

Найбільш застосовуваними очисними спорудами є циклони, які очищують повітря від пилу з розміром часток більше 10 мкм. Самими ж досконалими апаратами для очищення повітря є тканинні апарати (рукавні фільтри), де повітря, яке містить пил, пропускають через спеціальну тканину, на волокнах якої затримуються частки.

Таким чином, можна зробити висновок, що необхідно застосовувати заходи щодо зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря для запобігання виникнення професійних захворювань як у працюючих на підприємстві, так і захворювань, що викликають ці речовини у людей, які проживають в районі розташування підприємства.

Треба зазначити, що значною мірою від викидів шкідливих речовин страждають діти, т. я. дитячий організм більш вразливий до наявності в повітрі шкідливих речовин, навіть невеликих їх концентрацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В дипломній роботі розроблені заходи підвищення ефективності та модернізації системи електропостачання інструментально–зварювального виробництва світлотехнічного підприємства з технологічним впливом на якість електроенергії для забезпечення надійності її постачання та підтримання нормативних показників якості.

Отримані такі результати:

1. Розробка заходів підвищення ефективності системи електропостачання технологічного устаткування підприємства є одним з пріоритетів його економічного розвитку, засобом виживання на конкурентних ринках з продукцією світлотехнічного спрямування.

2. Проаналізовано вплив технологічного устаткування на якість електроенергії в мережі підприємства та заходи, що зумовляють зниження втрат електроенергії, сировини, готової продукції, вихід з ладу електрообладнання.

3. Досліджена практична можливість застосування на прикладі системи електропостачання інструментально–зварювального виробництва фільтро–компенсуючих пристроїв, налаштованих на проаналізований склад гармонічних складових напруги електромережі.

4. Проведено дослідження впливу вищих гармонік електромережі на навантажувальні характеристики асинхронних електродвигунів для визначення додаткових втрат, пов'язаних з несинусоїдністю напруги.

5. Досліджена математична модель термічної стійкості і терміну служби ізоляції асинхронного електродвигуна в залежності від режиму його навантаження при наявності коливань напруги та струмів вищих гармонічних складових електромережі.

6. Проаналізований вплив зварювальних установок різних типів й в різних режимах роботи на спотворення форми кривої струму в електромережі. Отримана залежність кількості гармонійних складових струму, що генерують зварювальні установки, від типу використаного напівпровідникового перетворювача.

7. Проведений розрахунок та вибір установок компенсації реактивної потужності. Основна кількість реактивної потужності скомпенсовується двома

установками на стороні 0,4 кВ.

8. Проведений розрахунок струмів короткого замикання в мережі вищої напруги 10 кВ та максимальних струмів кіл навантаження силового трансформатора в мережі 0,4 кВ. Аналіз розрахунків підтвердив, що автоматичні вимикачі вибраного типу на всіх рівнях досліджуваної електромережі витримають дію ударних струмів к. з.

9. Проведений розрахунок і вибір високовольтного і низьковольтного електрообладнання на підстанції електроживлення технологічних установок даного виробництва. Перевірена термічна стійкість кабельної лінії, що живить електрообладнання виробничого комплексу від трансформаторної підстанції.

10. Проведений вибір схеми електропостачання розподільних пристроїв даного виробництва. На основі розрахунку електричних навантажень електроприймачів здійснено вибір центру живлення.

11. Проведений розрахунок освітлювальної мережі виробничих потужностей діляниць. Зважаючи на деяку загазованість випарами від зварювального виробництва, світильники внутрішньої установки вибрані з класом захисту IP 34.

12. Проведений розрахунок режимів роботи та вибір комутаційної апаратури схеми живлення електроприймачів виробництва, а також високовольтних кабелів схеми живлення трансформаторної підстанції.

Модернізована система електропостачання інструментально–зварювального виробництва підприємства з технологією світлотехнічної продукції відповідає усім вимогам щодо надійності та забезпечення безпеки персоналу й екології довкілля.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Артемов А. И. Электроснабжение промышленных предприятий в примерах и задачах / А. И. Артемов. – Под ред. В. И. Минченкова. – Смоленск, 2000. – 300 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф [и др.]. - М. : Энергоиздат, 1982. - 504 с.
3. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-цтво НУ «Львів. політехн.», 2009. - 360 с.
4. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 176 с. : ил. (Биб-ка электромонтера; Вып. 617).
5. Бойчик І. М. Економіка підприємств: Навч. посібник / І М. Бойчик, П. С. Харів, М. І. Хопчан. – Львів : «Сполом», 1998. – 235с.
6. Бойчук Ю. Д. Екологія і охорона навколишнього середовища. Навч. посібн. / Ю Д. Бойчук, Е. М. Солошенко, О. В. Бугай. – Суми : Університетська книга, 2012. – 284 с.
7. Вагин Г. Я. Системы электроснабжения: комплекс учеб.- метод. матер. / Г. Я. Вагин, Е. Н. Соснина. – 2-е изд., перераб. и доп.; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Нижн. Новгород, 2012. – 143 с.
8. Варецький Ю. О. Загрози гармонік в електричних мережах // Электрические сети и системы. – 2016. - №4–5. – С. 101–109.
9. Василега П. О. Електропостачання. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
10. Васійчук В. О. Основи цивільного захисту: навч. посібник / В. О. Васійчук, В. Є. Гончарук [та ін.]. - Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехн.», 2010. - 417с.
11. Войнов С. Л. Нормирование показателей качества электроэнергии и их оптимизация / С. Л. Войнов [и др.]. – Гливице–Иркутск, 1988. – 249 с.
12. Войцицький А. П. Аналіз причин погіршення якості показників електроенергії, які характеризують форму напруги / А. П. Войцицький, Ю. А. Колос // Вісник Житомир. нац. агроєколог. ун-ту. Механізація. – 2016. - №1 (53), Т. 1. – С. 264–269.

13. Волошко А. В. Щодо моніторингу якості електричної енергії / А. В. Волошко, А. Л. Харчук // Вісник Кременчук. нац. ун-ту. Енерго-та ресурсозберігаючі технології. – 2014. – Вип 2. – С. 47–52.
14. Гарасьова Н. Ю. Вибір параметрів фільтрокомпенсуючих пристроїв для мереж нижче 1000 / Н. Ю. Гарасьова, І. В. Савеленко, К. Г. Петрова // Наукові записки. - 2010. - Вип. 10, Ч. II. – С. 205–208.
15. Голубев М. Л. Расчет уставок релейной защиты и предохранителей в сетях 0,4 – 35 кВ. – М. : Энергия, 1969.– 135 с.
16. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навч. посібник. – Вид. 2-е. – К. : Знання, 2002. – 203 с.
17. Екологія: основи теорії і практикум: Навч. посібн. для студентів вузів / А. Ф. Потіш, В. Г. Медвідь, А. Г. Гвоздецький, З. Я. Козак. – Львів : “Новий Світ – 2000”, 2004. – 296 с.
18. Економіка підприємства. Збірник практичних задач і конкретних ситуацій: Навч. посібн. / За ред. С. Ф. Покропивного. – Київ : Техніка, 1999.– 178 с.
19. Євдін О. М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека. Посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.
20. Євтух П. С. Сучасні методи діагностування якості електроенергії та покращення її показників / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко, В. Р. Щербатюк // Матеріали VIII МНТК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (27–28 листопада 2019 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т. 3. – Тернопіль, 2019. – С. 20–21.
21. Єгорова О. Ю. Комплексна оцінка якості електроенергії з урахуванням надійності електропостачання в сільських електромережах / О. Ю. Єгорова, М. В. Михалко // Системи обробки інформації. Обробка інформації в складних технічних системах. – 2011. – Вип. 5 (95). – С. 41–44.
22. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. –331 с.

23. Жежеленко И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
24. Закладний О. М. Вплив якості напруги живлення на електроприводи з синхронними двигунами / О. М. Закладний, О. О. Закладний, Т. Ю. Оборонов // Вісник нац. техн. ун-ту «КПІ». Гірництво. – 2012. – Вип. 22. – С. 180–188.
25. Иванов В. С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В. С. Иванов, В. И. Соколов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
26. Коротко про виробничі потужності ТОВ «ОСП Корпорації «ВАТРА : [Електронний ресурс] / 2001-2016, Корпорація ВАТРА. - Режим доступу: <http://vatra.ua/ukr/portfolio/virobnitstvo>.
27. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. - М. : Высшая школа, 1975. – 320 с.
28. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002–2007 / Вид. офіційне. Держпожбезпеки МНС України. – К., 2007. – 25 с.
29. Основи охорони праці: Підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Запарний [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. - 2-е вид., доп. та перероб. — К. : Основа, 2006. - 448 с.
30. Пилипчук Р. В. Энергоэффективное промышленное освещение : метод.–справ. пособие / Р. В. Пилипчук, В. В. Щиренко, Р. Ю. Яремчук. – Донецк : Каштан, 2005. – 364 с. : рис., табл.
31. Правила улаштування електроустановок / Вид. офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Вид-во «Форт», 2017. – 760 с.
32. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2018 / Вид. офіційне. Мінрегіон України. – К. : Укрархбудінформ, 2018. – 133 с.
33. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков и др. - Под ред. И. П. Копылова. - М. : Энергия, 2005. - 767 с.
34. Промислова екологія: навч. посіб. / С. О. Апостолук, В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін. - 2-е вид., випр. і доп. - К. : Знання, 2012. — 430 с.

35. Пустоваров В. Е. Анализ показателей качества электрической энергии на промышленных предприятиях / В. Е. Пустоваров, Т. И. Овчаренко, Ю. С. Боровик // Системи обробки інформації. Обробка інформації в складних технічних системах. – 2004. – Вип. 6. – С. 159–162.
36. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навч. посібн. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2007. – 280 с.
37. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0 20.527-98 / Под ред. Б. Н. Неклепаева. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.
38. Справочник по охране труда на промышленном предприятии / К. Н. Ткачук, Д. Ф. Иванчук, Р. В. Сабарно, А. Г. Степанов. – К. : Техніка, 1991. – 192 с.
39. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети / Под ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновского. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергия, 1980. – 576 с. : ил.
40. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – С.-Петербург : Энергоатомиздат, 1992.– 448 с.
41. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку : Матеріали 20-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Київ, 9–10 жовтня 2018 р. – К. : Вид. дім «Гельветика», 2018. – 536 с.
42. ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» – світлотехнічне виробниче підприємство, що займається проектуванням, конструюванням та виготовленням освітлювальних приладів : [Електронний ресурс] / 2001-2016, Корпорація ВАТРА. - Режим доступу: <http://vatra.ua/ukr/portfolio/history>.
43. Церазов А. Л. Исследование влияния несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей / А. Л. Церазов, Н. И Якименко. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 120 с.
44. Цивилев М. П. Инженерно-спасательные и неотложные аварийно-восстановительные работы в очаге ядерного поражения / М. П. Цивилев, А.А. Никаров, В. М. Суслин. – М. : Воениздат, 1975. – 286 с.

45. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : ГОСТ 13109–97. – [Дата введ. 1999–01–01 ; переизд. 2006–08]. – М. : ИПК. Изд–во стандартов, 1999. – 32 с. - (Государственный стандарт).
46. Электробезопасность на промышленных предприятиях: Справочник / Р. Б. Сабарно, А. Г. Степанов, А. В. Слонченко, Г. Д. Харламов. – К. : Техніка, 1985. – 288с., с ил.
47. Якість електричної енергії. Терміни та визначення : ДСТУ 3466–96. – [Чинний від 1998–01–01]. – К. : Держкомстандартизації, 1997. – 35 с. (Державний стандарт України).