

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____В.А. Попов

«__» _____20__р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

**на тему: «Підвищення надійності електропостачання
механічного цеху з використанням системи гарантованого
живлення»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ОЕ-71

Наталич Владислав Олександрович _____

Керівник:

к.т.н., доц. Замулко А.І. _____

Консультанти:

Охорона праці

(назва розділу)

д.т.н., проф.Третьякова Лариса Дмитрівна

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль

(назва розділу)

ас. Прокопенко Ірина Дмитрівна

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

директор комерційний Коломійчук Ганна Петрівна

(посада, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	НТУУ.001.7111.046 ПЗ	Пояснювальн азаписка	104	
3	A1	НТУУ.001.7111.046	Однолінійна схема електропостачання	1	
4	A1	НТУУ.001.7111.046	Схема внутрішньо цехової мережі	1	
5	A1	НТУУ.001.7111.046	Функціональна схема гарантованого живлення з використанням ВДЕ та ДЕС	1	
6	A1	НТУУ.001.7111.046	Схемне рішення для об'єкту проєктування	1	

				НТУУ.001.7111.046		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Наталич В.О.			Відомість дипломног о проєкту	Лис т	Листі в
Керівн.	Замулко А.І.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря СікорськогоКаф. Електропостачання Гр. <u>ОЕ-71</u>	
Н/контр.	Прокопенк о І.Д.					
Зав.каф.	Попов В.А.					

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Наталичу Владиславу Олександровичу

1. Тема проєкту «Підвищення надійності електропостачання механічного цеху з використанням системи гарантованого живлення»,

керівник проєкту к.т.н., доц. Замулко А.І., затверджені наказом по університету від «27» травня 2021 р. №1353-с

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “11” червня 2021 р.

Вихідні дані до проєкту: Схема розміщення споживачів системи електропостачання механічного цеху, характеристики промислових споживачів.

3. Перелік розділів, які мають бути розроблені

1. Загальні відомості про підвищення надійності та можливості використання систем гарантованого живлення для промислових об'єктів.

2. Розробка загальної схеми електропостачання механічного цеху.

3. Вирішення прикладних питань з підвищення надійності шляхом використання систем гарантованого живлення.

4. Охорона праці та пожежної безпеки під час монтажу системи гарантованого живлення.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:_____

1. Однолінійна схема електропостачання механічного підприємства.

2. Схема внутрішньоцехових мереж механічного цеху.

3. Варіації схем підключення гарантованих джерел.

4. Схемне рішення для об'єкту проєктування.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Релейний захист та автоматика	к.т.н., доц. Калінчик В.П.		
Розрахунки токів к.з.	доц. Несен Л.І.		
Охорона праці та пожежна безпека	д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.		
Нормоконтроль	ас. Прокопенко І.Д.		

7. Дата видачі завдання “17” травня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

студентом _____ *Наталич В.О.*
(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Розробка першого розділу	20.05.-05.06.21	
2	Розрахунок електричної частини	29.05.-09.06.21	
3	Розрахунок струмів КЗ	05.06.-07.06.21	
4	Розрахунок релейного захисту	03.06.-08.06.21	
5	Розробка третього розділу	08.06.-10.06.21	
6	Розробка частини ОППБ	09.06.-12.06.21	
7	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.21	
8	Захист дисертації	14.06.21	

Студент
Керівник проєкту

В.О.Наталич
А.І. Замулко

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: «Підвищення надійності електропостачання механічного цеху з
використанням системи гарантованого живлення»

Київ – 2021 року

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проєкту «Підвищення надійності системи електропостачання механічного цеху з використанням систем гарантованого живлення» складається з 104 сторінок основного матеріалу, містить 24 рисунки, 37 таблиць, 29 бібліографічних найменувань, 4 креслення.

Під час виконання дипломного проєкту було виконано розрахунок навантажень споживачів промислового підприємства. Було виконано вибір параметрів розподільних мереж напругою до 1 кВ та живильної мережі (вище 1 кВ), силових трансформаторів, конденсаторних батарей, резервного генератора, апаратів релейного захисту та автоматики. Виконано розрахунок струмів короткого замикання.

У спеціальній частині було проведено аналіз методів підвищення надійності електропостачання промислового об'єкту, розглянуто можливості встановлення систем гарантованого живлення для окремих споживачів електричної енергії.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, НАДІЙНІСТЬ, ГАРАНТОВАНІСТЬ, СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ.

ABSTRACT

The theme of the thesis "Improving the reliability of the power supply system of a mechanical shop using guaranteed power supply systems" consists of 102 pages of basic material, contains 24 figures, 37 tables, 29 literary titles, 4 drawings.

During the implementation of the thesis, the calculation of the loads of consumers of the industrial enterprise was performed. The parameters of distribution networks with voltage up to 1 kV and power supply network (above 1 kV), power transformers, capacitor banks, backup generator, relay protection devices and automation were selected. The calculation of short-circuit currents is performed.

In the special part the analysis of methods of increase of reliability of power supply of industrial object was carried out, possibilities of installation of systems of the guaranteed power supply for separate consumers of electric power were considered.

Keywords: POWER SUPPLY, RELIABILITY, WARRANTY, ELECTRICITY CONSUMERS, TRANSFORMER SUBSTATION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ.....	13
1.1 Аналіз показників надійності електропостачання промислових підприємств	13
1.2 Аналіз технічного стану обладнання, розподілу навантаження, характеру виробництва.....	18
1.3 Визначення методів підвищення надійності та гарантованості електропостачання	20
Висновки до розділу 1	23
2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	24
2.1 Умови проєктування	24
2.1.1 Стисла характеристика об'єкту проєктування	24
2.1.2 Характеристика основних споживачів електричної енергії.....	25
2.1.3 Класифікація приміщення об'єкту проєктування.....	27
2.1.4 Характеристика джерела живлення	28
2.1.5 Вимоги до якості електричної енергії	29
2.1.6 Обґрунтування кількості та місця розміщення силових розподільних пунктів і щитів освітлення	29
2.2 Визначення розрахункових навантажень механічного цеху	31
2.2.1 Методика розрахунку.....	31
2.2.2 Вихідні дані для проведення розрахунку.....	33
2.2.3 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів цехової мережі.....	33
2.2.4 Розрахунок навантаження шин низької та високої напруги ТП.....	42
2.3 Вибір трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності.....	46
2.3.1 Вибір засобів компенсації реактивної потужності.....	46
2.3.2 Вибір цехового трансформатора	48
2.3.3 Обґрунтування виду виконання та комплектації підстанції механічного цеху.....	49
2.4 Визначення центру навантаження.....	50
2.5 Розрахунок живильних і розподільних електричних мереж.....	51

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис ПІ	Дата		

2.5.1	Вибір ліній живлення електроприймачів	51
2.5.2	Вибір ліній живлення силових пунктів	53
2.5.3	Вибір кабелю живлення цехової ТП	55
2.6.1	Вибір комутаційної апаратури розподільної мережі.....	56
2.6.2	Вибір апаратури живильної мережі	58
2.6.3	Вибір трансформатора струму.....	58
2.7	Розрахунок струмів короткого замикання	59
2.7.1	Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1 кВ.....	60
2.7.1.1	Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення	60
2.7.1.2	Розрахунок трифазного короткого замикання	65
2.7.1.3	Розрахунок однофазного короткого замикання.....	68
2.7.1.4	Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників	72
2.7.2	Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 кВ...	75
2.7.2.1	Загальні положення	75
2.7.2.2	Розрахунок трифазного короткого замикання	78
2.7.2.3	Розрахунок однофазного короткого замикання.....	80
2.7.2.4.	Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та висновки	83
2.7.2.5	Аналіз розрахунків та висновки	84
2.8	Релейний захист та автоматика	84
2.8.1	Загальні вимоги до релейного захисту і автоматики кабельних ліній 10 кВ	84
2.8.2	Розрахунок максимального струмового захисту для кабельних ліній 10 кВ.....	85
2.9	Організація обліку електричної енергії на підстанції 10/0,4кВ	88
2.10	Економічні характеристики проєкту	88
2.10.1	Розрахунок вартості приєднання до мереж ОСР	89
2.10.2	Формування загальної специфікації обладнання і матеріалів за проєктом	89
	Висновки до розділу 2	90
3	ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ГАРАНТОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.....	91
3.1	Можливості та основні завдання для забезпечення гарантованого живлення	91
3.2	Аналіз основних засобів забезпечення гарантованого живлення	92

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		

3.3 Вибір та розрахунок гарантованого джерела живлення	97
Висновки до розділу 3	104
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС МОНТАЖУ ДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	105
4.1 Технічні характеристики гарантованого джерела живлення та основні показники умов праці та Пожежної безпеки	105
4.2 Перелік робіт, які плануються до виконання, та показники умов праці для таких робіт.	106
4.3 Визначення шкідливих і небезпечних чинників, що впливають на працівників, які будуть виконувати монтажні роботи	108
4.4 Визначення необхідних технічних та організаційних заходів з безпеки праці ..	108
4.5 Вибір засобів індивідуального захисту для мінімізації небезпечних чинників під час монтажу системи гарантованого живлення	109
4.6 Вибір заходів із запобігання виникненню пожеж	110
4.7 Розрахунок захисного заземлення та огляд можливостей блискавкозахисту механічного цеху та дизельної електростанції.....	111
Висновки до розділу 4	114
ВИСНОВОК	115
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116
ДОДАТКИ	119

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КЗ - Коротке замикання
ТП - Трансформаторна підстанція
ГПП - Головна понижувальна підстанція
ЦЖ - Центр живлення
ДБН - Державні будівельні норми
ЕП - Електроприймачі
КТП - Комплектна трансформаторна підстанція
ПКРП - Пристрій компенсації реактивної потужності
ВРП - Ввідно-розподільний пристрій
РП - Розподільний пункт
КЛ - Кабельна лінія
ПЛ - Повітряна лінія
ПУЕ - Правила улаштування електроустановок
СКЗ - Струм короткого замикання
ЗІЗ - Засоби індивідуального захисту
ГДК - Гранично допустима концентрація
ЗП - Заземлюючий пристрій
ВЗ - Вертикальний заземлювач
ГЗ - Горизонтальний заземлювач
ТП - Трансформаторна підстанція
ЕУ - Електрична установка
НШВЧ - Небезпечні і шкідливі виробничі чинники
ОСР – Оператор системи розподілу
РЗА – Релейний захист і автоматика
ВДЕ – Відновлювальні джерела енергії
ДЕС – Дизельна електростанція
АВР – Автоматичний ввід резерву

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис Пі	Дата		11

ВСТУП

На сьогодні питання підвищення надійності системи електропостачання промислових підприємств із неперервним циклом виробництва є одним з найбільш важливих для розвитку сучасної енергосистеми України, адже навіть незначні порушення і системі зовнішнього та внутрішнього електропостачання можуть спричинити розлад складного технологічного процесу і завдати значних матеріальних збитків.

Для забезпечення надійності та ефективності роботи споживачів електричної енергії механічного цеху або будь-якого іншого промислового підприємства при нормальних і післяаварійних режимах, необхідно мінімізувати число і тривалість перерв в електропостачанні, забезпечити високий рівень захисту електрообладнання.

Серед основних методів підвищення надійності електропостачання промислового об'єкту, головну роль відіграє: використання резервних джерел живлення, проведення модернізації системи електропостачання, оптимізація вибору електрообладнання цехової КТП, проведення розрахунку електричних навантажень, перевірка надійності роботи елементів системи, використання пристроїв релейного захисту та автоматики, компенсація реактивної потужності, що значно впливає на якість електроенергії.

Отже, дослідження надійності та ефективності роботи, стійкості функціонування елементів системи електропостачання механічного цеху підприємства є важливим, економічно доцільним та актуальним завданням.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

1.1 Аналіз показників надійності електропостачання промислових підприємств

Надійність електропостачання промислового підприємства визначається в першу чергу безперебійністю подачі електроенергії від джерел живлення, які в свою чергу повинні мати просту, гнучку в експлуатації і надійну схему первинних з'єднань. Ці умови поширюються в однаковій мірі на схеми первинних з'єднань як електростанцій, так і підстанцій енергетичних систем.

Системи електропостачання сучасних промислових підприємств представляє складну, розгалужену, ієрархічну систему з великим числом проміжних, комутуючих, трансформуючих і перетворюючих пунктів і пристроїв, наявністю мереж різних напруг і видів конструктивного виконання [1].

Загальна кількість різних апаратів, приладів в цих системах рівняється сотням і навіть тисячам. Використовувані в системах електропостачання апарати, прилади навіть в межах одного підприємства розрізняються не тільки за рівнями струму і напруги, а й за конструктивним виконанням (наприклад, вимикачі для зовнішньої і внутрішньої установки). Електричні комунікації в цих системах також вельми різноманітні - повітряні лінії різних напруг, шинопроводи різних конструкцій, кабельні лінії різних напруг і способів прокладання.

Навіть окремі деталі цих елементів, що виконують одну і ту ж роль, можуть бути вельми різними (наприклад, кабельні приєднання до приймачів електроенергії та до апаратів). Якщо надійність системи електропостачання оцінювати по надійності окремих апаратів, пристроїв, приладів, то схема для розрахунку надійності виявиться дуже громісткою і складною. Виникає питання про доцільність розширення поняття елемента в складній схемі електропостачання.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Наталіч В.О.					13	11
Перевір.		Замулко А.І.				НТУУ КПІ, ІЕЕ, ОЕ-71		
Реценз.		Коломійчук Г.П.						
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						
Затверд.								

Наприклад, якщо аналізують надійність системи електропостачання підприємства в цілому, то окремі проміжні цехові підстанції можна вважати елементами системи електропостачання. Однак при аналізі надійності електропостачання окремих цехів ці ж підстанції або розподільні пристрої доцільно розглядати як певну систему.

Оптимальний рівень надійності електроенергетичних установок визначають, оцінивши збиток, нанесений споживачам перервами електропостачання, а також збитки, зумовлені аварійним ремонтом і витратами пов'язаними з підвищенням надійності [1].

Система електропостачання повинна працювати так, щоб при обмеженій надійності її елементів забезпечувалася оптимальна надійність електропостачання.

Вимоги до надійності системи електропостачання визначають вибір обсягів і способів резервування.

Вимоги, що пред'являються до надійності системи електропостачання, багато в чому визначаються технологією виробництва, тому, раціональні рішення щодо забезпечення необхідної надійності, можуть бути знайдені при спільному розгляді питань технологічної схеми виробництва та системи електропостачання [1].

Надійність об'єкта – це комплексна властивість, що може охоплювати безвідмовність, довговічність, ремонтовність та збережуваність чи містити певні поєднання цих властивостей (рис. 1.1).

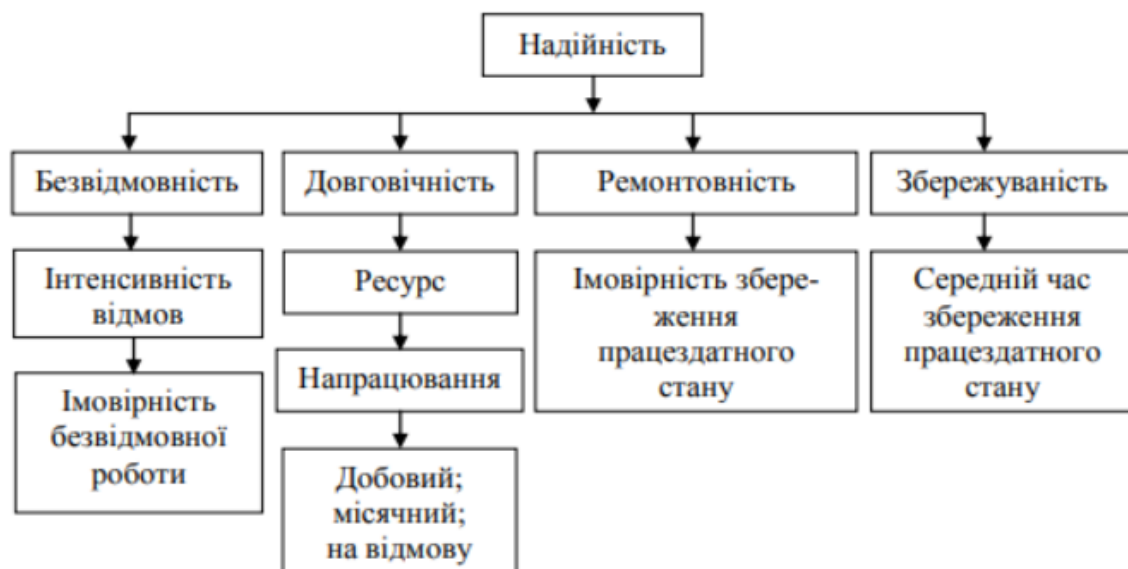


Рисунок 1.1 – Класифікація показників надійності

Відмови елементів системи електропостачання визначаються великим числом факторів, що носять випадковий характер, і можуть розглядатися як випадкові події. Це і визначає необхідність аналізу надійності на основі теорії ймовірностей.

Показником надійності - прийнято називати ознаку, за якою оцінюється надійність елемента, а характеристикою надійності - кількісне значення цього показника для цього елемента.

Працездатність елемента - стан елемента, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, встановленими відповідними вимогами.

Ремонтопридатність - пристосованість системи або елементів до попередження або усунення відмов або несправностей.

Довговічність - властивість системи або елементів зберігати працездатність до граничного стану при необхідному обслуговуванні. Граничний стан визначається неможливістю подальшої експлуатації, зниженням ефективності або вимогою безвідмовності.

Безвідмовність - властивість системи або елементів зберігати працездатність протягом заданого інтервалу часу без вимушених перерв.

Відмова - подія, що полягає в порушенні працездатності, тобто коли система або елемент перестають цілком або частково виконувати свої функції.

Термін служби - календарна тривалість експлуатації до моменту виникнення граничного стану.

Напрацювання - тривалість або обсяг роботи елемента, яка вимірюється в годинах, кіловат-годинах.

Ресурс - напрацювання до граничного стану.

Середній час відновлення - середній час вимушеного нерегламентованого простою, викликаного пошуком і усуненням відмови.

Показниками надійності окремих елементів і системи в цілому, називають величини за допомогою яких надійність оцінюється кількісно. Надійність системи залежить від великої кількості чинників. Питання показників надійності елементів системи є достатньо складним. Йдеться не тільки про складність збору та аналізу

інформації, що впливає на надійність системи електропостачання, але й про дослідження конкретних факторів впливу.

При проектуванні системи електропостачання необхідно дослідити об'єкти, які будуть введені в експлуатацію через 2-5 років і будуть працювати протягом десятиліть. При цьому необхідно передбачити нове обладнання і апарати, інформації про надійність яких в експлуатаційних умовах ще недостатньо.

Тому виникає необхідність дослідження оцінки надійності нових елементів системи, для їх подальшої установки та експлуатації.

При роботі елементів системи можуть траплятися відмови. Провівши статистичний аналіз даних про відмови, можна визначити основні показники надійності.

Основними показники надійності є [2]:

1. Ймовірність відмови $F(t)$ - імовірність того, що відмова наступила до моменту часу t .

$$F(t) = p(\varphi_1 < t). \quad (1.1)$$

2. Інтенсивність відмов $\lambda(t)$, тобто імовірність того, що елемент відмовить у проміжок часу $(t + \Delta t)$, при цьому пропрацював безвідмовно до часу t .

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p(t < \varphi_1 < t + \frac{\Delta t}{\varphi_1} > t)}{\Delta t} = \frac{p(t < \varphi_1 < t + \frac{dt}{\varphi_1} > t)}{dt}, \quad (1.2)$$

де φ_1 - випадковий інтервал часу до першої відмови.

3. Щільність ймовірності відмови елемента – це похідна від ймовірності відмови, в даному випадку відмова відбудеться за $(t, t + \Delta t)$.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = p(t \langle \varphi_1 \langle t + \Delta t \rangle). \quad (1.3)$$

4. Інтенсивність відновлення, імовірність відновлення елемента за час $(t, t + \Delta t)$ при умові, що до цього часу він не був відновлений.

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p(t < \varphi_B < t + \frac{\Delta t}{\varphi_B} > t)}{\Delta t} = \frac{p(t < \varphi_B < t + \frac{dt}{\varphi_B} > t)}{dt}, \quad (1.4)$$

$$\mu(t) = \frac{m(t, \Delta t)}{M(t) \Delta t}.$$

5. Ймовірність безвідмовної роботи $R(t)$, тобто імовірність, що час безвідмовної роботи буде більший за час t .

$$R(t) = p(\varphi_1 > t). \quad (1.5)$$

6. Математичне сподівання τ , або середній час відновлення.

$$\tau = M(\varphi_B) = \int_0^{\infty} G(t) dt. \quad (1.6)$$

7. Середній час T , безвідмовної роботи.

$$T = M(\varphi) = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (1.7)$$

8. Імовірність $G(t)$, - час відновлення менше заданого.

$$G(t) = p(\varphi_B < t), \quad (1.8)$$

де φ_B - випадковий проміжок часу від початку до кінця відновлення роботи.

9. Параметр потоку відмов елемента.

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{p(t, t + dt)}{dt}. \quad (1.9)$$

1.2 Аналіз технічного стану обладнання, розподілу навантаження, характеру виробництва

Крім цього проводиться виготовлення і ремонт вузлів і деталей будь-якої складності (болти, гайки і наконечників систем насадок на труби зі сталі, алюмінію, дюралюмінію), комплектуючі частини, деталей для нестандартного обладнання. Виконуються роботи на верстатах по металообробці складнопрофільних деталей, механічна і гальванічна обробка деталей.

Споживачами електроенергії є:

- технологічне і інженерно-технічне обладнання;
- пристрої пожежної сигналізації;
- система основного та аварійного освітлення.

За ступенем надійності електропостачання більшість електроприймачів механічного виробництва відносяться до третьої категорії, однак наявні також споживачі які необхідно віднести до першої категорії, а саме: приточні і витяжні вентилятори, аварійне освітлення.

Згідно ПУЕ [3] ремонтно-механічний (інструментальний) цех відноситься до класу пожежонебезпеки П-III. Зони класу П-III розташовані поза приміщенням зон, в яких зберігаються горючі рідини або тверді горючі речовини.

Приміщення цеху не відноситься до вибухонебезпечних, так як в ньому відсутні вибухонебезпечні суміші горючих газів або парів легкозаймистих рідини (ЛЗР) з повітрям.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		18

Переважна більшість підприємств, що займається механічною обробкою використовує різноманітні методи обробки металевих заготовок чи деталей (лиття, різання, шліфування, свердління, пресування, термічна обробка).

До них належать такі види деталей: корпусні, стрижні (вали), циліндри (втулки), диски, плоскі (прямокутні, фасонні), кронштейни (важелі) та ін.

Крім цього, в механічних цехах, як правило, обробляється велика кількість деталей, що відрізняються як видом матеріалу, методом отримання заготовки, так і серійністю виробництва, складністю, габаритними, розмірами, конфігурацією, масою, точністю обробки, чистотою поверхні та іншими технічними характеристиками.

Широкий асортимент деталей передбачає багатоопераційність технологічних процесів. До основних видів відносяться такі процеси різання: точіння; свердління; фрезерування; стругання; шліфування.

Обробка металів різанням здійснюється на різноманітних металообробних верстатах: токарних; свердлильно-розточувальних; шліфувальних, полірувальних, заточувальних; електрофізичних і електрохімічних; фрезерних; стругальних.

Живлення цеху виконано лінією напругою 10 кВ. Для внутрішньо цехових електромереж найбільшого поширення має напругу 380 / 220В, основною перевагою якого є можливість спільного живлення силових і освітлювальних електроприймачів. Так як номінальна напруга електроприймачів 380 В, то рівень напруги живлення всередині цеху прийнятий 380 / 220В.

Для електропостачання механічного цеху найбільш оптимальним вважається вибір змішаної радіально-магістральної схеми. Вона характеризується тим, що від джерела живлення (трансформаторної підстанції), відходять лінії, що живлять безпосередньо окремі розподільні пункти й шинопроводи, від яких окремими лініями живляться більш дрібні електроприймачі. Радіально-магістральна схема забезпечує необхідну надійність живлення окремих споживачів, так як аварії локалізуються дією автоматичного вимикача пошкодженої лінії і не впливають на інші лінії.

У механічному цеху всі електроприймачі працюють від мережі змінного струму нормальної частоти 50 Гц. За потужністю електроприймачі розрізняють: малої потужності – до 10 кВт; середньої потужності - до 100 кВт. По режиму роботи електроприймачі цеху діляться на дві групи:

- з тривалим режимом роботи (режим, в якому електричні машини працюють тривалий час, при цьому не перегріваються). В даному цеху в тривалому режимі працюють такі установки як верстати, камера нагріву, вентилятори, преси, електроводонагрівачі.

- з повторно-короткочасним режимом (режим, в якому періоди роботи чергуються з періодами пауз, а тривалість всього циклу не перевищує десяти хвилин). У цеху в цьому режимі працюють зазвичай кранові установки.

1.3 Визначення методів підвищення надійності та гарантованості електропостачання

У даному підрозділі розглянуто загальні методи та можливості підвищення надійності системи електропостачання промислових підприємств, які можна впровадити як в існуючу систему електропостачання, так і при початку проектування. Дані варіанти об'єднані в сукупність рішень направлених як на окреме впровадження так і сукупність заходів для отримання загальної ефективності.

Підвищення надійності полягає в мінімізації частоти та тривалості аварійних відключень. До основних методів підвищення надійності електропостачання можна віднести:

1. Раціональне резервування:

В цехових мережах по стороні високої напруги (ВН) або низької (НН) в трансформаторних підстанціях (ТП); резервування виконується за рахунок роздільної або паралельної роботи ліній, трансформаторів в залежності від умов і вимог, а також за рахунок вибору числа незалежних джерел живлення з урахуванням категорії споживачів[4].

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	20
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		

2. Використання перевантажувальної здатності елементів системи електропостачання, що забезпечує надійне живлення споживачів при експлуатації систем електропостачання промислових підприємств. Режими перевантаження особливо важливі при пошкодженнях або відключеннях ліній, трансформаторів, секцій шин, окремих апаратів [4].

3. Удосконалення технічного обслуговування: оптимізація періодичності та складності капітальних ремонтів, зниження тривалості аварійних ремонтів, оптимізація графіків проведення планових оглядів та технічного обслуговування.

4. Підвищення якості ремонту обладнання, що збільшує міжремонтні терміни, знижує витрати праці і матеріальних коштів. Такий ремонт повинен проводитися кваліфікованим персоналом, добре знаючим конструкцію устаткування, сучасну технологію ремонту, а також володіючим високою професійною підготовкою та практичними навичками [4].

5. Застосування, правильний вибір і компонування сучасного обладнання. Обране устаткування повинно бути стійким до дій струмів КЗ. Що стосується компонування, то при особливо високих вимогах до надійності електропостачання, секції РУ розташовують в різних приміщеннях.

6. Впровадження автоматизації та телемеханізації, що дозволяє підвищити ще і безпеку обслуговування, ефективність управління об'єктами електропостачання та уникнути помилкових дій персоналу [4].

7. Підвищення надійності релейного захисту та автоматики за рахунок застосування мікропроцесорної елементної бази, правильної експлуатації і технічного обслуговування.

Досвід експлуатації систем електропостачання промислових підприємств показав, що можливості підвищення надійності функціонування знаходяться в експлуатації аналогових пристроїв РЗА вичерпані. Застосування мікропроцесорних пристроїв і систем РЗА відкриває широкі можливості якісного підвищення надійності їх функціонування.

Досвід експлуатації мікропроцесорних пристроїв РЗА за кордоном показав, що ці пристрої мають рівні або кращі показники надійності, потребують меншої

періодичності проведення технічних обслуговувань в порівнянні з традиційними системами. При застосуванні мікропроцесорних пристроїв РЗА в системах електропостачання нарівні з релейно-контактними пристроями особливу увагу необхідно звертати на готовність цієї системи щодо забезпечення електромагнітної сумісності [4].

8. Вибір найбільш доцільного часу виведення обладнання в ремонт, а саме поєднання планових ремонтів електрообладнання з плановими ремонтами технологічного обладнання, завчасне переключення електропостачання на тимчасове живлення від резервних джерел.

Наприклад, плановий ремонт одного з двох трансформаторів двотрансформаторної ТП доцільніше проводити в період роботи зі зниженим навантаженням споживача.

9. Зменшення числа трансформацій, де це можливо, і в першу чергу трансформацій 10/6 кВ, що підвищує також економічність системи електропостачання за рахунок зменшення втрат електроенергії.

10. Забезпечення пожежної безпеки електротехнічних споруд (підстанцій, кабельних тунелів та ін.), Використання механізмів сигналізації і локалізації пожеж.

11. Використання гарантованих джерел живлення (дизель-генераторів, акумуляторних батарей, ВДЕ як джерело акумуляції).

12. . Впровадження ремонтів під напругою.

13. Зниження насичення мереж автоматичною комутаційною апаратурою, так як самі апарати можуть бути джерелом аварій.

14. Компенсація реактивної потужності (КРП). За рахунок КРМ по НН можна розвантажити цехової трансформатор ТП і при зростанні навантаження завантажити його додатково активною потужністю.

15. Підвищення статичної та динамічної стійкості системи електропостачання. Найбільш ефективним засобом для досягнення цієї мети є зменшення часу дії пристроїв РЗА.

16. Підвищення якості електроенергії шляхом зниження несиметрії напруг можна досягти, як показує досвід експлуатації систем електропостачання, в

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	22
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		

основному двома шляхами:

- раціональним пофазним розподілом однофазних навантажень;
- застосуванням симетрувальних пристроїв.
- Для зниження несинусоїдальності напруг (зменшення вищих гармонік)

застосовують такі засоби:

- роздільне живлення приймачів з нелінійною вольт-амперною характеристикою і звичайних загальнопромислових приймачів, яке здійснюють від різних секцій шин підстанцій;

- збільшення числа фаз випрямлення, так, при переході від 6-фазної схеми до 12-фазної схеми випрямлення, несинусоїдальність напруг мережі зменшується приблизно в 1,4 рази;

17. Удосконалення конструкцій і матеріалів, з яких виготовляють електрообладнання для систем електропостачання.

18. Підвищення якості та рівня експлуатації електроустаткування (правильне застосування мастильних матеріалів, своєчасна чистка світильників, правильна заміна зношених деталей).

Висновки до розділу 1

Провівши аналіз основних показників надійності промислових підприємств на прикладі механічного цеху, можна сказати, що для нормальної роботи електроприймачів підприємства необхідно враховувати велику кількість факторів пов'язаних як з надійністю, так і показниками якості електроенергії та обладнання в цілому. Для підвищення надійності електропостачання промислових підприємств пропонують велику кількість технічних та інноваційних рішень, які забезпечують не тільки надійність, а й безпечні умови роботи на підприємстві.

Головним питанням є впровадження запропонованих систем як в існуючу так і заново проєктовану систему електропостачання. При цьому необхідно розглядати варіанти впровадження даних заходів як для окремих елементів, електроприймачів, а також для системи в цілому.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	23
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		

2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Умови проєктування

2.1.1 Стисла характеристика об'єкту проєктування

В даному проєкті розглянута система електропостачання промислового об'єкту, а саме механічного цеху з обробки та виготовлення деталей та комплектуючих до різних типів обладнання.

Механічний цех є допоміжним і працює сумісно з іншими цехами, що знаходяться на території підприємства. Головним завданням механічного цеху є обробка сировини, виконання електротермічної обробки, токарних, фрезерних, шліфувальних, свердлильних етапів підготовки деталей.

Для цього на території цеху передбачені: шліфувальні верстати, обдираючі верстати, свердлильні станки, токарні верстати, агрегатні верстати, електротермічні установки, мостовий кран для завантаження сировини та деталей. Також наявна система вентиляції яка розміщена в окремому приміщенні (вентиляційна камера) та окреме, складське приміщення для зберігання сировини та готових деталей. Основне частина обладнання установлена в верстатному відділенні:

- верстати різного призначення
- підйомно-транспортні механізми.
- електротермічні установки.

Цех працює в 2 зміни з можливими корективами графіку у зв'язку з святами.

Розглянуте в проєкті підприємство і безпосередньо механічний цех знаходяться на території Київської області. Територія має відкритий ландшафт та відноситься до III кліматичної зони [5].

					НТУУ.001.7111.046ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Наталич В.О.			РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Замулко А.І.					24	67
Реценз.		Коломійчук Г.П.				НТУУ КП, ІЕЕ, ОЕ-71		
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						
Затверд.								

Найвища температура повітря складає плюс 45°C, найнижча температура мінус 30 °C. Середня кількість опадів – 649 мм, середня висота снігового покриву 20 см, глибина промерзання 1,5-1,8 м. На даній території переважають темно-сірі і світло-сірі опідзолені чорноземи.[5]

Для встановлення блискавкозахисту було проведено аналіз інтенсивності грозової діяльності на даній території, що складає близько 40-60 годин. Тому приміщення цеху можна віднести до III категорії блискавкозахисту з зоною Б.[6]

2.1.2 Характеристика основних споживачів електричної енергії

Механічний цех підприємства обладнаний токарними, фрезерними, свердлильними, шліфувальними, заточними та іншими видами верстатів та технологічного обладнанням.

Головні приводи верстатів відносяться до режиму роботи з тривалим і змінним навантаженням і повинні мати жорсткі механічні характеристики, адже швидкість обробки деталей та сировини не повинна залежати від короточасних змін навантаження. Це пояснює використання асинхронних двигунів для яких притаманні саме такі характеристики.

Майже всім електроприймачам цеху необхідне живлення трифазним змінним струмом частотою 50 Гц. Потужність електроприймачів має відносно середнє значення (до 60 кВт, окрім шліфувальних верстатів потужністю 88,5 кВт), тому мережі цехового обладнання забезпечуються відповідним живленням під напругою 380/220В. Іншою групою споживачів електроенергії цеху є приточні та витяжні вентилятори, світильники електроосвітлення, які теж відносяться до споживачів змінного струму.

Відповідно до вимог пункту 1.2.17 [3] та 7.5, 7.6 [7], споживачі електричної енергії цеху відносяться до I та III категорій щодо надійності електропостачання і розподіляються відповідно на 10% та 90%.

До споживачів I категорії віднесемо вентиляційні установки, адже підприємство займається механічною обробкою деталей, має велику кількість

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		25

відходів в вигляді металевого пилу. Тому необхідно забезпечити надійну, безперебійну роботу системи вентиляції для безпечних умов праці.

Керуючись ПУЕ [3] наведемо визначення даних ЕП.

У складі електроприймачів I категорії виділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких є необхідною для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного, основного обладнання, втраті важливої інформації.

Більшість обладнання підприємства є допоміжним, в основному це верстати для обробки деталей. Тому можемо віднести дані електроприймачі до III категорії надійності, адже зупинка їх електропостачання на деякий термі не призведе до значних матеріальних втрат, і не зашкодить працівникам підприємства.

Провівши аналіз електроприймачів підприємства було виконано розподіл що до категорійності електроприймачів, його представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Дані електроприймачів цеху

СПі	Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_n , кВт	Категорія надійності ЕП після проведення оцінки
СП№1	40,41	Вентилятор приточний	0,6	0,8	40	I
	38,39	Вентилятор витяжний	0,6	0,8	30	I
СП№2	31-33	Агрегатні верстати	0,3	0,7	12	III
	16-23	Фрезерувальні верстати	0,22	0,5	12	III
	24-26	Свердлильні верстати	0,14	0,6	3,5	III
	11-15	Заточувальні верстати	0,2	0,5	5	III
СП№3	7-10	Обдираючі верстати	0,17	0,5	40	III
	37	Мостовий кран ТВ=60%	0,1	0,5	60	III
СП№4	1–6	Шліфувальні верстати	0,22	0,6	88,5	III
СП№5	27-29	Токарні верстати	0,16	0,6	24	III
	30,34-36	Електротермічні установки	0,6	0,9	20	III
ЩО	Щит основного освітлення					III
ЩАО	Щит аварійного освітлення, звукової сигналізації, аварійних панелей виходу					I

2.1.3 Класифікація приміщення об'єкту проєктування

Розміри цеху $A \times B \times H = 45 \times 35 \times 10$ м,

де A – довжина;

B – ширина;

H – висота;

Робочі приміщення мають відокремлення у вигляді цегляної стіни товщиною 20 см, та висотою 3,2 м, по всій території встановлена загальна система вентиляції.

План розміщення електроприймачів цеху представлено на рисунку 2.1.

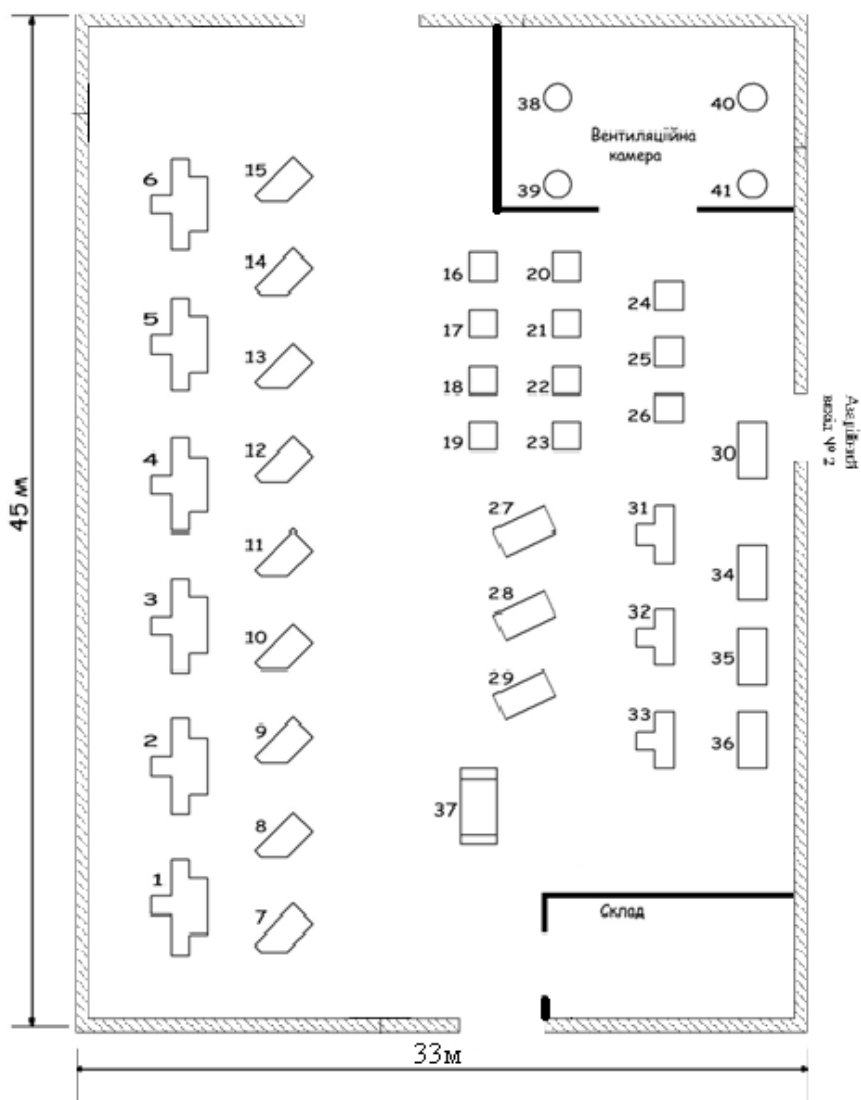


Рисунок 2.1 – План розміщення ЕП механічного цеху

Відповідно [8] цех можна віднести до Категорії Д. (негорючі речовини та матеріали в холодному стані).

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

27

Відповідно до категорії Д належать механічні майстерні, цехи холодної обробки металу, повітродувні станції, склади металу. Однак, необхідно враховувати той фактор, що на підприємстві працює велика кількість витяжних та приточних вентиляторів і даний цех має достатньо високий показник запиленості металевими відходами.

Простір приміщення цеху під час нормальної експлуатації має значну запиленість в вигляді металевого пилу та стружки. Приміщення відноситься до простору де можуть утворюватися небезпечні концентрації суміші або пилові шари надмірної товщини.

Ступінь захисту освітлювальних приладів та струмопровідних частин має бути IP 5X. Так як в цехах підприємства присутні фактори, такі як запиленість приміщень та інші, які можуть негативно впливати на надійну експлуатацію електричного обладнання [9].

Питомі виділення пилу при абразивному заточенню інструменту для обладнання: спеціальні верстати для заточування, верстати для заточування різального інструменту деревообробних верстатів.

Представлені сумарні виділення пилу металевий та абразивної стружки у співвідношенні: 70% пилу металу і 30% пилу абразиву.

2.1.4 Характеристика джерела живлення

Система як джерело живлення задана наступними параметрами:

- 1) Номінальною потужністю вимкнення вимикача, встановленого на лінії зв'язку з системою – 4700 МВА;
- 2) індуктивним опором системи у відносних номінальних одиницях - 0,22;
- 3) струмом однофазного короткого замикання - 19 кА.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		28

2.1.5 Вимоги до якості електричної енергії

Згідно з пунктом 4.2.2.1 [10] встановлені відповідні вимоги до якості електричної енергії.

Номінальне значення частота напруги електропостачання повинна бути 50 Гц.

За нормальних умов роботи середнє значення частоти основної складової напруги, яку виміряно на проміжку 10 с, має бути в межах:

- 50 Гц $\pm$ 2 % (тобто 49 Гц...51 Гц) протягом 95 % робочого часу на тиждень;
- 50 Гц $\pm$ 15 % (тобто 42,5 Гц...57,5 Гц) протягом 100 % часу вимірювання;

У нормальних робочих умовах, за винятком моментів перерв в електропостачанні, змінення напруги не повинні перевищувати $\pm$ 10 % від значення номінальної напруги.

Згідно ДБН В.2.5-23:2010 [5], задовільне значення коефіцієнта потужності має бути рівним 0,95 ($\cos \varphi = 0,95$).

Враховуючи достатньо малий коефіцієнт активної потужності деяких електроприймачів, зрозуміло, що більшість з них будуть споживачами великої кількості реактивної потужності, а тому в подальшому необхідне встановлення компенсуючи пристроїв.

2.1.6 Обґрунтування кількості та місця розміщення силових розподільних пунктів і щитів освітлення

Розміщення СП має відповідати вимогам ПУЕ 4.1.32 - 4.1.36 [3]. Також необхідно враховувати наступні фактори:

- При групуванні електроприймачів до відповідних СП необхідно враховувати потужність, характер роботи, наявність вищих гармонік.
- Варто враховувати категорію надійності ЕП для підключення резервного живлення до відповідних СП.
- Раціональне розташування СП неподалік від електроприймачів,

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		

дозволить зменшити економічні витрати на кабельну продукцію та монтаж.

- Використання магістральних та радіальних схем в залежності від потужності та характеру ЕП.
- Радіальне під'єднання споживачів, що впливають на параметри напруги, в окремі СП.
- Живлення аварійного освітлення має здійснюватись окремо від загального згідно ДБН В.2.5-28:2018 [11].

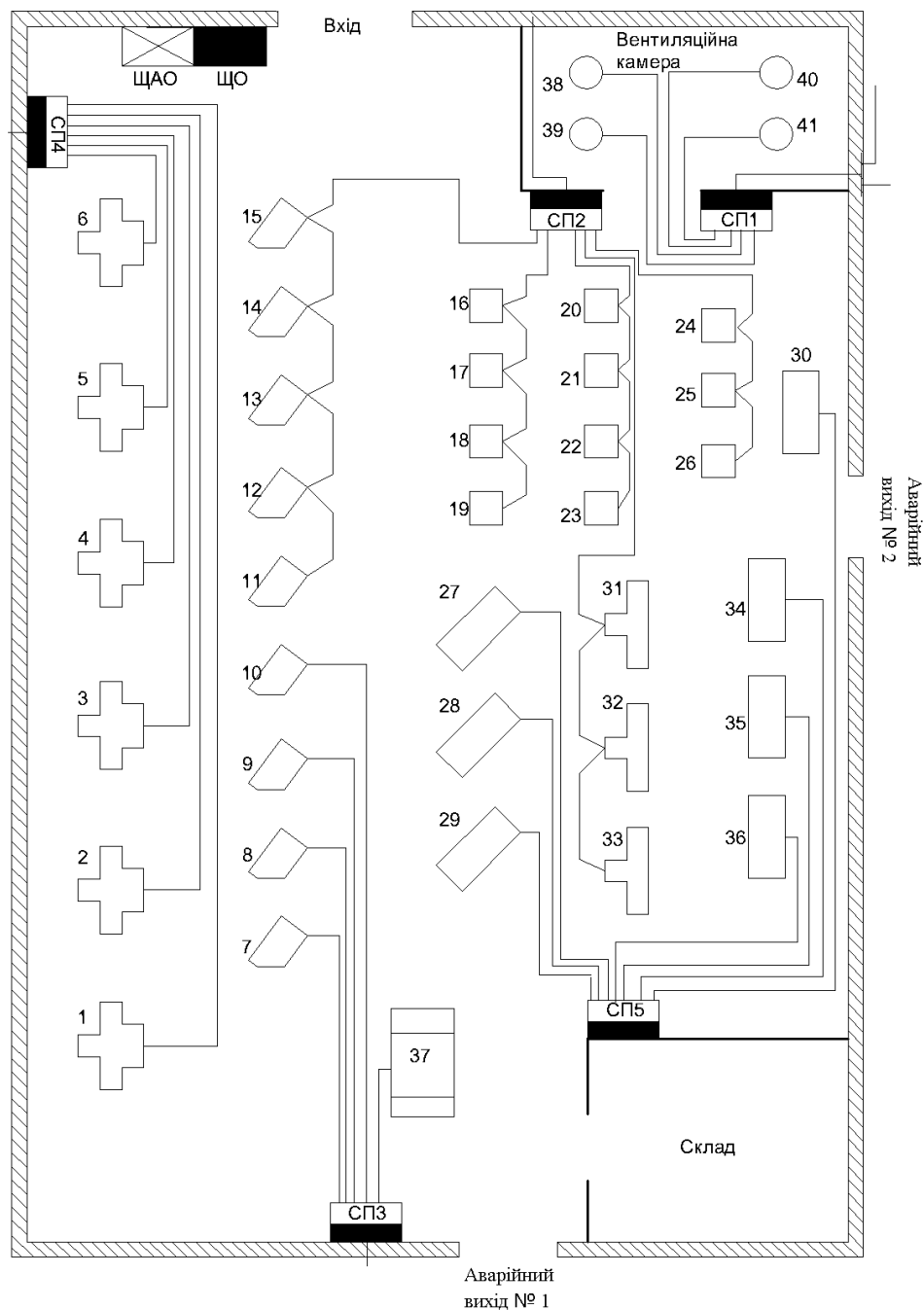


Рисунок 2.2 – План встановлення та підключення ЕП до СП

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

30

2.2 Визначення розрахункових навантажень механічного цеху

2.2.1 Методика розрахунку

Визначення розрахункових навантажень для промислового об'єкту виконуємо з використанням форми Ф636-92 згідно[5]:

Розраховується сумарна номінальна потужність:

$$P_{\Sigma H} = N \cdot P_{\text{нит}}, \quad (2.1)$$

де n – кількість ЕП;

$P_{\text{ні}}$ - номінальна потужність ЕП;

Проміжну потужність визначаємо за допомогою коефіцієнта використання K_B :

$$P_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H}, \quad (2.2)$$

$$Q_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \text{tg}(f), \quad (2.3)$$

де k_B - коефіцієнт використання;

. Розрахунок значення групового коефіцієнта використання:

$$K_B = \frac{\sum P_{\Pi}}{\sum P_H}, \quad (2.4)$$

Визначення ефективного числа ЕП (n_e):

Якщо $\frac{P_{i \max}}{P_{i \min}} \leq 3$; або $n_p > n_f$, то примусово приймаємо значення розрахункової

ефективної кількості ЕП рівною фактичній кількості.

де $P_{H \max}$,
 $P_{H \min}$, максимальна та мінімальна потужності окремих електроприймачів.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Визначають коефіцієнт розрахункового навантаження (K_P) в функції від групового коефіцієнту використання і ефективного числа ЕП. K_P визначається методом інтерполяції з довідкових таблиць (додаток А).

$$\frac{n_{e0} - n_{e1}}{n_{e2} - n_{e1}} = \frac{K_{P0} - K_{P1}}{K_{P2} - K_{P1}}.$$
(2.5)

Визначається розрахункова активна потужність:

$$P_P = K_P \cdot \sum P_{Pi},$$
(2.6)

де K_P - коефіцієнт розрахункового навантаження;

Визначається розрахункова реактивна потужність:

$$Q_P = K_Q \cdot \sum Q_{Pi},$$
(2.7)

де K_Q - коефіцієнт розрахункової потужності може приймати два значення, в залежності від розрахованої ефективної кількості ЕП. У випадку $n_e < 10$, $K_Q = 1.1$, коли $n_e > 10$, $K_Q = 1$;

Повну потужність знайдемо за формулою:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}.$$
(2.8)

Розрахунковий струм знаходимо за формулою, приймаючи той факт, що всі ЕП працюють на напрузі 380 В.

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}.$$
(2.9)

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

2.2.2 Вихідні дані для проведення розрахунку

Вихідні дані для проведення розрахунку навантажень механічного цеху представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри електроприймачів цехової мережі

СПі	Номери ЕП на плані цеху	Назва ЕП	k_v	$\cos\varphi$	Номінальна потужність P_n , кВт
СП№1	40,41	Вентилятор приточний	0,6	0,8	40
	38,39	Вентилятор витяжний	0,6	0,8	30
СП№2	31-33	Агрегатні верстати	0,3	0,7	12
	16-23	Фрезирувальні верстати	0,22	0,5	12
	24-26	Свердлильні верстати	0,14	0,6	3,5
	11-15	Заточувальні верстати	0,2	0,5	5
СП№3	7-10	Обдираючі верстати	0,17	0,5	40
	37	Мостовий кран ТВ=60%	0,1	0,5	60
СП№4	1–6	Шліфувальні верстати	0,22	0,6	88,5
СП№5	27-29	Токарні верстати	0,16	0,6	24
	30,34-36	Електротермічні установки	0,6	0,9	20

2.2.3 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів цехової мережі.

Розрахунок покажемо на прикладі розрахунку навантаження силового пункту №3 (СП №3):

Розраховується сумарна номінальна потужність:

Для обдираючі верстатів згідно з формулою (2.1):

$$P_{\sum H} = N \cdot P_{\text{пит}} = 4 \cdot 40 = 160 \text{ кВт}$$

Для мостових кранів:

$$P_{\sum H} = N \cdot P_{\text{пит}} = 1 \cdot 60 = 60 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт реактивної потужності силових споживачів беремо з таблиці 2.2.

Проміжну потужність визначаємо за допомогою коефіцієнта використання K_B :

Для мостового крана за формулою (2.2),(2.3):

$$P_{II} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \sqrt{TB} = 0.1 \cdot 60 \cdot \sqrt{0.6} = 4,647 \text{ кВт}$$

$$Q_{II} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}(f) \cdot \sqrt{TB} = 0.1 \cdot 60 \cdot \frac{\sqrt{1-0.5^2}}{0.5} \cdot \sqrt{0.6} = 8,05 \text{ квар}$$

Для обдираючи верстатів маємо:

$$P_{II} = K_B \cdot P_{\Sigma H} = 0.17 \cdot 160 = 27,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{II} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}(f) = 0.17 \cdot 160 \cdot \frac{\sqrt{1-0.5^2}}{0.5} = 47,111 \text{ квар}$$

Аналогічним чином визначаємо сумарну номінальні та проміжні потужності для решти ЕП силових пунктів. Результати зведемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Зведені розрахунки СП№1, СП№2, СП№3, СП№4 та СП№5

Вихідні дані										Проміжні потужності	
За умовою							Довідкові				
Найм. ЕП	п од	Номінальна потужність кВт				Рпmax/ Рпmin	кв/Кв	cos(f)	tg(f)	Рп кВт	Qп кВт
		Рпi	РпΣ	Рпi max	Рпi min						
Вентилятор приточний	2	40,0	80				0,60	0,80	0,75	48	36
Вентилятор витяжний	2	30,0	60				0,60	0,80	0,75	36	27,00
СП1	4		140	40,0	30,0	1,333333	0,60			84	63,00
Агрегатні верстати	3	12,0	36				0,30	0,70	1,02	10,8	11,02
Свердлильні верстати	3	3,5	10,5				0,22	0,50	1,73	2,31	4,00
Заточувальні верстати	5	5,0	25				0,14	0,60	1,33	3,5	4,67
Фрезирувальні верстати	8	12,0	96				0,20	0,50	1,73	19,2	33,26
СП2	19		167,5	12,0	3,5	3,428571	0,21			35,81	52,94
Обдираючі верстати	4	40,0	160				0,17	0,50	1,73	27,2	47,11
Мостовий кран ТВ=60%	1	60,0	60				0,10	0,50	1,73	4,64758	8,05
СП3	5		220	60,0	40,0	1,5	0,15			31,84758	55,16
Шліфувальні верстати	6	88,5	531				0,22	0,60	1,33	116,82	155,76
СП4	6		531	88,5	88,5	1,00	0,22			116,82	155,76
Токарні верстати	3	24	72				0,16	0,6	1,333333	11,52	15,36
Електротермічні установки	4	20	80				0,60	0,9	0,484322	48	23,24746
СП5	7		152	24	20	1,20	0,39			59,52	38,60746
							0,39				

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

34

Розраховується значення групового коефіцієнта використання за формулою (2.4):

$$K_B = \frac{\sum P_{II}}{\sum P_H} = \frac{31,85}{220} = 0,15$$

Визначається ефективне число ЕП (n_e):

Якщо $\frac{P_{i \max}}{P_{i \min}} \leq 3$; або $n_p > n_f$, то примусово приймаємо значення розрахункової ефективної кількості ЕП рівною фактичній кількості.

Перевіримо:

$$\frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{60}{40} = 1,5 < 3$$

$$n_e = \frac{\left(\sum P_{H \Sigma} \right)^2}{\sum N \cdot (P_{\text{пит}})^2} = \frac{220^2}{29200} = 4.84$$

Оскільки $\frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{60}{40} = 1,5 < 3$, приймаємо значення рівним $n_e = 5$.

Визначають коефіцієнт розрахункового навантаження (K_p) в функції від групового коефіцієнту використання і ефективного числа ЕП. K_p визначається методом інтерполяції за довідниковою таблицею 2 (додаток А).

$$\frac{n_{e0} - n_{e1}}{n_{e2} - n_{e1}} = \frac{K_{p0} - K_{p1}}{K_{p2} - K_{p1}}$$

$$\frac{5 - 4}{6 - 4} = \frac{K_{p0} - 1.96}{2.47 - 1.96}$$

$$K_p = 2.215$$

Знаходимо розрахункову активну потужність за формулою (2.6):

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{II} = 2.215 \cdot 31.85 = 70.54 \text{ кВт.}$$

Визначають розрахункову реактивну потужність за формулою (2.7):

Коефіцієнт розрахункової потужності може приймати два значення, в залежності від розрахованої ефективної кількості ЕП. У нашому випадку $K_Q=1.1$, оскільки $n_e < 10$.

$$Q_p = K_Q \cdot \sum Q_{II} = 1.1 \cdot 55.16 = 60.67 \text{ квар}$$

Повну потужність знайдемо за формулою (2.8):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

$$S_p = \sqrt{70.54^2 + 60.67^2} = 93.05 \text{ кВА};$$

Розрахунковий струм знаходимо за формулою (2.9), приймаючи той факт, що всі ЕП працюють на напрузі 380 В.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{93.05}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 141.37 \text{ А}$$

Аналогічний розрахунок для інших СП зведемо до таблиці 2.4.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.4 – зведені розрахунки навантаження цеху

Вихідні дані															Розрахунковий струм Ір,А					
За умовою				Довідкові				Проміжні потужності			Ne розрах	Ne	Кр	Розрахункова потужність						
Найм. ЕП	п од	Номинальна потужність кВт			Pнi max	PнΣ	Pнi min	Pнi max/ Pнi min	кв/Кв	cos(f)				tg(f)	Pп кВт	Qп кВт	Ne розрах	Ne	Кр	Pр кВт
		Pнi	40,0	80																
Вентилятор приточний	2	40,0	80					0,60	0,80	0,75	36	48	36							
Вентилятор витяжний	2	30,0	60					0,60	0,80	0,75	36	36	27,00							
СП1	4		140	40,0	30,0	1,333333		0,60			84	63,00	3,92	4	1,18	99,12	69,3	120,9432	183,75422	
													Pнi max/ Pнi min<3							
Агрегатні верстати	3	12,0	36					0,30	0,70	1,02	10,8	11,02								
Свердильні верстати	3	3,5	10,5					0,22	0,50	1,73	2,31	4,00								
Заточувальні верстати	5	5,0	25					0,14	0,60	1,33	3,5	4,67								
Фрезерувальні верстати	8	12,0	96					0,20	0,50	1,73	19,2	33,26								
СП2	19		167,5	12,0	3,5	3,428571		0,21			35,81	52,94	16,0712	16,0000	1,125	40,28625	52,94128	66,5264	101,0764	
Обдирючі верстати	4	40,0	160					0,17	0,50	1,73	27,2	47,11								
Мостовий кран ТВ=60%	1	60,0	60					0,10	0,50	1,73	4,64758	8,05								
	5		220	60,0	40,0	1,5		0,15			31,84758	55,16	4,84	5	2,215	70,54239	60,67779	93,0485	141,37257	
СП3																				
	6	88,5	531					0,22	0,60	1,33	116,82	155,76								
СП4	6		531	88,5	88,5	1,00		0,22			116,82	155,76	6	6	1,515	176,9823	171,336	246,3306	374,26061	
Токарні верстати	3	24	72					0,16	0,6	1,333333	11,52	15,36								
Електротермічні установки	4	20	80					0,60	0,9	0,484322	48	23,24746								
	7		152	24	20	1,20		0,39			59,52	38,60746	6,942308	7	1,19	70,8288	42,46821	82,58491	125,47479	
СП5								0,39												
	41		1210,50	88,50	3,50	25,29		0,27			328,00	365,47	27,36	27,00	0,75	246,00	274,10	368,30	559,58	
ΣСП																				

Щит освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», вважаючи що обробка механічних деталей потребує достатньо великої точності і гарної якості освітлення, характеризуємо роботу як роботу малої точності, розряду 5 В [11].

Тому загальна освітленість має бути близько 200 лк, як для більшості підприємств.

Для розрахунку освітлення в електромеханічному цеху використаємо метод коефіцієнта використання за [12].

Потрібний потік ламп в кожному світильнику Φ знаходиться з формули:

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{\eta}; \quad (2.10)$$

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{\eta} = \frac{200 \cdot 1.4 \cdot 1485 \cdot 1.1}{0.62} = 737709,677 \text{ (лм)},$$

де K_3 – коефіцієнт запасу;

$E_{\min}$ – мінімальна освітленість, лк;

F – площа, приміщення, що освітлюється, м^2 ;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку – відношення світлового потоку, який падає на робочу поверхню, до світлового потоку світильників;

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін $\rho_{\text{ст}}$, стелі $\rho_{\text{с}}$, робочої поверхні $\rho_{\text{р}}$, та від показника приміщення i , який враховує співвідношення розмірів приміщення [12].

Приймаємо:

$$\rho_{\text{ст}} = 0,5$$

$$\rho_{\text{с}} = 0,3$$

$$\rho_{\text{р}} = 0,1$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		38

Коефіцієнт запасу $K_z = 1,4$;

Мінімальна освітленість $E_{\min} = 200$ лк;

Коефіцієнт нерівномірності $z = 1,1$;

Площа приміщення:

Враховуємо те, що під загальну площу підпадають ще два приміщення: вентиляційна камера та склад, але висота стін що відгороджують дані приміщення не перешкоджає встановленню загального освітлення на всю площу приміщення цеху.

$$F = A \cdot B; \quad (2.11)$$

$$F = 45 \cdot 33 = 1485 \text{ м}^2,$$

де A – довжина цехового приміщення;

B – ширина цехового приміщення;

Визначимо показник, який враховує співвідношення розмірів приміщення (індекс приміщення):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (2.12)$$

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2.13)$$

де $H = 10$ м – висота приміщення цеху;

$h_p = 0,8$ м – висота робочої поверхні над підлогою згідно норм;

Висота мостового крану даної потужності складає 7 м, а тому:

$h_c = 2$ м – відстань світильників від перекриття;

$$h = 10 - 0,8 - 2 = 7,2 \text{ м.}$$

Тоді:

$$i = \frac{45 \cdot 33}{7,2 \cdot (45 + 33)} = 2,64;$$

$$\eta = 0,62$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Визначимо світловий потік однієї лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості, лм [12]:

Нормоване значення освітленості для цеху дорівнює 200 лк.

Коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,15$.

Обираємо значення коефіцієнту запасу $k_3 = 1,8$.

Обираємо промисловий світильник серії LKSR1 $\Phi_{\text{л}} = 18750$ лм, $P_{\text{л}} = 150$ Вт

$U = 220-240$ В, $\cos(\mu)=0,7$, що представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 - промисловий світильник серії LKSR1

Кількість світильників :

$$N_{\text{св}} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (2.14)$$

$$N = \frac{737709,677}{18750} = 39,344 \approx 40 \text{ шт.}$$

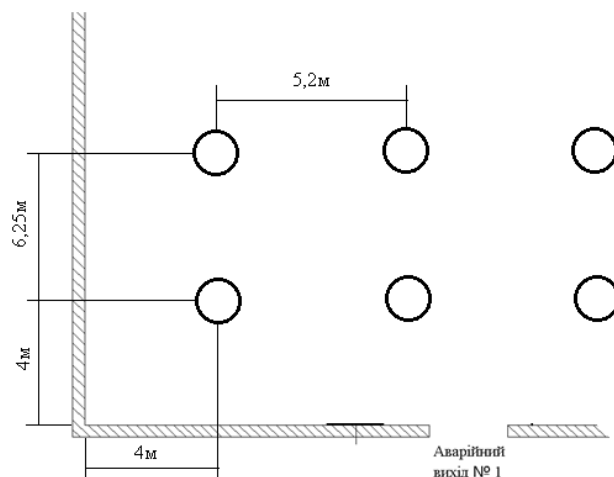


Рисунок 2.4 – схема розміщення світильників

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

40

Розрахункова потужність ЩАО

Для забезпечення аварійного освітлення (10 лк) використаємо промисловий світильник серії PACIFIC LED : $\Phi_{\text{л}} = 5000$ лм, $P_{\text{л}} = 58$ Вт $U = 220-240$ В. $\cos(\mu) = 0.7$, що представлений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - промисловий світильник серії PACIFIC LED

$$\Phi = \frac{E_{\text{мін}} \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{\eta} = \frac{10 \cdot 1.4 \cdot 1485 \cdot 1.1}{0.62} = 36885,48$$
$$N = \frac{36885,48}{5000} = 7.377 \approx 8$$

Знайдемо розрахункову потужність ЩО:

Відповідно [11] (пункту 3.21) приймаємо коефіцієнт попиту аварійного освітлення рівним 1.

Також враховуємо 4 світлових показників «ВИХІД» потужністю 40 Вт та 4 пристроїв звукової сигналізації потужності 10 Вт, враховуючи наявність додаткових приміщень.

$$P_{P_ВИХІД} = N \cdot P_N \cdot K_B = 4 \cdot 0.04 \cdot 1 = 0.16 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_ВИХІД} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \text{tg}(\varphi) = 4 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 0,25 = 0,04 \text{ квар}$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		41

$$P_{P_ЗВУК} = N \cdot P_N \cdot K_B = 4 \cdot 0.01 \cdot 1 = 0,04 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_ЗВУК} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 4 \cdot 0.01 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0.01 \text{ квар}$$

$$P_{P_ОСВ_ОСНОВНЕ} = N \cdot P_N \cdot K_B = 40 \cdot 0.2 \cdot 0.95 = 7.6 \text{ кВт}$$

$$P_{P_ОСВ_АВАР} = N \cdot P_N \cdot K_B = 8 \cdot 0.2 \cdot 1 = 1.6 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_ОСВ_ОСНОВНЕ} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 40 \cdot 0.2 \cdot 0.95 \cdot 0.328 = 2.49 \text{ квар}$$

$$Q_{P_ОСВ_АВАР} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 8 \cdot 0.2 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0.4 \text{ квар}$$

$$\begin{aligned} P_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} &= P_{P_ОСВ_ОСН} + P_{P_ОСВ_АВАР} + P_{P_ОСВ_ВІХ} + P_{P_ЗВУК} = \\ &= 0,16 + 0,04 + 7,6 + 1,6 = 9,4 \text{ кВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} &= Q_{P_ОСВ_ОСН} + Q_{P_ОСВ_АВАР} + Q_{P_ОСВ_ВІХ} + Q_{P_ЗВУК} = \\ &= 0.04 + 0.01 + 2.49 + 0.4 = 3.39 \text{ квар} \end{aligned}$$

$$S_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} = \sqrt{((9,4)^2 + (3,39)^2)} = 9,99 \text{ кВА}$$

$$I_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ} = \frac{S_{P_ЩО+ЩАО+ВІХ+ЗВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{0,38}} = \frac{9,99}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 15,18 \text{ А}$$

Цех не потребує встановлення зовнішнього освітлення, адже знаходиться на території підприємства що вже має зовнішню систему освітлення.

2.2.4 Розрахунок навантаження шин низької та високої напруги ТП

Знайдемо загальний коефіцієнт використання по цеху:

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		42

$$K_B = \frac{\sum_{\text{СП}=1}^5 P_{\Pi i}}{\sum_{\text{СП}=1}^5 P_{\text{Hi}}} = \frac{328}{1210,5} = 0.27$$

Знайдемо ефективну кількість ЕП по цеху за спрощеною формулою при умовах:

$$\frac{P_{\text{нтах}}}{P_{\text{нтін}}} = \frac{88,5}{3,5} = 25,29 > 3$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^5 P_{\text{H-СП}i}}{P_{\text{нтах}}} = \frac{2 \cdot (1210,50)}{88,5} = 27.36 \approx 27$$

$$n_e = 27 < n_e = 41$$

$$K_p = 0.75$$

K_p визначається методом інтерполяції за довідниковою таблицею 2 (додаток А).

Потужності на шинах низької напруги трансформатора:

$$P_{P_HH} = K_p \sum_{i=1}^5 P_{\Pi_i} + P_{P_OCB_ЩО+ЩАО+ВНХ+ЗВ}$$

$$P_{P_HH} = 0.75 \cdot (328) + 9,9 = 255,4 \text{ кВт} \quad , \quad (2.15)$$

$$Q_{P_HH} = K_p \sum_{i=1}^3 Q_{\Pi_i} + Q_{P_OCB_ЩО+ЩАО+ВНХ+ЗВ}$$

$$P_{P_HH} = 0.75 \cdot (328) + 9,9 = 255,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_HH} = 0.75 \cdot (365,47) + 3,39 = 277,49 \text{ квар}$$

$$S_{P_HH} = \sqrt{(P_{P_HH}^2 + Q_{P_HH}^2)} = \sqrt{(255,4^2 + 277,49^2)} = 377,13 \text{ кВА}$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Струм навантаження на шині НН трансформатора:

$$I_{P_HH} = \frac{S_{P_HH}}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{377,13}{0,38 \cdot \sqrt{3}} = 573 \text{ A}$$

Втрати активної та реактивної потужності визначаються стандартними коефіцієнтами $0,02 \cdot S_{P_HH}$ та $0,1 \cdot S_{P_HH}$ відповідно.

$$\Delta P = 0,02 \cdot S_{P_HH} = 0,02 \cdot 377,13 = 7,54 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = 0,1 \cdot S_{P_HH} = 0,1 \cdot 377,13 = 37,71 \text{ квар}$$

Навантаження на шини ВН трансформатора:

$$S_{P_BH} = (\Delta P + P_{P_HH})^2 + (\Delta Q + Q_{P_HH})^2$$

$$S_{P_BH} = \sqrt{(7,54 + 255,4)^2 + (37,71 + 277,49)^2} = 410,48 \text{ кВА}$$

$$I_{P_BH} = \frac{S_{P_BH}}{U_2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{410,48}{10 \cdot \sqrt{3}} = 23,7 \text{ A}$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 Зведені розрахунки навантаження цеху, та шин НН та ВН цехового ТП

Вихідні дані																					Розрахункова потужність		Розрахунковий струм Ір,А	
За умовою										Довідкові				Проміжні потужності			Ne розрах		Ne		Кр			
Найм. ЕП	п од	Номінальна потужність кВт			Pnіmax/ Pnіmin	кв/кв	cos(f)	tg(f)	Рп кВт		Qп кВт		Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3	Pnіmax/ Pnіmin<3				
		Pnі	PnΣ	Pnі max					Pnі min	Pnі max	Pnі min	Pnі max									Pnі min			
Вентилятор приточний	2	40,0	80			0,60	0,80	0,75	48	36														
Вентилятор витяжний	2	30,0	60			0,60	0,80	0,75	36	27,00														
СП1	4		140	40,0	30,0	0,60			84	63,00	3,92	4	1,18	99,12	69,3	120,9432	183,75422							
Агрегатні верстати	3	12,0	36			0,30	0,70	1,02	10,8	11,02														
Свердлильні верстати	3	3,5	10,5			0,22	0,50	1,73	2,31	4,00														
Заточувальні верстати	5	5,0	25			0,14	0,60	1,33	3,5	4,67														
Фрезерувальні верстати	8	12,0	96			0,20	0,50	1,73	19,2	33,26														
СП2	19		167,5	12,0	3,5	3,428571			35,81	52,94	16,0712	16,0000	1,125	40,28625	52,94128	66,5264	101,0764							
Обдираючі верстати	4	40,0	160			0,17	0,50	1,73	27,2	47,11														
Мостовий кран ТВ=60%	1	60,0	60			0,10	0,50	1,73	4,64758	8,05														
СП3	5		220	60,0	40,0	0,15			31,84758	55,16	4,84	5	2,215	70,54239	60,67779	93,0485	141,37257							
Шліфувальні верстати	6	88,5	531			0,22	0,60	1,33	116,82	155,76														
СП4	6		531	88,5	88,5	0,22			116,82	155,76	6	6	1,515	176,9823	171,336	246,3306	374,26061							
Токарні верстати	3	24	72			0,16	0,6	1,333333	11,52	15,36														
Електротермічні установки	4	20	80			0,60	0,9	0,484322	48	23,24746														
СП5	7		152	24	20	0,39			59,52	38,60746	6,942308	7	1,19	70,8288	42,46821	82,58491	125,47479							
						0,39																		
ΣСП	41		1210,50	88,50	3,50	25,29	0,27		328,00	365,47	27,36	27,00	0,75	246,00	274,10	368,30	559,58							
ЩО+ЩАО+ВИХ/Д+ЗВУК																								
шини НН																9,40	3,39	9,99	15,18					
Втрати СТР																255,40	277,49	377,13	573,00					
шини ВН																7,54	37,71							
																262,94	315,21	410,48	23,70					

2.3 Вибір трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності

2.3.1 Вибір засобів компенсації реактивної потужності

Згідно ДБН В.2.5-23:2010 [5] задовільне значення коефіцієнта потужності має бути рівним 0,95 ($\cos \varphi = 0,95$).

Необхідно розрахувати коефіцієнт активної потужності для шин НН цехового трансформатора.

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{P_HH}}{S_{P_HH}} = \frac{255,4}{377,13} = 0.67$$

Згідно з попередніми розрахунками (таблиця 2.5) механічний цех споживає 277,5 квар реактивної потужності, тому для зменшення економічних витрат та покращення якості електропостачання необхідне встановлення конденсаторної установки.

Обираємо конденсаторну установку КРМ “ВЕГ” 0,4 250/5 квар середня вартість 50000 грн, [13] технічні характеристики наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – технічні характеристики конденсаторної установки

Технічні характеристики КРМ “ВЕГ” 0,4 250/5	
Номінальна потужність, квар	250
Потужність мінімальної ступені, квар	5
Номінальний струм установки, А	500
Кількість ступенів	8
Набір конденсаторних батарей	50+50+50+50+25+10+10+5
Габарити: висота, ширина, глибина, мм	2000x800x600
Вага, кг	175

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{P_HH}}{S_{P_HH}} = \frac{255,4}{256,87} = 0.99$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Зведені розрахунки після встановлення конденсаторних батарей

Вихідні дані													
За умовою							Довідкові						
Найм. ЕП	n од	Номінальна потужність кВт			P _{нmax} / P _{нmin}		kg/kv	cos(f)	tg(f)	Проміжні потужності			Кр
		P _{ні}	P _{нΣ}	P _{ні max}	P _{ні min}	P _{нmax} / P _{нmin}				P _п кВт	Q _п кВт	Ne розрах	
Вентилятор пригончий	2	40,0	80				0,60	0,80	0,75	48	36		
Вентилятор витяжний	2	30,0	60				0,60	0,80	0,75	36	27,00		
СП1	4		140	40,0	30,0	1,333333	0,60			84	63,00	3,92	1,18
												P _{нmax} / P _{нmin} <3	4
Агрегатні верстати	3	12,0	36				0,30	0,70	1,02	10,8	11,02		
Свердильні верстати	3	3,5	10,5				0,22	0,50	1,73	2,31	4,00		
Заточувальні верстати	5	5,0	25				0,14	0,60	1,33	3,5	4,67		
Фрезерувальні верстати	8	12,0	96				0,20	0,50	1,73	19,2	33,26		
СП2	19		167,5	12,0	3,5	3,428571	0,21			35,81	52,94	16,0712	1,125
													16,0000
Обдираючі верстати	4	40,0	160				0,17	0,50	1,73	27,2	47,11		
Мостовий кран ТВ=60%	1	60,0	60				0,10	0,50	1,73	4,64758	8,05		
	5		220	60,0	40,0	1,5	0,15			31,84758	55,16	4,84	2,215
СП3													5
Шліфувальні верстати	6	88,5	531				0,22	0,60	1,33	116,82	155,76		
СП4	6		531	88,5	88,5	1,00	0,22			116,82	155,76	6	1,515
													6
Токарні верстати	3	24	72				0,16	0,6	1,333333	11,52	15,36		
Електротермічні установки	4	20	80				0,60	0,9	0,484322	48	23,24746		
	7		152	24	20	1,20	0,39			59,52	38,60746	6,942308	1,19
СП5							0,39						7
ΣСП	41		1210,50	88,50	3,50	25,29	0,27			328,00	365,47	27,36	0,75
ЩО+ЩАО+ВИХ/Д+ЗВУК													
шини НН													
Втрати СТР													
шини ВН													
										9,40	3,39	9,99	15,18
										255,40	27,49	256,87	390,28
										5,14	25,69		
										260,54	53,18	265,91	15,35

Однак враховуючи, що загальне значення реактивної потужності для споживачів цеху 277,5 квар, та наявності ступенів регулювання конденсаторної установки, можливо забезпечити регулювання коефіцієнту потужності в межах 0,95, що найбільш вигідно для електроприймачів.

Необхідно врахувати те, що встановлення конденсаторної установки в першу чергу є економічно вигідним, адже зменшить витрати на ТП та електричні мережі. Окупність даної установки становить приблизно один рік, враховуючи масштаб підприємства.

Після установки відповідного компенсуючого пристрою необхідно провести перерахунок таблиці 2.5 і внести відповідні корективи до таблиці 2.7.

2.3.2 Вибір цехового трансформатора

Вибір трансформатора реалізується згідно ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015 (пункт 11.16) [7].

Знайдемо густину навантаження цеху:

$$\rho = \frac{S_{P_HH}}{S_{A*B}} = \frac{256,87}{1485} = 0.173 \text{ кВА/м}^2$$

Відповідно до [7] можемо обрати трансформатор ТМ 400/(10)/0.4, технічні характеристики представлені в таблиці 2.8. Оскільки електроприймачі цеху відносяться до третьої категорії надійності електропостачання, доцільно встановити один трансформатор відповідної потужності.

Розрахуємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{3_ТП} = \frac{S_{P_BH}}{S_{H_TP}} = \frac{256,87}{400} = 0.64$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики трансформатора ТМ 400/10/0,4

Тип	Потужність, кВА	Номинальна напруга обмотки ВН, кВ	Номинальна напруга обмотки ВН, кВ	Схема і група з'єднання	U_k %	$I_{xx}\%$	Втрати холостого ходу, кВт	Втрати короткого замикання, кВт
ТМ 400	400	10	0,4	Y/Y _{H-0}	4.5	1.8	0,83	5,9

Головні переваги трансформаторів ТМ 400 кВА:

1. Тривалий термін служби, який становить не менше тридцяти років.
2. Наявність санчат і спеціального контактного з'єднання на висновках ВН і НН для підключення кабелів без наконечників, дозволяє виконати монтаж ТМ 400 кВА максимально швидко.

2.3.3 Обґрунтування виду виконання та комплектації підстанції механічного цеху

Для об'єкту проєктування доцільно встановити комплектну трансформаторну підстанцію тупикову – КТП1 потужністю 400 кВА напругою 10/0,4 [14].

КТП1 даного типу призначені для приймання, перетворення і розподілу електричної енергії трифазного змінного струму частотою 50 Гц у системах із глухозаземленою нейтраллю трансформатора на стороні НН. Призначені для електропостачання споживачів сільського господарства, окремих населених пунктів і промислових підприємств у районах з помірним кліматом (від -45⁰С до +40⁰С). КТП1 встановлюються на найпростіший бетонний фундамент висотою 0,2 м. Ввід ВН і виводи НН виконані кабельною лінією. На стороні НН установлені автоматичні вимикачі.

В комплекті поставки КТП1 входять шафи УВН і РУНН, силовий трансформатор, роз'єднувач зовнішньої установки РЛНДз – 10/630. Струм термічної стійкості на стороні ВН протягом 1 с – 5 кА. Струм електродинамічної стійкості на стороні ВН – 12,5 кА [14] технічні дані представлені в таблиці 2.9

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Технічні дані КТП 1

Позначення	Потужність, кВт·А	Номинальний струм, А і кількість відхідних ліній				Маса, кг
КТП1 (тупикова)	25	31,5 – 3 шт.				980*
	40	31,5 – 2 шт.	63 – 1 шт.			1100*
	63	63 – 2 шт.	80 – 1 шт.			1850*
	100	63 – 2 шт.	80 – 1 шт.	100 – 1 шт.		1900*
	160	80 – 1 шт.	100 – 1 шт.	160 – 2 шт.		2920*
	250	100 – 2 шт.	200 – 2 шт.			2155*
	400	100 – 2 шт.	160 – 1 шт.	200 – 1 шт.	400 – 1 шт.	2900*

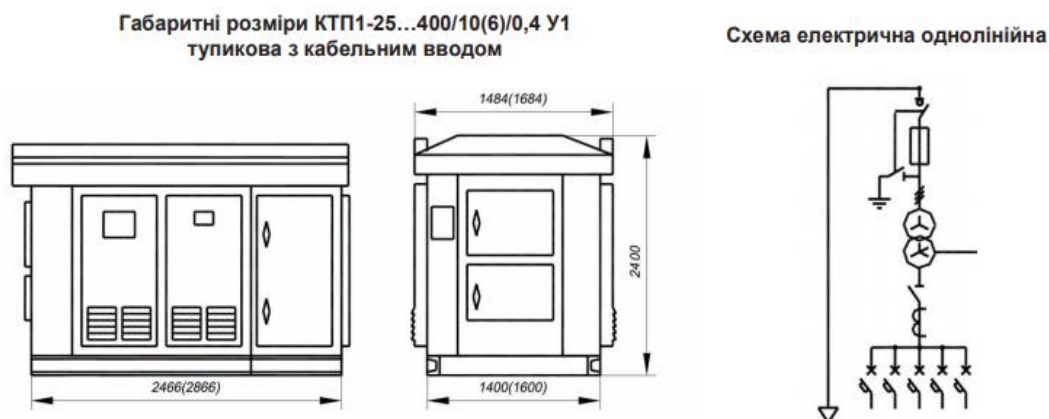


Рисунок 2.6 – Габаритні розміри та однолінійна схема КТП 1



Рисунок 2.7 – Установчі та приєднувальні розміри КТП 1 [14]

2.4 Визначення центру навантаження

Необхідність розрахунку та правильного вибору місця розташування центру навантаження зумовлена необхідністю встановлення джерела живлення на території

цеху. Однак враховуючи кількість ЕП та їх розташування в приміщенні цеху установка ТП в приміщенні неможлива. Тому розрахунок в даному випадку не є доцільним.

2.5 Розрахунок живильних і розподільних електричних мереж

2.5.1 Вибір ліній живлення електроприймачів

Для вибору кабелю необхідно знайти номінальний струм кожного ЕП окремо. Зведемо розрахунки в таблицю 2.10.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos(\mu)} \quad (2.16)$$

Таблиця 2.10 – Розрахункові номінальні струми ЕП

Електроприймач	Струм (А)
Вентилятор приточний	76,0
Вентилятор витяжний	57,0
Агрегатні верстати	26,0
Свердлильні верстати	10,6
Заточувальні верстати	12,7
Фрезирувальні верстати	36,5
Обдираючі верстати	121,5
Мостовий кран ТВ=60%	182,3
Шліфувальні верстати	224,1
Токарні верстати	60,8
Електротермічні установки	33,8

Враховуючи наявність механічних відходів, пилу та наявності великої кількості потужних електроприймачів, лінії живлення ЕП будемо прокладати в підлозі з використанням металевих труб. Застосовуємо кабель АВВГ (мінімально допустимі перерізи кабелів обираємо з ПУЕ [3] таблиця 1.3.12).

Для внутрішнього цехового освітлення більш доцільно обрати кабель ВВГ, що буде заправлений в гофру та прокладений вздовж стін і підведений до світильників.

Таким же чином буде виконане аварійне освітлення і звукова сигналізація.

Також необхідно обрати шафи силових пунктів та щити освітлення, основного та аварійного з відповідним класом захисту IP53 враховуючи наявність шкідливих чинників. Обране обладнання зводимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Обладнання цехової розподільної мережі 0,4 кВ

СП і	Електроприймачі	I ном(А)	Силова шафа	Автомат. Вим	Кабель	Труба\гофра d(мм)
СП1	Вентилятор приточний	76	СПМ 75-3У3 2х63А, 3х100А IP53	ВА-2003 3П 80А	АВВГ 4х25 93А	Труб.мет. d=26
	Вентилятор приточний	76		ВА-2003 3П 80А	АВВГ 4х25 93А	Труб.мет. d=26
	Вентилятор витяжний	57		Hager 3f,D,63А	Аввг 4х16 67А	Труб.мет. d=22
	Вентилятор витяжний	57		Hager 3f,D,63А	АВВГ 4х16 67А	Труб.мет. d=22
СП2	Агрегатні верстати	78	СПМ 75-1У3 3х100А, 2х250А IP53	ВА-2003 3П 80А	АВВГ 4х25 93А	Труб.мет. d=26
	Агрегатні верстати					
	Агрегатні верстати					
	Свердлильні верстати	31,8		ВА-2003 3П 50А	АВВГ 4х6 41А	Труб.мет. d=20
	Свердлильні верстати					
	Свердлильні верстати					
	Заточувальні верстати	63,5		ВА-2003 3П 80А	АВВГ 4х25 93А	Труб.мет. d=26
	Заточувальні верстати					
	Заточувальні верстати					
	Заточувальні верстати					
	Фрезирувальні верстати	146		ВА-2003 3-П 160А	АВВГ 4х70 165А	Труб.мет. d=35
	Фрезирувальні верстати					
	Фрезирувальні верстати					
	Фрезирувальні верстати					
	Фрезирувальні верстати	146		ВА-2003 3-П 160А	АВВГ 4х6=70 165А	Труб.мет. d=35
	Фрезирувальні верстати					
	Фрезирувальні верстати					
	Фрезирувальні верстати					
СП3	Обдираючі верстати	121,5	СПМ 75-7У3 5х250А IP53	ВА 2004\250 3-П 125А	АВВГ 4х50 137А	Труб.мет. d=35
	Обдираючі верстати	121,5		ВА 2004\250 3-П 125А	АВВГ 4х50 137А	Труб.мет. d=35
	Обдираючі верстати	121,5		ВА 2004\250 3-П 125А	АВВГ 4х50 137А	Труб.мет. d=35
	Обдираючі верстати	121,5		ВА 2004\250 3-П 125А	АВВГ 4х50 137А	Труб.мет. d=35
	Мостовий кран ТВ=60%	182,3		ВА 2004\250 3-П 200А	АВВГ 4х95 197А	Труб.мет. d=38
СП4	Шліфувальні верстати	224,1	СПМ 75-7У3 6х250А IP53	ВА 2004\250 3-П 250А	АВВГ 4х150 254А	Труб.мет. d=46
	Шліфувальні верстати	224,1		ВА 2004\250 3-П 250А	АВВГ 4х150 254А	Труб.мет. d=46
	Шліфувальні верстати	224,1		ВА 2004\250 3-П 250А	АВВГ 4х150 254А	Труб.мет. d=46
	Шліфувальні верстати	224,1		ВА 2004\250 3-П 250А	АВВГ 4х150 254А	Труб.мет. d=46
	Шліфувальні верстати	224,1		ВА 2004\250 3-П 250А	АВВГ 4х150 254А	Труб.мет. d=46
	Шліфувальні верстати	224,1		ВА 2004\250 3-П 250А	АВВГ 4х150 254А	Труб.мет. d=46
СП5	Токарні верстати	60,8	СПМ 75-4У3 8х63А IP53	Hager 3f,D,63А	АВВГ 4х16 67А	Труб.мет. d=26
	Токарні верстати	60,8		Hager 3f,D,63А	АВВГ 4х16 67А	Труб.мет. d=26
	Токарні верстати	60,8		Hager 3f,D,63А	АВВГ 4х16 67А	Труб.мет. d=26
	Електротермічні установки	33,8		ВА-2003 3П 50А	АВВГ 4х6 41А	Труб.мет. d=20
	Електротермічні установки	33,8		ВА-2003 3П 50А	АВВГ 4х6 41А	Труб.мет. d=20
	Електротермічні установки	33,8		ВА-2003 3П 50А	АВВГ 4х6 41А	Труб.мет. d=20
	Електротермічні установки	33,8		ВА-2003 3П 50А	АВВГ 4х6 41А	Труб.мет. d=20
ЩО	Освітлення основне	12,2	OVT-ELS IP53	ВА-47-29 25А	ВВГ 3х1,5 16А	Гофр.труб.ДКС d=16
ЩАО	Освітлення аварійне+ звук	1,08	OVT-ELS IP53	ВА-46-1.5 А	ВВГ 3х1.5 16А	Гофр.труб.ДКС d=16

2.5.2 Вибір ліній живлення силових пунктів

КТП1 розташована на території підприємства і знаходиться на відстані 10 м від цеху. Від шин НН прокладено кабельні лінії 0,4 кВ, що забезпечують живлення СП.

Глибина прокладання кабельної лінії нормується згідно [3].

Для вибору кабельних ліній необхідно використати номінальні струми для кожного СП, що представлені раніше в таблиці 2.5. Після вибору типу кабелю необхідно виконати перевірку за допустимим струмом, враховуючи умови прокладання кабелю.

Вихідні дані та розраховані параметри представлені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок елементів мережі 0,4 кВ

	Відстань від ТП до СП +10%, м.	$I_{ном}, A$	Кабель	r_0 , Ом/км	x_0	$I_{доп}, A$	$\Delta U, \%$
СП1	25	183,75	АВВГ 4х95 мм	0,32	0,08	197	0,90
СП2	25	101	АВВГ 4х35 мм	0,868	0,08	112	0,95
СП3	35	141,3	АВВГ 4х50 мм	0,641	0,08	137	2,25
СП4	25	374,3	2 х АВВГ 4х120 мм	0,253	0,08	224	1,42
СП5	50	125,5	АВВГ 4х50 мм	0,641	0,08	137	2,03
ЩО+ЩАО+ЗВУК	15	15,2	АВВГ 4х4 мм	7,41	0,08	34	0,02

Виконаємо перевірку обраного кабелю АВВГ 4х95 мм на прикладі СП1 за умовами допустимого струму нормального режиму:

$$I_{СП-1} < I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де:

K_1 – Коефіцієнт, що враховує фактичні термічні умови експлуатації, приймаємо $K_1=1,06$, вважаючи, що середньорічна температура в регіоні експлуатації $+5^\circ \text{C}$;

K_2 – Коефіцієнт, що враховує кількість прокладених кабелів. Оскільки кабель 1 приймаємо коефіцієнт рівним 1.

$$183,75 < 197 \cdot 1,06 \cdot 1 = 208,82 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Виконаємо перевірку на втрату напруги.

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}};$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\%;$$

$$\square U(\%) = \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{\text{л}}^2},$$

де - P - активна потужність що передається по лінії, кВт;

Q - реактивна потужність передається по лінії, квар;

R - питомий активний опір кабельної лінії, Ом /км;

X - питомий індуктивний опір кабельної лінії, Ом / км;

L - довжина кабельної лінії, км;

$U_{\text{л}}$ - лінійна напруга мережі, В;

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\%;$$

$$\square U(\%) = \frac{10^5 \cdot (P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l)}{U_{\text{л}}^2} = \frac{10^5 \cdot (99,12 \cdot 0,32 + 69,3 \cdot 0,08) \cdot 0,035}{380^2} = 0,9\%;$$

$$0,9 < 5\%.$$

Розрахунки для інших СП представлені в таблиці 2.11.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Схема приєднання СП до ТП наведена на рисунку 2.8

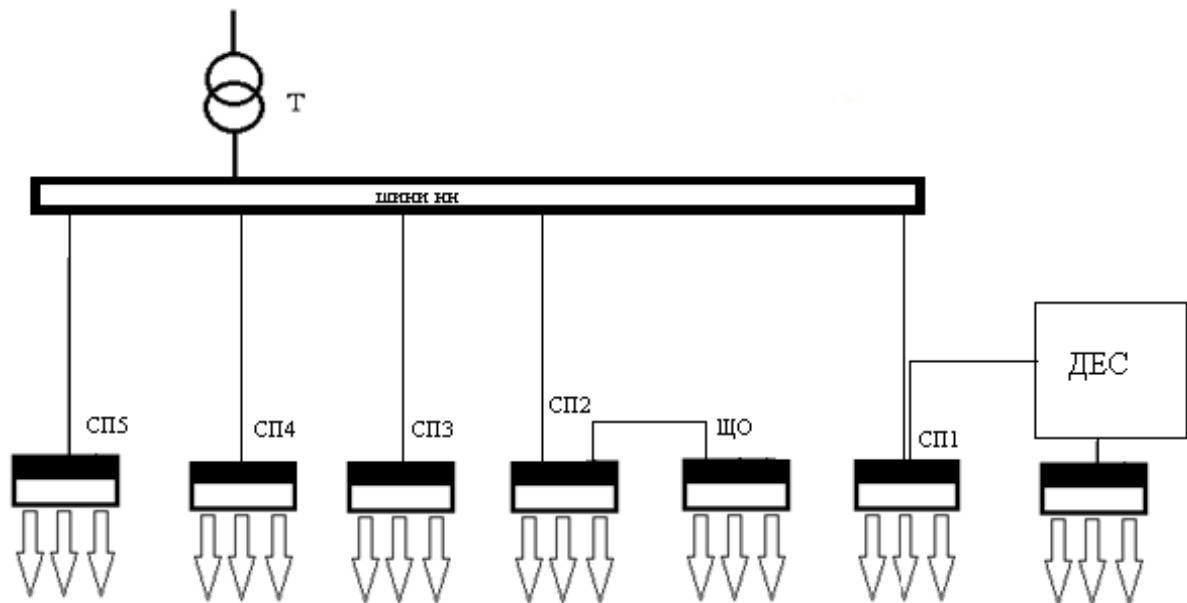


Рисунок 2.8 – Схема приєднання СП до ТП

2.5.3 Вибір кабелю живлення цехової ТП

Цехова КТП1 живиться від РП 10 кВ. КТП1 – тупикового типу, відстань від РП складає 0,8 км, необхідно обрати кабельну лінію для живлення цехової КТП1 з врахуванням навантаження на шинах ВН. Обираємо кабель АПвП 3х35 10 кВ з допустимим струмовим навантаженням при прокладці в траншеї 119 А. Перевіримо кабель за умовою допустимого струму та падіння напруги.

Перевіримо обраний кабель за умовами допустимого струму нормального режиму:

$$I_{\text{КТП}} < I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де:

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

55

K_1 – Коефіцієнт, що враховує фактичні термічні умови експлуатації, приймаємо $K_1=1,06$, вважаючи, що середньорічна температура в регіоні експлуатації $+5^\circ \text{C}$.

K_2 – Коефіцієнт, що враховує кількість прокладених кабелів. Оскільки кабель 1, приймаємо коефіцієнт рівним 1.

$$15,35 < 119 \cdot 1.06 \cdot 1 = 126,14 \text{ A.}$$

Умова виконується.

Виконаємо перевірку на втрату напруги.

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}};$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\%;$$

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot (P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l)}{U_n^2} = \frac{10^5 \cdot (260,54 \cdot 0,868 + 53,18 \cdot 0,095) \cdot 0,8}{10000^2} = 0,185\%;$$

$$0.185 < 5\%.$$

2.6.1 Вибір комутаційної апаратури розподільної мережі

Автоматичні вимикачі (АВ) – використовуються для проведення струму у нормальному режимі і роз'єднання електричних кіл при коротких замиканнях, перевантаженнях та значному зниженні напруги

АВ використовують для оперативних вмикань та вимикань електричних кіл напругою до 220 В постійного, 380 В змінного струму частотою 50 Гц.

Початковий вибір АВ для ліній що живлять електроприймачі представлено в таблиці 2.11.

Для монтажу комутаційної апаратури використовуємо найбільш універсальний і зручний метод. У ввідній шафі РУВН змонтовано два триполюсних роз'єднувачі

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

для під'єднання кабельних ліній, вимикач навантаження – для відключення трансформатора та запобіжники для захисту мережі від КЗ в трансформаторі.

У шафах РУНН 0,38 кВ розташовані збірні шини, які через вступний автоматичний вимикач з'єднуються шинами виводів трансформатора.

В комплекті підстанції передбачено роз'єднувач зовнішньої установки РЛНДз-10/630.

Таблиця 2.13 – Вибір автоматичних вимикачів для СП[15],[16]

Силовий Пункт	I_p , А	Автомат захисту
СП 1	183,75	ВА88-35 3Р 200А 25кА ІЕК
СП 2	101	ВА88-32 3Р 125А 25кА ІЕК
СП 3	141,3	ВА88-33 3Р 160А 25кА ІЕК
СП 4	374,3	ВА88-37 3Р 400А 25кА ІЕК
СП 5	125,5	ВА88-33 3Р 160А 25кА ІЕК
ЩО	12,2	ВА47-29 1п С 16А ІЕК
ЩАО	1,08	ВА47-29 2п В <5А ІЕК

Також в якості комутаційних апаратів з видимим розривом використаємо роз'єднувачі. Головне їх призначення – забезпечення видимого розриву та безпеки при виконанні ремонтних робіт та обслуговування КТП.

Вибір ввідних роз'єднувачів на шинах НН представлено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір роз'єднувачів для шин НН КТП [16]

№СП	I_p , А	Роз'єднувач
СП1	183,75	ВР32-35 В31250 250А
СП2	101	ВРП32-31 В31250 100А
СП3	141,3	ВР32-35 В31250 250А
СП4	374,3	ВР32-37 В31250 400А
СП5	125,5	ВР32-35 В31250 250А

2.6.2 Вибір апаратури живильної мережі

КТП 1 відповідно до каталогу [14],[16] в комплекті поставки по замовчуванню входить роз'єднувач зовнішньої установки установки РЛНДз-10/630.

Роз'єднувачі серії РЛНДз призначені для включення і відключення під напругою знеструмлених ділянок ланцюга з класом напруги 6, 10 кВ, також використовуються для заземлення відключених ділянок за допомогою стаціонарних заземлювачів. Технічні характеристики установки представлені в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Основні технічні характеристики РЛНДз-10/630

Параметр	Значення
Ном. Напруга, кВ	10
Макс. Роб. Напруга, кВ	12
Ресурс механічної стійкості, тисяч циклів	10
Тип приводу	ручний
Вага, кг	30

2.6.3 Вибір трансформатора струму

Під час вибору трансформаторів струму для приладів обліку та проведення відповідних вимірювань необхідно використовувати рекомендації та дані зазначені в [3]. ТС дозволяють виконати лінійне перетворення і здійснити облік або контроль за допомогою звичайних однофазних чи трифазних лічильників.

При виборі трансформатора потрібно враховувати його місце розташування (закриті або відкриті розподільні установки, вмонтовані системи), а також конструктивні особливості виконання (прохідні, шинні, опорні, роз'ємні).

Для вибору ТС необхідно враховувати струм, який повинен бути рівним або більшим максимального струму електроустановки, з врахування аварійних режимів.

В нашому випадку ТС необхідний для проведення відповідних вимірювань, забезпечення релейного захисту, підключення приладів обліку.

Первинна обмотка ТС підключається до шин НН трансформатора, а до вторинної приєднуються прилади обліку та відповідне обладнання для контролю технічних показників.

ТС працюватиме на напрузі 0,4 кВ та відповідним, розрахунковим струмом первинної обмотки 390 А.

Обираємо трансформатор струму Т-0,66 400/5 з класом точності 0,5s [17], технічні характеристики наведені в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Технічні характеристики ТС Т-0,66 400/5 0,5s

Параметр	Значення
Клас точності	0,5s
Номінальна напруга, кВ	0,66
Частота мережі, Гц	50-60
Номінальний струм, А	400
Мінімальний первинний струм, А	50
Максимальний первинний струм, А	400
Вторинний струм, А	5
Принцип перетворення струму	електромагнітний
Можливість короткочасного перевантаження, %	20
Вага, кг	0,9

2.7 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротким замиканням (КЗ) – називається явище, що спричиняє порушення нормального режиму роботи системи електропостачання. КЗ може бути спричинене замиканням фаз між собою, а також замиканням фаз на землю – в системах з заземленою нейтраллю.

Як правило, струми КЗ значно більші ніж струми нормального режиму, тому їх розрахунок в першу чергу є доцільним для підвищення надійності та безпеки роботи системи електропостачання.

Розрахунок струмів КЗ як при проектуванні систем і елементів електропостачання, так і при аналізі роботи існуючих систем переслідує дві мети:

- визначення максимально можливих струмів КЗ для перевірки провідників і апаратів на термічну і динамічну стійкість до струмів КЗ, для вибору заходів щодо обмеження струмів КЗ або часу їх дії;
- визначення мінімально можливих струмів КЗ для перевірки чутливості захисту, правильного вибору систем і параметрів спрацювання захисту і визначення максимально можливого часу спрацювання захисту.

В залежності від мети проведення розрахунку струмів КЗ визначаються: вимоги до точності розрахунків, розрахункові умови проєктованої системи, можливі допущення. При виборі апаратури і провідників які мають великий струмовий крок відключення, допускається виконання наближених розрахунків які в кінцевому результаті не вплинуть на надійність системи.

В даній роботі розрахунок струмів КЗ вище 1кВ проведено у відносних базисних одиницях за наближеним зведенням. Для рівня напруги нижче 1кВ розрахунок проводимо в іменованих одиницях.

2.7.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1 кВ

Для виконання перевірки комутаційної апаратури, необхідно виконати розрахунок КЗ та знайти відповідні струми окремих вузлів. Приймаємо за розрахункові точки – шини приєднання вимикачів та комутаційних апаратів і виконуємо розрахунок трифазного КЗ для даних точок. Також необхідно враховувати, що розрахунковий час буде рівним нулю.

2.7.1.1 Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

На схему РС наносимо основні параметри елементів системи електропостачання, розрахунок проводимо з точністю до третього знаку після коми.

РС представлена на рисунку 2.9.

Вихідні дані розрахункової схеми представлені в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Вихідні дані елементів розрахункової схеми

	Повітряна та кабельні лінії								
	Кількість та переріз жил, мм ²	l ₀ , км	г ₀ , Ом/км	х ₀ , Ом/км	I _{доп} , А				
	КЛ1	3х240	1,5	0,125	0,075	415			
	КЛ2	3х35	0,8	0,868	0,095	132			
	ПЛ	240	8	0,118	0,405	610			
Т (ТДТН 25000/110)									
S _н ,МВА	U _{вн} ,кВ	U _{сн} ,кВ	U _{нн} ,кВ	u _{кв-н} ,%	u _{кв-с} ,%	u _{кв-н} ,%	$\Delta P_K,кВm$	$\Delta P_{xx},кВm$	I _{кз} ,%
25	115	38,5	11	17,5	10,5	6,5	130	21	0,31

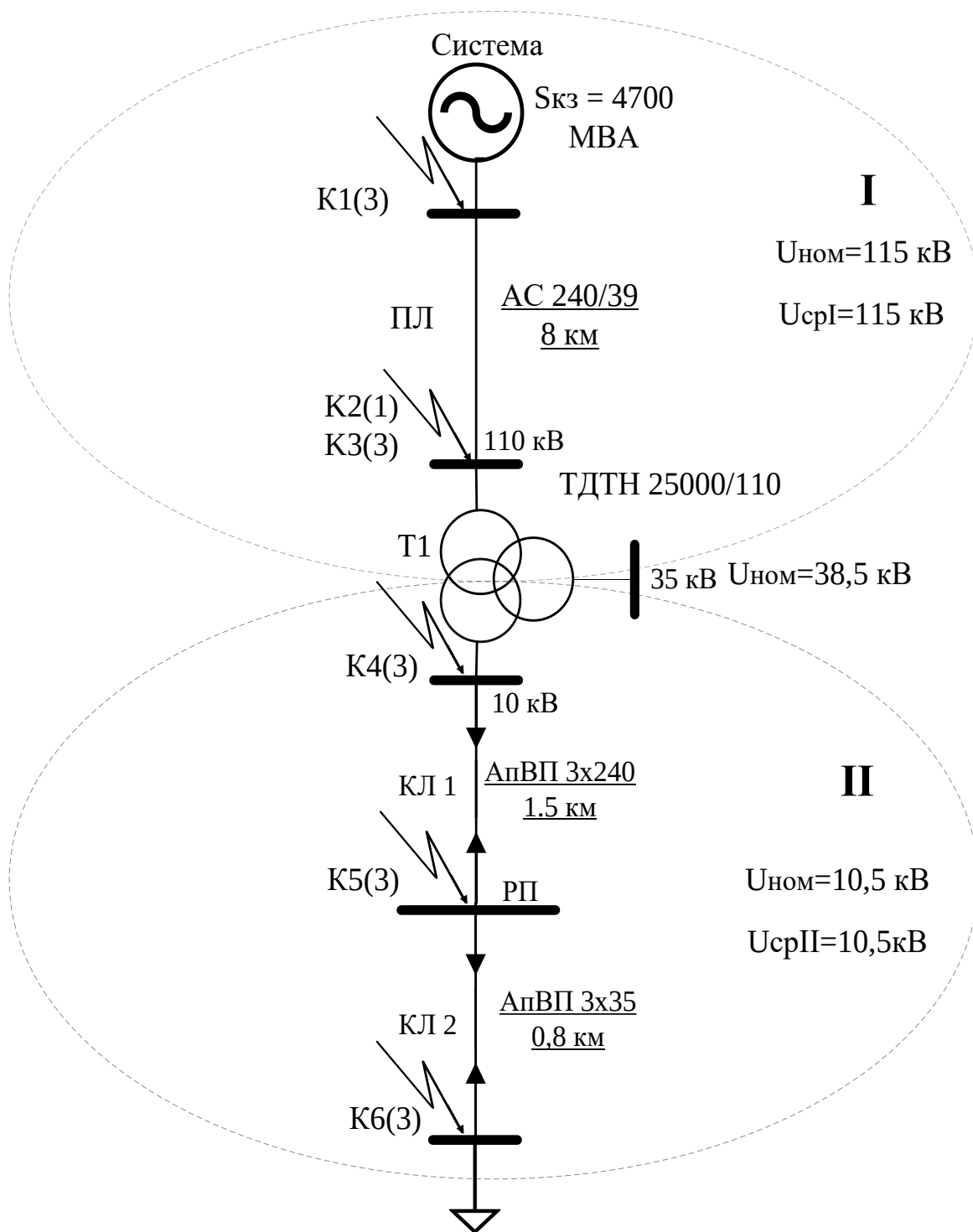


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема електричної мережі напругою вище 1 кВ

На розрахунковій схемі позначені номінальні напруги трансформатора Т1:
 $U_1 = 115\text{кВ}$, $U_2 = 38,5\text{кВ}$, $U_3 = 10,5\text{кВ}$. Середні номінальні напруги ступенів I та II

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

62

відповідно становлять: $U_{cpl} = 115 \text{ кВ}$, $U_{cpl} = 10,5 \text{ кВ}$. Приймаємо за базисну потужність $S_{\bar{o}} = 4700 \text{ МВА}$ та напругу $U_{\bar{o}} = U_{cpl} = 115 \text{ кВ}$.

Параметри системи задані номінальною потужністю вимкнення вимикача, встановленого на лінії зв'язку з системою. Вважаємо, що при трифазному КЗ безпосередньо за вимикачем $S_{KC}^{(3)} = S_{відкл} = 4700 \text{ МВА}$, $I_{KC}^{(1)} = 19 \text{ кА}$.

Відповідно до таблиці 2.16 визначаємо параметри елементів схеми заміщення.

1) Енергосистеми:

$$r_{c*\bar{o}} = 0;$$

$$x_{c*\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{кз}} = \frac{4700}{4700} = 1;$$

$$E''_{c*\bar{o}} = U_{cpl} \cdot \frac{1}{U_{\bar{o}}} = 115 \cdot \frac{1}{115} = 1.$$

2) Повітряної лінії ПЛ (8 км) 110 кВ:

$$x_{ПЛ*\bar{o}} = x_{0ПЛ} \cdot l_{ПЛ} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,405 \cdot 8 \cdot \frac{4700}{115^2} = 1,151;$$

$$r_{ПЛ*\bar{o}} = r_{0ПЛ} \cdot l_{ПЛ} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,118 \cdot 8 \cdot \frac{4700}{115^2} = 0,335.$$

3) Кабельних ліній КЛ1(1,5 км) та КЛ2 (0,8 км) 10 кВ:

$$x_{КЛ1*\bar{o}} = x_{0КЛ1} \cdot l_{КЛ1} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,075 \cdot 1,5 \cdot \frac{4700}{10,5^2} = 4,795;$$

$$r_{КЛ1*\bar{o}} = r_{0КЛ1} \cdot l_{КЛ1} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,125 \cdot 1,5 \cdot \frac{4700}{10,5^2} = 7,99.$$

$$x_{KL2*6} = x_{0KL2} \cdot l_{KL2} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} = 0,095 \cdot 0,8 \cdot \frac{4700}{10,5^2} = 3,239;$$

$$r_{KL2*6} = r_{0KL2} \cdot l_{KL2} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} = 0,868 \cdot 0,8 \cdot \frac{4700}{10,5^2} = 29,602.$$

4) Для триобмоткових трансформаторів їх відносно-номінальні опори з'єднані трикутником, а заміщуються з'єднанням зіркою:

$$u_{KB} = \frac{1}{2} \cdot (u_{K.BC} + u_{K.BH} - u_{K.CH}) = \frac{1}{2} \cdot (10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75\%;$$

$$u_{KH} = \frac{1}{2} \cdot (u_{K.BH} + u_{K.CH} - u_{K.BC}) = \frac{1}{2} \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75\%;$$

$$u_{KC} = \frac{1}{2} \cdot (u_{K.CH} + u_{K.BC} - u_{K.BH}) = \frac{1}{2} \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5) = -0,25\%;$$

$$r_{BT*6} = r_{CT*6} = r_{YT*6} = \frac{\Delta P_{\kappa} S_{\bar{6}}}{S_{T.ном}^2} = \frac{130 \cdot 4700 \cdot 10^3}{25000^2} = 0,977;$$

$$x_{BT*6} = \frac{u_{KB}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{T.ном}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{4700 \cdot 10^3}{25000} = 20,21;$$

$$x_{HT*6} = \frac{u_{KH}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{T.ном}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{4700 \cdot 10^3}{25000} = 12,69.$$

$$x_{CT*6} = \frac{u_{KC}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{T.ном}} = \frac{-0,25}{100} \cdot \frac{4700 \cdot 10^3}{25000} = -0,47.$$

Схема заміщення з розрахунковими параметрами у ВН представлена на рисунку 2.10:

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		64

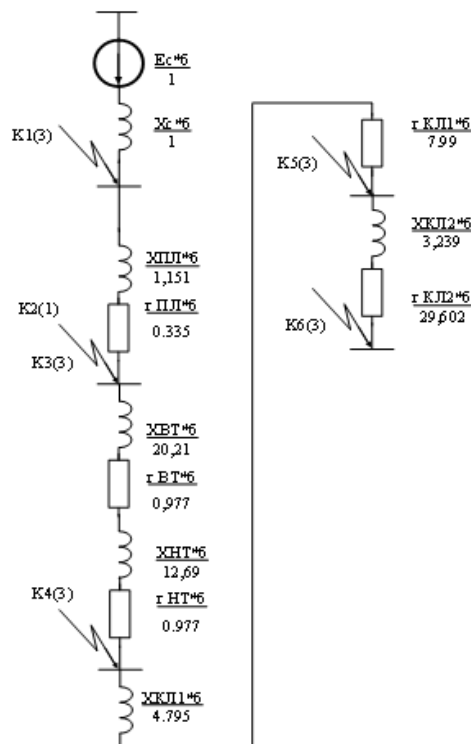


Рисунок 2.10 – Схема заміщення

2.7.1.2 Розрахунок трифазного короткого замикання

Розрахунки струмів КЗ виконуються для перевірки вибраних параметрів електрообладнання, а також для перевірки уставок релейного захисту та автоматики. Основна мета розрахунку полягає у визначенні періодичної складової струму КЗ для найбільш важкого режиму роботи мережі. Врахування аперіодичної складової проводиться наближено, виходячи з припущення, що вона має максимальне значення в розглянутій фазі.

За допомогою розрахунків струмів КЗ визначають:

- ударний струм КЗ для перевірки електричних ізоляторів та апаратів на динамічну стійкість;
- найбільше діюче значення повного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на стійкість;
- усталений струм КЗ для перевірки термічної стійкості електричних апаратів, шин, прохідних ізоляторів та кабелів;
- діюче значення повного струму КЗ для різноманітних моментів для вибору

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

65

вимикачів високої напруги та настройки релейного захисту;

- потужність короткого замикання для перевірки вимикачів за максимально допустимою потужністю відключення.

Для знаходження діючого значення трифазного струму КЗ спочатку виконаємо еквівалентування схеми заміщення. Для трифазного КЗ в точці К6:

- знайдемо еквівалентний опір схеми заміщення:

$$X_{\Sigma K6*6} = X_{c*6} + X_{ПЛ*6} + X_{BT*6} + X_{HT*6} + X_{KL1*6} + X_{KL2*6} = \\ = 1 + 1,151 + 20,21 + 12,69 + 4,795 + 12,149 = 43,085;$$

$$r_{\Sigma K6*6} = r_{c*6} + r_{ПЛ*6} + r_{BT*6} + r_{HT*6} + r_{KL1*6} + r_{KL2*6} = \\ = 0 + 0.335 + 2 \cdot 0.977 + 7.99 + 29,602 = 39,881;$$

- побудуємо еквівалентну схему заміщення для точки К6. Схема представлена на рисунку 2.11.

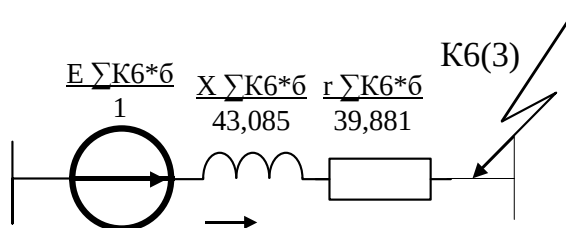


Рисунок 2.11 – Еквівалентна схема заміщення для точки К6

Аналогічно розраховуємо значення еквівалентних опорів для інших точок.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.18.

При розрахунку ударного струму КЗ на виводах автономних джерел, а також синхронних і асинхронних електродвигунів допускається вважати, що:

- ударний струм настає через 0,01 с після початку КЗ;

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

66

- амплітуда періодичної складової струму КЗ в момент часу $t = 0,01$ с дорівнює амплітуді цієї складової в початковий момент КЗ.

Таблиця 2.18 – Зведені значення еквівалентного опору для всіх точок КЗ

Точка КЗ	$r_{\Sigma i*6}$	$x_{\Sigma i*6}$	$z_{\Sigma i*6}$
К1	0	1	1
К3	0,335	2,151	2,177455
К4	2,289	35,051	35,12623
К5	10,279	39,846	41,15302
К6	39,881	43,085	58,71491

Проводимо розрахунок для найбільш віддаленої точки К6.

Періодична складова струму КЗ приймається незатухаючою з врахування віддаленості точок КЗ. Тому її можна визначити, як:

$$I''_{K6} = I_{П.0К6} = \frac{E''_{\Sigma K6*6}}{\sqrt{r_{\Sigma K6*6}^2 + x_{\Sigma K6*6}^2}} \cdot \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{39,881^2 + 43,085^2}} \cdot \frac{4700}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 4,401 \text{ кА},$$

де $I''_{K6}, I_{П.0К6}$ діючі значення відповідно початкового надперехідного струму для моменту часу t та усталеного струму трифазного КЗ, кА;

I_{6j} – базисний струм на j -й ступені напруги: $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}$.

Визначаємо сталу затухання аперіодичної складової для системи:

$$T_{aK6} = \frac{x_{\Sigma K6*6}}{\omega \cdot r_{\Sigma K6*6}} = \frac{43,085}{2\pi \cdot 50 \cdot 39,881} = 0,003 \text{ с},$$

де $\omega = 2\pi \cdot f$ – кутова частота.

Визначаємо ударний коефіцієнт, враховуючи значення сталої часу затухання аперіодичної складової та час наступання ударного струму:

$$\kappa_{yK6} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{aK6}}} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.003}} = 1,035,$$

Враховуючи значення над перехідного струму та ударного коефіцієнту, знаходимо ударне значення струму та максимальне діюче значення повного струму:

$$i_{yK6} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{yK6} \cdot I_{п.0K6} = \sqrt{2} \cdot 1,035 \cdot 4,401 = 6,442 \text{ кА};$$

$$I_{дK6} = I_{п.0K6} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (\kappa_{yK6} - 1)^2} = 4,401 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,035 - 1)^2} = 4,406 \text{ кА}.$$

де i_{yK6} - ударне значення струму; $i_{дK6}$ - найбільше діюче значення повного струму.

Розраховуємо значення теплового імпульсу, де враховуємо повний час проходження КЗ.

$$B_{K.K6} = I_{п.0K6}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{aK6}) = 4,401^2 \cdot (0,15 + 0,003) = 2,963 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $t_{відкл} = t_z + t_{вимик}$ - час початку КЗ до його відключення, с, з врахуванням часу спрацювання захисту та повного часу вимикання вимикача з приводом, с.

Аналогічним чином проводимо розрахунок для інших точок КЗ, розрахунки зводимо до таблиці 2.19.

2.7.1.3 Розрахунок однофазного короткого замикання

Розрахунок однофазного КЗ необхідний для дослідження проблем надійності релейного захисту і автоматики, а також для вибору розрядників та окремої апаратури.

Для розрахунку однофазного КЗ необхідно розрахувати схеми заміщення для прямої, зворотної і нульової послідовності.

Відповідно у схемах заміщення вказується тільки ЕРС прямої послідовності джерел живлення і симетричні складові напруги в місці КЗ. Схема заміщення

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

зворотної послідовності складається з тих же елементів, що і схема заміщення прямої послідовності (рисунок 2.12).

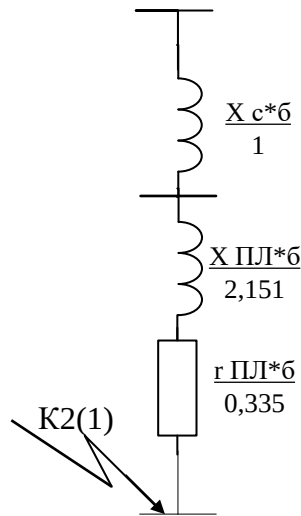


Рисунок 2.12 – Схема заміщення прямої та зворотної послідовності

Враховуючи те, що схема з'єднання обмоток трансформатора зірка на стороні ВН, трикутник на стороні СН та НН, необхідно розрахувати струм нульової послідовності в обмотках трансформаторі.

Знаходимо результуючі опори прямої та зворотної послідовності відповідно, в.о.

$$X_{рез1*б} = X_{рез2*б} = X_{c*б} + X_{ПЛ*б} = 1 + 1,151 = 2,151;$$

$$r_{рез1*б} = r_{рез2*б} = r_{c*б} + r_{ПЛ*б} = 0 + 0.335 = 0.335.$$

Розраховуємо активний та індуктивний опори ПЛ нульової послідовності, во.

$$r_{ПЛ.0*б} = n \cdot r_{ПЛ*б} = 3,5 \cdot 0,335 = 1,172;$$

$$X_{ПЛ.0*б} = n \cdot X_{ПЛ*б} = 3,5 \cdot 1.151 = 4,028,$$

де $n = 3,5$, відповідно до [18].

Знаходимо реактивний опір нульової послідовності системи:

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = m \cdot I_{\text{КА1}};$$

$$m = 3;$$

$$I_{\text{КА1}} = \frac{E_c}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{pez}}^{(1)}} = \frac{E_c}{\sqrt{3} \cdot (x_{\text{C1}} + x_{\text{C2}} + x_{\text{C0}})};$$

$$x_{\text{c0*6}} = \frac{m \cdot E_c}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз}}^{(1)}} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} - (x_{\text{C1}} + x_{\text{C2}});$$

$$x_{\text{c0*6}} = \frac{3 \cdot 115}{\sqrt{3} \cdot 19} \cdot \frac{4700}{115^2} - (1 + 1) = 1,726;$$

Схема заміщення нульової послідовності представлена на рисунку 2.13.

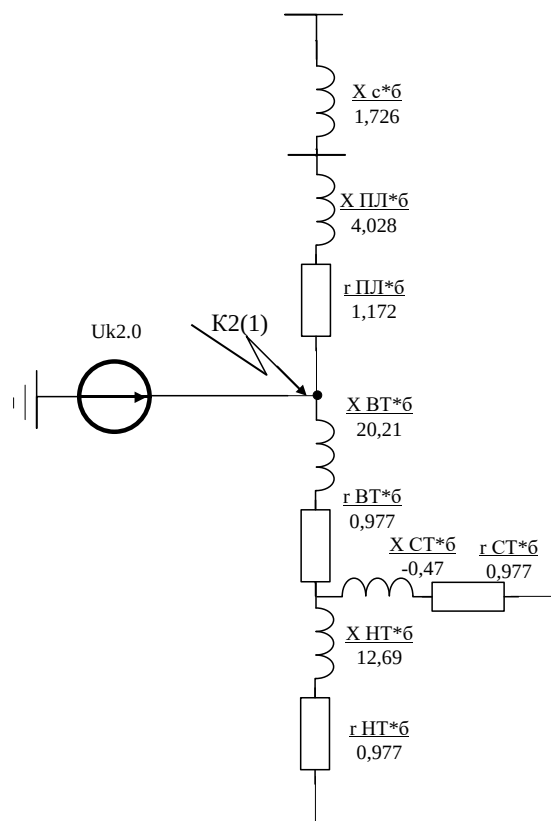


Рисунок 2.13 – Схема заміщення нульової послідовності

Для визначення опору нульової послідовності необхідно еквівалентувати схему заміщення нульової послідовності до простого вигляду.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		70

$$x_{рез01*б} = \frac{x_{CT*б} \cdot x_{HT*б}}{x_{CT*б} + x_{HT*б}} + x_{BT*б} = \frac{(-0,47) \cdot 12,69}{(-0,47) + 12,69} + 20,21 = 19,722;$$

$$r_{рез01*б} = \frac{r_{CT*б} \cdot r_{HT*б}}{r_{CT*б} + r_{HT*б}} + r_{BT*б} = \frac{0,977 \cdot 0,977}{0,977 + 0,977} + 0,977 = 1,465;$$

$$x_{рез0*б} = \frac{(x_{с*б} + x_{ПЛО*б}) \cdot x_{рез01*б}}{x_{с*б} + x_{ПЛО*б} + x_{рез01*б}} = \frac{(1,726 + 4,028) \cdot 19,722}{1,726 + 4,028 + 19,722} = 4,455;$$

$$r_{рез0*б} = \frac{(r_{с*б} + r_{ПЛО*б}) \cdot r_{рез01*б}}{r_{с*б} + r_{ПЛО*б} + r_{рез01*б}} = \frac{(0 + 1,172) \cdot 1,466}{0 + 1,172 + 1,466} = 0,652.$$

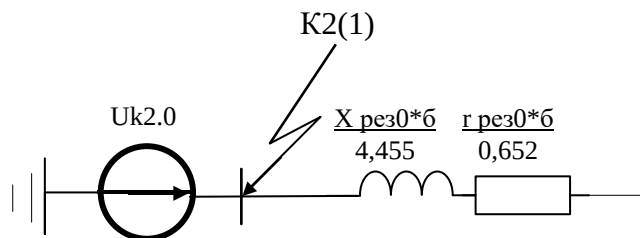


Рисунок 2.13 – Еквівалентна схема заміщення нульової послідовності

Розраховуємо повний результуючий опір однофазного КЗ, Ом:

$$z_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{(x_{рез1*б} + x_{рез2*б} + x_{рез0*б})^2 + (r_{рез1*б} + r_{рез2*б} + r_{рез0*б})^2} \cdot \frac{U_{б}^2}{S_{б}} =$$

$$= \sqrt{(2,151 + 2,151 + 4,455)^2 + (0,335 + 0,335 + 0,652)^2} \cdot \frac{115^2}{4700} = 24,924$$

Визначаємо струм однофазного КЗ у точці К2:

$$I_{\kappa}^{(1)} = m^{(1)} \cdot \frac{E_{рез}}{z_{\Sigma}^{(1)}} = 3 \cdot \frac{66,395}{24,924} = 7,992 \text{ кА},$$

де $E_{рез}$ - результуюча ЕРС, кВ: $E_{рез} = \frac{U_{cp1}}{\sqrt{3}} = \frac{115}{\sqrt{3}} = 66,395 \text{ кВ}$; $m^{(1)} = 3$;

Аналогічним як для трифазного КЗ з пункту 2.7.1.2 розраховуємо складові струму КЗ.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		71

$$T_{aK2} = \frac{x_{\Sigma K2*6}}{\omega \cdot r_{\Sigma K2*6}} = \frac{8,758}{2\pi \cdot 50 \cdot 1,323} = 0,021c;$$

$$\kappa_{yK2} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{aK2}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,021}} = 1,622;$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{yK2} \cdot I_{\Pi.0K2} = \sqrt{2} \cdot 1,622 \cdot 7,992 = 18,333kA;$$

$$I_{дK2} = I_{\Pi.0K2} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (\kappa_{yK2} - 1)^2} = 7,992 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,622 - 1)^2} = 10,644kA;$$

$$B_{K.K2} = I_{\Pi.0K2}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{aK2}) = 7,992^2 \cdot (0,15 + 0,021) = 10,926kA^2 \cdot c.$$

Зведемо розрахункові дані до таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Струми короткого замикання та значення теплового імпульсу напругою вище 1 кВ

Розрахункова точка КЗ	$E''_{\Sigma i*6}$	$r_{\Sigma i*6}$	$x_{\Sigma i*6}$	I''_i	i_{yi}	B_{Ki}
K1	1	0	1,000	23,596	34,811	85,289
K3	1	0,335	2,151	10,837	24,714	20,013
K4	1	2,291	35,051	7,357	18,878	10,757
K5	1	10,284	39,847	6,280	12,828	6,402
K6	1	39,886	43,087	4,401	6,564	2,973
K2(1)	1	1,323	8,758	7,992	18,333	10,926

Використовуючи значення струмів КЗ можемо виконати перевірку провідників та комутаційної апаратури на термічну та електродинамічну стійкість.

2.7.1.4 Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників

Перевірка обраних комутаційних апаратів

Виконаємо перевірку обрати комутаційних апаратів та зведемо дані до таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Зведені параметри фактичних та розрахункових значень

Напруга, кВ	Апаратура	Параметри з каталогу			Розрахункові параметри		
		$I_{\text{вимик}},$ кА	$I_{\text{мах}},$ кА	$I_{T.C}^2 \cdot t_{T.C},$ $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_i'',$ кА	$i_{yi},$ кА	$B_{K.i},$ $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
110	РНД32-110	-	80	$31,5 \cdot 3$	23,596	34,811	85,289
	ВЭКТ-110	40	102	$40 \cdot 3$	10,837	24,714	20,013
10	ВР1 – 10	20	52	$20 \cdot 3$	7,357	18,878	10,757
	ВР1 – 10	20	52	$20 \cdot 3$	6,280	12,828	6,402
	РЛНД3-10	20	25	$10 \cdot 3$	4,401	6,564	2,973
	ВНВР – 10	20	51	$20 \cdot 1$	4,401	6,564	2,973

Необхідно виконати перевірку комутаційної апаратури з використанням раніше розрахованих параметрів КЗ та теплового імпульсу таблиця 2.19.

Для прикладу виконаємо перевірку для роз'єднувача РЛНД3 – 10 на рівні напруги 10 кВ. Роз'єднувач розташований в місці точки К6, тому використаємо розрахункові дані саме для цієї точки.

Для перевірки комутаційних апаратів повинні виконуватися такі умови:

- за струмом електродинамічної стійкості:

-

$$i_{yi} \leq i_{\text{макс}};$$

$$6,564 \leq 25 \text{кА};$$

$$I_i'' \leq I_{\text{вимик}};$$

$$4,401 \leq 20 \text{кА}.$$

- за тепловим імпульсом:

$$B_{K,i} \leq I_{T.C}^2 \cdot t_{T.C};$$

$$2,973 \leq 10 \cdot 3;$$

$$2,973 \leq 30.$$

Після перевірки роз'єднувача РЛНДЗ – 10 на електродинамічну та термічну стійкість, зміна параметрів відсутня. Для інших апаратів проведено аналогічну перевірку, що зазначена в таблиці 2.20. Всі апарати повністю підходять для встановлення в нашу систему.

Перевірка обраних провідників

Для ПЛ та КЛ необхідно перевірити вимоги для забезпечення механічної стійкості:

$$F_i \geq F_i^{\min}.$$

Для КЛ обраний переріз не може бути меншим мінімально допустимого за умовами термічної стійкості:

$$F_i^{\min} = \frac{\sqrt{B_{K,i}}}{C_T}, \quad (2.17)$$

де B_K – значення теплового імпульсу, де враховано повний час проходження КЗ, kA^2s .

C_T – термічний коефіцієнт, що обирається в залежності від сплаву жил кабелю та їх ізоляції [19].

Розрахунки для перерізів ПЛ та КЛ відповідно до формул зведемо до таблиці 2.21.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.21 – Розрахункові перерізи живильних мереж

Ділянка	$F_i, \text{мм}^2$	$C_T, A \cdot \frac{c^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$	$B_{K.i}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$F_i^{\min}, \text{мм}^2$
ПЛ	240	90	85,289	102,613
КЛ1	240	75	10,757	43,73
КЛ2	35	75	6,402	33,736

В результаті виконання підрозділу було виконано перевірку фактичних перерізів живильних ліній за умови термічної стійкості з їх мінімально допустимими розрахунковими значеннями, в результаті перевірки виявлено, що всі провідники відповідають вимогам. Отже, установка даних ПЛ та КЛ є доцільною та відповідає всім вимогам.

2.7.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 кВ

2.7.2.1 Загальні положення

Метою розрахунку струмів КЗ в мережах до 1 кВ є перевірка вибраних автоматів і провідників на стійкість дії струмів КЗ, усіх видів захисних апаратів (автоматів і запобіжників) – за граничним струмом відключення і перевірка чутливості захисту.

Для перевірки захисних апаратів за граничним струмом КЗ визначають максимальне значення струму трифазного КЗ, а для перевірки чутливості захисту визначають мінімальне значення струму однофазного КЗ в електрично-віддаленій від джерела живлення точці мережі.

Особливістю розрахунків струмів КЗ в мережах до 1 кВ є те, що:

- розрахунок проводиться в іменованих одиницях;

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		75

- при розрахунку струмів КЗ необхідно враховувати активні та індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутою ланцюга, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, дуги, контактів і контактних з'єднань.

Необхідно враховувати те, що опори збірних шин та їх з'єднання також мають вплив на струми КЗ в мережі до 1 кВ, а також трансформатори струму та розмикаючі котушки автоматичних вимикачів. Також значний вплив на струми КЗ мають: зажимні контакти апаратів, болтові з'єднання шин, опори контактних з'єднань. Розрахунок проведемо в іменованих одиницях.

Вихідні дані:

Система задана діючим значенням струму КЗ:

$$- I_{ДКЗ}^{(3)} = 4,406 \text{ кА}.$$

Трансформатор ТМ-400/10:

$$- S_n = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad U_{нв} = 10 \text{ кВ}, \quad U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}, \quad \Delta P_{кз} = 4,5 \text{ кВт}, \quad u_k = 4,5\%, \\ \Delta I_{xx} = 1,5\%, \quad \Delta P_{xx} = 0,83 \text{ кВт}.$$

Шини приєднання трансформатора до щита 0,4 кВ:

$$- l_{ш} = 7 \text{ м}, \text{ метал} - \text{АІ}; \quad r_{ш.о} = 0,1 \text{ Ом} / \text{км}, \quad x_{ш.о} = 0,13 \text{ Ом} / \text{км}, \quad S = 80 \times 8 \text{ мм}^2.$$

Автоматичний вимикач QF1, ВА04-36:

$$- I_{ном} = 400 \text{ А}.$$

Трансформатор струму ТС:

$$- r_{ТС} = 0,2 \text{ мОм}, \quad x_{ТС} = 0,05 \text{ мОм}.$$

Опори котушок включення автоматичних вимикачів:

$$- R_{KB.SQF1} = 0,65 \text{ мОм}, \quad X_{KB.SQF1} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Опори контактів автоматичних вимикачів:

$$- r_{K_{SF}} = 0,4 \text{ мОм}.$$

Активний опір болтового з'єднання:

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$- R_{\sigma.k} = 0,003 \text{ мОм.}$$

Розрахункова схема представлена на рисунку 2.14.

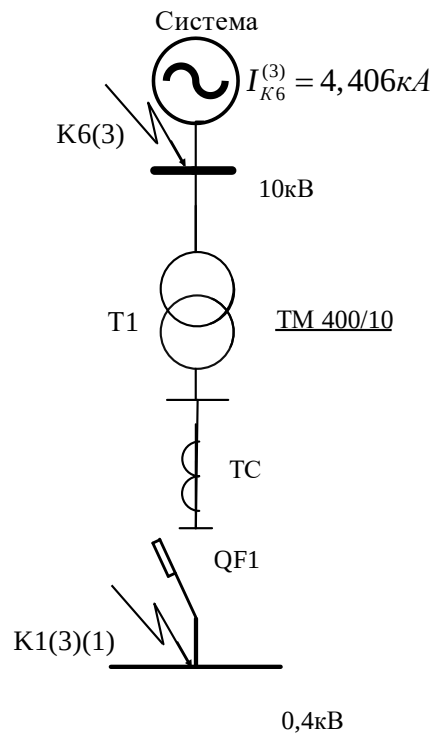


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема електричної мережі напругою нижче 1 кВ

Виконаємо розрахунок схеми заміщення в іменованих одиницях.

Опір системи:

$$X_c = \frac{U_{HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_5^{(3)} \cdot U_{BH}} = \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,406 \cdot 10,5} = 1,997 \text{ мОм.}$$

Опори трансформатора:

$$R_m = \frac{\Delta P_{K3} \cdot (U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H^2} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{400^2} = 4,5 \text{ мОм;}$$

$$X_m = \sqrt{\left(\frac{U_K}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{K3}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{(U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H};$$

$$X_m = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{4,5}{400}\right)^2} \cdot \frac{(0,4)^2 \cdot 10^6}{400} = 17,428 \text{ мОм}.$$

Опори шин:

$$R_m = R_{u.0} \cdot l_u \cdot 10^3 = 0,1 \cdot 0,007 \cdot 10^3 = 0,7 \text{ мОм};$$

$$X_u = R_{u.0} \cdot l_u \cdot 10^3 = 0,13 \cdot 0,007 \cdot 10^3 = 0,91 \text{ мОм}.$$

Активний опір болтового з'єднання:

$$R_{\phi.к} = 0,003 \text{ мОм}.$$

2.7.2.2 Розрахунок трифазного короткого замикання

Побудуємо схему заміщення для визначення трифазного КЗ в точці К1.

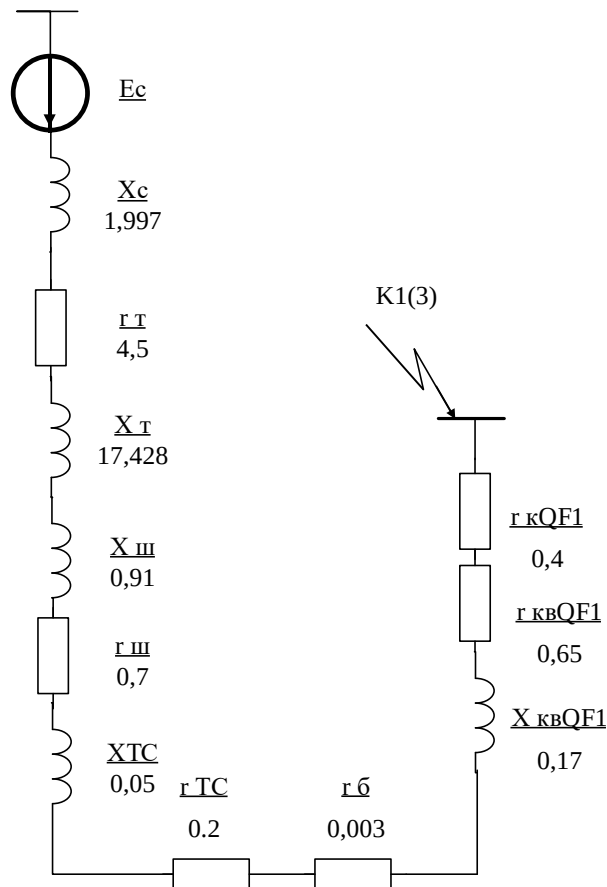


Рисунок 2.15 – Схема заміщення

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

Виконаємо еквівалентування схеми заміщення до найпростішого вигляду.

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_m + X_{uu} + X_{кв.QF1} + X_{mc} ;$$

$$X_{\Sigma 1} = 1,997 + 17,428 + 0,91 + 0,17 + 0,05 = 20,555 \text{ МОм} .$$

$$R_{\Sigma 1} = R_m + R_{uu} + R_{кв.QF1} + R_{кQF1} + R_{\sigma} + R_{mc} ;$$

$$R_{\Sigma 1} = 4,5 + 0,7 + 0,65 + 0,4 + 0,003 + 0,2 = 6,453 \text{ МОм} .$$

Виконаємо розрахунок надперехідного значення струму трифазного КЗ:

$$I_1'' = \frac{U_{nn} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma 1}^2 + R_{\Sigma 1}^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{20,555^2 + 6,453^2}} = 10,719 \text{ кА} .$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму трифазного КЗ:

$$T_{ак1}^{(3)} = \frac{X_{\Sigma 1}}{\omega \cdot R_{\Sigma 1}} = \frac{20,555}{314 \cdot 6,453} = 0,01 \text{ с} .$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{к1}^{(3)} = I_1''^{(3)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак1}^{(3)}) ,$$

де $t_{відімк}$ - час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с} ,$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{вимик} = 0,05$ - час вимкнення вимикача, с;

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$B_{\kappa 1}^{(3)} = 10,719^2 \cdot (0,15 + 0,01) = 18,383 \kappa A^2 \cdot c .$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{y\partial 1}^{(3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ak1}^{(3)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,01}} = 1,368 c ;$$

$$i_{y\partial 1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial 1}^{(3)} \cdot I_1^{''(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,368 \cdot 10,719 = 20,737 \kappa A .$$

Розрахунок найбільшого діючого значення струму короткого замикання:

$$I_{ДК1}^{(3)} = I_1^{''(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{y\partial 1}^{(3)} - 1)^2} ;$$

$$I_{ДК1}^{(3)} = 10,719 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,368 - 1)^2} = 12,084 \kappa A .$$

2.7.2.3 Розрахунок однофазного короткого замикання

Проведемо розрахунок струму однофазного КЗ в точці К1.

Схема заміщення прямої послідовності представлена на рисунку 2.16

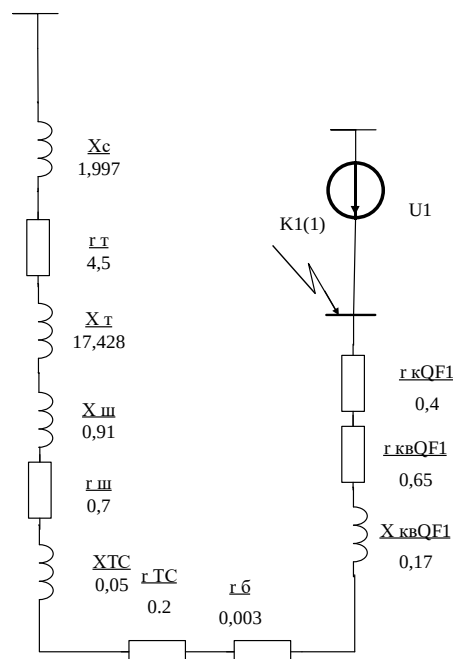


Рисунок 2.16 – СЗ прямої та зворотної послідовностей

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_m + X_{uu} + X_{кв.QF1} + X_{mc};$$

$$X_{\Sigma 1} = 1,997 + 17,428 + 0,91 + 0,17 + 0,05 = 20,555 \text{ МОм}.$$

$$R_{\Sigma 1} = R_m + R_{uu} + R_{кв.QF1} + R_{кQF1} + R_{\phi} + R_{mc};$$

$$R_{\Sigma 1} = 4,5 + 0,7 + 0,65 + 0,4 + 0,003 + 0,2 = 6,453 \text{ МОм}.$$

Розраховуємо СЗ нульової послідовності, що представлена на рисунку 2.17.

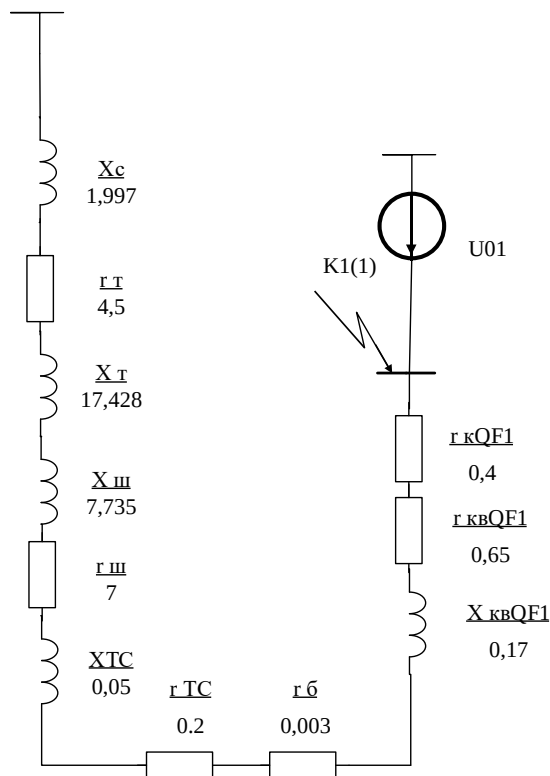


Рисунок 2.17 – Схема заміщення нульової послідовності

Розраховуємо опори нульової послідовності шин:

$$X_{uu,0} = 8,5 \cdot X_{uu} = 8,5 \cdot 0,91 = 7,735 \text{ МОм};$$

$$R_{uu,0} = 10 \cdot R_{uu} = 10 \cdot 0,7 = 7 \text{ МОм}.$$

Розрахунок еквівалентних активних та індуктивних опорів нульової послідовності для K1:

$$X_{\Sigma 0} = X_c + X_m + X_{uu0} + X_{кв.QF1} + X_{mc};$$

$$X_{\Sigma 0} = 1,997 + 17,428 + 7,735 + 0,17 + 0,05 = 27,38 \text{ МОм};$$

$$R_{\Sigma 0} = R_m + R_{ш} + R_{кв.QF1} + R_{кQF1} + R_o + R_{mc};$$

$$R_{\Sigma 0} = 4,5 + 7 + 0,65 + 0,4 + 0,003 + 0,2 = 12,753 \text{ МОм}.$$

Діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_{nn} \cdot 10^3 \cdot m^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 0})^2 + (2 \cdot X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 0})^2}}.$$

де $x_{\Sigma 0}$ та $r_{\Sigma 0}$ -індуктивний та активний опір СЗ нульової послідовності:

$$I_1^{(1)} = \frac{0,4 \cdot 10^3 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 6,453 + 12,753)^2 + (2 \cdot 20,555 + 27,38)^2}} = 9,473 \text{ кА}.$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму КЗ:

$$T_{ак1}^{(1)} = \frac{2 \cdot X_{\Sigma} + X_{\Sigma 0}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (2 \cdot R_{\Sigma} + R_{\Sigma 0})} = \frac{2 \cdot 20,555 + 27,38}{314 \cdot (2 \cdot 6,453 + 12,753)} = 0,0085 \text{ с}.$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{y\partial 1}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак1}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0085}} = 1,308 \text{ с}.$$

Розрахунок ударного струму для К1:

$$i_{y\partial 1}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial 1}^{(1)} \cdot I_1^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,308 \cdot 9,473 = 17,523 \text{ кА}.$$

Розрахунок найбільшого значення повторного струму КЗ:

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

$$I_{ДК1}^{(1)} = I_1^{''(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{y\partial 1}^{(1)} - 1)^2};$$

$$I_{ДК1}^{(1)} = 9,473 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,308 - 1)^2} = 10,333 \text{ кА}.$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{\kappa 1}^{(1)} = I_1^{''(1)^2} \cdot (t_{\text{відімк}} + T_{\text{ак1}}^{(1)}).$$

де $t_{\text{відімк}}$ - час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{\text{відімк}} = t_3 + t_{\text{вимик}} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с},$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{\text{вимик}} = 0,05$ - час вимкнення вимикача, с;

$$B_{\kappa 1}^{(1)} = 9,473^2 \cdot (0,15 + 0,0085) = 14,223 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Таблиця 2.22 – Зведені результати розрахунків для трифазного та однофазного КЗ

Розрахунков а точка КЗ	I_i'' , кА	$i_{y\partial i}$, кА	$I_{ДКi}$, кА	$B_{\kappa i}$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
$K1^{(3)}$	10,719	20,737	12,084	18,383
$K1^{(1)}$	9,473	17,523	10,333	14,223

2.7.2.4. Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та висновки

Таблиця 2.23 – Перевірка комутаційної апаратури мережі 0,4 кВ

Елементи	Паспортні дані			Розрахункові дані	
	$I_{ном}, A$	$I_{вимик}, kA$	$I_{макс}, kA$	I_i'', kA	I_{yi}, kA
BA04-36	400	18	36	10,719	12,084

Виконаємо перевірку вибраного комутаційного апарату (вимикача BA04-36) з урахуванням розрахункової складової струму КЗ таблиця 2.22.

За струмом електродинамічної стійкості:

$$i_{yi} \leq i_{макс},$$

$$12,084 \leq 36 kA$$

$$I_i'' \leq I_{вимик}$$

$$10,719 \leq 18 kA$$

При перевірці вимикача BA04-36 на електродинамічну стійкість, причин для зміни на більш потужний не виявлено.

2.7.2.5 Аналіз розрахунків та висновки

В даному розділі було проведено розрахунок трифазного та однофазного КЗ в мережі 0,4 кВ. Виконано перевірку комутаційних апаратів в результаті якої не було виявлено порушень рівня електродинамічної стійкості, дана апаратура повністю підходить для встановлення.

2.8 Релейний захист та автоматика

2.8.1 Загальні вимоги до релейного захисту і автоматики кабельних ліній 10 кВ

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		84

Для кабельних ліній 10 кВ з ізолюваною нейтраллю передбачається установка пристроїв релейного захисту від трифазних замикань і однофазних замикань на землю.

Для захисту від трифазних коротких замикань передбачається установка двоступеневого струмового захисту:

- перша ступінь виконується у вигляді струмової відсічки;
- друга ступінь виконується у вигляді максимального струмового захисту (МСЗ) з витримкою часу.

Від однофазних замикань на землю необхідно встановити селективну сигналізація від замикань на землю з витримкою або без витримки часу.

Максимальний струмовий захист містить два головні органи управління: вимірювальний і витримки часу. Відповідно струмова відсічка без витримки часу має лише вимірювальний орган.

2.8.2 Розрахунок максимального струмового захисту для кабельних ліній 10 кВ

Використання МСЗ забезпечує захист від коротких замикань у розподільних мережах 10 кВ. Розрахунок МСЗ складається з таких етапів:

- вибір струму спрацювання захисту;
- струму спрацювання реле;
- часу спрацювання захисту.

Виконуючи вибір струму спрацювання максимального струмового захисту необхідно забезпечити не спрацювання захисту при проходженні струмів після аварійних режимів.

Необхідно розглянути всі можливі післяаварійні режими:

а) відключення близького трифазного короткого замикання на лініях, що відходять від ЦЖ.

Б) для схем захисту ліній із включенням реле на фазні струми, розрахунок виконується по первинних струмах ушкодження і спрацювання захисту.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Розрахунок проведемо для кабельної лінії КЛ1 (АПвП 3х240), розрахунок для іншої лінії є аналогічним. В розрахунку розглядається реле РТ – 40 з межами струму спрацювання 12,5 – 50А. Ділянка для розрахунку представлена на рисунку 2.23.

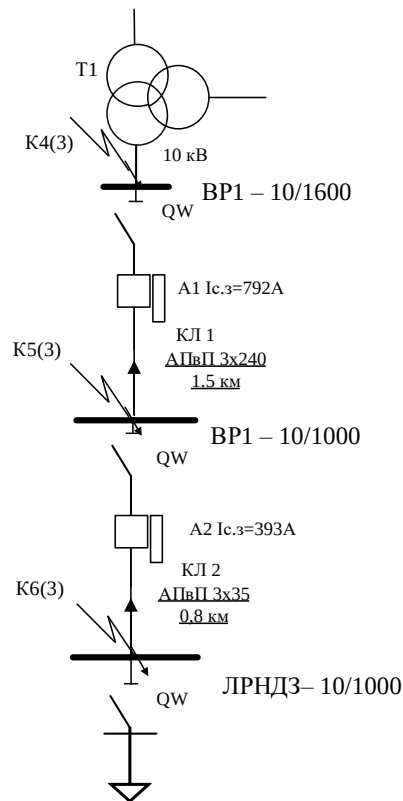


Рисунок 2.18 – Ділянка для розрахунку максимального струмового захисту

Не спрацювання максимального струмового захисту на відключення досягається вибором струму спрацювання струмових реле більшим, ніж найбільший струм у режимі аварій:

$$I_{C.3.} \geq \frac{K_H \cdot K_{C.3Л}}{K_B} \cdot I_{POB.MAX};$$

$$I_{C.3.} \geq \frac{1,2 \cdot 2,2}{0,8} \cdot 240 = 792 A,$$

де K_H – коефіцієнт надійності, приймаємо рівним 1,2 (для реле типу РТ – 80);

K_B – коефіцієнт повернення реле, приймаємо 0,8;

$K_{C.3П}$ – коефіцієнт само запуску, приймаємо 2,2;

Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

86

$I_{\text{РОб.МАХ}}$ – максимальний робочий струм елемента, що захищається, у нормальному режимі що проходить по КЛ.

$$I_{\text{С.З}} \geq \kappa_{\text{Н}} \cdot \kappa_{\text{С.ЗЛ}} \cdot I_{\text{РОб.МАХ}};$$

$$I_{\text{С.З}} \geq 1,2 \cdot 2,2 \cdot 240 = 633,6 \text{ А.}$$

Необхідно провести узгодження чутливості захистів. Це узгодження полягає у виборі таких параметрів спрацювання, при яких наступний захист, розташований ближче до джерела живлення, мав більший струм спрацювання, тобто був менш чутливий, ніж попередній, розташований далі від джерела і ближче до місця ушкодження;

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{(3)}}{I_{\text{СЗ}}};$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{6280}{792} = 7,9,$$

$$K_{\text{ч}} \geq 1,5$$

$$7,9 > 1,5.$$

де $I_{\text{к.мін}}$ – струм реле при металевому КЗ лінії, що в кінці захищається, у мінімальному режимі роботи системи живлення;

$I_{\text{С.З}}$ – струм спрацювання захисту;

Для основної зони обов'язкове значення $K_{\text{СХ}}^3 = 1,5$, а для зони резервування $K_{\text{СХ}}^3 = 1,2$.

Струм спрацювання реле пускових органів МСЗ визначається за формулою:

$$I_{\text{СР}} = \frac{I_{\text{С.З}} \cdot \kappa_{\text{СХ}}}{n_{\text{Т}}};$$

$$I_{\text{СР}} = \frac{792 \cdot 1,5}{60} = 19,8 \text{ А,}$$

де $I_{\text{С.З}}$ – струм спрацювання захисту;

$n_{\text{Т}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму $n_{\text{Т}} = \frac{300}{5} = 60.$;

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

K_{CX} – коефіцієнт схеми з'єднання трансформаторів у зірку, $K_{CX}=1$.

Час спрацювання захисту підбирається з умови селективності захисту і термічної стійкості елемента, що захищається:

$$t_{C.3} = t_{\text{ВІДКЛ.ВИМИК.}} + t_{C.РЗ.},$$

$$t_{C.3} = 0,1 + 0,5 = 0,6\text{с}$$

де $t_{\text{ВІДКЛ.ВИМИК.}}$ – час відключення вимикача ВР1 – 10-20 рівний 0,3с.

$t_{C.РЗ.}$ – час спрацювання релейного захисту, приймається 0,5с.

Розрахунок для КЛ2 проводиться аналогічно, отримані значення зведемо до таблиці 2.24.

Таблиця 2.24 – Зведені розрахунки для КЛ2

$I_{C.3}, A$	K_{η}	I_{CP}	$t_{C.3}$
393	11,19	9,83	0,6

2.9 Організація обліку електричної енергії на підстанції 10/0,4кВ

На стороні НН трансформатора встановлюємо лічильник ADDAX IMS[20] з автоматизованою системою обліку електроспоживання. Лічильник може працювати як автономно, так і у складі системи обліку. Дані з лічильника передаються на маршрутизатор, а далі надходять на сервер постачальника.

Датчики приладу обліку встановлюються безпосередньо на шини ТП, з підключенням до фаз А,В,С.

До складу системи обліку входять: трифазний лічильник, датчики, концентратори, мережевий фільтр, програмне забезпечення, маршрутизатор, контролер, акумулятор(для резервного живлення).

Можливості даної системи: облік за часом і профілем навантаження, контроль навантаження, управління попитом, контроль дисбалансу[20].

2.10 Економічні характеристики проєкту

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

2.10.1 Розрахунок вартості приєднання до мереж ОСР

Для визначення розрахункової вартості за нестандартне приєднання, використаємо інформацію з постанови НКРЕКП від 28.12.2018 № 2069 «Про затвердження ставок плати за нестандартне приєднання потужності та ставок плати за лінійну частину приєднання на 2019 рік» [21].

1. Виконаємо розрахунок вартості приєднання трансформаторної підстанції з розрахованим навантаженням 260 кВт за ставкою плати за нестандартне підключення на 2021 рік для ПрАТ «ДТЕК Київські регіональні електромережі» для установок для споживання електричної енергії на рівні напруги 0,4кВ, з категорією надійності III.

$$\text{Вартість}' = P \cdot \text{ставку} + \text{ПДВ}$$

$$\text{Вартість}' = 260 \cdot 2,51 + 130,52 = 783,12 \text{ тис. грн}$$

2. Розрахунок вартості підключення на відстані 0,8км, враховуючи ставку плати за лінійну складову приєднання на 2021 рік для ОСР.

3.

$$\text{Вартість}'' = L \cdot \text{ставку} + \text{ПДВ}$$

$$\text{Вартість}'' = 800 \cdot 2,857 + 457,12 = 2742,72 \text{ тис. грн}$$

4. Загальна вартість:

$$\text{Вартість} = \text{Вартість}' + \text{Вартість}''$$

$$\text{Вартість} = 2742,72 + 783,12 = 3525 \text{ тис. грн}$$

2.10.2 Формування загальної специфікації обладнання і матеріалів за проектом

Питання формування специфікації обладнання, виробів та матеріалів нормуються наступними нормативними документами:

- 1) Склад та зміст проектної документації на будівництво (ДБН А.2.2-3- 2014);
- 2) Правила визначення вартості будівництва (ДСТУ Б Д.1.1-1:2013);

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк. А	№ докум. №	Підпис	Дата		

3) Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів (ДСТУ Б А.2.4-10:2009).

Виконання техніко-економічних розрахунків відповідно до проєктів електропостачання неможливо здійснити без формування загальної специфікації обладнання, виробів і матеріалів. Однак відповідальність при виборі матеріалів повністю покладається на особу, що виконує проєкт.

Першочергово, передбачається виконання маркетингового аналізу відповідно до обраних матеріалів, елементів обладнання за їх кількістю з урахуванням пропозицій виробників та постачальників.

Форма специфікації обладнання, виробів і матеріалів повинна відповідати формі, до ДСТУ Б А.2.4-10:2009 [22].

Висновки до розділу 2

В даному розділі було спроектовано систему електропостачання механічного цеху. Визначено основні вимоги до надійності та якості електропостачання окремих груп електроприймачів, досліджено їх характер навантаження. Виконано розрахунок електричних навантажень для основних електроприймачів і системи освітлення.

Було виконано вибір і перевірку комутаційної апаратури та кабельної продукції. Розраховано струми короткого замикання для мереж вище 1кВ та нижче 1кВ, після чого виконано перевірку на термічну та електродинамічну стійкість всіх обраних елементів системи.

В об'єкті проєктування наявні споживачі, що потребують резервного живлення, однак діюча система електропостачання не передбачає даної можливості, тому вирішено запропонувати можливі рішення в спеціальній частині проєкту.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

3 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ГАРАНТОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

3.1 Можливості та основні завдання для забезпечення гарантованого живлення

Завдання щодо забезпечення безперебійної роботи виробничих систем та захисту їх від наслідків аварій або збоїв електроживлення в організаціях виникає все частіше. Особливо важливе вирішення цієї проблеми для фінансових і транспортних структур, а також для підприємств з безперервними циклами виробництва, або окремих електроприймачів, зупинка роботи яких призведе до загрози роботі та здоров'ю персоналу. Збої в електроживленні цих об'єктів різко знижують фінансову і економічну безпеку, негативно впливають на результати тривалої праці цехів заводів або офісних департаментів.

Для запобігання перебоїв в роботі і виходу з ладу застосовуються системи безперебійного та гарантованого електропостачання.

Система гарантованого живлення – це комплекс заходів і електрообладнання забезпечує безперебійну подачу електроенергії в разі порушень та перебоїв в електромережі.

До складу системи гарантованого електропостачання входять:

- електрична кабельна мережа
- резервна генераторна установка
- система автоматичного включення резерву

Головною метою даного розділу є проведення технічного аналізу діючого устаткування для визначення основних заходів з підвищення надійності електропостачання механічного цеху. Серед методів гарантованості електропостачання необхідно розглянути можливості застосування ВДЕ,

					НТУУ.001.7111.046ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Наталіч В.О.			ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ГАРАНТОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ				Літ.		Арк.	Аркуші	
Перевір.		Замулко А.І.									91	14	
Реценз.		Коломійчук Г.П.							НТУУ КП,ІЕЕ,ОЕ-71				
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.											
Затверд.													

аккумуляторних батарей, дизельної підстанції, для цього необхідно виконати:

- аналіз існуючої системи електропостачання механічного цеху та можливості впровадження локальної системи гарантованого живлення для окремих електроустановок;
- виконати дослідження можливостей застосування різних типів джерел резервного живлення;
- провести аналіз технічних критеріїв споживачів електроенергії, які потребують гарантованого електропостачання.

3.2 Аналіз основних засобів забезпечення гарантованого живлення

Як і більшість промислових підприємств з виготовлення та обробки металевої сировини та деталей механічний цех представлений великою кількістю електрообладнання у вигляді електродвигунів, шліфувальних верстатів, свердлильних установок, токарних станків перерва в електропостачанні яких на перший погляд не завдасть великої загрози. Однак враховуючи те, що обробка металу включає велику кількість шкідливих чинників в вигляді металевого пилу з великою концентрацією в повітрі, цехове приміщення обладнане надійною системою вентиляції.

Приточні та витяжні вентилятори потребують підвищеної надійності електропостачання, адже від даних електроустановок залежить здоров'я працівників.

Сучасна промислова вентиляційна система складається з повітропроводів, вентиляторів і фільтрів. Разом ці компоненти допомагають вирішити проблеми, пов'язані з поганою якістю повітря. У середовищах, де під час виробництва виділяються, небезпечні пари, пил, вологість і запахи, системи вентиляції повинні забезпечити відведення вже очищеного, безпечного повітря.

Система вентиляції повинна забезпечувати:

- високий рівень якості повітря;
- видалення виробничого металевого пилу та використання рекуперації

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		92

повітря;

- підтримання вологості повітря та температури;
- автоматичну систему контролю якості повітря;

Отже, система вентиляції потребує гарантованості електропостачання, адже виконує процес регулювання нормальних умов праці для робітників механічного цеху, при порушеннях в роботі системи електропостачання необхідно забезпечити окреме живлення системи вентиляції та аварійного освітлення від резервного джерела живлення.

Питання підвищення надійності окремих електроприймачів вирішується використанням резервних джерел для виключення зупинки важливих технологічних процесів. Серед можливостей підвищення надійності електропостачання можна розглянути впровадження локальних систем живлення з використанням ВДЕ. Використання ВДЕ може забезпечувати безперервність роботи важливого електроустаткування а також використовуватися у вигляді акумуляції.

Серед варіантів забезпечення гарантованості електропостачання можна розглянути наступні системи живлення:

- сонячна електростанція, яка буде генерувати електроенергію з можливістю її акумуляції шляхом використання інвертора та акумуляторних батарей;
- резервування об'єкту проєктування від сусідньої ТП, в разі порушення в системі електропостачання навантаження окремих електроприймачів візьме ТП сусіднього підприємства;
- вітрова електростанція, що забезпечить живленням окрему частину електроустаткування та дозволить акумулювати електроенергію для забезпечення гарантованого живлення в разі виникнення аварійних ситуацій;
- гідроелектростанція – комплексна установка яка при наявності водойми забезпечить акумуляцію електроенергії для резерву у випадку перебоїв в електропостачанні;
- дизельна або бензинова електростанція для локального живлення

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

окремих електроприймачів.

Умовно розглянуті джерела живлення можна розділити на нетрадиційні, а саме ВДЕ з можливістю акумуляції та традиційні, дизельні або бензинові електростанції.

Якщо розглядати варіант використання ВДЕ для забезпечення гарантованості живлення окремих вузлів системи електропостачання цеху, можна виділити основні елементи даної мережі: джерело енергії (сонячні панелі, гідроелектростанція, вітрогенератор), інвертор, система акумуляції, контролер для стану заряду акумуляторів, лінії живлення.

Тобто для створення даної автономної системи необхідно встановити сонячні модулі, безпосередньо на покрівлі цехового приміщення або на окремій території, вироблена електроенергія буде акумулюватися в батареях і при аварійних ситуаціях електроприймачі отримуватимуть живлення від резервних акумуляторів.

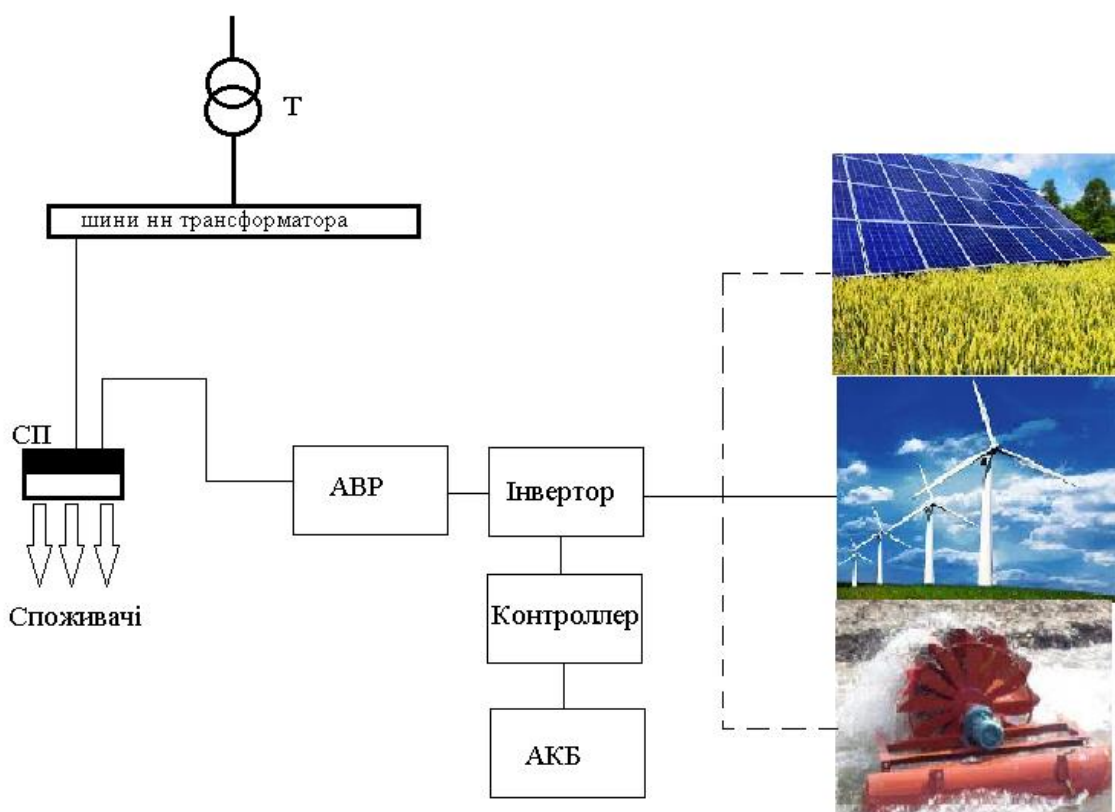


Рисунок 3.1 - Умовне зображення системи резервного живлення з використанням ВДЕ

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

94

Дана система локального живлення складається з системи автоматичного введення резерву (АВР), що забезпечує перемикання на резервне джерело (аккумуляторні батареї), якщо електропостачання від шин НН трансформатора було перервано. Однак, коли на шинах НН з'явиться напруга відбудеться автоматичне підключення живлення від цехової ТП.

Ще одним варіантом практичної реалізації системи гарантованого живлення для вирішення проблем порушення електропостачання є резервування від дизельних генераторів. Більшість сучасних дизельних генераторів комплектовані системою автоматичного запуску, що забезпечує автоматичний пуск генератора та перемикання живлення до споживачів.

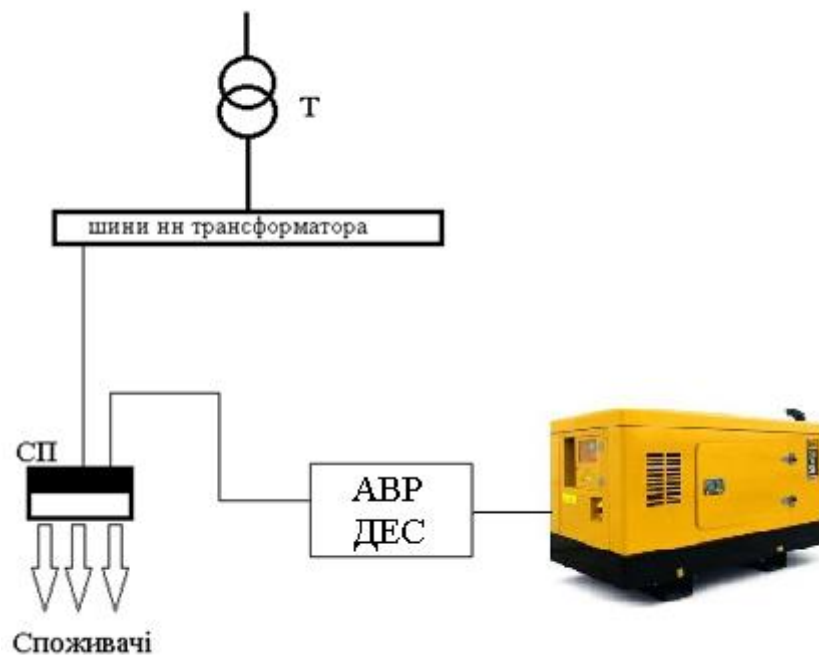


Рисунок 3.2 – Умовне зображення системи резервного живлення від дизельної підстанції

Враховуючи географічне розташування механічного цеху прийнято рішення, в якості можливостей забезпечення гарантованого живлення розглядати сонячну електростанцію або дизельний генератор для живлення окремих споживачів.

Для більш детального порівняння джерел живлення сформуємо SWOT –

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		95

аналіз, де покажемо основні переваги та недоліки встановлення даних джерел гарантованого живлення.

Таблиця 3.1 – SWOT аналіз сонячної електростанції як резервного джерела живлення

Сонячна електростанція	
Сильні сторони	Слабкі сторони
Відсутність шкідливих викидів в навколишнє середовище; Мінімальний контроль за процесом генерації; Доступність та можливості довгострокової економії;	Необхідність наявності відкритих площ для сонячних променів та відсутність перешкод для потрапляння сонячних променів; Залежність від кліматичних характеристик; Висока вартість необхідних комплектуючих, а саме: інвертор, акумуляторні батареї, контролер заряду, система обліку; Можливість генерації лише в світлий період доби; Необхідність періодичного технічного обслуговування;
Можливості	Загрози
Можливість реалізації відпуску надлишку генерованої електроенергії за відповідним тарифом; Отримання економічної вигоди від продажу на оптовому ринку електричної енергії України за «зеленим» тарифом;	Старіння сонячних панелей, що змушує виконувати достатньо вартісну, періодичну заміну фотоелектричних модулів; Зміна цін «зеленого» тарифу, що залежить від загальної економічної ситуації.

Таблиця 3.2 – SWOT аналіз дизельної електростанції як резервного джерела живлення

Дизельна електростанція	
Сильні сторони	Слабкі сторони
Широкий спектр вибору потужності; Достатньо великий ресурс роботи; Менша витрата палива порівняно з бензиновими; Високий ККД – як результат швидкий термін окупності; Простота та швидкість встановлення; Незалежність від місця установки та кліматичних факторів; Портативність.	Необхідність якісної системи вентиляції та очистки від продуктів згоряння; Значна кількість шкідливих викидів в атмосферу; Високий рівень шуму; Необхідність постійного навантаження; Необхідність періодичного технічного обслуговування;
Можливості	Загрози
Можливість використання в якості основного, додаткового, резервного джерела; Автономна робота без необхідності постійного контролю;	Можливий перегрів двигуна; Проблематика запуску при від’ємній температурі навколишнього середовища;

3.3 Вибір та розрахунок гарантованого джерела живлення

Необхідно виконати вибір локальної системи гарантованого живлення для механічного цеху враховуючи особливості електроприймачів які потребують резервного живлення.

Враховуючи високу вартість капіталовкладень, які потребує сонячна електростанція, а саме: фотоелектричні модулі, інвертор, лічильник, контролер, кріплення та монтажні системи, постійний технічний огляд, перевагу для встановлення на даному об'єкті було віддано дизельній електростанції.

Для вибору потужності ДЕС необхідно розрахувати потужність групи споживачів, яка потребує резервного живлення.

Використаємо розрахункові дані таблиці 2.4 розділу 2.

Таблиця 3.3 – Розрахункові дані для СП1 з таблиці 2.4 розділу 2

Найм. ЕП		п од	Номинальна потужність кВт				P _{ніmax} / P _{ніmin}
			P _{ні}	P _{нΣ}	P _{ні max}	P _{ні min}	
Вентилятор приточний		2	40,0	80			
Вентилятор витяжний		2	30,0	60			
СП1		4		140	40,0	30,0	1,333333

Проміжні потужності		Ne розрах	Ne	Kp	Розрахункова потужність			Розрахунк овий струм I _p ,А
P _п кВт	Q _п кВт				P _p кВт	Q _p квар	S _p кВА	
48	36							
36	27,00							
84	63,00	3,92	4	1,18	99,12	69,3	120,9432	183,75422
		P _{ніmax} / P _{ніmin} <3						

Розрахункова потужність системи освітлення теж була розрахована в попередніх пунктах.

$$P_{P_ЩАО+ВНХ+ЗВ} = P_{P_ОСВ_АВАР} + P_{P_ОСВ_ВНХ} + P_{P_ЗВУК} =$$

$$= 0,16 + 0,04 + 1,6 = 1,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_ЩАО+ВНХ+ЗВ} = Q_{P_ОСВ_АВАР} + Q_{P_ОСВ_ВНХ} + Q_{P_ЗВУК} =$$

$$= 0,04 + 0,01 + 0,4 = 0,45 \text{ квар}$$

$$S_{P_ЩАО+ВНХ+ЗВ} = \sqrt{((1,8)^2 + (0,45)^2)} = 1,46 \text{ кВА}$$

Для розрахунку потужності і вибору ДЕС для живлення споживачів загального призначення необхідно знати:

1. сумарну потужність навантаження (споживачів електроенергії);
2. вид (характер) навантаження;
3. режим роботи (використання) ДЕС;
4. температуру середовища, в якій працює ДЕС.

Загальна розрахункова, максимальна потужність ДЕС визначається за формулою:

$$P_{MAX} = P_{ED} + P_{ocb} (\kappa Bm), \quad (3.1)$$

де – P_{ED} – потужність, що споживається електродвигунами;

P_{ocb} – потужність споживачів освітлення.

При розрахунках потужності ДЕС потрібно також враховувати втрати потужності в мережах і на власні потреби ДЕС. Максимальне розрахункове навантаження ДЕС в цьому випадку буде визначатись як:

$$P_{MAX.POЗ} = \frac{P_{MAX} \cdot k_{BT}}{k_{B,П}} (\kappa Bm), \quad (3.2)$$

де $k_{BT} = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в мережі з рівнем напруги до 250В;

k_{BT} - коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії на власні потреби ДЕС, зазвичай $k_{BT} = 0,97$.

Визначимо повну розрахункову потужність ДЕС:

$$S_{MAX.POЗP} = \frac{P_{MAX.POЗP}}{\cos \varphi} (\kappa BA). \quad (3.3)$$

$$P_{MAX} = 99,12 + 1,46 = 100,58 \text{ кВт};$$

$$P_{MAX.POP} = \frac{100,58 \cdot 1,1}{0,97} = 114,059 \text{ кВт};$$

$$S_{MAX.POP} = \frac{114,059}{0,8} = 142,574 \text{ (кВА)}.$$

$$I_{MAX.POP} = \frac{S_{MAX.POP}}{\sqrt{3} \cdot U_{0,38}} = \frac{142,574}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 216,62 \text{ А}$$

За величиною розрахункової потужності необхідно обрати ДЕС однак необхідно враховувати запас потужності.

А при використанні ДЕС в режимі резерву потужність навантаження повинна бути в межах 70 ... 90% від потужності станції.

Це означає, що потужність обраної ДЕС для резервної роботи повинна бути більшою розрахункової – в 1,11 ... 1,43 рази (в середньому в 1,25 рази).

Отже, в результаті визначення розрахункової, максимальної потужності та з врахуванням відповідного коефіцієнту запасу для резервних ДЕС, було обрано дизельний генератор ROST POWER RP-R175[23].



Рисунок 3.3 – Дизельний генератор ROST POWER RP-R175

Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата

НТУУ.001.7111.046ПЗ

Арк.

100

Враховуючи умови проєктування необхідно визначити особливості комплектації ДЕС, яка може бути сформована на замовлення.

Внутрішнє приміщення механічного цеху має достатньо велику кількість електроприймачів та верстатного устаткування, тому, було вирішено виконувати установку ДЕС за межами основного приміщення. ДЕС буде розташована на відстані 8м від цехового приміщення та змонтована на бетонному фундаменті поряд з КТП1.

Особливості комплектації зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Особливості комплектації Rost Power RP-R175[23]

Двигун	Модель оснащена дизельним двигуном від. Запускається електричним стартером або автозапуском.
Корпус	Rost Power RP-R175 комплектувана вологозахисним IP54 та шумопоглинаючим корпусом, що дозволяє: захистити основні вузли генератора, зменшує шум від 70 до 60 Дб.
Система фільтрації відпрацьованого палива	Наявність системи фільтрації відпрацьованого дизельного палива, що дозволяє мінімізувати викиди в атмосферу шкідливих речовин.
Блок АВР	Дизельний генератор оснащений блоком АВР, який дає можливість швидкого перемикання з живлення основної мережі на живлення резерву в автоматичному режимі.
Панель управління	Наявність багатофункціональної панелі управління, що дозволяє контролювати всі процеси, працездатність і параметри дизельного генератора.

Враховуючи те, що ДЕС знаходиться на відстані від цехового приміщення, необхідно обрати кабельну лінію якою буде виконуватись живлення електроприймачів першої категорії.

Враховуючи значення розрахованого струму обираємо кабель АВВГ 4х120 мм з допустимим значенням струму при прокладці в землі 224 А. Виконаємо перевірку обраного кабелю аналогічно розрахункам підрозділу 2.5.2.

:

$$I_{сп-1} < I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2$$

$$233,71 < 216,62 \cdot 1,06 \cdot 1 = 229,62 A$$

Для забезпечення живленням при виникненні аварійних ситуацій необхідно розрахувати кількість дизельного пального яка необхідна ДЕС.

Враховуючи показник SAIDI(хв) – (середня тривалість відключень) для місцевості де розташований механічний цех, що становлять приблизно 260 хв на рік, необхідно розрахувати кількість пального для забезпечення живленням споживачів протягом цього часу.

Зазвичай Rost Power RP-R175 – комплектуються паливним баком на 160л. Витрата палива в звичайному режимі роботи складає 40л/год. Час безперервної роботи складає 4 год. Можемо виконати елементарний розрахунок для визначення необхідної кількості дизельного палива для забезпечення поставлених завдань.

$$\frac{160}{240} = \frac{x}{260}$$

$$x = \frac{160 \cdot 260}{240} = 173,33 л.$$

Отже для забезпечення потреб резервного живлення окремих споживачів протягом року з урахуванням показника тривалості відключень ДЕС потребує 173,33л дизельного палива.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Для більш детального розуміння роботи системи резерву з використанням ДЕС, розглянемо функціональну схему представлену на рисунку 3.4.

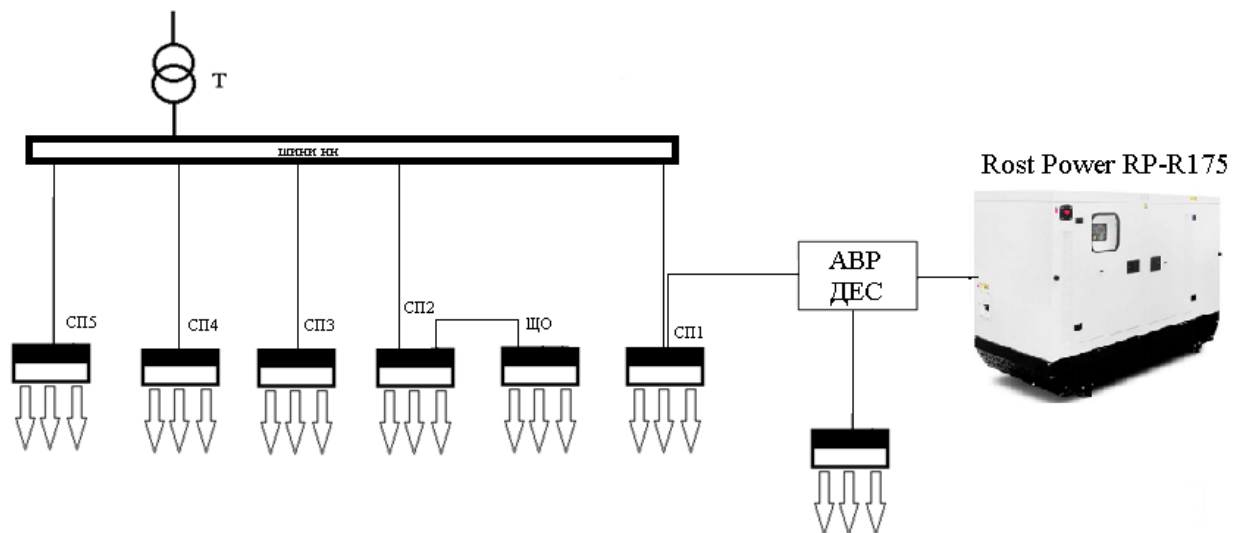


Рисунок 3.4 – Функціональна схема електроживлення окремих споживачів від ДЕС

Дана система резерву складається з системи автоматичного введення резерву (АВР ДЕС), що забезпечує перемикання на резервне джерело (дизельний генератор), якщо електропостачання від шин НН трансформатора було перервано, відбудеться спрацювання датчика напруги який в свою чергу передасть сигнал контролеру системи АВР, яка забезпечить пуск і подачу живлення від генератора . Однак, коли на шинах НН з'явиться напруга відбудеться автоматичне підключення живлення від цехової ТП.

Для забезпечення неможливості помилкової подачі напруги в розподільну мережу 0,4 – 10кВ, при ввімкненні ДЕС необхідно забезпечити:

- технічне обслуговування ДЕС, проведення інструкції для персоналу щодо взаємодії з основними елементами ДЕС та правилами технічної безпеки, при експлуатації електроустановок відповідно до[24];
- виконати необхідне обладнання схеми ДЕС в мережі 0,4кВ відповідно

до технічних умов з використанням двостороннього перехідного рубильника. Однак в нашому випадку ДЕС автоматична і має електричне блокування;

- забезпечити наявність на щиті ДЕС контрольних приладів для перевірки наявності напруги;
- спроектувати схему приєднання ДЕС.
- виконувати регулярний технічний огляд ДЕС;

Для розуміння економічної складової встановлення даної системи резервування представимо вартість основних елементів в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вартість основних елементів системи гарантованого живлення

Найменування елементу	Тип, марка	Вартість, грн
Дизельний генератор	Rost Power RP-R175	538000
Розподільний щит ДЕС	ЩР	3800
Кабельна продукція	АВВГ 4х120 11м	3000
Ввідний та вивідний автоматичні вимикачі	ВА88-35 3Р ІЕК	5000
Монтажні роботи		6000

Висновки до розділу 3

В даному розділі було розглянуто можливості встановлення локальних систем гарантованого живлення на прикладі ВДЕ та традиційних ДЕС. Проведено SWOT аналіз для відповідних джерел. Сформовано необхідні умови та вимоги щодо вибору резервного джерела для окремих електроприймачів механічного цеху.

Здійснено розрахунок для вибору необхідної потужності системи живлення. Запропоновано дизельний генератор і сформовано основні вимоги до його комплектації. Було представлено функціональну схему живлення окремих споживачів і визначено приблизну вартість основних елементів системи гарантованого живлення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС МОНТАЖУ ДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

4.1 Технічні характеристики гарантованого джерела живлення та основні показники умов праці та Пожежної безпеки

В якості джерела гарантованого живлення виступає дизельний генератор. Технічні характеристики генератора обираємо з каталогу[23]. Визначені параметри зводимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Загальна характеристика об'єкту

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія з пожежної безпеки
1	2	3	4	5
Дизельний генератор	Внутрішня ЕУ	Окреме приміщення на поверхні землі(3х1,1х1,8)	Приміщення з підвищеною небезпекою	Категорія Д

Таблиця 4.2 – Показники технічних характеристик об'єкту

Найменування ЕУ	Основні характеристики	Числове значення показника
1	2	3
Дизельний генератор ROST POWER RP-R175	Напруга	0,23/0,4 кВ
	Потужність	140 кВА
	Маса	2330 кг
	Габаритні розміри	3000х1100х1800
	Об'єм топлива	161 л
	Марка топлива	дизель

					НТУУ.001.7111.046ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Наталич В.О.				ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС МОНТАЖУ ДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ		Лім.	Арк.	Акрушіє	
Перевір.	ТретьяковаЛ.Д.							105	10	
Реценз.	Коломійчук Г.П.			НТУУ КП,ІЕЕ,ОЕ-71						
Н. Контр.	ПрокопенкоІ.Д.									
Затверд.										

4.2 Перелік робіт, які плануються до виконання, та показники умов праці для таких робіт.

Для встановлення системи гарантованого живлення, а конкретно дизельної електростанції необхідно встановити обсяги та послідовність виконання робіт [25] та відповідний кількісний склад монтажної бригади [26] та необхідну групу з електробезпеки. Інформацію зведемо до таблиці 4.3.

Визначаємо показники умов праці для особливостей та типів робіт зазначених в пункті 4.2 згідно[11]. Інформація представлена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Послідовність виконання робіт

Вид робіт	Спосіб доставки і розгрузки	Період виконання	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
1	2	3	4	5
Підготовка до виконання робіт та встановлення обладнання: – Підготовка робочого проєкту – Доставка працівників на місце проведення робіт	Доставка робочої бригади виконується раніше замовленим транспортом	Теплий період року	Група до 4 осіб	I
Доставка дизельного генератора та необхідних комплектуючих	Транспорт, механічна вигрізка, підйомний механізм	2 робочих дні	2 особи	I
Інсталяційні роботи, з'єднання основних вузлів	Транспорт, механічна вигрізка	Теплий період року, 3 робочих днів	Група до 4 осіб	III і вище
Установка заземлення	Доставка обладнання транспортом	Теплий період року, 3 робочих днів	3 особи	III і вище
Проведення електровимірювань та пусконаладжування станції	Транспорт, механічна вигрізка	1 робочий день	2 особи	III і вище

Таблиця 4.4 - Чинники умов праці та їх показники

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення показника	Визначення допустимості або шкідливості показників
1	2	3	4
Параметри мікроклімату	Температура повітря	(15...28) °C	Допустимі
	Вологість	(40...60) %	Допустимі
	Швидкість вітру	0,5 м/с	Допустимі
Важкість праці	Переміщення вантажів	До 10 кг	
	Робоче положення	«стоячи», «стоячи зігнувшись»	Шкідливі
	Статичні та динамічні навантаження	200 - 240 Вт (201 – 250 ккал/год.)	Допустимі
	Категорія робіт	II-б категорія	
	Переміщення в просторі	10,5 км за період монтажу	Допустиме
Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження	50% робочого часу	Допустиме згідно ДСН 3.3.6.042-99
	Тривалість активних дій	60 % робочого часу	
	Змінність	1 зміна, 8 годин	
	Напруженість органів чуття: зір	20 % робочого часу	
Шум	Рівень шуму	90 дБА	L _{доп} =85 Шкідливе
Напруга	Рівень напруги	0,4 кВ	U _{доп} =6 В Шкідливе
Електричний струм	Струм	180 А	I _{доп} =0,6 мА Шкідливе
Вібрація	Вібрація	1,1 мм/с	Допустиме
Робота на висоті	Висота	1м	Допустиме

4.3 Визначення шкідливих і небезпечних чинників, що впливають на працівників, які будуть виконувати монтажні роботи

Визначаємо основні шкідливі і небезпечні показники, що будуть впливати на працівників та виконуємо оцінку умов праці згідно [27],[28]. Представляємо інформацію в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Категорія небезпек	Найменування небезпеки	Рівень ймовірності нещасного випадку	Оцінка рівня ризику	Група ризику
1	2	3	4	5
Фізичні	Робота назовні	Імовірний	Значний	ІІІ
	Робота на висоті	Малоймовірний	Значний	ІІІ
	Електричного походження	Імовірний	Катастрофічний	I
	Шум	Малоймовірний	Значний	I
Рідина	Робота з нафтопродуктами	Імовірний	Значний	ІІІ
Інші	Переміщення вантажів	Імовірний	Високий	ІІ
	Незручні робочі положення	Малоймовірний	Значний	ІІІ

4.4 Визначення необхідних технічних та організаційних заходів з безпеки праці

Монтаж системи гарантованого живлення поєднує переважно інсталяційні роботи, що пов'язані з монтажем електротехнічного устаткування.

Таблиця 4.6 - Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Організаційні заходи з електробезпеки		
Категорія робіт відповідно до заходів безпеки	Роботи без напруги.	Інструктаж - допуск до проведення монтажу
Ізоляція	Робоча, струмопровідних частин	Полівінілхлорид $R=10^{15}$ Ом $tg\varphi = 0.02$
Технічні заходи		
Захисна зона	Обмежити можливість потрапляння посторонніх осіб на територію	Огороджувальна стрічка на відстані 2,5 м від місця проведення робіт

	проведення робіт	
Захисне заземлення	Заземлення дизельної підстанції	ЗП розміщений у контурі дизельної станції 1,2 Ом
Організаційні заходи під час роботи з електроустаткуванням		
Перевірка кваліфікації працівників	Перевірка фізичного стану перед початком виконання роботи. Перевірка інформативної обізнаності.	Перед початком виконання робіт, працівникам необхідно пройти медичний огляд, перевірку знань з техніки безпеки та пожежної безпеки.
Забезпечення безпечних умов праці	Дотримання безпечних умов під час монтажу електроустаткування.	Перевірка обізнаності працівників, щодо плану проведення монтажних робіт, порядку інсталяції та техніки безпеки під час роботи з електроустаткуванням.
Інструктаж	Перед початком виконання робіт, проведення інструктажу.	Необхідність використання індивідуальних засобів захисту; Дотримання техніки безпеки під час монтажних робіт; Перевірка стану обладнання перед початком робіт; Чіткість виконання плану інсталяційних робіт.

4.5 Вибір засобів індивідуального захисту для мінімізації небезпечних чинників під час монтажу системи гарантованого живлення

Необхідність використання засобів індивідуального захисту є надзвичайно високою, адже виконуються саме монтажні роботи які можуть спричинити до механічних пошкоджень та уражень струмом під час інсталяції електроустаткування.

Тому перед початком виконання робіт необхідно впевнитись у справності засобів захисту та їх відповідності нормам контролю.

Таблиця 4.7 – Перелік засобів індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка або маркування. Модель. Матеріал.	Гарантований термін використання	Технічні характеристики
1	2	3	4	5
Захисний одяг	Захист від механічних ушкоджень	Робочий комбінезон «NEO-250LD»	До зносу	Для виконання монтажних, інсталяційних робіт
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	FOCUS 233 S1-3 металевим носком	6 місяців	Під час монтажу обладнання
Захист рук	Захист від механічних ушкоджень	Рукавички TECH GREY з поліуретановим покриттям	12 робочих змін	Під час монтажних робіт
Захист голови	Захист від механічних ушкоджень	Каска від механічних та електротехнічних ушкоджень	2,5 роки	Під час робіт з прокладання кабелю, монтажних робіт захист 440 В
Захист очей	Захист від механічних ушкоджень	Захисні окуляри прозорі	2 роки	Під час інсталяції обладнання

4.6 Вибір заходів із запобігання виникненню пожеж

Дизельна електростанція повинна забезпечуватися надійною системою контролю виникнення пожеж. Також необхідне встановлення окремих приладів автоматичного відключення окремих елементів системи під час виникнення коротких замикань та засобів пожежогасіння відповідно до [29].

Таблиця 4.8 – Перелік заходів і засобів з пожежної безпеки

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Технічні		
Блискавкозахист	Двострижневий на даху контейнера генератора	II категорія
Вуглекислотний вогнегасник ВВК-3,5:	Пересувний, тривалість дії – 30 с, довжина струмені – 4м	На території встановлюються пожежні щити
Організаційні		
Регулярні перевірки справності обладнання	Проведення перевірок і огляду обладнання пожежогасіння.	Відділ з охорони праці

4.7 Розрахунок захисного заземлення та огляд можливостей блискавкозахисту механічного цеху та дизельної електростанції

Дизельна електростанція має систему заземлення з'єднану з ЗП механічного цеху, тому доцільно виконати розрахунок системи заземлення для території цеху.

Комплекс заходів для захисту від блискавки:

1. Виконується установка двох блискавкоприймачів для кріплення до вертикальних поверхонь заввишки 1,5 м, кріплення якого здійснюється до бічної стіни цеху. Враховано, що 0,3 м довжини стержня йде на кріплення.

2. Від кожного блискавкоприймача прокладено два струмовідводи із застосуванням обмідненого дроту $D = 8$ мм, які з'єднуються з штучним заземленням. Кріплення струмовідводів до стіни виробляється за допомогою затискачів GL-11704A (крок установки 0,6-1 м). Кріплення струмовідводів на даху здійснюється за допомогою затискачів GL-11747A.

Комплекс заходів для заземлення:

1. Прокладається горизонтальний заземлювач навколо контейнера. Заземлювач виконаний з корозійностійкої, сталевोї, обмідненої смуги перетином 4x30 мм (GL-11075), глибина закладення 0,5 м, відстань до стіни будівлі 1 м.

2. У місцях спуску струмовідводу виконується установка чотирьох вертикальних електродів довжиною 3 м.

3. З'єднання горизонтальних електродів між собою здійснюється за допомогою затиску ZZ-005-064.

4. З'єднання струмовідводу з обмідненою смугою з землі, здійснюється за допомогою контрольного затискача GL-11562A.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Розрахунок опору розтікання струму вертикального заземлювача

Опір розтікання струму одного ВЗ (вертикального заземлювача), який розміщено заглиблено, визначаємо за формуло 4.2.

– круглого перерізу

$$R_{\text{вер}} = \frac{\rho}{(2\pi l)} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_1}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_1}{4t - l_1} \right), \quad 4.2$$

Де $\rho_{\text{роз}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для ВЗ, Ом·м;

l_1 – довжина ВЗ, м;

d – діаметр, м;

$t = \frac{3}{2} + 0.5 = 2\text{ м}$ – відстань від поверхні ґрунту до середини ВЗ.

$$R_{\text{вер}} = \frac{100}{(2\pi \cdot 3)} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0.014} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 34,25 \text{ Ом}$$

Розрахунковий опір системи заземлення визначаємо як опір паралельно з'єднаних ВЗ і ГЗ за формулою 4.3.

$$R_{\text{роз}} = \frac{1}{k_{\text{в.з.}} \cdot \left(\frac{n_{\text{гор}}}{R_{\text{гор}}} + \frac{n_{\text{вер}}}{R_{\text{вер}}} \right)}, \quad 4.3$$

Де $k_{\text{в.з.}}$ - коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів з урахуванням вертикальних. Приймаємо ; $k_{\text{в.з.}} = 0,66$.

$n_{\text{гор}}$, $n_{\text{вер}}$ - кількість горизонтальних, вертикальних заземлювачів;

$$R_{\text{роз}} = \frac{1}{0,66 \cdot \left(\frac{1}{1,09} + \frac{12}{34,25} \right)} = 1,2 \text{ Ом}$$

Умова виконується :

$$\begin{aligned} R_{\text{роз}} &\leq R_{\text{дон}}, \\ 1,2 &\leq 4 \end{aligned}$$

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто питання формування системи охорони праці та пожежної безпеки для системи гарантованого живлення механічного цеху. Сформовано загальні характеристики системи гарантованого живлення, категорії пожежної безпеки, важкості на напруженості праці, загальну оцінку умов праці.

Здійснено розрахунки захисного заземлення для зменшення ризику уражень електричним струмом під час монтажу та подальшої експлуатації.

Обрано ЗП розміщений навколо території цеху, розраховано його еквівалентний розрахунковий опір становить 1,2 Ом, що відповідає допустимому значенню.

Запропоновано для забезпечення захисту персоналу та обладнання: перед початком монтажу даної системи гарантованого живлення проводити навчальні інструктажі з охорони праці та електробезпеки, забезпечити використання індивідуальних засобів захисту, виконати контроль обладнання та сформулювати чіткий план робіт, що будуть виконуватися.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В даному дипломному проєкті було спроектовано систему електропостачання механічного цеху, були визначені розрахункові навантаження електроприймачів, обрано кабельні лінії, що забезпечують живлення від трансформатора напругою 10/0,4кВ. Виконано розрахунок струмів короткого замикання, для перевірки елементів на вразливість та електродинамічну стійкість. Розраховано систему релейного захисту, визначено економічну характеристику системи проєктування.

У спеціальній частині проєкту було досліджено питання впровадження системи гарантованого живлення. Запропоновано можливі варіанти забезпечення резервного живлення для окремих електроприймачів цеху. Проаналізувавши існуючу систему електропостачання цеху та основні характеристики споживачів, що потребують резервування, запропоновано встановлення дизельної електростанції. Розраховано необхідну потужність ДЕС та сформовано необхідну комплектацію з урахуванням умов проєктування.

Також, було сформовано вимоги щодо умов праці з урахуванням небезпечних і шкідливих чинників під час монтажу дизельної електростанції. Запропоновано варіанти для зменшення ризиків та створення безпечних умов праці для монтажу та експлуатації ДЕС.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ермилов А.А. Электроснабжение промышленных предприятий / Ермилов А.А., Соколов Б.А.. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
2. Показники надійності. Моделі розподілу відмов [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lekciya-6-pokaznyky-nadiynosti-modeli-rozpodilu-vidmov.pdf>
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2018). Вид. офіц. Харків: Форт, 2018. 458 с.
4. Конюхова Е.А., Киреева Э.А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.studmed.ru/konyuhova-ea-kireeva-ea-nadezhnost-elektrosnabzheniya-promyshlennyh-predpriyatiy_0bd40ae1e6e.html
5. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Київ: Державне підприємство «Мінрегіонбуд України», 2010. 165 с.
6. ISO 62305-2:2010. Protection against lightning — Part 2: Risk management. Москва: Стандартиформ, 2011. 71 с.
7. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств
8. НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
9. ГОСТ 14254-2015 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками
10. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 27 с.
11. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.
12. Довідкова книга зі світлотехніки. Айзенберг Ю.Б. (Ред.) 1983 3-е изд. Перераб. И доп. М.: Знак. – 972 стр.: ил. ISBN 5-87789-051-4
13. Каталог засобів компенсації реактивної потужності [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://shop.voltenergo.com.ua/kondensatornaya-ustanovka->

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						116
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

14. Укрелектроапарат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.uea.com.ua/>.
15. Каталог [Електронний ресурс] : [Засоби комутаційної апаратури – 0,4 кВ]. – Івано-Франківськ. – Режим доступу: <https://www.avtomats.com.ua/>
16. ООО «Электро Комплект-Сервис». Каталог [Електронний ресурс] : Режим доступу до ресурсу: <https://e-.ru/cena/provod-apv->.
17. УкрЕлектро. Каталог [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ukrelektro.com.ua/>.
18. В.Н. Винославский. Переходные процессы в системах электроснабжения. Учебник / В.Н. Винославский, Г.Г. Пивняк, Л.И. Несен. – К.: Вища школа, 1989.
19. Р.О. Буйний. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електрообладнання на електричних станціях та підстанціях. Методичні вказівки / Р.О. Буйний, В.М. Ананьєв, В.В. Тесленко., 2004. 37 с.
20. Каталог приладів обліку [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://add-energy.com/products/avtomatizaciya-obliku-elektroenergii/lichilniki-3-fazni-transformatornogo-vkljuchennya/>
21. Постанова НКРЕКП від 28.12.2018 № 2069 «Про затвердження ставок плати за нестандартне приєднання потужності та ставок плати за лінійну частину приєднання на 2019 рік»
22. ДСТУ Б А.2.4-10:2009 Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів.
23. Каталог дизельних генераторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://generator.ua/vse-generatory/3220-generator-rost-power-rp-r175.html>
24. Про затвердження Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки: Постанова №687 від 26 травня 2004 р./ Кабінет Міністрів України.
25. ГKD 34.20.661-2003. Правила технічного обслуговування та ремонту

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						117
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

обладнання, будівель і споруд електростанцій та мереж: Наказ №228 від 14.05.2003 р./Міністерство палива та енергетики України.

26. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок: Наказ Державного комітету України по нагляду за охороною праці №257 від 06.10.97/.

27. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті. [Електронний ресурс] : Наказ Державного комітету з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду №62 від 27.03.2007 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0573-07#Text>

28. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

29. Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України: Наказ №491 від 26.09.2018/Міністерство палива та енергетики України.

					НТУУ.001.7111.046ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Характеристики промислового електрообладнання

№ з/п	Електроприймач (ЕП)	K_{Σ}	$\cos \varphi$
1	Вентилятор витяжний	0,2	0,8
2	Конвеєр	0,4	0,7
3	Повітрянагрівач	0,8	0,92
4	Полірувальний станок	0,15	0,5
5	Шліфувальний станок	0,25	0,5
6	Фрезерний станок	0,3	0,7
7	Механічний прес	0,2	0,85
8	Токарний станок	0,25	0,6
9	Пилосмоктувач	0,7	0,8

Таблиця А.2 – Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження K_{Σ} для жиллячких мереж і розподільчих лінійопроводів напругою до 1 кВ

n_{Σ}	Коефіцієнт використання K_{Σ}							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
2	8	5,3	4	2,66	2	1,6	1,33	1,14
3	4,52	3,2	2,55	1,9	1,56	1,41	1,28	1,14
4	3,42	2,47	2	1,53	1,3	1,24	1,14	1,08
5	2,84	2,1	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01
7	2,5	1,86	1,54	1,25	1,12	1,1	1,04	1
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1
9	2,26	1,7	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1	1
11	2,1	1,6	1,35	1,1	1,05	1,04	1	1
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1	1
13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1	1
14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1	1
15	1,9	1,46	1,25	1,03	1,01	1	1	1
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1	1	1	1
17	1,81	1,4	1,2	1	1	1	1	1
18	1,78	1,38	1,19	1	1	1	1	1
19	1,75	1,36	1,17	1	1	1	1	1
20	1,72	1,34	1,16	1	1	1	1	1
21	1,7	1,33	1,15	1	1	1	1	1
22	1,66	1,31	1,13	1	1	1	1	1
23	1,65	1,29	1,12	1	1	1	1	1
24	1,62	1,28	1,11	1	1	1	1	1
25	1,6	1,27	1,1	1	1	1	1	1
30	1,51	1,21	1,05	1	1	1	1	1
35	1,44	1,16	1	1	1	1	1	1
40	1,4	1,13	1	1	1	1	1	1
45	1,35	1,1	1	1	1	1	1	1
50	1,3	1,07	1	1	1	1	1	1
60	1,25	1,03	1	1	1	1	1	1
70	1,2	1	1	1	1	1	1	1
80	1,16	1	1	1	1	1	1	1
90	1,13	1	1	1	1	1	1	1
100	1,1	1	1	1	1	1	1	1

Примітка. При $K_{\Sigma} = 0,8$ незалежно від n_{Σ} коефіцієнт розрахункового навантаження $K_{\Sigma} = 1$.

Таблиця А.3 – Допустиме струмове навантаження й опори для трижильних кабельних ліній (КЛ) марки АПвП з алюмінієвими жилами з ізоляцією з шитого поліетилену, з зовнішньою оболонкою з поліетилену або сополімера поліетилену, на номінальну напругу 10 кВ

Кількість і номінальний переріз жил, мм ²	Опір жил, Ом/км		Допустиме струмове навантаження, А	
	Активний	Індуктивний	У землі	У повітрі
3×35	0,868	0,095	119	132
3×50	0,641	0,090	140	158
3×70	0,443	0,086	171	196
3×95	0,320	0,083	203	236
3×120	0,253	0,081	232	273
3×150	0,206	0,079	260	309
3×185	0,164	0,077	294	355
3×240	0,125	0,075	340	415

Таблиця А.4 – Допустиме струмове навантаження й опори для чотирижильних КЛ марки АБВГ з алюмінієвими жилами з полівінілхлоридною ізоляцією та зовнішньою оболонкою, на номінальну напругу до 1000 В

Кількість і номінальний переріз жил, мм ²	Опір жил, Ом/км		Допустиме струмове навантаження, А	
	Активний	Індуктивний	У землі	У повітрі
4×2,5	12,1	0,104	26	20
4×4	7,41	0,095	34	27
4×6	5,11	0,090	41	34
4×10	3,08	0,073	55	47
4×16	1,91	0,0675	72	62
4×25	1,20	0,0662	93	82
4×35	0,868	0,0637	113	101
4×50	0,641	0,0625	137	126
4×70	0,443	0,0612	166	155
4×95	0,320	0,0602	197	190
4×120	0,253	0,0602	224	219
4×150	0,206	0,0596	255	254
4×185	0,164	0,0596	286	291
4×240	0,125	0,0587	330	343