

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«__» _____ 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: «Дослідження впливу установок контактної електрозварки на навантаження інструментального цеху»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ОЕ-11

Макієнко Дар'я Валентинівна _____

Керівник:

ст.виклад. Філянін Данило Володимирович _____

Консультанти:

Охорона праці та пожежна безпека

(назва розділу)

д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль

(назва розділу)

пров. інженер Прокопенко І.Д.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

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

Студентка _____

Київ – 2025 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Макієнко Дар'ї Валентинівни

1. Тема проєкту «Дослідження впливу установок контактної електрозварки на навантаження інструментального цеху»,

керівник проєкту ст.виклад. Філянін Данило Володимирович, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1696-с

Термін здачі студентом закінченого проєкту “23” червня 2025 р.

3. **Вихідні дані до проєкту** Схема електропостачання району міста та обладнання цеху

4. **Перелік розділів, які мають бути розроблені**

а) електрична частина: Розробка загальної схеми електропостачання інструментального цеху;

б) спеціальна частина: Розрахунок навантажень групи установок комплексного електропостачання для інструментального цеху;

в) охорона праці та пожежна безпека: Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації систем електропостачання інструментального цеху.

5. **Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу**

1. Загальна схема мережі.

2. Схема живлення обладнання інструментального цеху.
3. Схема підключення джерела до інструментального цеху.
4. Характеристики контактної електрозварки.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Релейний захист та автоматика</i>	<i>к.т.н., доц. Калінчик В.П.</i>		
<i>Розрахунки струмів к.з.</i>	<i>к.т.н., доц. Белоха Г.С.</i>		
<i>Охорона праці та пожежна безпека</i>	<i>д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “22” травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

студентом Макієнко Д. В.

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Загальні відомості про об'єкт дослідження	20.05.2025-05.06.25	
2	Розробка загальної схеми електропостачання промислового підприємства	23.05.2025-02.06.2025	
3	Вирішення прикладних задач щодо об'єкту дослідження за темою диплому	02.06.2025-05.06.2025	
4	Охорона праці та пожежна безпека під час модернізації системи електропостачання промислового об'єкту	05.06.2025-10.06.2025	
5	Підготовка графічного матеріалу	10.06.2025-13.06.25	
6	Захист дипломного проєкту	17.06.24	

Студент

Дар'я МАКІЄНКО

Керівник

Данило ФІЛЯНИН

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проекту: «Дослідження впливу установок контактної електрозварки на навантаження інструментального цеху».

Дипломний проект містить 104 аркуші тексту, кількість ілюстрацій – 21, таблиць – 22, робочих креслень – 4, 21 використане джерело та 3 додатки.

Мета проекту – дослідити вплив установок контактної електрозварювання на навантаження електричною енергією в інструментальному цеху промислового підприємства та розробити рекомендації щодо оптимізації електропостачання з урахуванням специфіки роботи зварювального обладнання.

У спеціальній частині розглянуто характерні особливості роботи контактних зварювальних машин, проаналізовано їхній вплив на електричне навантаження та параметри електричної мережі.

Ключові слова: КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНА УСТАНОВКА, ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЦЕХ.

ABSTRACT

Thesis Topic: "Investigation of the Impact of Resistance Welding Equipment on Electrical Energy Load in a Tool Shop." The thesis consists of 104 pages of text, includes 21 illustrations, 21 tables, 4 working drawings, 21 references, and 3 appendices.

The objective of the project is to investigate the impact of resistance welding equipment on the electrical energy load in the tool shop of an industrial enterprise and to develop recommendations for optimizing the power supply system, taking into account the specifics of welding equipment operation.

The special section examines the operational features of resistance welding machines, analyzes their influence on electrical load and power network parameters.

Keywords: RESISTANCE WELDING, POWER CONSUMPTION, LOAD, WELDING EQUIPMENT, TOOL SHOP.

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

- ВДЕ — Відновлювані джерела енергії;
УКЕ — Установки контактного електрозварювання;
ККД — Коефіцієнт корисної дії;
КЗ — Коротке замикання;
КРП — Компенсація реактивної потужності;
ПЛ — Повітряна лінія;
ПУЕ — Правила улаштування електроустановок;
ЩАО — Щит аварійного освітлення;
ЩЗО — Щит зовнішнього освітлення;
ОСР — Оператор системи розподілу;
ТКО — Точка комерційного обліку;
ЗВТ — Засіб вимірювальної техніки;
СЕС — Сонячна електростанція;
ПВ — Показник включення.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ	11
1.1 Загальні дані.....	11
1.2 Нормативна база.....	12
1.3 Принцип роботи установок контактної електрозварки.....	13
1.4 Вплив контактних зварювальних установок на енергоспоживання підприємства	15
1.5 Технічні характеристики та енергоспоживання зварювальних установок	16
1.6 Методи підвищення енергоефективності в роботі установок контактної електрозварки	17
1.7 Вибір джерел живлення для контактних зварювальних установок	19
1.8 Оцінка впливу зварювальних установок на енергетичну систему цеху ...	20
Висновок до розділу	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	22
2.1 Умови проєктування	22
2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень цеху промислового підприємства	27
2.3 РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	36
2.4 Вибір перерізу ліній низької напруги, що живлять житлові та громадські будівлі	44
2.5 Вибір номінальної потужності трансформаторів	48
2.6 Вибір перерізу ліній розподільної мережі 10 кв і ліній живлення.....	50
2.7 Визначення навантаження на шинах 10 кв центраживлення	52

					ОЕ-11.18-012 ПЗ	Арк.
						7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8 Компенсація реактивної потужності.....	53
2.9 Стислий опис комутаційних апаратів, які використовуються в мережах напругою 0,38 кв.....	54
2.10 Розрахунок струмів короткого замикання	55
2.11 Релейний захист і автоматика	70
Висновок до розділу	75

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УСТАНОВОК КОНТАКТНОЇ ЕЛЕКТРОЗВАРКИ НА НАВАНТАЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ

3.1 Визначення розрахункових навантажень групи УКЕ.....	6
3.2 Уточнення розрахункового навантаження групи УКЕ більш точним способом.	81
3.3 Вибір струмопровідного обладнання та порівняння з методом коефіцієнта використання	85
3.4 Розрахунок пікових навантажень групи УКЕ.....	87
Висновок до розділу.....	90

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО ЦЕХУ

4.1 Технічна характеристика обладнання.....	6
4.2 Перелік робіт до виконання і відповідальні виконавці	92
4.3 Характеристика умов праці.....	93
4.4 Визначення шкідливих чинників	94
4.5 Вибір відповідних заходів і засобів з обмеження шкідливих чинників та електробезпеки.....	95
4.6 Розрахунок заземлення блискавкозахисту.....	96
4.7 Конкретні й нормативно обґрунтовані заходи пожежної безпеки в інструментальному цеху	98

						Арк.
					ОЕ-11.18-012 ПЗ	8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до розділу 100

ВИСНОВОК 101

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 102

					ОЕ-11.18-012 ПЗ	Арк.
						9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах промислового виробництва особливої ваги набуває ефективне управління електроенергетичними ресурсами, зокрема в умовах високої концентрації енергоємного технологічного обладнання. Інструментальні цехи промислових підприємств, у складі яких активно використовуються установки контактної електрозварки, формують суттєві навантаження на внутрішню електричну мережу [1]. Контактне зварювання, як один із найрозповсюдженіших способів з'єднання металевих деталей, має властивість створювати короткочасні, але інтенсивні імпульсні навантаження, що здатні призводити до зниження якості електропостачання та нераціонального використання енергії [2].

На тлі зростання тарифів на енергоресурси та необхідності забезпечення стабільного функціонування виробничих підрозділів, виникає актуальність у детальному аналізі взаємодії зварювального обладнання з електромережею. Особливо важливим є вивчення характеру енергоспоживання установок контактної типу та виявлення шляхів оптимізації навантажень.

Метою цієї дипломної роботи є дослідження впливу установок контактної електрозварки на навантаження інструментального цеху підприємства. У межах дослідження планується проаналізувати технічні характеристики зварювального обладнання, провести розрахунки величин електроспоживання, оцінити їхній вплив на параметри мережі, а також запропонувати ефективні технічні рішення для покращення енергоефективності та стабільності електропостачання.

					ОЕ-11.18-012 ПЗ	Арк.
						10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ

1.1 Загальні дані

Інструментальний цех (рисунок 1.1) – місце, де створюють, лагодять та обслуговують особливе технологічне оснащення. Йдеться про штампи, прес-форми, різальні та вимірювальні інструменти. Крім того, тут виготовляють деякі деталі для інших виробничих підрозділів. Все це обладнання критично важливе для підтримки основного виробництва.

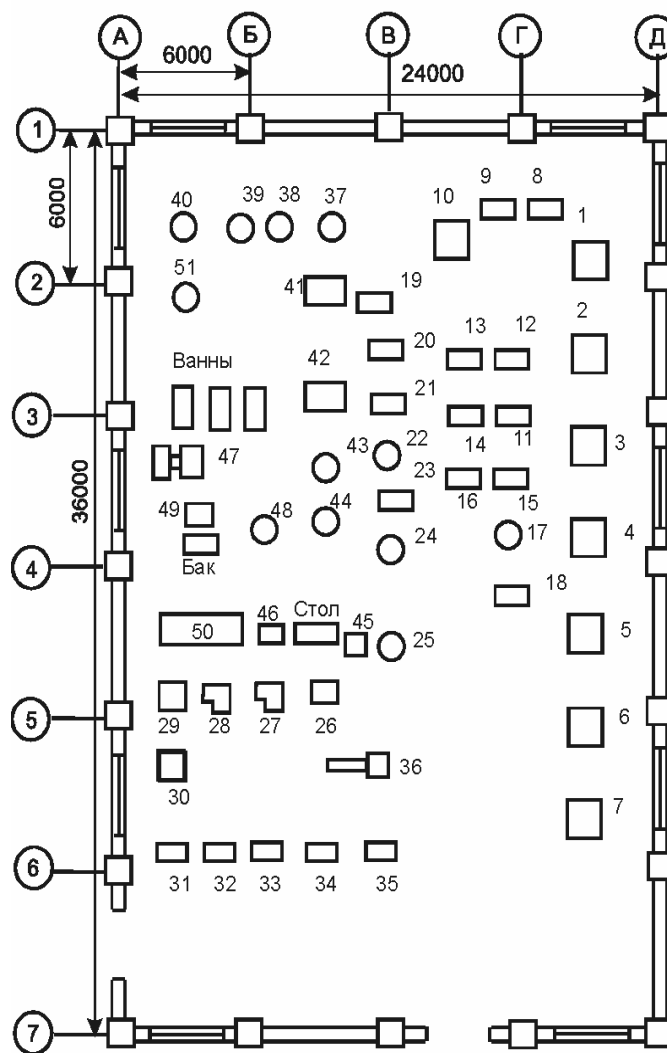


Рисунок 1.1 – Схема інструментального цеху

					ОЕ-11.18-012 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум	Підпис	Дата			
Розроб.		Макієнко Д. В.			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Філянін Д. В.				10	98
Н.контр.		Прокопенко І.Д.			НН ІЕЕ ОЕ-11		
Затв.							
					ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ		

У виробничому приміщенні реалізуються такі важливі процеси:

- контактне електрозварювання (об'єднання металевих деталей під впливом електричного струму);
- термічна обробка металів (відпуск, загартування, нагрівання у печах);
- штампування та пресування;
- механічна обробка із використанням ножиць, пресів та автоматів;
- різання та формування заготовок.

Згідно з даними таблиці 1.1, виробничий цех експлуатує наступне обладнання:

1) Преси кривошипні (позиції 19, 20, 21, 26, 31–35) — для надання форми металевим деталям шляхом холодного чи гарячого штампування.

2) Преси фрикційні (позиції 22, 24, 25) — призначені для деформації габаритних заготовок із більшими зусиллями.

3) Електропечі опору, камерні та шахтні (позиції 18, 23, 29, 30, 37, 40, 41–44) – застосовуються для термічної обробки виробів, зокрема для нагрівання, гартування та відпуску.

4) Вентилятори (позиції 17, 48, 51) – забезпечують охолодження обладнання та провітрювання робочих зон.

5) Високочастотні установки (позиції 38, 39, 43, 44) – використовуються для локального або поверхневого індукційного нагрівання металевих виробів.

6) Механічні ножиці та відрізні напівавтомати (позиції 27, 28, 46, 47, 49) – слугують для точного розкрою листового та сортового прокату.

У інструментальному цеху відбувається виробництво різноманітних виробів, котрі гарантують безперебійне функціонування виробничого циклу. До ключових відносяться штампи, котрі використовуються для надання форми деталям з листового металу на пресах, і також прес-форми, задіяні для лиття, пресування або термоформування деталей. Значну частку виробів складає різальний інструмент, а саме свердла, фрези, різці, плашки та мітчики, без котрих не обійтися при обробці металів.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До того ж, в цьому виробничому відділі виготовляються вимірювальні інструменти, на зразок калібрів, шаблонів, мікрометрів і штангенциркулів.

Вони застосовуються для перевірки відповідності розмірів виготовлених деталей встановленим нормам точності. За допомогою контактного електрозварювання виготовляють, окрім іншого, зварені частини та вузли, котрі можуть бути як самостійними виробами, так і складовими елементами більших споруд.

Таблиця 1.1 – Перелік електрообладнання інструментального цеху та його номінальна потужність

Номер на плані	Найменування обладнання	Номінальна потужність ЕП, кВт
1 – 16, 18	УКЕ	Див. табл.
17	Вентилятор	
19, 26, 31, 32, 33, 34, 35	Прес кривошипний	5,5
22, 24, 25	Прес фрикційний	14
18, 29, 30	Піч опору	5,5
20, 21	Прес кривошипний	40
23, 41, 42	Електропіч камерна	25
38, 39, 43, 44	Електропіч-ванна	0,8
46	Піч опору	15
47, 49	Електропіч	5,5
48, 51	Вентилятор	50
50	Високочастотний установка	10
27, 28	Механічні ножиці	4+1,5+0,4
36	Відрізний напівавтомат	40
37, 40	Шахтна електропіч	5,5
19, 26, 31, 32, 33, 34, 35	Прес кривошипний	5,5
22, 24, 25	Прес фрикційний	14
29, 30	Піч опору	5,5
20, 21	Електропіч	40
23, 41, 42	Вентилятор	25
38, 39, 43, 44	Високочастотний установка	0,8
46	Механічні ножиці	15
47, 49	Відрізний напівавтомат	5,5
48, 51	Шахтна електропіч	50

1.2 Нормативна база

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [3] редакцій 2017 року поширюються на системи змінного струму напругою до 750 кВ та постійного струму до 1,5 кВ. Їх обов'язково враховують під час проєктування, монтажу,

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модернізації та капітального ремонту електропостачання промислових підприємств.

В інструментальному цеху комутаційні пристрої зобов'язані гарантувати оперативне та комфортне від'єднання усієї системи (всіх фаз) на вході. Провід нейтралі має колірне позначення, а відгалуження до лічильників — містити резерв довжини щонайменше 120 мм для надійного з'єднання та простого обслуговування.

Монтаж щитів та пристроїв передбачено на висоті від 0,8 до 1,7 метра, забезпечуючи ергономічні умови та безпеку під час експлуатації. Усі з'єднання здійснюються виключно через клеми чи гвинтові затискачі, оскільки пайка заборонена. Це необхідно для запобігання перегрівам та непередбачуваним технічним проблемам.

Захисне заземлення і занулення виконується відповідно до ПУЕ [3] та НПАОП 40.1-1.21-98 [4], використовуються мідні провідники, приєднані до розподільчого щита. Найбільша увага приділяється металевому устаткуванню: кабелям, корпусам інструментів та машин.

Експлуатація охоплює систематичні профілактичні випробування, планові ремонтні роботи, оцінку стану ізоляції, устаткування та інструктаж персоналу відповідно до встановлених правил електробезпеки.

1.3 Принцип роботи установок контактної електрозварки

Контактне електрозварювання - це один з найширше застосовуваних способів з'єднання металевих компонентів у промисловості, що ґрунтується на місцевому нагріванні металу у точці зіткнення під впливом електричного струму та механічного тиску.

Фундаментом процесу контактної електрозварювання є пропускання через місце з'єднання металевих деталей електричного струму значної сили з одночасним їхнім стисканням спеціальними електродами. Електричний струм провокує стрімке нагрівання металу в точці дотику, через джоулеве нагрівання, яке вивільняється через опір проходженню струму. Коли ділянка нагрівається до критичної температури, метал у зварювальній зоні плавиться або ж переходить у пластичний,

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розм'якшений стан. Кількість теплоти Q , що виділяється в зоні контакту, визначається залежністю Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (1.1)$$

де I – сила зварювального струму, R – електричний опір на контакті деталей, t – час проходження струму.

Разом з нагріванням відбувається механічне стискання частин, що гарантує формування міцного та щільного з'єднання після охолодження місця зварювання. Внаслідок цього комбінованого впливу металеві деталі міцно поєднуються між собою без потреби використання додаткових матеріалів (зварювальних присадок).

Етапи процесу контактного зварювання:

- підготовка поверхонь: Спочатку ретельно очищають місця майбутнього зварювання. Видаляють усі види забруднень, сліди окислення та сторонні включення. Мета – забезпечити максимально якісний контакт між деталями та мінімізувати електричний опір;

- притискання деталей: деталі, що зварюються, фіксуються між електродами. Останні забезпечують потрібне механічне зусилля для щільного зіткнення;

- пропускання струму зварювання: через з'єднаний контакт;

- пропускається електричний струм великої потужності, що спричиняє локальне нагрівання металу;

- формування зварного шва: під дією тепла та механічного впливу метал плавиться або набуває пластичної деформації, що призводить до утворення міцного зварного з'єднання.

За ступенем автоматизації та способом керування розрізняють:

- ручні зварювальні пости;

- автоматизовані зварювальні системи;

- роботизовані зварювальні комплекси.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

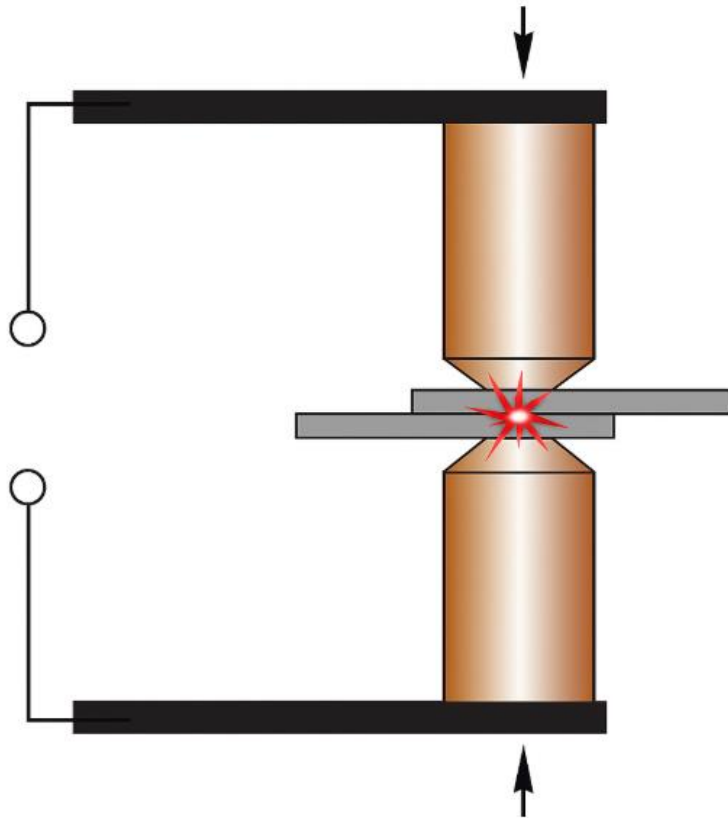


Рисунок 1.2 – Схема контактної точкової зварювання [5]

1.4 Вплив контактних зварювальних установок на енергоспоживання підприємства

Контактні зварювальні апарати відносяться до потужних електротехнічних установок, які спричиняють відчутне навантаження на електромережу підприємства. Процес зварювання характеризується імпульсним споживанням електроенергії — короткочасні, але сильні стрибки струму викликають помітні коливання напруги, що здатні негативно впливати на функціонування іншого обладнання.

Одним з ключових викликів є падіння напруги у момент старту зварювального струму, особливо, коли працюють кілька приладів одночасно. Це може погіршити якість шва та спровокувати передчасний знос електричних елементів. До того ж, зварювальне обладнання часто характеризується низьким коефіцієнтом потужності через реактивну складову навантаження, що веде до додаткових витрат на електроенергію, потрібну для компенсації реактивної потужності.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно також брати до уваги вплив гармонічних спотворень, породжених імпульсними струмами під час зварювання. Вони призводять до погіршення якості електропостачання в мережі, збільшують втрати в трансформаторах і лініях електропередачі, а також здатні викликати неправильну роботу автоматизованих систем управління.

Для мінімізації негативного впливу контактної зварювальної обладнання на енергомережу підприємства рекомендовано:

- автоматизовані системи управління режимами зварювання;
- установки компенсації реактивної потужності;
- фільтри вищих гармонік;
- трансформатори з поліпшеними енергетичними показниками;
- коливання напруги в мережі при запуску зварювальних установок;
- реакція мережі на зміни навантаження, вплив на якість електричної енергії;
- важливість стабільного живлення для якісного виконання зварювальних операцій.

Отже, удосконалення функціонування контактних зварювальних машин не тільки покращує якість вироблених товарів, а й сприяє раціональному споживанню енергії та зменшенню виробничих витрат на підприємстві.

1.5 Технічні характеристики та енергоспоживання зварювальних установок

Контактні зварювальні установки здобули широке визнання в машинобудуванні та інших сферах промисловості, забезпечуючи міцні з'єднання металевих елементів. Їхні технічні властивості та споживання електроенергії визначаються типом обладнання, режимом експлуатації та особливостями виробничого процесу.

Основні технічні характеристики контактних зварювальних установок включають:

- напруга живлення: здебільшого 400 В, 50/60 Гц;

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- номінальна потужність: у діапазоні від 20 до 35 кВА;
- найбільша зварювальна потужність: може досягати 69 кВА;
- найбільший зварювальний струм: до 15,2 кА;
- вторинна напруга: приблизно 4,5 В;
- сила притиску електродів: до 230 даН за тиску 6 бар;
- розміри та маса: варіюються залежно від моделі, наприклад, 1005×410×1425 мм, вага — 200 кг;
- опис потужності установок (наприклад, від 5 до 100 кВт).

Приклад демонструє зварювальний апарат контактного точкового зварювання SEA PPS 35 [6], що володіє вказаними раніше особливостями.

Енерговитрати контактної зварювальної обладнання мають імпульсний характер: короткочасні, але значні струми під час зварювання змінюються періодами очікування. Це зумовлює особливе навантаження на електромережу підприємства.

1.6 Методи підвищення енергоефективності в роботі установок контактної електрозварки

Підвищення ефективності використання енергії в установках контактної зварювання є першочерговим завданням для зменшення споживання ресурсів та покращення продуктивності виробництва. Основні підходи передбачають:

- застосування трансформаторів з високим ККД. Сучасні трансформатори, які мають коефіцієнт корисної дії (ККД) більше 80%, дозволяють суттєво зменшити втрати енергії під час зварювальних робіт. Оптимізація схем і режимів роботи джерел живлення сприяє досягненню коефіцієнта потужності вище 0,99 і зменшує пульсації вихідної потужності до показника в 3%;

- встановлення пристроїв для компенсації реактивної потужності. Контактні зварювальні апарати можуть генерувати реактивне навантаження в електромережі, що погіршує якість електроенергії. Монтаж компенсаторів реактивної потужності дає можливість стабілізувати напругу в мережі та скоротити енергетичні втрати.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування трансформаторів з високим ККД.

Сучасні трансформатори, які мають коефіцієнт корисної дії (ККД) більше 80%, дозволяють суттєво зменшити втрати енергії під час зварювальних робіт. Оптимізація схем і режимів роботи джерел живлення сприяє досягненню коефіцієнта потужності вище 0,99 і зменшує пульсації вихідної потужності до показника в 3%.

Встановлення пристроїв для компенсації реактивної потужності.

Контактні зварювальні апарати можуть генерувати реактивне навантаження в електромережі, що погіршує якість електроенергії. Монтаж компенсаторів реактивної потужності дає можливість стабілізувати напругу в мережі та скоротити енергетичні втрати.

Інвестування в автоматизовані системи контролю зварювальних процесів.

Впровадження автоматизованих систем управління процесом зварювання гарантує точне налаштування всіх параметрів зварювання. Це веде до зменшення споживання енергії та покращення якості зварних з'єднань. Ці системи також допомагають мінімізувати вплив людського фактору, що збільшує безпеку роботи на виробництві.

Застосування інверторних зварювальних установок

Інверторні зварювальні апарати славляться своєю високою енергоефективністю та можливістю максимально точного налаштування параметрів зварювання. Вони гарантують стабільну роботу навіть при

нестійкій нарузі в електричній мережі. Крім того, ці апарати мають менші розміри та вагу в порівнянні зі звичайними трансформаторними установками.

Регулярне технічне обслуговування устаткування

Своєчасне технічне обслуговування та періодичний контроль стану зварювального устаткування дозволяють виявляти та усувати неполадки, здатні викликати надмірне споживання енергії. Систематичне очищення контактів, інспекція ізоляції та заміна зношених частин сприяють підтримці оптимальної продуктивності установок.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запровадження енергетичного менеджменту на підприємстві.

Системний підхід до управління споживанням енергії, включаючи проведення енергоаудитів та впровадження систем енергетичного менеджменту, дає змогу виявити ключові джерела енергетичних втрат та розробити плани для їх ліквідації. Це сприяє загальному збільшенню енергоефективності виробництва.

1.7 Вибір джерел живлення для контактних зварювальних установок

Контактне електрозварювання потребує застосування надійних джерел енергії, що гарантують стабільність струмових та напругових параметрів для отримання високоякісних зварних з'єднань. Визначення відповідного джерела живлення відіграє вирішальну роль в ефективному функціонуванні зварювального обладнання та загальній енергоощадності підприємства.

Ось основні типи живлення для обладнання контактного зварювання:

- однофазні трансформатори: використовуються там, де є обмежений доступ до електрики, або для зварювання невеликих обсягів. Їхня конструкція і використання нескладні, проте їхня потужність має певні обмеження;
- трифазні трансформатори: гарантують вищу продуктивність і стійкість зварювального процесу, зокрема при застосуванні на виробництві. Вони дають змогу знизити навантаження на окремі фази електромережі, забезпечуючи рівномірніший розподіл струму;
- інверторні джерела живлення: використовують передові технології перетворення енергії, що дозволяє досягти високої енергоефективності та точного регулювання зварювальних параметрів. Вони компактні, легкі та забезпечують стабільну роботу при перепадах напруги в мережі.

Під час вибору джерела живлення важливо враховувати такі чинники:

- максимальний зварювальний струм: визначається видом та товщиною матеріалів, що зварюються;
- тривалість вмикання (ТВ): співвідношення часу активної роботи до загального циклу, виражене у відсотках. Високе значення ТВ свідчить про здатність джерела працювати тривалий час, не перегріваючись;

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- напруга без навантаження: має бути достатньою для простого збудження дуги, однак не може перевищувати безпечних показників для того, хто працює з приладом;
- коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$): великий показник коефіцієнта вказує на раціональне використання електроенергії.

1.8 Оцінка впливу зварювальних установок на енергетичну систему цеху

Зварювальні установки контактного типу виступають серед найбільш енерговитратних споживачів електрики у виробничому відділі. Їх вплив на енергосистему підприємства виражається у значних пікових навантаженнях, перепадах напруги та потребі у безперебійному електропостачанні задля високоякісного виконання зварювальних процесів.

Розробка моделей навантаження енергосистеми цеху.

Для дієвого керування споживанням енергії потрібно розробити моделі навантаження, які враховують наступне:

- кількість та види зварювальних пристроїв: зокрема, інверторні, трансформаторні, автоматизовані або ручні;
- графік функціонування обладнання: тривалість зварювальних циклів, час простою, коливання навантаження впродовж робочого дня;
- загальне споживання електроенергії: обчислення сукупного навантаження на електромережу цеху;
- створені моделі дають змогу передбачати пікові навантаження та удосконалювати розподіл електроенергії.

Вплив на якість електричної енергії.

Зварювальні апарати здатні спричиняти коливання напруги та вносити гармонійні спотворення у мережу, що негативно позначається на роботі іншого електрообладнання. З метою мінімізації цих небажаних ефектів, варто:

- впроваджувати фільтри гармонік та стабілізатори напруги;
- використовувати компенсатори реактивної потужності, щоб покращити

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт потужності;

– застосовувати інверторні зварювальні апарати з високим ККД та низьким рівнем електромагнітних перешкод.

Рекомендації щодо покращення енергоспоживання.

Енергетична перевірка: регулярне проведення аудиту задля виявлення неефективного обладнання та розробки плану енергозбереження.

Автоматизація: впровадження автоматизованих систем управління процесами зварювання для оптимізації їх роботи.

Навчання: організація навчання персоналу з метою підвищення їх обізнаності у питаннях енергоефективного використання обладнання.

Висновок до розділу

Контактні зварювальні апарати відіграють ключову роль у виробничій діяльності інструментального цеху, гарантуючи міцне з'єднання металевих складових. Разом з тим, вони генерують значне електричне навантаження через імпульсний режим споживання струму, низький коефіцієнт потужності та гармонічні спотворення.

Для підвищення енергоефективності рекомендується використовувати трансформатори з великим коефіцієнтом корисної дії (ККД), інверторні джерела живлення, компенсатори реактивної потужності та автоматизовані системи управління процесом зварювання. Окрім цього, необхідно проводити регулярне технічне обслуговування устаткування.

Застосування цих кроків дає змогу зменшити втрати енергії, вирівняти функціонування мережі та збільшити сукупну ефективність і стабільність виробництва.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Умови проєктування

Інструментальний цех здійснює виготовлення, ремонт і відновлення спеціальної оснастки (інструменту) загального користування. Увесь придбаний, виготовлений і відремонтований (відновлений) інструмент надходить до центрального інструментального складу.

Приміщення інструментального цеху повинно відповідати нормам пожежної та електробезпеки, забезпечуючи комфортні та безпечні умови для роботи з обладнанням.

1. Конструкція будівлі:

- Матеріали стін повинні відповідати нормам ДБН В.2.2-9:2018 [7], забезпечуючи необхідну міцність і пожежну безпеку.
- Мінімальна товщина зовнішніх стін визначається відповідно до теплотехнічних вимог ДБН В.2.6-31:2021 [8] і залежить від матеріалу.
- Пожежна стійкість виробничих приміщень має складати не менше 45 хвилин.
- Внутрішні перегородки рекомендується виготовляти з негорючих матеріалів згідно з ДБН В.2.2-9:2018 [7]. Їх висота повинна дорівнювати висоті приміщень і бути не меншою за 8 метрів.
- Для забезпечення захисту від шуму перегородки необхідно виконувати згідно з ДБН В.1.1-31:2013 [9].

2. Підлога цеху:

- Поверхня підлоги повинна витримувати високі механічні та хімічні навантаження, відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [10] та бути зносостійкою.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Макієнта Д.В.			РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА <small>Public</small>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Філянін Д.В.					22	98
Н.контр.		Прокопенко І.Д.				НН ІЕЕ ОЕ-11		
Затв.								

3. Організація робочих зон:

– Навколо кожного верстата необхідно передбачити зону обслуговування не менше 1 метра з усіх боків для безпечного доступу до обладнання та виконання технічного обслуговування.

4. Освітлення:

– Освітлення виробничих зон повинно відповідати нормам ДБН В.2.5-28:2018 [11], забезпечуючи достатній рівень освітленості для виконання робіт з високою точністю.

5. Електробезпека:

– У приміщеннях з підвищеним пилом або вологістю необхідно використовувати електроустановки з рівнем захисту не менше IP65 відповідно до ДСТУ EN 60529:2018 [12], щоб захистити обладнання від пилу та бризок.

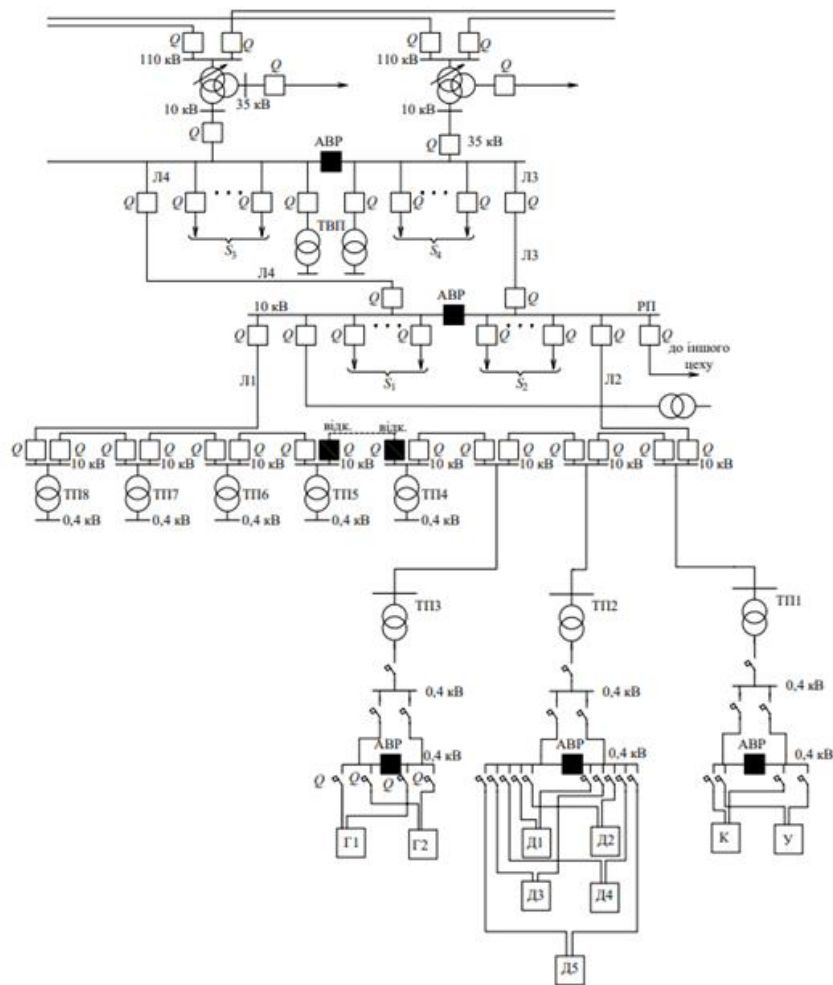


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Приміщення цеху це окрема будівля виконана з сендвіч панелей. Розміри цеха 40 × 35× 8м. Підлога виконана монолітно, залита бетоном з каналами під кабелі.

Все обладнання працює на змінній напрузі 380В, частотою 50Гц. Основним обладнанням яке викликає спотворення якості електричної енергії..

Згідно з ПУЕ [3], усі електричні пристрої в цеху мають бути заземлені. Для зон з високим рівнем пилу рекомендується додатковий захист від перенапруги.

У зонах з підвищеним пилом чи вологістю слід використовувати розетки та щити із захистом IP65 і вище, щоб захистити від пилу та бризок [12].

Щити освітлення встановлюються при вході, для зручності ввімкнення освітлення. Кількість силових щитів вибиралась в залежності від розміщення обладнання, однотипності обладнання та зручності в обслуговуванні та керуванні роботою.

Перелік та навантаження по СП наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік обладнання цеху

Номер на плані	Найменування обладнання	Номінальна потужність ЕП, кВт
1 – 16, 18	УКЕ	12
17	Вентилятор	2
19, 26, 31, 32, 33, 34, 35	Прес кривошипний	5,5
22, 24, 25	Прес фрикційний	14
29, 30	Піч опору	5,5
20, 21	Прес кривошипний	40
23, 41, 42	Електропіч камерна	25
38, 39, 43, 44	Електропіч-ванна	0,8
45, 46	Піч опору	15
47, 49	Електропіч	5,5
50	Високочастотний установка	10
27, 28	Механічні ножиці	6
36	Відрізний напівавтомат	40
37, 40	Шахтна електропіч	5,5
48, 51	Шахтна електропіч	50

Таблиця 2.2 –Перелік установок контактної електрозварки.

Найменування ЕП	Фазність	п, од	S, кВА
МРВ-19001	3	1	700
МРВ-19001	3	1	700
МРН-24009	3	1	1240
МРН-24009	3	1	1240
МТ-4019СЕ	2	1	420
МТ-4019СЕ	2	1	420
МТ-4019СЕ	2	1	420
В251Р	2	1	250
МТ-4019СЕ	2	1	420
РMS 16-4	2	1	1035
В251Р	2	1	250
МТ-3001СЕ	1	1	242
МТ-3001СЕ	1	1	242
КТ-009	1	1	110
МТ-1928СЕ	1	1	124
PL-80	1	1	80
КТ-009	1	1	110

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

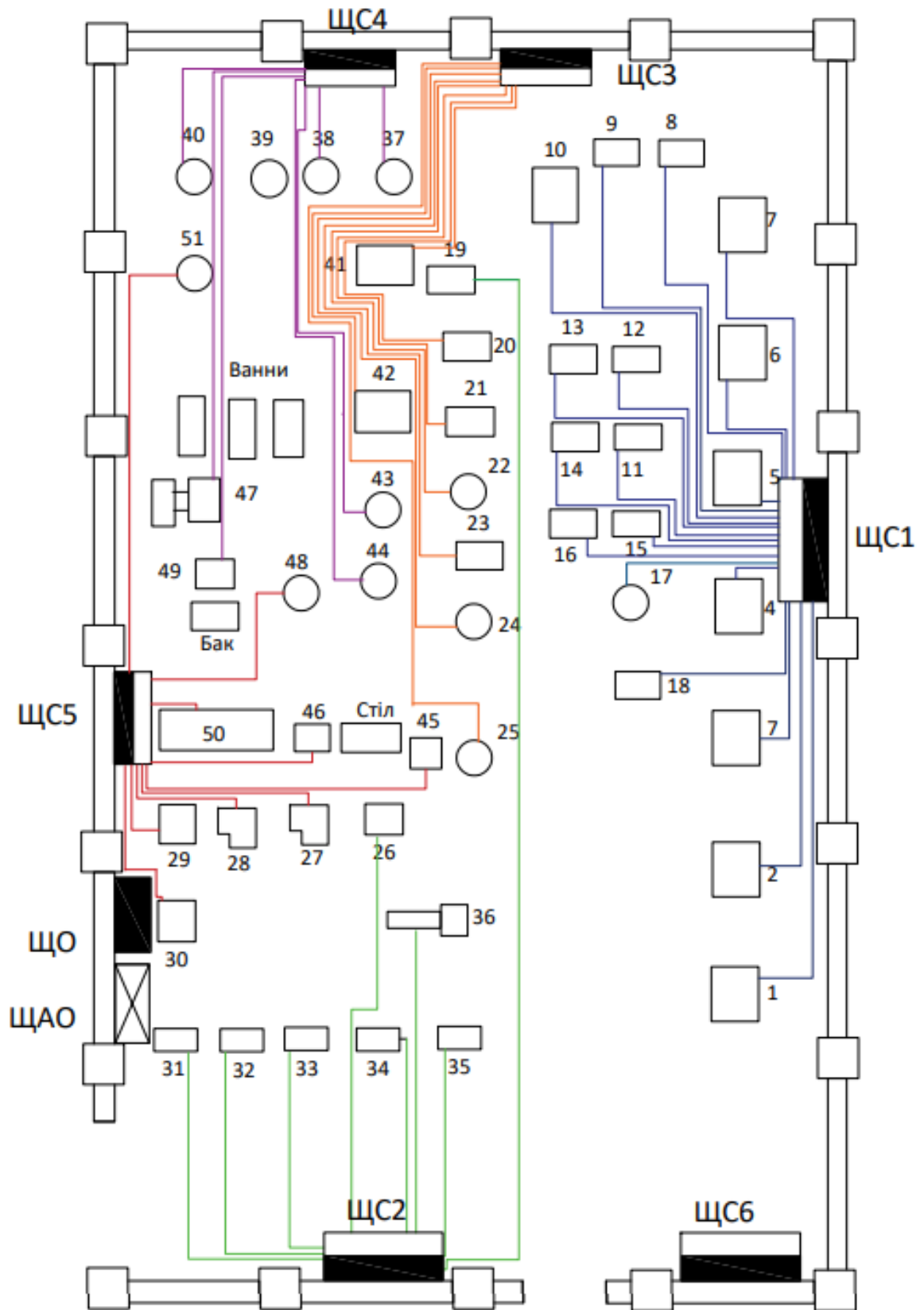


Рисунок 2.2 – План розміщення устаткування інструментального цеху

2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень цеху промислового підприємства

Номинальна активна потужність групи електроприймачів визначається шляхом обчислення за відповідною формулою:

$$P_H = nP_{Hi}, \quad (2.1)$$

де n – кількість електроприймачів;

P_{Hi} – номінальна потужність ЕП для УКЕ;

$$P_H = 17 \cdot 12 = 204 \text{ кВт.}$$

Для визначення решти навантажень скористаємося формулами (2.1), а отримані дані узагальнимо в таблиці 2.3.

Проміжні величини активної і реактивної потужності можна знайти за наступними формулами:

$$P_{\text{пр}} = P_{H\Sigma} k_B, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \text{tg } \varphi. \quad (2.4)$$

де k_B – коефіцієнт використання;

$$P_{\text{пр}} = 204 \cdot 0,7 = 142,8 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{пр}} = 142,8 \cdot 0,62 = 88,5 \text{ квар.}$$

Обчислюємо номінальну сумарну активну потужність групи для СП1:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{Hi} = 204 + 2 = 206 \text{ кВт.}$$

Розрахунок потужності іншого обладнання цеху здійснюється аналогічно. Результати вносимо до таблиці 2.3.

Загальні проміжні значення активної та реактивної потужностей для СП1 знаходимо за формулою:

$$P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n P_{\text{пр}i}, \quad (2.5)$$

де $\sum P_{\text{пр}}$ – сума активних проміжних потужностей для СП1,

$$P_{\Pi\text{СП1}} = 142,8 + 1,2 = 144 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}i}, \quad (2.6)$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						27
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\sum Q_{пр}$ - сума реактивних проміжних потужностей для СП1,

$$Q_{пСП1} = 88,5 + 0,74 = 89,24 \text{ квар.}$$

Серед усіх споживачів силового пункту 1 визначаємо ті, що мають максимальну та мінімальну потужність:

$$P_{minпСП1} = 2 \text{ кВт,}$$

$$P_{maxпСП1} = 12,5 \text{ кВт,}$$

$$m = \frac{P_{maxпСП1}}{P_{minпСП1}} = \frac{204}{2} = 102.$$

Розрахуємо значення коефіцієнту використання силового пункту в цілому:

$$K_B = \frac{P_{п}}{P_{н\Sigma}}, \quad (2.7)$$

де P_n - значення проміжної потужності для СП1;

$P_{н\Sigma}$ - значення номінальної потужності для СП1;

$$K_{вСП1} = \frac{144}{206} = 0,7.$$

Знайдемо ефективну кількість електроприймачів за формулою:

$$n_{ef} = \frac{P_{н\Sigma}^2}{\sum P_{ni}^2}, \quad (2.8)$$

де $P_{н max}$ - максимальна номінальна потужність споживача

$$n_{efСП1} = \frac{206^2}{17 \cdot 12^2 + 1 \cdot 2^2} = 17,31,$$

Прийmemo значення $n_{eСП1} = 17$.

Розрахунок для решти електроприймачів здійснюється аналогічним способом. Узагальнені результати наведено в таблиці 2.3. Коефіцієнт розрахункового навантаження за відповідною формулою:

$$K_{рСП1} = 1.$$

Визначаємо значення сумарної активної потужності розрахункового навантаження для СП1:

$$P_p = P_{п} K_p, \quad (2.9)$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						28
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_{Π} – сумарне значення проміжної активної потужності для СП1;

K_p – коефіцієнт розрахункового навантаження;

$$P_p = 144 \cdot 1 = 144 \text{ кВт.}$$

Проводимо визначення розрахункової реактивної потужності:

$$\text{при } n_e > 10, Q_p = Q_{\text{пр}},$$

$$\text{при } n_e \leq 10, Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{пр}},$$

$$\text{СП2: } Q_p = Q_{\text{пр}} = 89,24 = 89,24 \text{ квар (так як } n_e = 17 > 10).$$

Знайдемо розрахункову потужність для СП1:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.10)$$

$$S_{p\text{СП1}} = \sqrt{144^2 + 89,24^2} = 169,41 \text{ кВА.}$$

Струм розрахункового навантаження для СП1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \quad (2.11)$$

де S_p – значення повної розрахункової потужності для СП1;

U_H – номінальне значення напруги мережі;

$$I_{p\text{СП1}} = \frac{169,41}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 244,52 \text{ А.}$$

Розрахунок для решти силових приймачів здійснюється за аналогічною методикою, а підсумкові значення подано в таблиці 2.3.

Знаходимо загальну кількість електроприймачів

$$n_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m n_i, \quad (2.12)$$

$$n_{\Sigma} = 18 + 8 + 8 + 9 + 8 = 51.$$

Визначаємо активну номінальну потужність групи споживачів:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{ni} = 206 + 79 + 197 + 163 + 25,2 = 670 \text{ кВт.}$$

Серед наявних електроприймачів обираємо ті, що мають максимальну та мінімальну потужність

$$P_{\text{minпСП1}} = 2 \text{ кВт,}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						29
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{maxпСП1} = 204 \text{ кВт},$$

$$m = \frac{P_{maxпСП1}}{P_{minпСП1}} = \frac{204}{2} = 102.$$

Знаходимо проміжну активну та реактивну потужність:

$$P_{пСН} = \sum_{i=1}^n P_{пСНi}, \quad (2.13)$$

$$P_{пСН} = 144 + 47,1 + 136,5 + 137,9 + 22,68 = 488,18 \text{ кВт},$$

$$Q_{пСН} = \sum_{i=1}^n Q_{пСНi}, \quad (2.14)$$

$$Q_{пСН} = 89,24 + 29,19 + 67,68 + 50,53 + 7,45 = 244,1 \text{ квар.}$$

Розраховуємо значення коефіцієнта використання:

$$K_B = \frac{P_{пСН}}{P_{н\Sigma}}, \quad (2.15)$$

$$K_{вСП} = \frac{488,18}{670} = 0,73.$$

Ефективну кількість електроприймачів обчислюємо за формулою:

$$n_{eСП} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{n.i.max}}, \quad (2.16)$$

$$n_{eСП} = \frac{2 \cdot 670}{204} = 6,57.$$

Приймаємо $n_{eСП} = 6$.

Обчислюємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_p = 0,91.$$

Розраховуємо загальну розрахункову активну потужність:

$$P_p = P_{п} K_p, \quad (2.17)$$

$$P_p = 488,18 \cdot 0,91 = 444,24 \text{ кВт.}$$

Знаходимо реактивну потужність:

$$Q_p = K_p Q_{пр}, \quad (2.18)$$

$$Q_p = 0,91 \cdot 244,1 = 222,13 \text{ квар.}$$

Загальна розрахункова потужність силового навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.19)$$

$$S_p = \sqrt{444,24^2 + 222,13^2} = 496,68 \text{ кВА.}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						30
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \quad (2.20)$$

$$I_p = \frac{496,68}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 754,63 \text{ А.}$$

Перед розрахунком розрахункових навантажень освітлювальних систем зазвичай визначають параметри електричного освітлення запроєктованого цеху, яке поділяється на робоче та аварійне освітлення. Для цеху розрахунок освітлення виконуватиметься з використанням методу коефіцієнта використання. Необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику Φ визначається за формулою::

$$\Phi = \frac{E_{min} k_3 F z}{\eta}, \quad (2.21)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу;

E_{min} – значення мінімального рівня освітленості, лк;

F – величина площі приміщення, що освітлюється, м²;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін $\rho_{ст}$, стелі ρ_c , робочої поверхні ρ_p , а також від індексу приміщення, що враховує співвідношення розмірів приміщення.

Приймаємо наступні значення згаданих вище коефіцієнтів:

$$\rho_{ст} = 0,5, \rho_c = 0,3, \rho_p = 0,1.$$

Встановлюємо параметри:

- Коефіцієнт запасу $k_3 = 1,8$;
- мінімальний рівень освітленості $E_{min} = 200$ лк;
- коефіцієнт нерівномірності освітлення $z = 1,15$.

Площу приміщення знаходимо за наступною формулою:

$$F = AB, \quad (2.22)$$

де A – довжина будівлі, м;

B – ширина будівлі, м;

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						31
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = 24 \cdot 36 = 864 \text{ м}^2.$$

Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)}, \quad (2.23)$$

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2.24)$$

де $H = 8 \text{ м}$ – висота цеху;

$h_c = 1,2 \text{ м}$ – відстань до світильника від перекриття;

$h_p = 0,8 \text{ м}$ – значення висоти розрахункової поверхні над підлогою згідно норм [16];

$$h = 8 - 1,2 - 0,8 = 6 \text{ м},$$

Звідси:

$$i = \frac{24 \cdot 36}{6 \cdot (24 + 36)} = 2,4.$$

Коефіцієнт використання світлового потоку становить:

$$\eta = 0,4,$$

Нормований рівень освітленості для цеху складає 200 лк. Коефіцієнт мінімальної освітленості z , приймаємо 1,12. Обираємо коефіцієнт запасу $k_3 = 1,3$.

Визначаємо тип та потужність ламп:

- тип LED ДБО 01-120-012 LTR,
- $\Phi_{\text{л}} = 18150 \text{ лм}$,
- $P_{\text{л}} = 120 \text{ Вт}$
- $U = 220 \text{ В}$.

Значення світлового потоку буде дорівнювати:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 864 \cdot 1,12}{0,4} = 628992 \text{ лм}.$$

Розраховуємо кількість світильників:

$$N_{\text{св}} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (2.25)$$

$$N = \frac{628992}{18150} = 34,66 \approx 35 \text{ шт.}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						32
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуємо світильник типу ДБО 01-120-012 LTR з такими параметрами:

- Потужність ламп $P_{\text{л}}=120 \text{ Вт}=0,12 \text{ кВт}$;
- струм лампи $I = 0,6 \text{ А}$;
- коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,9$, тоді $\text{tg} \varphi = 0,48$.

Знаходимо значення активної потужності освітлювального навантаження з урахуванням коефіцієнта попиту:

$$P_{\text{осв}} = n P_{\text{л}} K_{\text{п}}, \quad (2.26)$$

$$P_{\text{осв}} = 35 \cdot 0,120 \cdot 0,9 = 3,78 \text{ Вт.}$$

Знаходимо значення реактивної потужності освітлювального навантаження:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \text{tg} \varphi, \quad (2.27)$$

$$Q_{\text{осв}} = 3,78 \cdot 0,48 = 1,81 \text{ квар.}$$

Аварійне освітлення організовується шляхом рівномірного розташування світильників по всій площі приміщення, щоб забезпечити необхідний рівень освітленості при відсутності основного освітлення. Для цеху рекомендовано, щоб рівень аварійного освітлення становив близько 5 % від нормованого робочого, при цьому він не повинен бути меншим за 5 люксів і не перевищувати 30 люксів. Для цієї мети передбачено застосування світлодіодних світильників моделі ДБО 01-24-П-003, які характеризуються високою енергоефективністю та надійністю.

$$P_{\text{ав}} = 0,05 P_{\text{осв}}, \quad (2.28)$$

$$P_{\text{ав}} = 0,05 \cdot 3,78 = 0,189 \text{ кВт.}$$

Проведемо розрахунок загального освітлювального навантаження:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}\Sigma}^2 + Q_{\text{осв}\Sigma}^2}, \quad (2.29)$$

$$P_{\text{осв}\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_{\text{ав}}, \quad (2.30)$$

$$P_{\text{осв}\Sigma} = 3,78 + 0,189 = 3,97 \text{ Вт,}$$

$$Q_{\text{осв}\Sigma} = P_{\text{осв}} \text{tg} \varphi, \quad (2.31)$$

$$Q_{\text{осв}\Sigma} = 3,97 \cdot 0,484 = 1,92 \text{ квар,}$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{3,97^2 + 1,92^2} = 4,41 \text{ кВА.}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Отримані результати розрахунків узагальнимо у таблиці 2.3.

Активна потужність СП1-5 цеху:

$$P_{1-5} = P_p + P_{осв}, \quad (2.32)$$

де P_p – сумарне значення розрахункової активної потужності для всіх 5 силових пунктів;

$P_{осв}$ – активна потужність освітлювального навантаження;

$$P_{1-5} = 444,24 + 3,97 = 448,24 \text{ кВт.}$$

Реактивна потужність на шинах 0,4кВ трансформаторної підстанції:

$$Q_{1-5} = Q_p + Q_{осв}, \quad (2.33)$$

де Q_p – сумарне значення розрахункової реактивної потужності для всіх 5 силових пунктів;

$Q_{осв}$ – реактивна потужність освітлювального навантаження;

$$Q_{1-5} = 222,13 + 1,92 = 224,05 \text{ квар.}$$

Повна потужність СП1-5:

$$S_{нн} = \sqrt{P_{нн}^2 + Q_{нн}^2}, \quad (2.34)$$

де $P_{нн}$ і $Q_{нн}$ – активна і реактивна потужність на шинах НН.

$$S_{1-5} = \sqrt{448,24^2 + 224,05^2} = 501,09 \text{ кВА.}$$

Результати розрахунків вносимо в таблицю 2.3.

Повна потужність на шинах ТП:

$$S_{1-6} = S_{1-5} + S_6 = 501,09 + 108,3 = 609,39$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						34
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Навантаження цеху промислового підприємства

Початкові дані												Проміжні потужності	n_{pe}	n_e	K_p	Розрахункові потужності			Розрахункові струми $I_{н.А}$
За умовою						Довідникові				P_m кВт	Q_m квар					P_p кВт	Q_p квар	S_p кВ·А	
Найменування ЕП	n, од	Номинальна потужність, кВт				$P_{н.і.макс}/P_{н.і.мін}$	k_n	K_n	cosφ										
		$P_{ні}$	$P_{вс}$	$P_{н.і.макс}$	$P_{н.і.мін}$														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
УКЕ	17	12,00	204,00				0,70	0,85	0,62	142,80	88,50								
Вентилятор	1	2	2,00				0,6	0,85	0,62	1,20	0,74								
СП1	18		206	204,00	2,00	102,00	0,70			144,00	89,24	17,31	17,00	1,00	144,00	89,24	169,41	244,52	
Прес кривошипний	7	5,50	38,50				0,60	0,85	0,62	23,10	14,32								
Відрізний напівавтомат	1	40	40,00				0,6	0,85	0,62	24,00	14,87								
СП2	8		79	40,00	38,50	1,04	0,60			47,10	29,19	3,40	3,00	1,06	49,93	32,11	59,36	85,68	
Прес фрикційний	3	14,00	42,00				0,50	0,80	0,75	21,00	15,75								
Прес кривошипний	2	40	80,00				0,6	0,85	0,62	48,00	29,75								
Електропід камерна	3	25	75,00				0,9	0,95	0,33	67,50	22,19								
СП3	8		197	80,00	42,00	1,90	0,69			136,50	67,68	6,85	6,00	1,01	137,87	74,45	156,68	226,15	
Під опору	2	5,50	11,00				0,90	0,95	0,33	9,90	3,25								
Під опору	2	15	30,00				0,9	0,95	0,33	27,00	8,87								
Високочастотний установка	1	10	10,00				0,5	0,7	1,02	5,00	5,10								
Механічні ножиці	2	6	12,00				0,5	0,85	0,62	6,00	3,72								
Шахта електропід	2	50	100,00				0,9	0,95	0,33	90,00	29,58								
СП4	9		163,0	100,00	10,00	10,00	0,85			137,90	50,53	4,68	4,00	1,00	137,90	55,58	148,68	214,60	
Електропід-ванна	4	0,80	3,20				0,90	0,95	0,33	2,88	0,95								
Електропід	2	5,5	11,00				0,9	0,95	0,33	9,90	3,25								
Шахта електропід	2	5,5	11,00				0,9	0,95	0,33	9,90	3,25								
СП5	8		25,20	11,00	3,20	3,44	0,90			22,68	7,45	5,14	5,00	1,00	22,68	8,20	24,12	34,81	
Силове навантаження на плинах 0,4 кВ ТП	51		670	204,00	2,00	102,00	0,73			488,18	244,10	6,57	6,00	0,91	444,24	222,13	496,68	754,63	
Освітлювальне навантаження (ЩО)															3,97	1,92	4,41	6,70	
Сумарне навантаження на плинах 0,4 кВ ТП															448,21	224,05	501,09	761,33	
Найменування ЕП	Фазність	п, од	S, кВА	ПВ, о.с.	Sep=S*ПВ, кВА	Фази підключення			Потужність фазного підключення, кВА			Загальна потужність, кВА			Струм на фазу, А				
МРВ-19001	3	1	700	0,0236	16,52	L1	L2	L3	5,51	5,51	5,51				68,99				
МРВ-19001	3	1	700	0,0236	16,52	L1	L2	L3	5,51	5,51	5,51				23,84				
МРН-24009	3	1	1240	0,0145	17,98	L1	L2	L3	5,99	5,99	5,99				25,95				
МРН-24009	3	1	1240	0,0145	17,98	L1	L2	L3	5,99	5,99	5,99				0,007				
МТ-4019СЕ	2	1	420	0,0074	3,11	L2	L3	L3		1,554	1,554				0,006				
МТ-4019СЕ	2	1	420	0,0062	2,60	L2	L3	L3		1,302	1,302				0,006				
МТ-4019СЕ	2	1	420	0,0062	2,60	L2	L3	L3		1,302	1,302				0,003				
В251Р	2	1	250	0,0062	1,55	L1	L2	L2	0,775	0,775					0,013				
МТ-4019СЕ	2	1	420	0,0138	5,80	L1	L2	L2		2,898	2,898				0,025				
РMS 16-4'	2	1	1035	0,0113	11,70	L1	L2	L3	5,84775		5,84775				0,012				
В251Р	2	1	250	0,0217	5,43	L1	L2	L2	2,7125	2,7125					0,006				
МТ-3001СЕ	1	1	242	0,0059	1,43	L2	L2	L3			1,43				0,006				
МТ-3001СЕ	1	1	242	0,0059	1,43	L2	L2	L3			1,43				0,003				
КТ-009	1	1	110	0,0059	0,65	L2	L2	L3			0,65				0,002				
МТ-1928СЕ	1	1	124	0,0041	0,51	L2	L2	L3		0,51					0,001				
PL-80	1	1	80	0,0018	0,14	L1	L2	L3	0,14						0,002				
КТ-009	1	1	110	0,0032	0,35	L2	L2	L3			0,35				108,30				
СП6	17								35,38	35,48	35,43				609,39				
Силове навантаження на плинах 0,4 кВ ТП	68														879,58				

2.3 Розрахункові навантаження цивільних об'єктів

Визначення розрахункових навантажень в електропостачальних системах житлових і громадських будинків представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – навантаження в електропостачальних системах житлових і громадських будинків

№	Позн. на схемі	Тип об'єкта	Кільк. буд.	Кільк. кварт.	Кат. над.
1	Г	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 3 секції, 60 помешкань	2	60	II
2	Д	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань	5	80	II
3	К	Багатоповерховий гараж на 300 місць	1		II
4	У	Супермаркет площею торгівельного залу 750 м ²	1		II

На рисунку 2.3 зображена схема розміщення житлових і громадських будинків відносно трансформаторних підстанцій.

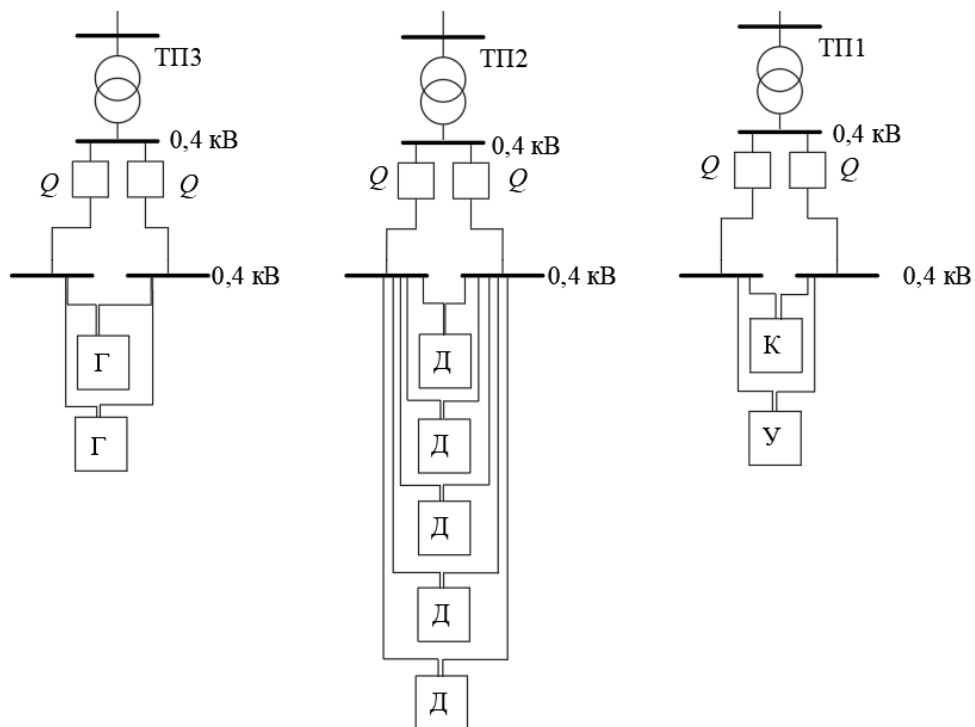


Рисунок 2.3 – Схема живлення житлових і громадських будинків

Кожен будинок II категорії оснащений власним АВР.

Визначення розрахункових навантажень громадських об'єктів:

$$P_{ж.б} = p_{пит} n_{кв} + 0,9 K_{п.л} n_{ліф} p_{л}, \quad (2.35)$$

$$Q_{ж.б} = p_{пит} n_{кв} tg\varphi_{кв} + 0,9 K_{п.л} n_{ліф} p_{л} tg\varphi_{ліф}, \quad (2.36)$$

де $p_{пит}$ – питоме розрахункове електричне навантаження житл;

$n_{кв}$ – сумарна кількість квартир;

$n_{ліф}$ – сумарна кількість ліфтів;

$K_{п.л}$ – коефіцієнти попиту для ліфтових установок;

$tg\varphi$ – реактивне навантаження.

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з газовими плитами в нормальному режимі роботи, тобто один ТП живить половину квартир.

$$P_{Г}^{1/2} = 1,14 \cdot \left(\frac{2 \cdot 60}{2} \right) = 68,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{Г}^{1/2} = 1,14 \cdot \left(\frac{2 \cdot 60}{2} \right) \cdot 0,43 = 29,41 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з газовими плитами в нормальному режимі роботи, тобто один ТП живить половину квартир.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						37
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будинки з однаковим способом їже приготування рахуємо як один будинок з сумарною кількістю квартир:

$$P_{\text{д}}^{1/2} = 0,87 \cdot \left(\frac{5 \cdot 80}{2} \right) = 174 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{д}}^{1/2} = 0,87 \cdot \left(\frac{5 \cdot 80}{2} \right) \cdot 0,43 = 74,82 \text{ квар.}$$

Визначаємо розрахункові навантаження громадських будівель в нормальному режимі роботи:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{пит}} n, \quad (2.37)$$

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{пит}}, \quad (2.38)$$

де $p_{\text{пит}}$ – питоме розрахункове електричне навантаження будівлі;

n – кількість навантаження.

Знаходимо розрахункове навантаження багатопверхового гаражу в нормальному режимі роботи:

$$P_{\text{к}}^{1/2} = 0,22 \cdot \frac{300}{2} = 33 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{к}}^{1/2} = 33 \cdot 0,57 = 18,81 \text{ квар.}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						38
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо розрахункове навантаження супермаркету в нормальному режимі роботи:

$$P_y^{1/2} = 0,25 \cdot \frac{750}{2} = 93,75 \text{ кВт},$$

$$Q_y^{1/2} = 93,75 \cdot 0,75 = 70,31 \text{ квар.}$$

Зведемо до таблиці 2.5 розраховані розрахункові навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи.

Таблиця 2.5 – Навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи:

Позн. на схемі	Об'єкт	P_p , кВт	Q_p , квар
Г	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 3 секції, 60 помешкань	68,4	29,41
Д	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань	174	74,82
К	Багатоповерховий гараж на 300 місць	33	18,81
У	Супермаркет площею торгівельного залу 750 м ²	93,75	70,31

Розраховуємо навантаження на шини ТП1 – ТП3 в нормальному режимі роботи:

$$P_{\text{ТП}} = P_{p.\text{max}} + \sum_{i=1}^{n-1} P_{pi} K_{c.\text{max}i}, \quad (2.39)$$

$$Q_{\text{ТП}} = Q_{q.\text{max}} + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{qi} K_{c.\text{max}i}, \quad (2.40)$$

$$S_{\text{ТП}} = \sqrt{P_{\text{ТП}}^2 + Q_{\text{ТП}}^2}, \quad (2.41)$$

$$P_{\text{ТП3}}^{1/2} = 68,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП3}}^{1/2} = 29,41 \text{ квар},$$

$$S_{\text{ТП3}}^{1/2} = \sqrt{68,4^2 + 29,41^2} = 74,45 \text{ кВА},$$

$$P_{\text{ТП2}}^{1/2} = 174 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП2}}^{1/2} = 74,82 \text{ квар},$$

$$S_{\text{ТП2}}^{1/2} = \sqrt{174^2 + 74,82^2} = 189,4 \text{ кВА}.$$

$$P_{\text{ТП1}}^{1/2} = 93,75 + 74,82 \cdot 0,8 = 153,61 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП1}}^{1/2} = 70,31 + 18,81 \cdot 0,8 = 85,36 \text{ квар},$$

$$S_{\text{ТП1}}^{1/2} = \sqrt{153,61^2 + 85,36^2} = 175,73 \text{ кВА}.$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						40
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з газовими плитами в після аварійному режимі роботи, тобто один ТП живить половину квартир.

$$P_{\Gamma} = 0,97 \cdot 2 \cdot 60 = 116,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Gamma} = 0,97 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 0,43 = 50,05 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з газовими плитами в після аварійному режимі роботи, тобто один ТП живить половину квартир.

Будинки з однаковим способом їже приготування рахуємо як один будинок з сумарною кількістю квартир:

$$P_{\text{Д}} = 0,74 \cdot 5 \cdot 80 = 296 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{Д}} = 0,74 \cdot 5 \cdot 80 \cdot 0,43 = 127,28 \text{ квар.}$$

Визначаємо розрахункові навантаження громадських будівель в після-аварійному режимі роботи:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{пит}} n, \quad (2.42)$$

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \text{tg} \varphi_{\text{пит}}, \quad (2.43)$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						41
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $p_{\text{пит}}$ – питоме розрахункове електричне навантаження будівлі;

n – кількість навантаження.

Знаходимо розрахункове навантаження багатоповерхового гаражу в після-аварійному режимі роботи:

$$P_K = 0,22 \cdot 300 = 66 \text{ кВт},$$

$$Q_K = 66 \cdot 0,57 = 37,62 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження супермакету в після-аварійному режимі роботи:

$$P_Y = 0,25 \cdot 750 = 187,5 \text{ кВт},$$

$$Q_Y = 187,5 \cdot 0,75 = 140,63 \text{ квар.}$$

Зведемо до таблиці 2.6 розраховані розрахункові навантаження об'єктів в після аварійному режимі роботи.

Таблиця 2.6 – Навантаження об'єктів в після аварійному режимі роботи

Позн. На схемі	Об'єкт	P_p , кВт	Q_p , квар
Г	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 3 секції, 60 помешкань	116,4	50,5
Д	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань	296	127,28
К	Багатоповерховий гараж на 300 місць	66	37,62
У	Супермаркет площею торгівельного залу 750 м ²	187,5	140,63

Розраховуємо навантаження на шини ТП1 – ТП3 в після аварійному режимі роботи:

$$P_{ТП} = P_{p.max} + \sum_{i=1}^{n-1} P_{pi} K_{c.maxi}, \quad (2.44)$$

$$Q_{ТП} = Q_{q.max} + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{qi} K_{c.maxi}, \quad (2.45)$$

$$S_{ТП} = \sqrt{P_{ТП}^2 + Q_{ТП}^2}, \quad (2.46)$$

$$P_{ТП3} = 116,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП3} = 50,5 \text{ квар},$$

$$S_{ТП3} = \sqrt{116,4^2 + 50,5^2} = 126,88 \text{ кВА},$$

$$P_{ТП2} = 296 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП2} = 127,28 \text{ квар},$$

$$S_{ТП2} = \sqrt{296^2 + 127,28^2} = 322,21 \text{ кВА}.$$

$$P_{ТП1} = 187,5 + 66 \cdot 0,8 = 240,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП1} = 140,63 + 37,62 \cdot 0,8 = 170,73 \text{ квар},$$

$$S_{ТП1} = \sqrt{240,3^2 + 170,73^2} = 294,78 \text{ кВА}.$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						43
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо навантаження на вводі для кожного об'єкту окремо, та занесемо отримані значення у таблицю 2.7.

$$P_{\Gamma} = 1,14 \cdot 60 = 68,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Gamma} = 1,14 \cdot 60 \cdot 0,43 = 29,41 \text{ квар},$$

$$P_{\text{Д}} = 1,31 \cdot 80 = 104,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{Д}} = 1,31 \cdot 80 \cdot 0,43 = 45,06 \text{ квар},$$

Таблиця 2.7 – Навантаження на вводі кожного об'єкту для після аварійного режиму роботи.

Позн. на схемі	Об'єкт	P_p , кВт	Q_p , квар
Г	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 3 секції, 60 помешкань	68,4	29,41
Д	Житловий будинок з газовими плитами, 5 поверхів, 4 секції, 80 помешкань	104,8	45,06
К	Багатоповерховий гараж на 300 місць	66	37,62
У	Супермаркет площею торгівельного залу 750 м ²	187,5	140,63

2.4 Вибір перерізу ліній низької напруги, що живлять житлові та громадські будівлі

Мінімально допустимі перерізи мережі напругою до 1000 В, в загальному випадку, повинні задовольняти наступним вимогам:

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						44
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Втрата напруги в нормальному режимі не повинна перевищувати допустимої величини: $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$.

2. Втрата напруги в післяаварійному режимі не повинна більш ніж на 5% перевищувати допустиму величину: $\Delta U_{\text{п/а}} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\%$.

3. Струмове навантаження в нормальному режимі не повинне перевищувати допустимої величини, визначеної з урахуванням умов прокладки кабельної лінії:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2, \quad (2.47)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустиме тривале струмове навантаження, яке визначається за довідковими даними з урахуванням марки кабелю (дроту) і способу його прокладки (у землі, в повітрі, в трубах і так далі);

K_1 – коефіцієнт, що враховує фактичні температурні умови експлуатації кабелю або повітряної лінії, $K_1 = 1$;

K_2 – коригуючий коефіцієнт, що враховує кількість паралельно прокладених і працюючих кабелів, $K_2 = 1$.

4. Струмове навантаження в післяаварійному режимі не повинне перевищувати допустиме значення, визначене з урахуванням відповідного коефіцієнта допустимого перевантаження:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}}, \quad (2.48)$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження, який визначається з урахуванням умов прокладки, тривалості перевантаження і попереднього завантаження КЛ, $K_{\text{пер}} = 1,3$.

Обирати перерізи ліній живлення будемо з розрахунків післяаварійного режиму роботи мережі, якщо лінія витримає навантаження післяаварійного режиму то і нормальний режим обраний кабель задовільнить.

Навантаження об'єктів наведено в таблиці 2.7.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						45
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведемо розрахунок на прикладі багатоквартирного будинку А1:

Визначаємо розрахунковий переріз за формулою:

$$F = \frac{P_{\text{рр}} \rho L_{\text{кл}}}{10 U_{\text{н}}^2 \Delta U_{\text{доп}}}$$

де $P_{\text{рр}}$ розрахункове навантаження, що проходить (протікає) через кабельну лінію 0,4 кВ у нормальному режимі роботи, кВт;

ρ – питомий опір кабельної лінії, для алюмінію - $\rho = 26,2-29,5$ Ом/км·мм²

(для розрахунків приймаємо середнє значення, для алюмінію - $\rho = 27,85$ Ом/км·мм²);

$L_{\text{кл}}$ - довжина кабельної лінії, км;

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга, кВ;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустима втрата напруги, %;

$$F = \frac{P_{\text{рр}} \rho L_{\text{кл}}}{10 U_{\text{н}}^2 \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{68,4 \cdot 27,5 \cdot 0,06}{10 \cdot 0,38^2 \cdot 5} = 15,63 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо розрахункове струмове навантаження на головних ланках у напрямі від ТП5 та від ТП6:

$$I_{\text{А1}} = \frac{\sqrt{P_{\text{А1}}^2 + Q_{\text{А1}}^2}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{68,4^2 + 29,41^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 113,12 \text{ А.} \quad (2.49)$$

Обираєм з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{А1}}}{K_1 K_2 K_{\text{пер}}} \geq \frac{113,12}{1 \cdot 1 \cdot 1,3} \geq 87,017 \text{ А.}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						46
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обрано АВВГ 4×25, $I_{\text{доп}}=94$ А, $r_0 = 1,28$ Ом/км, $x_0 = 0,0662$ Ом/км.

Перевіряємо вибрану КЛ 0,4 кВ за допустимою втратою напруги:

$$\Delta U_{A1} = \frac{(P_{A1}r_0 + Q_{A1}x_0)L_{\text{кл}}}{10 \cdot U_{\text{н}}^2} = \frac{(68,4 \cdot 1,28 + 29,41 \cdot 0,0662) \cdot 0,07}{10 \cdot 0,38^2} = 4,33 \%, \quad (2.50)$$

Втрата напруги у післяаварійному режимі не повинна перевищувати допустиму величину +5%:

$$\Delta U_{A1} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\% \rightarrow 4,33\% + 5\% \rightarrow 9,33 \leq 10\%.$$

Умова перевірки виконується.

Для інших об'єктів розрахунків проводимо аналогічно та результати зводимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір перерізу ліній низької напруги

Об'єкт	I_p , А	L , км	Кабель	$I_{\text{доп}}$, А	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\Delta U \leq 10\%$
Г	87,02	0,07	АВВГ 5x25	94	1,28	0,0662	9,34
Г	87,02	0,05	АВВГ 5x25	94	1,28	0,0662	8,10
Д	133,32	0,05	АВВГ 5x50	150,00	0,64	0,06	7,42
Д	133,32	0,08	АВВГ 5x50	150,00	0,64	0,06	8,87
Д	133,32	0,09	АВВГ 5x50	150,00	0,64	0,06	9,36
Д	133,32	0,06	АВВГ 5x50	150,00	0,64	0,06	7,90
Д	133,32	0,05	АВВГ 5x50	150,00	0,64	0,06	7,42
К	88,79	0,07	АВВГ 5x25	94	1,28	0,0662	9,22
У	273,92	0,08	АВВГ 5x150	287	0,21	0,0596	7,65

2.5 Вибір номінальної потужності трансформаторів

Зведемо до таблиці 2.9 навантаження по кожному ТП в нормальному режимі роботи, для вибору трансформаторів.

Таблиця 2.9 – Навантаження ТП в нормальному режимі роботи

№	P, кВт	Q, квар	S _ф , кВА
ТП1	240,3	170,73	294,78
ТП2	296	127,28	322,21
ТП3	116,4	50,5	126,88
ТП4	350	60	355,11
ТП5	400	80	407,92
ТП6	430	90	439,32
ТП7	450	90	458,91
ТП8	460	100	470,74
ТП цех	-	-	609

Виберемо трансформатор для ТП1.

Приймаємо для ТП1 трансформатор ТМ 400/10 з паспортними даними [13]:

$S_H=400$ кВА;

$\Delta P_{xx}=0,83$ кВт;

$\Delta P_{кз}=5,5$ кВт;

$I_{xx}=1,9$ %;

$U_{кз}=5,5$ %.

Перевірка трансформатора:

Втрати в трансформаторі:

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз})^2 + \left(S_H \frac{I_{xx}}{100} + \left(\frac{S_{\phi}}{S_H} \right)^2 S_H \frac{U_{кз}}{100} \right)^2}, \quad (2.51)$$

$$\Delta S = \sqrt{(0,83 + 5,5)^2 + \left(400 \cdot \frac{1,9}{100} + \left(\frac{294,78}{400} \right)^2 \cdot 400 \cdot \frac{5,5}{100} \right)^2} = 20,55 \text{ кВА},$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$S_{ТП1} = S_{\phi} + \Delta S < 0,8 S_H = 294,78 + 20,55 < 0,8 \cdot 400 = 315,32 < 320 \text{ кВА.}$$

Вибір трансформаторів для наступних ТП проводиться аналогічно, результати заносимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Розподіл навантаження на ТП1-ТП8, ТП цеху

Марка трансформатора	$S_{нт}$, кВА	ΔS кВА	$S_{\phiпа}$, кВА	S_p	$0,8 S$	K
ТМ 400/10	400	20,55	294,78	315,32	320	0,79
ТМ 630/10	630	23,80	322,21	346,00	504	0,55
ТМ 250/10	250	9,08	126,88	135,97	200	0,54
ТМ 630/10	630	25,94	355,11	381,05	504	0,60
ТМ 630/10	630	29,88	407,92	437,80	504	0,69
ТМ 630/10	630	32,51	439,32	471,83	504	0,75
ТМ 630/10	630	34,26	458,91	493,17	504	0,78
ТМ 630/10	630	35,36	470,74	506,10	504	0,80
ТМ 1000/10	1000	40,49	649,88	800,065	320	0,68

2.6 Вибір перерізу ліній розподільної мережі 10 кв і ліній живлення

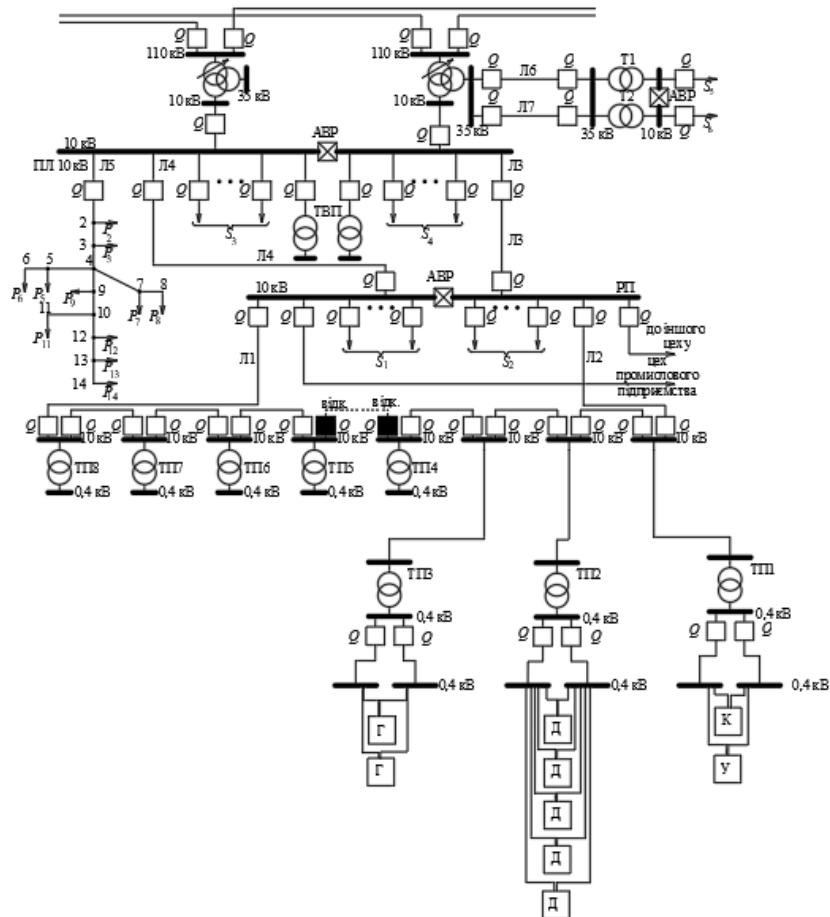


Рисунок 2.4 – Схема електропостачання

Розраховуємо переріз лінії Л1 і Л2:

Знаходимо навантаження Л1, Л2 які живлять ТП 1–8:

$$S_{Л1,2}^{п/а} = K_{см} \sum_i^n S_{ТПi}, \quad (2.52)$$

Коефіцієнт суміщення максимумів:

$$S_{Л1,2}^{п/а} = 0,65 \sqrt{(240,3 + 296 + 116,4 + 350 + 400 + 430 + 450 + 460)^2 + (170,73 + 127,28 + 50,5 + 60 + 80 + 90 + 100)^2} = 1851,42 \text{ кВА.}$$

Визначаємо розрахункове струмове навантаження:

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						50
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{Л1,2} = \frac{S_{Л1,2}^{п/а}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{1851,42}{\sqrt{3} \cdot 10} = 106,89 \text{ А.} \quad (2.53)$$

Обираєм з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{Л1,2}}{K_1 K_2 K_{пер}} \geq \frac{106,89}{1 \cdot 1 \cdot 1,3} \geq 82,22 \text{ А.}$$

Отже, обрали АПВП 3×35, $I_{доп} = 119 \text{ А.}$

Розраховуємо переріз лінії Л3 і Л4:

Знаходимо навантаження Л3, Л4 які живлять ТП1–8, цехове ТП і споживачів S1 та S2:

Навантаження на першій секції шин 10 кВ ЦЖ без цеху:

$$P_{1с.ш \text{ без цеху}} = K_{сум} (P_{S1} + P_{S2} + 0,65 \cdot P_{ТП1-ТП8}), \quad (2.54)$$

$$Q_{1с.ш \text{ без цеху}} = K_{сум} (Q_{S1} + Q_{S2} + 0,65 \cdot Q_{ТП1-ТП8}), \quad (2.55)$$

де $K_{сум} = 0,7$ – коефіцієнт суміщення максимумів навантажень міських електромереж і промислових підприємств, (табл. 9 довідкових даних);

$$P_{1с.ш \text{ без цеху}} = 0,7(2400 + 2500 + 212,75 + 0,65 \cdot 2742,7) = 4677,93 \text{ кВт,}$$

$$Q_{1с.ш \text{ без цеху}} = 0,7(450 + 500 + 142,24 + 0,65 \cdot 768,51) = 1114,67 \text{ кВАр,}$$

$$S_{1с.ш} = \sqrt{4677,93^2 + 1114,67^2} = 4786,71 \text{ кВА.}$$

Навантаження першої секції шин з цехом.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						51
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{1с.ш} = S_{1с.ш \text{ безцеху}} + S_{ТПцех} = 4786,71 + 609,39 = 5396,1 \text{ кВАр,}$$

Вибір перерізу ліній в після аварійному режимі напругою 10кВ зведено до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір перерізу ліній в після аварійному режимі напругою 10кВ

	S, кВА	ТП, що живляться	I, А	Марка	I _{доп} , А	r ₀ Ом/км
Л1,2	1851,418	ТП1-8	82,22	АПВП 3х35	119	0,868
Л3,4	4953,73	ТП1-8, ТПцех, S1, S2	220,00	АПВП 3х95	225	0,32

2.7 Визначення навантаження на шинах 10 кВ центра живлення

Розраховуємо навантаження на шині 10 кВ центра живлення в аварійному режимі.

Під'єднані навантаження по лініям наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Розраховані навантаження в аварійному режимі під'єднані до центру живлення 10кВ

Назва приєднання	P, кВт	Q, квар
Л _{3,4}	4826,85	1114,2
Л ₇	730	0
S ₃	45000	10000
S ₄	50000	12000

Розраховуємо загальну активну та реактивну потужність:

$$P_{\text{сум}} = K_{\text{см}}(P_{\text{Л3,4}} + P_{\text{Л7}} + P_{\text{S1}} + P_{\text{S2}}),$$

$$Q_{\text{сум}} = K_{\text{см}}(Q_{\text{Л3,4}} + Q_{\text{Л7}} + Q_{\text{S1}} + Q_{\text{S2}}),$$

$$P_{\text{сум}} = 0,85 \cdot (4826,85 + 730 + 45000 + 50000) = 85473,32 \text{ кВт,}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$Q_{\text{сум}} = 0,85 \cdot (1114,2 + 0 + 10000 + 12000) = 19647,07 \text{ квар.}$$

Розраховуємо загальну повну потужність

$$S = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + Q_{\text{сум}}^2}$$

$$S = \sqrt{85473,32^2 + 19647,07^2} = 87702,31 \text{ кВА.}$$

2.8 Компенсація реактивної потужності

Реактивна потужність - це та частина електричної потужності, яка не виконує корисної роботи, а лише створює магнітні поля в електричних пристроях, таких як трансформатори, двигуни, конденсатори тощо. Реактивна потужність не споживається, а лише коливається між джерелом і споживачем. Однак, вона викликає додаткові втрати в лініях електропередачі, збільшує навантаження на генератори і трансформатори, знижує якість електроенергії і погіршує коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт активної потужності - це відношення активної потужності, яка виконує корисну роботу, до повної потужності, яка передається в мережі. Чим ближче коефіцієнт потужності до одиниці, тим краще використовується електроенергія.

Знайдемо фактичне значення коефіцієнта активної потужності до компенсації реактивної потужності на шині 10 кВ центра живлення:

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{сум}}}{P_{\text{сум}}}, \quad (2.56)$$

$$\cos\varphi = \cos(\text{arctg}\varphi), \quad (2.57)$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						53
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{19647,07}{85473,32} = 0,23,$$

$$\cos\varphi = \cos(\operatorname{arctg}0,23) = 0,975.$$

Отже, значення $\cos\varphi$ вище 0,97. Тому компенсація не потрібна.

2.9 Стислий опис комутаційних апаратів, які використовуються в мережах напругою 0,38 кв

Один із найпоширеніших видів комутаційного обладнання – автоматичні вимикачі. Вони забезпечують автоматичне відключення електричних ланцюгів у разі перевищення допустимого струму, виникнення перевантаження чи короткого замикання. Завдяки цьому автоматичні вимикачі ефективно захищають електромережі й обладнання, мінімізуючи ризик аварій. Їх застосування охоплює промислові, комерційні та побутові електромережі, де вони забезпечують безпеку та стабільність роботи систем.

Ручні вимикачі, наприклад, рубильники, також відіграють важливу роль у комутації. Вони використовуються для ручного відключення електроживлення, особливо в ситуаціях, коли потрібне обслуговування, ремонт або аварійне вимкнення. Завдяки своїй простій конструкції, рубильники забезпечують надійність та легкість в управлінні електричними ланцюгами, залишаючись незамінними в багатьох системах.

Роз'єднувачі є ще одним важливим видом комутаційного обладнання. Вони використовуються для повного фізичного роз'єднання електричних ліній чи обладнання від джерела живлення. Їх основна функція – забезпечення безпечної ізоляції окремих частин системи під час виконання ремонтних робіт або технічного обслуговування.

Вимикачі навантаження забезпечують комутацію електричних ланцюгів навіть під навантаженням. Це робить їх незамінними для керування живленням

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						54
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

окремих споживачів чи груп споживачів. Завдяки використанню таких вимикачів мережі залишаються стабільними навіть за умов високих навантажень.

Окрему категорію обладнання становлять автоматичні вмикачі резерву (АВР). Вони забезпечують безперебійне електроживлення споживачів, автоматично перемикаючи живлення на резервне джерело у випадку відмови основного. Це особливо важливо для об'єктів, де неперервність електропостачання має критичне значення – лікарень, дата-центрів, систем водопостачання тощо. Резервними джерелами зазвичай виступають дизельні генератори або альтернативні лінії електропостачання.

Не менш важливими є запобіжники, які захищають електромережі від перевантажень та коротких замикань. У разі аварійної ситуації вони швидко розривають електричний ланцюг, запобігаючи пошкодженню обладнання, виникненню пожеж та інших небезпечних ситуацій.

Хоча лічильники електроенергії формально не належать до комутаційного обладнання, вони відіграють важливу роль у системах електропостачання. Завдяки їм здійснюється облік і контроль спожитої енергії, що дозволяє ефективно планувати та оптимізувати використання ресурсів.

2.10 Розрахунок струмів короткого замикання

2.10.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1кВ

Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Випадкове або навмисне, не передбачене нормальним режимом роботи, електричне з'єднання фаз (полюсів) струмоведучих кіл електроустановки між собою або з землею, при якому струми різко зростають, перевищуючи найбільш допустимий струм усталеного режиму, в колах, що примикають до місця виникнення цього з'єднання, називається коротким замиканням чи замиканням у випадках з'єднання з землею однієї фази (полюса) електроустановки, елементи якої працюють з ізолюваною або резонансно заземленою нейтраллю.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						55
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В умовах експлуатації СЕП серед основних причин виникнення перехідних процесів – це переважно короткі замикання, які суттєво порушують нормальний режим роботи електроустановок. Тому при проектуванні СЕП короткі замикання розглядають як характерні збурення, що зумовлюють перехідні електромагнітні процеси.

Мета досліджень і розрахунків перехідних процесів в тому, щоб, з'ясувавши особливості роботи та якісно нові властивості при кількісних змінах у СЕП, навчитися передбачати перебіг та вірогідність перехідних процесів і керувати ними. Дослідження та розрахунки перехідних процесів – необхідні умови вирішення багатьох завдань, що виникають при проектуванні та експлуатації СЕП. Зокрема, для вибору принципів дії і настроювання автоматичних пристроїв протиаварійного керування, аналізу електромеханічних перехідних процесів з метою визначення умов стійкості електричного навантаження та розробки заходів для забезпечення безперервної роботи промислових підприємств у різних режимах СЕП. На основі досліджень і розрахунків перехідних процесів вирішуються найважливіші питання проектування, спорудження та експлуатації СЕП

З урахуванням перехідного процесу повинні бути забезпечені зміни параметрів режиму СЕП, за якими якісні показники електропостачання споживачів істотно б не знижувалися. Тому таке важливе значення мають зменшення тривалості перехідного процесу, вилучення можливості виникнення нових перехідних процесів, завершення перебігу перехідного процесу достатньо надійним режимом. При аналітичних дослідженнях перехідних процесів використовують метод перетворення координат, комплексні величини для опису миттєвих значень змінних, метод симетричних складових, схеми заміщення для різних режимів СЕП та ін. Застосовують також графоаналітичний метод подання перехідних процесів. Для розв'язку складних завдань та здійснення традиційних розрахунків перехідних процесів широко використовують обчислювальну техніку.

Розрахунки струмів короткого замикання (КЗ) необхідні для:

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- З'ясування умов роботи споживачів при можливих КЗ та знаходження допустимості того чи іншого режиму;
- вибору електричних апаратів електроустановок по умовам термічної та електродинамічної стійкості;
- проектування і настройка засобів релейного захисту та автоматики СЕП;
- з'ясування впливу струмів КЗ на лінії зв'язку;
- вибір розрядників;
- аналізу аварій в електроустановці.

В цьому розділі розглядаються такі питання як розрахунок параметрів схеми заміщення та її еквівалентування, розрахунки надперехідного струму трифазного КЗ, розподіл струму КЗ, визначення надлишкових напруг, розрахунки струмів КЗ застосовуючи методи розрахункових та типових кривих, розрахунок несиметричного КЗ.

Зобразимо розрахункову схему (рисунок 2.5). Розрахункова схема – це спрощена однолінійна схема із позначенням всіх елементів електричної установки: джерел живлення (електричні станції, генератори), які беруть участь у підживленні точки КЗ і елементів мережі (ЛЕП, трансформаторів, реакторів), які зв'язують джерела живлення із точками КЗ, – а також параметрів всіх згаданих вище елементів, необхідних для розрахунку.

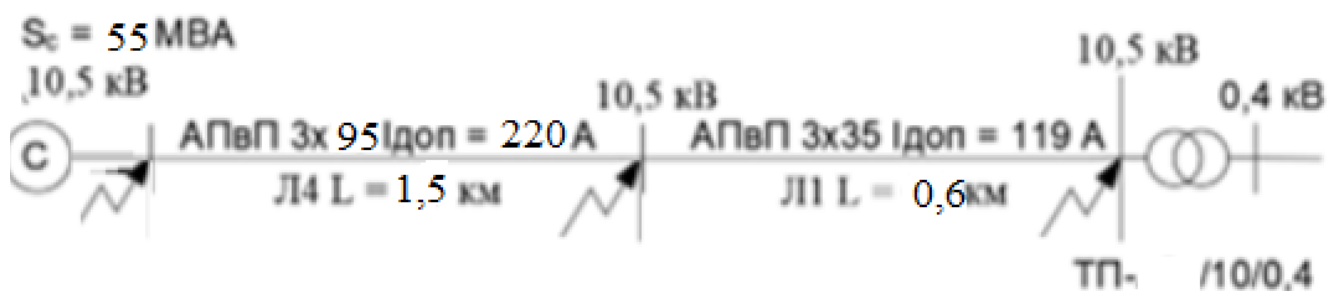


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Зі схеми бачимо, що живлення здійснюється від електроенергетичної системи. Від шин цієї підстанції живлення йде по кабельним лініям (Л4, Л1) до понижуючого трансформатора 10/0,4.

Таблиця 2.13 містить параметри схеми.

Таблиця 2.13 – Параметри елементів схеми

Позначення на РС	Кабельні та повітряна лінії марки АПвП				
	Марка та переріз кабелю	L, км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{доп}$, А
Л4	АПвП 3х95	1,5	0,302	0,087	220
Л1	АПвП 3х35	0,6	0,868	0,095	119

В розрахунках цього розділу орієнтуватимемось на вибрані за довідником дані. Після складання розрахункової схеми складають спрощену схему заміщення, де кожен елемент РС представлений своєю схемою заміщення в індуктивних опорах.

Побудова спрощеної загальної схеми заміщення і розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Схема заміщення (СЗ) - це електрична схема, яка відповідає за структурою РС і в якій усі магнітні (трансформаторні) зв'язки замінені електричними. СЗ складається для однієї фази як сукупність СЗ її окремих елементів, зв'язаних між собою в тій же послідовності, що і на РС (рис. 2.6 – рис. 2.9).

Так як розрахунок режиму КЗ необхідно виконувати для декількох точок КЗ, складаємо загальну СЗ і розрахунок параметрів елементів СЗ здійснюємо один раз при загальних базисних умовах.

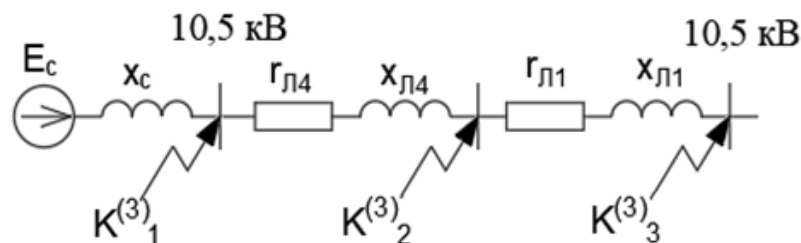


Рисунок 2.6 – Загальна схема заміщення

Розрахунок трифазного короткого замикання

Визначаємо параметри елементів схеми заміщення:

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ.}$$

Енергосистеми:

$$S_c = 55 \text{ МВА,}$$

$$x_c = x_c'' \cdot \frac{U_c^2}{S_c} = 0,18 \cdot \frac{10500^2}{55000000} = 0,36 \text{ Ом,}$$

$$E_c = \frac{U_6}{\sqrt{3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06 \text{ кА.}$$

Кабельні лінії КЛ4 та КЛ1:

$$r_{\text{КЛ4}} = r_{\text{окЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,302 \cdot 1,5 = 0,453 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{КЛ4}} = x_{\text{окЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,087 \cdot 1,5 = 0,13 \text{ Ом,}$$

$$r_{\text{КЛ1}} = r_{\text{окЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,868 \cdot 0,6 = 0,6944 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{КЛ1}} = x_{\text{окЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,095 \cdot 0,6 = 0,068 \text{ Ом.}$$

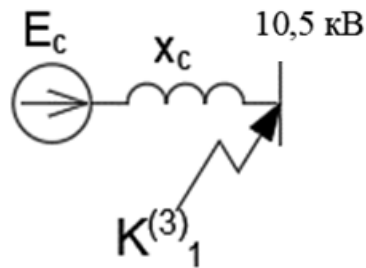


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_1^{(3)}$

$$r_{\text{рез}} = 0 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{рез}} = x_c \text{ Ом} = 0,36 \text{ Ом,}$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{рез}}^2 + x_{\text{рез}}^2} = \sqrt{0^2 + 0,36^2} = 0,36 \text{ Ом,}$$

$$I_{K1} = \frac{E_c}{Z_{\text{рез}}} = \frac{6,06}{0,36} = 16,8 \text{ кА.}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						59
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

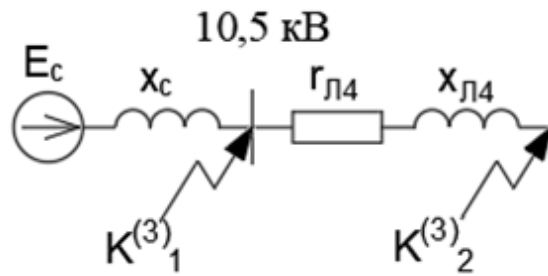


Рисунок 2.8 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_2^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л4} = 0,453,$$

$$x_{рез} = x_c + x_{л4} = 0,36 + 0,13 = 0,49 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = \sqrt{0,453^2 + 0,49^2} = 0,66 \text{ Ом},$$

$$I_{K32} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = \frac{6,06}{0,66} = 9,18 \text{ кА},$$

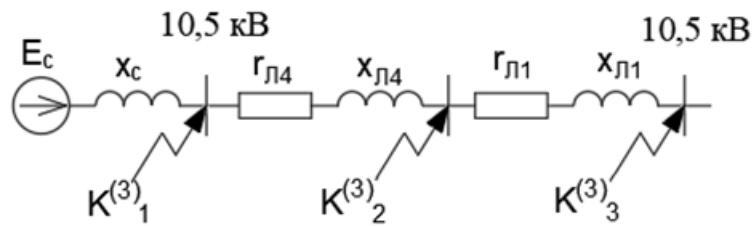


Рисунок 2.9 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_3^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л4} + r_{л1} = 0,453 + 0,6944 = 1,2384 \text{ Ом},$$

$$x_{рез} = x_c + x_{л4} + x_{л1} = 0,36 + 0,13 + 0,068 = 0,547 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = \sqrt{0,973^2 + 0,547^2} = 1,22 \text{ Ом},$$

$$I_{K33} = \frac{6,06}{1,22} = 4,96 \text{ кА}.$$

Визначаємо інші електричні характеристики точки $K_3^{(3)}$.

Визначаємо сталу затухання аперіодичної складової:

$$T_{ак2} = \frac{x_{рез}}{\omega \cdot r_{рез}} = \frac{0,49}{314,16 \cdot 0,453} = 0,0034 \text{ с,}$$

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

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

$$k_{уК2} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{ак2}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0034}} = 1,05.$$

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

$$i_{уК2} = \sqrt{2} \cdot k_{уК2} \cdot I_{К2} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 9,18 = 13,63 \text{ кА,}$$

$$I_{дК2} = I_{К2} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уК2} - 1)^2} = 9,18 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,05 - 1)^2} = 9,2 \text{ кА,}$$

де $i_{уК2}$ - ударне значення струму;

$I_{дК2}$ - найбільше діюче значення повного струму.

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

$$B_{КЗ} = I_{КЗ}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{ак2}) = 9,18^2 \cdot (0,86 + 0,0034) = 72,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

де $t_{відкл} = t_2 + t_{вимик} = 0,8 + 0,06 = 0,86 \text{ с}$ – час початку КЗ до його відключення, с, з врахуванням часу спрацювання захисту та повного часу вимикання вимикача з приводом, с.

Проводимо аналогічний розрахунок для всіх точок КЗ та зводимо результати у таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Результати розрахунків струмів КЗ.

Точка КЗ	$x_{\Sigma i}$	$r_{\Sigma i}$	I_i'' , кА	T_{aki} , с	$k_{уди}$	$i_{уди}$, кА	$I_{ди}$, кА	B_{ki} , кА ² ·с
К1	0,36	0	16,8	-	-	-	-	-
К2	0,49	0,453	9,18	0,0034	1,05	13,63	9,2	72,76
К3	0,547	0,973	4,96	0,0017	1	7,01	4,96	21,19

Розрахунок однофазного короткого замикання

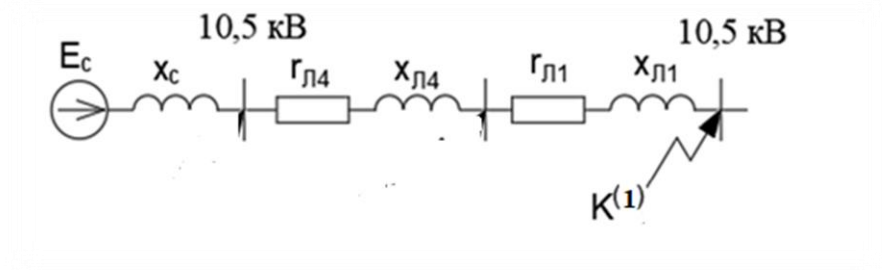


Рисунок 2.10 – Схема однофазного короткого замикання

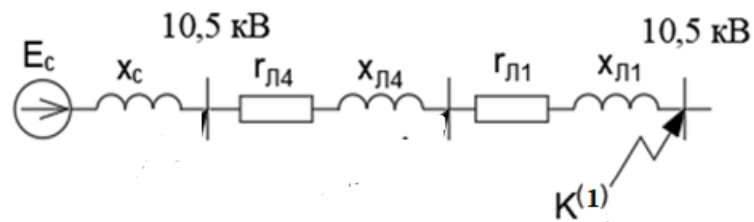


Рисунок 2.11 – Пряма схема заміщення

$$r_{1рез} = r_{пл1} + r_{пл4} = 0,52 + 0,453 = 0,973 \text{ Ом},$$

$$x_{1рез} = x_c + x_{пл1} + x_{пл4} = 0,36 + 0,068 + 0,13 = 0,547 \text{ Ом}.$$

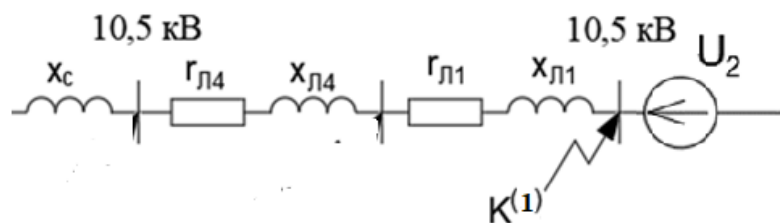


Рисунок 2.12 – Зворотня схема заміщення

$$r_{2рез} = r_{пл1} + r_{пл4} = 0,52 + 0,453 = 0,973 \text{ Ом},$$

$$x_{2рез} = x_{пл1} + x_{пл4} = 0,068 + 0,13 = 0,18 \text{ Ом}.$$

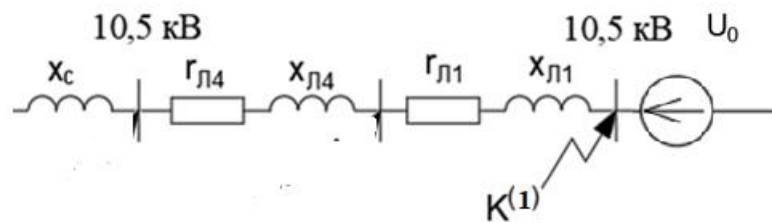


Рисунок 2.13 – Нульова схема заміщення

$$r_{\text{пл04}} = 3,5 \cdot r_{\text{пл4}} = 3,5 \cdot 0,453 = 1,58 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{пл04}} = 3,5 \cdot X_{\text{пл4}} = 3,5 \cdot 0,13 = 0,455 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{пл01}} = 3,5 \cdot r_{\text{пл1}} = 3,5 \cdot 0,6944 = 1,82 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{пл01}} = 3,5 \cdot X_{\text{пл1}} = 3,5 \cdot 0,068 = 0,199 \text{ Ом},$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = 17 \text{ кА},$$

$$X_{\text{с0}} = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E_c}{I_{\text{кз}}^{(1)}} - (X_{\text{с1}} + X_{\text{с2}}) = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{6,06}{16} - (0,36 + 0,36) = 0,63 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{орез}} = r_{\text{пл01}} + r_{\text{пл04}} = 1,82 + 1,58 = 3,4 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{орез}} = X_{\text{пл01}} + X_{\text{пл04}} = 0,199 + 0,455 = 0,654 \text{ Ом}.$$

Тепер знаходимо струм КЗ в точці К⁽¹⁾

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{3 \cdot E_c}{\sqrt{3} \sqrt{(r_{1\text{рез}} + r_{2\text{рез}} + r_{\text{орез}})^2 + (X_{1\text{рез}} + X_{2\text{рез}} + X_{\text{орез}})^2}}$$

$$= \frac{3 \cdot 6,06}{\sqrt{3} \sqrt{(0,973 + 0,973 + 3,4)^2 + (0,547 + 0,18 + 0,654)^2}} = 1,9 \text{ кА}.$$

Визначимо постійну часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{\text{ак}}^{(1)} = \frac{x_{\Sigma}^{(1)}}{\omega \cdot r_{\Sigma}^{(1)}} = \frac{0,547 + 0,18 + 0,654}{314,16 \cdot (0,973 + 0,973 + 3,4)} = 0,0008 \text{ с}.$$

Розраховуємо ударний коефіцієнт при однофазному КЗ:

$$k_{\text{уд}}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{\text{ак}}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0008}} = 1.$$

Розраховуємо ударний струм при однофазному КЗ:

					Арк.
					63
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОЕ-11-18.012 ПЗ

$$i_{уд}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2}^{(1)} \cdot I_{кз}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,9 = 2,68.$$

Розраховуємо найбільше діюче значення повного струму короткого замикання:

$$I_{д}^{(1)} = I_{кз}^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд2}^{(1)} - 1)^2} = 1,9 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 1,9 \text{ кА.}$$

Розраховуємо значення теплового імпульсу:

$$B_{к}^{(1)} = I_{кз}^{(1)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак2}^{(1)}) = 1,9^2 \cdot (0,18 + 0,0008) = 0,65,$$

де $t_{відімк}$ – час від початку КЗ до його відімкнення, с.

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ с.}$$

$t_3 = 0,1$ – час спрацювання релейного захисту, с;

$t_{вимик} = 0,08$ – повний час вимикання вимикача з приводом, с.

Результати розрахунків для точки К2 заносимо до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Результати розрахунків для точки К1

Точка КЗ	$x_{\Sigma}^{(1)}$	$r_{\Sigma}^{(1)}$	$I_{кз}^{(1)}$, кА	$T_{ак}^{(1)}$, с	$k_{уд}^{(1)}$	$i_{уд}^{(1)}$, кА	$I_{д}^{(1)}$, кА	$B_{к}^{(1)}$, кА ² ·с
К ⁽¹⁾	1,38	5,34	1,9	0,0008	1	2,68	1,9	0,65

Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та висновки

Таблиця 2.16 – Перевірка комутаційних апаратів 10 кВ

Напруга	Вибраний елемент	Параметри	Умови перевірки	Розрахункові дані	Каталожні дані
10 кВ	VD4-10-20/1000	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{\max}$ $I'' \leq I_{вимик}$	13,63 кА 7,01 кА	50 кА
		Тепловий імпульс	$B_{к} \leq I_{т.с}^2 t_{т.с}$	-	31,25 кА

Продовження таблиці 2.16

10 кВ	Роз'єднувач РЛНД-10/400	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{\max}$ $I'' \leq I_{\text{ВИМИК}}$	13,63 кА 7,01 кА	50 кА
		Тепловий імпульс	$B_k \leq I_{\text{т.с}}^2 t_{\text{т.с}}$	-	20 кА

Перевірка перерізу провідників

Перевірка проводиться за умовою термічної стійкості:

$$F_{\min} < F,$$

де F – переріз вибраного кабелю, мм²;

F_{\min} – мінімально допустимий переріз по умові термічної стійкості, мм².

Величину F_{\min} розраховуємо за формулою:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}.$$

де C – коефіцієнт, відповідний різниці температур провідника до і після КЗ, $C = 75 \text{ А} \cdot \text{с}/\text{мм}^2$.

Для ПЛ4:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{72,76} \cdot 10^3}{75} = 113 \text{ мм}^2.$$

Результати розрахунків наводимо у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Перевірка перерізів ПЛ і КЛ.

Ділянка	Fпоч,	Bk, кА ² ·с	Fmin, мм ²	Fоб, мм ²
ПЛ1	150	72,76	113	150
ПЛ4	119	21,19	61,37	119

2.10.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 кВ

Розрахунок трифазного короткого замикання

Опори збірних шин та їх з'єднання мають істотний вплив на струми КЗ в мережі до 1 кВ, а також трансформатори струму, розмикаючі котушки автоматичних вимикачів. Помітний вплив мають опори контактних з'єднань – болтових з'єднань шин, перехідний опір контакту в місці КЗ, також зажимних контактів апаратів.

Всі активні та індуктивні опори короткозамкнутого кола, будемо враховувати при розрахунках. Розрахунок проведемо в іменованих одиницях.

РС зображена на рисунку 2.14.

Вихідні дані:

Система: струм КЗ $I_{КЗ3}^3 = 4,96$ кА.

Приймаємо трансформатор типу ТП-630/10/0,4 з такими паспортними даними:

$$S_H = 630 \text{ кВА}, U_{HB} = 10 \text{ кВ}, U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}, \Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт},$$

$$U_k = 6,5 \%, \Delta I_{xx} = 1,8\%, \Delta P_{xx} = 1,35 \text{ кВт}.$$

Шини приєднання трансформатора до щита 0,4 кВ: $l_{ш} = 5$ м, метал – Al, $r_{ш.о} = 0,1 \text{ Ом/км}, x_{ш.о} = 0,13 \text{ Ом/км}, S = 80 \times 8 \text{ мм}^2$.

QF; тип ФМС8А (висувний), $I_{ном} = 630 \text{ А}$, QF_1 ; тип АВМ-4С, $I_{ном} = 150 \text{ А}$.

Трансформатор струму ТС: $r_{ТС} = 0,2 \text{ мОм}, x_{ТС} = 0,05 \text{ мОм}$.

Опори котушок включення автоматичних вимикачів: $X_{KB.SF} = 0,07 \text{ мОм}, R_{KB.SF} = 0,13 \text{ мОм}$.

Опори контактів автоматичних вимикачів: $r_{KSF} = 0,14 \text{ мОм}, R_{б.к} = 0,003 \text{ мОм}$.

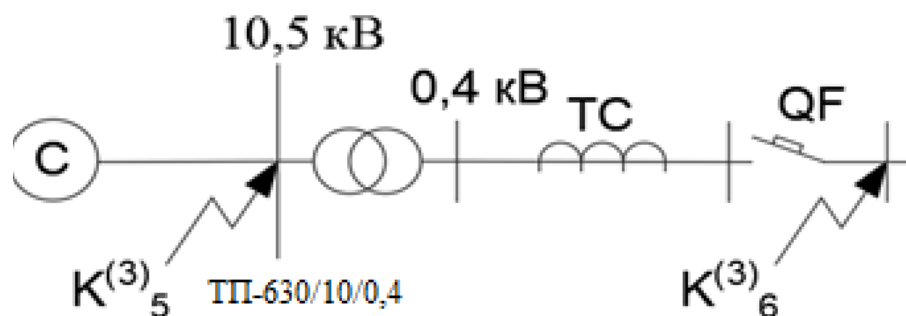


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема

										Арк.
										66
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОЕ-11-18.012 ПЗ					

Розрахунок параметрів схеми заміщення у іменованих одиницях:

Опір системи:

$$x_c = \frac{U_{HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{KЗ}^3 \cdot U_{HB}} = \frac{0,4^2}{\sqrt{3} \cdot 3,85^3 \cdot 10} = 0,0001 \text{ Ом.}$$

Опори трансформатора:

$$r_T = \frac{\Delta P_{KЗ} \cdot (U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H^2} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{630^2} = 3,06 \text{ Ом.}$$

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

$$= \sqrt{\left(\frac{6,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{(0,4)^2 \cdot 10^6}{630} = 16,22 \text{ Ом.}$$

Опори шин:

$$r_{ш} = r_{ш.0} \cdot l_{ш} = 0,1 \cdot 0,005 = 0,0005 \text{ Ом,}$$

$$x_{ш} = x_{ш.0} \cdot l_{ш} = 0,13 \cdot 0,005 = 0,0006 \text{ Ом.}$$

Активний опір болтового з'єднання:

$$r_{б.к} = 0,003 \text{ мОм.}$$

Побудуємо СЗ для визначення струмів КЗ в точці.

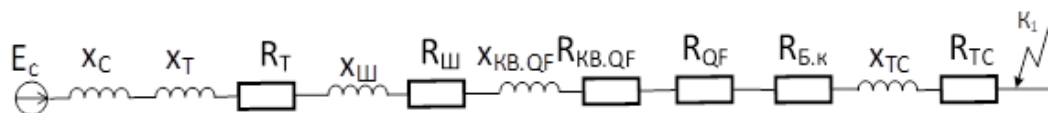


Рисунок 2.15 – Схема заміщення

Еквалентуємо СЗ:

$$x_1 = x_c + x_T + x_{KB.SF} + x_{ш} + x_{TC} =$$

$$= 0,63 + 16,22 + 0,00007 + 0,0006 + 0,00005 = 16,85,$$

$$r_1 = r_{ш} + 4 \cdot r_{б.к} + r_{KB.SF} + r_T + r_{K_{SF}} + r_{TC} =$$

$$= 0,0005 + 4 \cdot 0,003 + 0,00013 + 0,2 = 0,21 \text{ Ом.}$$

Виконаємо розрахунок надперехідного значення струму трифазного КЗ:

$$I_4^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_1^2 + r_1^2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,85^2 + 0,21^2}} = 14,38 \text{ кА.}$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму трифазного КЗ:

$$T_{\text{ак4}}^{(3)} = \frac{x_1}{\omega \cdot r_1} = \frac{16,85}{314 \cdot 0,21} = 0,25 \text{ с.}$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$W_{\text{к4}}^{(3)} = I_4^{(3)^2} \cdot (t_{\text{відімк}} + T_{\text{ак4}}^{(3)}) = 14,38^2 \cdot (0,18 + 0,25) = 88,9.$$

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

$$t_{\text{відімк}} = t_3 + t_{\text{вимик}} = 0,18,$$

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

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ - час вимкнення вимикача, с.

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{\text{уд4}}^{(3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{\text{ак6}}^{(3)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,25}} = 1,96,$$

$$i_{\text{уд4}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд4}}^{(3)} \cdot I_4^{(3)}.$$

Розрахунок найбільшого діючого значення струму короткого замикання:

$$I_{\text{y4}}^{(3)} = I_4^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{\text{уд4}}^{(3)} - 1)^2} = 14,38 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,96 - 1)^2} = 24,24.$$

Розрахунок струму однофазного КЗ

Проведемо розрахунок струму однофазного КЗ в К₄⁽¹⁾.

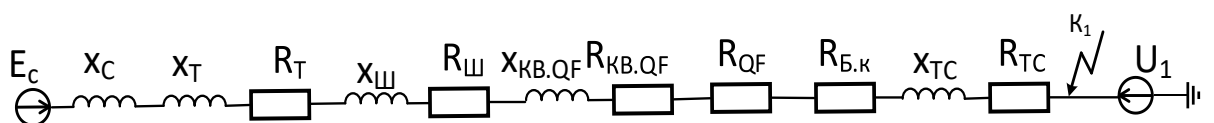


Рисунок 2.16 – СЗ прямої послідовності

$$\begin{aligned} x_1 &= x_c + x_T + x_{\text{КВ.SF}} + x_{\text{Ш}} + x_{\text{ТС}} = \\ &= 0,63 + 16,22 + 0,00007 + 0,0006 + 0,00005 = 16,85 \text{ Ом,} \\ r_1 &= r_{\text{Ш}} + 4 \cdot r_{\text{Б.к}} + r_{\text{КВ.SF}} + r_T + r_{\text{КСF}} + r_{\text{ТС}} = \\ &= 0,0005 + 4 \cdot 0,003 + 0,00013 + 0,2 = 0,21 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Схема заміщення нульової послідовності:

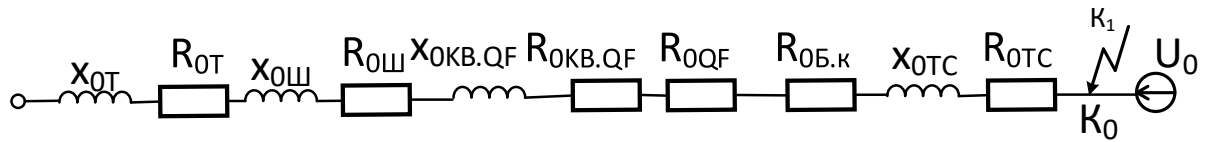


Рисунок 2.17 – Схема заміщення нульової послідовності

Опори нульової послідовності шин:

$$x_{ш.0} = 8,5 \cdot x_{ш} = 8,5 \cdot 0,0006 = 0,005 \text{ Ом.}$$

$$r_{ш.0} = 10 \cdot r_{ш} = 10 \cdot 0,0005 = 0,005 \text{ Ом.}$$

Розрахунок еквівалентних активних та індуктивних опорів нульової послідовності для $K_4^{(1)}$:

$$x_0 = x_{T0} + x_{KB.QF0} + x_{ш0} + x_{TC0} = 0,63 + 16,22 + 0,00007 + 0,0006 + 0,00005 = 16,345 \text{ Ом,}$$

$$r_0 = r_{T0} + 4 \cdot r_{б.к0} + r_{к.QF0} + r_{KB.QF0} + r_{ш.0} + r_{TC0} = 0,0005 + 4 \cdot 0,003 + 0,00013 + 0,2 = 0,23 \text{ Ом.}$$

Діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_4^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot U_{HH}) \cdot 10^3 \cdot m^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_1 + r_0)^2 + (2 \cdot x_1 + x_0)^2}} = \frac{(1,05 \cdot 10) \cdot 10^3 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,21 + 0,23)^2 + (2 \cdot 16,85 + 16,345)^2}} = 36,3 \text{ кА.}$$

де x_0 та r_0 – індуктивний та активний опір схеми заміщення нульової послідовності, $m = 3$.

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму КЗ:

$$T_{ак4}^{(1)} = \frac{2 \cdot 16,85 + 16,345}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (2 \cdot 0,21 + 0,23)} = 0,24 \text{ с.}$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак6}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,24}} = 1,95.$$

Розрахунок ударного струму для $K_6^{(1)}$:

$$i_{уд4}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 36,3 = 10 \text{ кА.}$$

Розрахунок найбільшого значення повторного струму КЗ:

$$i_{y4}^{(1)} = 36,3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,95 - 1)^2} = 6,7.$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						69
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок теплового імпульсу:

$$W_{к4}^{(1)} = i_4^{(1)2} \cdot (t_{\text{відімк}} + T_{\text{арк}}^{(1)}) = 6,7^2 \cdot (0,18 + 0,24) = 15,47.$$

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

$$t_{\text{відімк}} = t_3 + t_{\text{вимик}},$$

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

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ -час вимкнення вимикача, с.

2.11 Релейний захист і автоматика

Розрахунок струмового захисту лінії 10 кВ з використанням запобіжників.
Розрахунок та обрання автоматичних вимикачів на стороні 0,4 кВ.

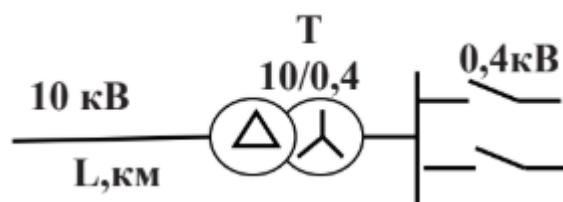


Рисунок 2.18 – Схема розрахунку РЗА

Струмовий захист є одним із ключових елементів системи електробезпеки, що забезпечує захист електричних мереж та обладнання від перевантажень і коротких замикань. Його дія базується на фіксації перевищення допустимого рівня струму, що дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації. Такий захист широко застосовується в електроенергетиці завдяки своїй ефективності та простоті [14].

Існує кілька основних різновидів струмового захисту. Найпоширенішим є максимальний струмовий захист, який спрацьовує при перевищенні заданої уставки струму. Він може реалізовуватися за допомогою електромеханічних або електронних реле. Менш поширеним, але також важливим, є мінімальний струмовий захист, що реагує на недовантаження або зникнення струму в мережі, що може свідчити про обрив лінії чи інші порушення. Диференційний струмовий захист функціонує на основі порівняння струмів на вході і виході з контрольованої ділянки — при виявленні різниці він спрацьовує. Такий підхід забезпечує високу точність і швидкість виявлення пошкоджень [14].

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						70
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії струмового захисту полягає в реагуванні на величину струму, що протікає по мережі. Якщо вона перевищує встановлену межу, відбувається спрацьовування. У деяких випадках спрацьовування може бути миттєвим — без затримки в часі, коли фіксується значне перевищення струму. Існує також зворотно-часова характеристика, згідно з якою чим більший струм, тим менший час спрацьовування захисту [14].

До складу струмового захисту входять кілька основних елементів. Трансформатори струму слугують для вимірювання сили струму в лінії та подачі його на захисне реле у зменшеному й безпечному для приладів вигляді. Реле захисту аналізує ці дані та подає сигнал на відключення, якщо фіксується перевищення заданого порогу. Відключення здійснюється за допомогою вимикачів — автоматичних або силових, які можуть бути масляного, вакуумного, газового або іншого типу залежно від застосування [14].

До основних переваг струмового захисту належать його простота, надійність і швидкодія, що дозволяє оперативно виявляти та ізолювати пошкоджену ділянку мережі. Система також є гнучкою, оскільки дозволяє регулювати уставки та характеристики спрацьовування. Водночас існують і певні недоліки, зокрема обмежена вибірковість, через що захист може реагувати на аварії в сусідніх ділянках, а також залежність від навантаження, що ускладнює точне налаштування при його змінності [14].

Вибір комутаційних апаратів на стороні 0,4 кВ

Автоматичні вимикачі вибирають так, щоб номінальний струм головного кола вимикача $I_{a.ном.}$ та номінальний струм його теплових і електромагнітних розчіплювачів $I_{р.ном.}$ були не меншими від тривалого робочого струму $I_{тр.роб.}$ ділянки мережі, яку вони захищають [14]:

$$I_{a.ном.} \geq I_{тр.роб.} \quad I_{р.ном.} \geq I_{тр.роб.}$$

Номінальна напруга вимикача $U_{a.ном.}$ повинна бути не меншою напруги мережі $U_{м.ном.}$, в якій він буде працювати [14]:

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$U_{a.ном.} \geq U_{м.ном.}$$

Для вимикачів, які захищають асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, номінальний струм головного кола вимикача $I_{a.ном.}$ та номінальний струм розчіплювачів $I_{р.ном.}$ повинні бути не меншими від номінального струму двигуна $I_{дв.ном.}$ [14]:

$$I_{a.ном.} \geq I_{дв.ном.} \quad I_{р.ном.} \geq I_{дв.ном.}$$

При захисті групи електродвигунів номінальний струм розчіплювачів автомата повинен бути не меншим суми номінальних струмів двигунів [14]:

$$I_{р.ном.} \geq \sum I_{дв.ном.}$$

Тип захисної характеристики автоматичного вимикача визначає кратність струму, при якій він спрацьовує, а також сферу його застосування [14]:

- Тип А: Спрацьовує при струмі в 2,4–3,6 разів вищому за номінальний (I_n) при температурі +30 °С. Застосовується для електроустановок зі значною довжиною проводки, а також для захисту чутливих електронних або напівпровідникових пристроїв.
- Тип В: Спрацьовує при 3–5 I_n . Для електромереж без значних пускових струмів, зокрема у житлових будинках.
- Тип С: Спрацьовує при 5–10 I_n . В мережах з „ударним” навантаженням, таких як асинхронні електродвигуни або освітлення з газорозрядними лампами.
- Тип D: Спрацьовує при 10–20 I_n . Для установок із високими пусковими струмами, трансформатори та двополюсні асинхронні двигуни.

Обрання автоматичного вимикача:

Номінальний струм:

$$I_{ном} = \frac{\sqrt{P_{A1}^2 + Q_{A1}^2}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{\sqrt{153,61^2 + 85,36^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 253,64$$

Обрано автоматичний вимикач Eaton BZMN3-A400 MCCB 3P 400 A.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						72
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.18 – Характеристики обраного вимикача [16]

Параметр	Значення
Номінальна напруга	400 В
Струм спрацювання	400 А
Частота мережі	50 Гц
Тип розчіплювача	ТМ-D або Micrologic
Кількість полюсів	3Р / 4Р

Умови вибору автоматичних вимикачів:

За номінальною напругою:

$$U_{ном} \geq U_{уст.}$$

За номінальним струмом розчеплювача:

$$I_{ном.розч.} \geq 1,25 \cdot I_{уст.}$$

За номінальним струмом автомату:

$$I_{ном.а} \geq I_{ном.розч.}$$

За номінальною напругою:

$$400 \text{ В} \geq 400 \text{ В.}$$

За номінальним струмом розчеплювача:

$$400 \text{ А} > 1,25 \cdot 253,64 = 317 \text{ А.}$$

За номінальним струмом автомату:

$$400 \text{ А} \geq 317 \text{ А.}$$

Обраний АВ відповідає умовам.

Розрахунок струмового захисту:

Номінальний струм:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{\sqrt{153,61^2 + 85,36^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,92} = 11,02.$$

Запобіжники підбирають за номінальним струмом лінії, враховуючи витримку струму короткого замикання. Використовується стандартний ряд: 63 А, 80 А, 100 А, 125 А, 160 А, 200 А, 250 А, 315 А, 400 А [14].

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						73
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту ліній від перевантажень номінальний струм плавкої вставки вибирають з таких умов: – неспрацювання в робочому максимальному режимі [15].

$$I_{\text{вст.ном}} \geq k_{\text{від}} \cdot I_{\text{роб.макс}}$$

де $k_{\text{від}}$ - коефіцієнт відведення, приймають 1,1 – 1,25; $I_{\text{роб.макс}}$ - максимальний робочий струм, що протікає по лінії.

Номінальний струм плавкої вставки F1, та вибір запобіжника [15]:

Максимальний робочий струм на ВН стороні трансформатора $I_{\text{р макс}} = 11,02 \text{ А}$.

Плавка вставка:

$$I_{\text{вст.ном}} \geq k_{\text{від}} \cdot I_{\text{роб.макс}} = 1,2 \cdot 11,02 = 13,22 \text{ А},$$

де, $k_{\text{від}} = 1,2$.

$$I_{\text{вст.ном}} \leq \frac{I_{\text{к.з.мін.}}}{k_{\text{ч}}} = \frac{13,22}{2,5} = 5,28 \text{ А},$$

де, $k_{\text{ч}} = 2,5$.

Обрано плавку вставку запобіжника 10 А. Прийнято запобіжник ETI gG 10 А 500 V (відключаюча здатність 80кА) [17].

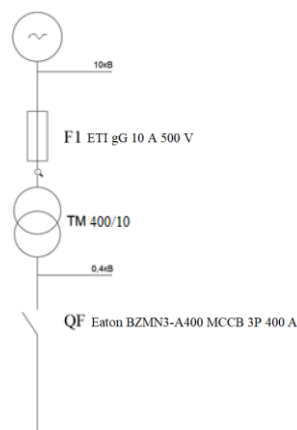


Рисунок 2.19 — Схема захисту

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						74
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до розділу

У розділі представлено проект системи електропостачання міського району. Визначено початкові умови проектування, здійснено підбір трансформаторів та виконано розрахунок їх навантаження як у штатному, так і в після-аварійному режимах. Проведено вибір комутаційних та захисних пристроїв, які забезпечують захист мережі від перенапруг і струмів короткого замикання, а також безпеку персоналу. Розраховано струми короткого замикання для перевірки відповідності обраного обладнання. Додатково виконано розрахунок струмового захисту для лінії 10 кВ із застосуванням плавких запобіжників.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						75
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УСТАНОВОК КОНТАКТНОЇ ЕЛЕКТРОЗВАРКИ НА НАВАНТАЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ

3.1 Визначення розрахункових навантажень групи УКЕ

Мета: Визначити розрахункове навантаження групи УКЕ, дані котрих знаходяться в таблиці 3.1. Здійснити розрахунок наближеним методом.

Вихідними даними для підрахунку навантажень є:

- планування цеху;
- паспортні дані зварювальних машин (напруга, фазність, встановлена потужність зварювальних трансформаторів та їх розподіл по фазах для дво- та трифазних машин);
- перелік зблокованих зварювальних машин;
- режим роботи зварювальних машин (автоматичний, напівавтоматичний, ручний).

Через брак інших даних, нас цікавить винятково другий пункт, а в ньому – встановлена потужність зварювальних трансформаторів і розподіл по фазах для одно- та двофазних машин.

Установки УКЕ – типові представники ЕН з повторно-короткочасним режимом роботи. Мають велику пікову потужність і короткий час ввімкнення (зварювання). Характеризуються тривалістю ввімкнення (скважністю) – відношенням часу зварювання до часу циклу [18]:

$$ПВ = \frac{t_{св}}{t_{св}+t_n} = \frac{t_{св}}{t_{ц}}, \quad (3.1)$$

де $t_{св}$ – час зварювання; t_n – час паузи між зварюваннями; $t_{ц}$ – загальний час циклу.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ Докум	Підпис	Дата	УСТАНОВКА КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ (УКЕ)			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Макієнта Д.В.								78	98
Перевір.		Філянін Д.В.									
Н.контр.		Прокопенко І.Д.									
Затв.											
					НН ІЕЕ ОЕ-11						

Зазвичай, тривалість роботи зварювального обладнання складає лише декілька відсотків. Через це, на елементи живлячої мережі менше впливає нагрівання, а більше – стрибки напруги [18].

Таблиця 3.1 – Характеристики та режим роботи установок УКЕ (*установки, що функціонують по черзі)

№	Тип УКЕ	Виконання			Потужність S, кВА	ПВ, %
		1ф	2ф	3ф		
1	МРВ-19001 *			+	700	2,36
2	МРВ-19001 *			+	700	2,36
3	МТ-4019СЕ *		+		420	0,74
4	МТ-3001СЕ	+			242	0,59
5	МТ-3001СЕ	+			242	0,59
6	КТ-009	+			110	0,59
7	МРН-24009*			+	1240	1,45
8	МРН-24009*			+	1240	1,45
9	МТ-1928СЕ	+			124	0,41
10	PL-80	+			80	0,18
11	КТ-009	+			110	0,32
12	МТ-4019СЕ *		+		420	0,62
13	МТ-4019СЕ *		+		420	0,62
14	B251P		+		250	0,62
15	МТ-4019СЕ *		+		420	1,38
16	PMS 16-4*		+		1035	1,13
18	B251P		+		250	2,17

Розрахунок наближеним методом.

У розрахунках ЕН групи УКЕ використовуються середні значення S_{cpi} , квадрати ефективних значень S_{ei}^2 , дисперсії $D[S_i]$ окремих і-х установок УКЕ:

$$S_{cpi} = S_i * ПВ_i \quad (3.2)$$

$$S_{ei}^2 = S^2 * ПВ \quad (3.3)$$

$$D[S_i] = S_{ei}^2 - S_{cpi}^2 = S_i^2 * ПВ_i * (1 - ПВ_i) \quad (3.4)$$

Під час розрахунку наближеним методом припускають, що всі УКЕ функціонують незалежно, а всі сумарні середні значення та дисперсії навантаження УКЕ для кожної лінійної напруги є ідентичними. Відтак, для усіх УКЕ:

$$S_{cp} = S_{cp}^{(2)} + 1,08 * S_{cp}^{(2)} + 1,16 * S_{cp}^{(1)}, \quad (3.7)$$

$$D[S] = D[S^{(3)}] + 1,25 * D[S^{(2)}] + 2 * D[S^{(1)}], \quad (3.6)$$

де $S_{cp}(\cdot)$, $D[S(\cdot)]$ – це середні значення та дисперсії ЕН для всіх однофазних, двофазних та трифазних УКЕ, що визначені як суми відповідних величин окремих УКЕ; 1,08; 1,16; 1,25; 2 – коефіцієнти приведення параметрів ЕН одно- та двофазних УКЕ до еквівалентних параметрів ЕН трифазних УКЕ.

Розрахункове значення ЕН визначається за формулою:

$$S_p = S_e = \sqrt{s_{cp}^2 + D[S]}. \quad (3.7)$$

Результати обчислень зводяться до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок середньої потужності та дисперсії навантажень УКЕ наближеним методом

№	Тип УКЕ	S, кВА	ПВ, о.е.	S ² , кВА ²	S _{cp} =S*ПВ, кВА	S _{cp} ² ,кВА ²	S ² ,кВА ² _e	D[S], кВА ²
Трифазні УКЕ								
1	МРВ-19001*	700	0,0236	490000	16,52	273,1	11564	11290,9
2	МРВ-19001*	700	0,0236	490000	16,52	273,1	11564	11290,9
7	МРН-24009*	1240	0,0145	1537600	17,98	323,2	22395.2	22115,2
8	МРН-24009*	1240	0,0145	1537600	17,98	323,2	22395.2	22115,2
Σ					68,99	1192,6	67918.4	66812,2
Двофазні УКЕ								
3	МТ-4019СЕ*	420	0,0074	176400	3,108	9,66	1306.4	1296,7
12	МТ-4019СЕ*	420	0,0062	176400	2,604	6,78	1093.7	1086,9
13	МТ-4019СЕ*	420	0,0062	176400	2,604	6,78	1093.7	1086,9
14	В251Р	250	0,0062	62500	1,55	2,4	387.5	385,1
15	МТ-4019СЕ*	420	0,0138	176400	5,796	33,6	2434.3	2400,7
16	PMS 16-4*	1035	0,0113	1071225	11,705	137,0	1210.5	1073,5
№	Тип УКЕ	S, кВА	ПВ, о.е.	S ² , кВА ²	S _{cp} =S*ПВ, кВА	S _{cp} ² ,кВА ²	S ² ,кВА ² _e	D[S], кВА ²
18	В251Р	250	0,0217	62500	5,425	29,4	1356.3	1326,9
Σ					32,792	225,64	8882.1	8656,8

Продовження таблиці 3.2

Однофазні УКЕ								
4	MT-3001CE	242	0,0059	58564	1,4278	2,04	345,5	343,5
5	MT-3001CE	242	0,0059	58564	1,4278	2,04	345,5	343,5
6	КТ-009	110	0,0059	12100	0,649	0,42	71,4	70,9
9	MT-1928CE	124	0,0041	15376	0,508	0,26	63,0	62,7
10	PL-80	80	0,0018	6400	0,144	0,02	11,5	11,4
11	КТ-009	110	0,0032	12100	0,352	0,12	38,7	38,6
Σ					4,508	4,88	875,6	870,6

$$S_{cp} = S_{cp}^{(2)} + 1,08 * S_{cp}^{(2)} + 1,16 * S_{cp}^{(1)},$$

$$S_{cp} = 68,99 + 1,08 * 32,792 + 1,16 * 4,508 = 108,3 \text{ кВА},$$

$$D[S] = D[S^{(3)}] + 1,25 * D[S^{(2)}] + 2 * D[S^{(1)}],$$

$$D[S] = 66812,2 + 1,25 * 8656,8 + 2 * 870,6 = 79007,3 \text{ кВА}^2,$$

$$S_e = \sqrt{S_{cp}^2 + D[S]},$$

$$S_e = \sqrt{108,3^2 + 79007,3} = 301,23 \text{ кВА}.$$

3.2 Уточнення розрахункового навантаження групи УКЕ більш точним способом.

Мета: Обчислення навантаження групи УКЕ, дані якої наведено у таблиці 3.2 попереднього заняття, точнішим методом.

Щоб визначити S_e більш точним методом, потрібно розподілити однофазні та двофазні УКЕ по фазах таким чином, щоб навантаження фаз було максимально рівномірним. Однофазними вважаються установки, підключені до однієї лінійної напруги: АВ або ВС, або СА. Двофазними вважаються установки, підключені до двох лінійних напруг: АВ-ВС або ВС-СА, або СА-АВ. Результати розподілу необхідно звести в таблицю 3.3.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						81
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Розподіл навантажень однофазних та двофазних УКЕ по фазах для уточненого розрахунку

Тип УКЕ	S_{ϕ} , кВА**	S_{ϕ}^2 , кВА ²	$ПВ*10^{-2}$, о. е.	$S_{\phi}^2*ПВ$, кВА ²		
				U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
1	2	3	4	5	6	7
MT-4019CE *	210	44100	0,74	326,34		326,34
MT-3001CE	242	58564	0,59	345,52		
MT-3001CE	242	58564	0,59	345,52		
КТ-009	110	12100	0,59	71,39		
MT-1928CE	124	15376	0,41	63,04		
PL-80	80	6400	0,18	11,52		
КТ-009	110	12100	0,32	38,72		
MT-4019CE *	210	44100	0,62	273,42		273,42
MT-4019CE *	210	44100	0,62	273,42	273,42	
B251P	125	15625	0,62	96,88	96,88	
MT-4019CE *	210	44100	1,38	608,58	608,58	
PMS 16-4*	517,5	267806,25	1,13		3026,21	3026,21
B251P	125	15625	2,17	339,06		339,06
Σ	x	x	x	2793,41	4005,09	3965,03

Обираємо найбільш навантажену фазу за найбільшим навантаженням плечей. У нашому випадку це фаза С. За нею вестимемо розрахунок S_e . Далі двофазні навантаження приводяться до одно- та трифазних за таким принципом:

– УКЕ (PMS 16-4*), які приєднані обома плечима до найбільш навантаженої фази (у нашому випадку С), відносимо до трифазних, помноживши їхню потужність на 1.5;

– Решту (B251P, MT-4019CE *, MT-4019CE *, MT-4019CE *, MT-4019CE *, B251P) відносимо до однофазних, помноживши їхню потужність на 0.5.

Однофазні приймачі, підключені до найменш завантаженого плеча, в розрахунку не беруть участі.

Результати зводимо до таблиці 3.4.

Для найбільш навантаженої фази окремо розглядають групи УКЕ, що працюють по чергово, незалежно та одночасно. Група УКЕ, що працюють одночасно, у завданні відсутня. Проведемо розрахунок для груп УКЕ, що

працюють почергово та незалежно, на прикладі найбільш навантаженої фази С (для інших фаз формули аналогічні).

Таблиця 3.4 – Уточнений розрахунок середньої потужності та дисперсії навантаження УКЕ по фазах

№	Тип УКЕ	S, кВА	$ПВ \cdot 10^{-2}$, о. е.	S^2 , кВА ²	$S_{cp} = S \cdot ПВ$, кВА	S_{cp}^2 , кВА ²	S^2 , кВА ² _e	$D[S]$, кВА ²	Плечо, АВ BC CA
Трифазні УКЕ, що працюють незалежно,									
	Σ				0		0	0	X
Трифазні УКЕ, що працюють позмінно									
1	МРВ-19001*	700	0,0236	490000	16,52	273,1	11564	11291	X
2	МРВ-19001*	700	0,0236	490000	16,52	273,1	11564	11291	X
7	МРН-24009*	1240	0,0145	1537600	17,98	323,2	22395,2	22115	X
8	МРН-24009*	1240	0,0145	1537600	17,98	323,2	22395,2	22115	X
16	PMS 16-4*	1552,5	0,0113	2410641	17,56	308,4	27240,6	26932	X
	Σ				86,56		95159	93744	X
Однофазні УКЕ, які працюють незалежно									
14	B251P	125	0,0062	15625	0,775	0,60	96,9	96,3	BC
18	B251P	125	0,0217	15625	2,7125	7,36	339,1	331,8	CA
	Σ BC				0,775		96,9	96,3	
	Σ CA				2,7125		339,1	331,8	
Однофазні УКЕ, що працюють позмінно									
3	МТ-4019СЕ*	210	0,0074	44100	1,554	2,41	326,3	323,9	BC
12	МТ-4019СЕ*	210	0,0062	44100	1,302	1,70	273,4	271,7	BC
13	МТ-4019СЕ*	210	0,0062	44100	1,302	1,70	273,4	271,7	CA
15	МТ-4019СЕ*	210	0,0138	44100	2,898	8,40	608,6	599,9	CA
	Σ BC				2,856		599,7	595,6	
	Σ CA				4,2		882	871,6	

Для групи УКЕ, що працюють позмінно, обчислюємо середнє значення потужності S_{cp1} , квадрат ефективного значення потужності S_{e12} та дисперсії $D[S1]$:

$$S_{cp1} = \sum_{i=1}^{n^{(3)}} S_{cp\ i}^{(3)} + \sqrt{3} \left[\sum_{i=1}^{n_{BC}^{(1)}} S_{cp\ iBC}^{(1)} + \sum_{i=1}^{n_{CA}^{(1)}} S_{cp\ iCA}^{(1)} \right] \quad (3.8)$$

$$S_{cp1} = 86,56 + \sqrt{3} [2,898 + 4,2] = 98,9 \text{ кВА},$$

$$S_{e1}^2 = \sum_{i=1}^{n^{(3)}} (S_{ei}^{(3)})^2 + 3 \left[\sum_{i=1}^{n_{BC}^{(1)}} (S_{eiBC}^{(1)})^2 + \sum_{i=1}^{n_{CA}^{(1)}} (S_{eiCA}^{(1)})^2 \right], \quad (3.9)$$

$$S_{e1}^2 = 95159 + 3 [599,7 + 882] = 99604,1 \text{ кВА}^2,$$

$$D[S_1] = S_{e1}^2 - S_{cp1}^2, \quad (3.10)$$

$$D[S_1] = 99604,1 - 98,9^2 = 89822,89 \text{ кВА}^2,$$

де $S_{cp\ i}^{(3)}$ - Середні значення потужностей трифазних УКЕ; S_{cp1}^2 , S_{cp1}^2 - середні значення потужностей однофазних УКЕ, під'єднаних на лінійні напруги BC та CA, відповідно; $n^{(3)}$ - кількість трифазних УКЕ; $n_{BC}^{(1)}$, $n_{CA}^{(1)}$ - кількість однофазних УКЕ, під'єднаних на лінійні напруги BC та CA, відповідно.

Для групи УКЕ, що працюють незалежно, обчислюємо середнє значення потужності S_{cp2} , квадрат ефективного значення потужності S_{e22} та дисперсії $D[S1]$:

$$S_{cp2} = \sum_{i=1}^{n^{(3)}} S_{cp\ i}^{(3)} + \sqrt{3} \left[\sum_{i=1}^{n_{BC}^{(1)}} S_{cp\ iBC}^{(1)} + \sum_{i=1}^{n_{CA}^{(1)}} S_{cp\ iCA}^{(1)} \right], \quad (3.11)$$

$$S_{cp2} = 0 + \sqrt{3} [0,775 + 2,7125] = 6,05 \text{ кВА},$$

$$D[S_2] = \sum_{i=1}^{n^{(3)}} D[S_i^{(3)}] + 3 \left[\sum_{i=1}^{n_{BC}^{(1)}} D[S_{iBC}^{(1)}] + \sum_{i=1}^{n_{CA}^{(1)}} D[S_{iCA}^{(1)}] \right], \quad (3.12)$$

$$D[S_2] = 0 + 3 [96,3 + 331,8] = 1284,3 \text{ кВА}^2,$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						84
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $D[S_i^{(3)}]$ - Дисперсія навантаження трифазних УКЕ, які функціонують автономно; $D[S_{iBC}^{(1)}]$, $D[S_{iCA}^{(1)}]$ - дисперсії навантаження однофазних УКЕ, які працюють незалежно та з'єднані на лінійні напруги ВА та СА, відповідно.

Всі УКЕ:

$$S_{cp} = S_{cp1} + S_{cp2}, \quad (3.13)$$

$$S_{cp} = 98,9 + 6,05 = 104,95 \text{ кВА},$$

$$D[S] = D[S_1] + D[S_2], \quad (3.14)$$

$$D[S] = 89822,89 + 1284,3 = 91107,19 \text{ кВА}^2,$$

$$S_e = \sqrt{S_{cp}^2 + D[S]}, \quad (3.15)$$

$$S_e = \sqrt{104,95^2 + 91107,19} = 319,57 \text{ кВА},$$

Перевищення значення S_e , отриманого наближеним методом (%):

$$\delta S_e = \frac{S_{e \text{ прибл}} - S_{e \text{ точн}}}{S_{e \text{ точн}}} \cdot 100\%, \quad (3.16)$$

$$\delta S_e = \frac{301,23 - 319,57}{319,57} \cdot 100\% = -5,74 \%$$

3.3 Вибір струмопровідного обладнання та порівняння з методом коефіцієнта використання

Виходячи з результату розрахункового навантаження для групи УКЕ: розрахункова потужність $S_e = 319,57$ кВА, живильна напруга $U = 380$ В, коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) прийmemo 0.9.

Розраховуємо струм:

$$I_{розр} = \frac{S_e \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{319,57 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 486,3 \text{ А}. \quad (3.17)$$

З урахуванням резерву по струму ($K_{зап} = 1.25$), обираємо автоматичний вимикач:

$$I_{авт} = I_{розр} \cdot K_{зап} = 486,3 \cdot 1,25 = 608 \text{ А}. \quad (3.18)$$

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк. 85
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обрали автомат наприклад, АВВ Tmax T6N 630 з номіналом 630 А, характеристикою типу L (затримка для пускових струмів), 4P, з уставками по перевантаженню й короткому замиканню.

Приймаємо, що кабель прокладається по повітрю, довжина приблизно 50 м, матеріал – мідь. Загальні вимоги: струмопровідність кабелю не менше 630 А; кабель має витримувати розрахунковий струм із запасом.

Обираємо кабель ВВГнг(А)-LS 4×(1×240) мм², струмопровідність приблизно 625 А при прокладці в лотку, 1 кабель на фазу.

Порівняємо розрахункове навантаження з методом коефіцієнта використання.

Метод коефіцієнта використання ($K_{вик} = \sum ПВ/n$) передбачає приведення встановленої потужності до середньої на основі коефіцієнта ПВ, де $S_{вст} = \sum S = 7353$ кВА:

$$S_{cp} = S_{вст} \cdot K_{вик} = 7353 \cdot 0,01172 = 86,18 \text{ кВА}. \quad (3.19)$$

Отримане середнє значення потужності $S_{cp} = 86,18$ кВА значно менше, ніж розраховане за точнішими методами ($S_e = 319,57$ кВА), тому цей метод не дає реального навантаження, а лише приблизну оцінку для попереднього аналізу.

Для подальшого вибору апаратури захисту та кабельних ліній проаналізовано результати розрахунків навантаження в таблиці 3.5. З метою оцінки впливу методу розрахунку на вибір обладнання, наведено порівняння отриманої потужності за різними підходами.

Таблиця 3.5 – Порівняння отриманої потужності

Параметр	Точний розрахунок	Метод коефіцієнта використання
Розрахункова потужність, S	319,57 кВА	86,18 кВА
Розрахунковий струм, I	486,3 А	145 А
Струм із запасом, $I_{авт}$	608 А	181 А (145 × 1,25)
Обраний автоматичний вимикач	АВВ Tmax T6N 630, тип L	АВВ S 160, тип С
Обраний кабель	ВВГнг(А)-LS 4×(1×240) мм ²	ВВГнг(А)-LS 4×(1×70) мм ²

Порівняння типів автоматичних вимикачів.

Тип L (використаний при точному розрахунку, АВВ Tmax T6N 630):

- Характеристика із затримкою спрацьовування, що підходить для захисту обладнання з великими пусковими струмами (наприклад, електродвигуни, трансформатори).
- Зменшує ризик відключення при короткочасних пускових струмах.
- Оптимальний для навантажень з імпульсним або пусковим характером.

Тип С (обраний при методі коефіцієнта використання, АВВ S 160):

- Стандартна характеристика для загального застосування.
- Швидше спрацьовує при коротких замиканнях, менш стійкий до пускових струмів.
- Підходить для навантажень з менш імпульсним характером.

3.4 Розрахунок пікових навантажень групи УКЕ

Мета: Обчислення пікового навантаження групи УКЕ, дані якої наведено у Таблиці 3 попереднього з аняття.

З таблиці випливає, що найбільше навантаження припадає на плече ВС, по якому й будемо здійснювати розрахунок пікового навантаження. Переводимо потужності одно- та двофазних УКЕ до трифазних:

$$S_i^{(3)} = a_i S_i^{(1;2)}. \quad (3.20)$$

де a_i – це коефіцієнт приведення, що визначається наступним чином: 2 – для однофазних УКЕ, приєднаних до найбільш завантаженої лінії (ВС); 0,5 – для однофазних УКЕ, приєднаних до двох інших лінійних напруг; 1,25 – для двофазних УКЕ, коли одне плече під'єднане до найбільш навантаженої лінії (ВС); 0,5 – у випадку підключення обох плечей до менш завантажених ліній. – це коефіцієнт приведення, що визначається наступним чином: 2 – для однофазних УКЕ, приєднаних до найбільш завантаженої лінії (ВС); 0,5 – для однофазних УКЕ, приєднаних до двох інших лінійних напруг; 1,25 – для двофазних УКЕ, коли одне плече під'єднане до найбільш навантаженої лінії (ВС); 0,5 – у випадку підключення обох плечей до менш завантажених ліній.

Далі встановлюється УКЕ з найбільшою потужністю для групи установок, що функціонують почергово: МРН-24009* ; 1240 кВА. Інші УКЕ, що входять до цієї

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						87
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

групи (МТ-4019СЕ *, МРВ-19001 *, МРВ-19001 *, МТ-4019СЕ *, МТ-4019СЕ *, МТ-4019СЕ *, МТ-4019СЕ *, МТ-4019СЕ *, РМС 16-4*) у розрахунку не беруться до уваги.

Зведені результати розрахунків подано у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок пікового навантаження групи УКЕ з урахуванням коефіцієнтів приведення

Тип УКЕ	S , кВА	a	$S^{(3)}$, кВА	$ПВ \cdot 10^{-2}$, о. е.	$S^{(3)} \cdot ПВ$, кВА	$S^{(3)^2} \cdot ПВ$ кВА ²
МТ-3001СЕ	242	0,5	121	2,36	2,86	345,55
МТ-3001СЕ	242	0,5	121	2,36	2,86	345,55
КТ-009	110	0,5	55	0,74	0,407	22,39
МРН-24009	1240	1	1240	1,45	17,98	22295,96
МТ-1928СЕ	124	0,5	62	0,41	0,254	15,76
PL-80	80	0,5	40	0,62	0,248	9,92
КТ-009	110	0,5	55	0,62	0,34	18,7
B251P	250	1,25	312,5	1,38	4,31	1347,66
B251P	250	0,5	125	1,13	1,41	176,57
Σ	X	X	X	11,7	30,67	24578,06

Надалі групу трифазних установок компенсації ємнісної енергії (УКЕ), а також зведених до них одно- та двофазних УКЕ, будемо замінювати на одну установку з найбільшою потужністю $S_{i \max}$ (у нашому випадку – СМ 104) та умовною кількістю n_y установок з аналогічною умовною потужністю S_y :

$$n_y = \frac{(\sum_{i=1}^n S_i ПВ_i - S_{i \max} \overline{ПВ})^2}{(\sum_{i=1}^n S_i^2 ПВ_i - S_{i \max}^2 \overline{ПВ}) \overline{ПВ}}, \quad (3.21)$$

де $\overline{ПВ} = \frac{ПВ_{\Sigma}}{n}$ це умовна тривалість роботи одного блоку УКЕ після заміни, що дорівнює середньому значенню цього показника для всіх УКЕ, залучених до розрахунків; n – кількість блоків УКЕ, які беруть участь в обчисленні.

$$\overline{ПВ} = \frac{ПВ_{\Sigma}}{n} = \frac{11,7 \cdot 10^{-2}}{9} = 0,013, \quad (3.22)$$

$$n_y = \frac{(30,67 - 1240 \cdot 0,013)^2}{(24578,06 - 1240^2 \cdot 0,013) \cdot 0,013} = 3,55 \approx 4,$$

$$S_y = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \overline{PB}_i - S_{i \max} \overline{PB}}{n_y \overline{PB}}, \quad (3.23)$$

$$S_y = \frac{30,67 - 1240 \cdot 0,013}{3,55 \cdot 0,013} = 315,3 \text{ кВА.}$$

Величина пікової потужності визначається формулою:

$$S_{\Pi} = S_{i \max} + (x-1)S_y, \quad (3.24)$$

$$S_{\Pi} = 1240 + (2,7 - 1) 315,3 = 1776 \text{ кВА.}$$

де x це величину еквівалентних навантажень визначають, керуючись графіками залежності від $n = n_y + l = 4 + l = 5$ та $\overline{PB} = \overline{PB} = 1,3$ для прийнятної вірогідності α (див. рисунок 1). Ймовірність α виникає з розрахункового пікового навантаження S_{Π} , яке розглядають не як найбільше значення S_{\max} , а як певну, меншу величину S_a , ймовірність перевищення якої α вважається допустимо незначною.

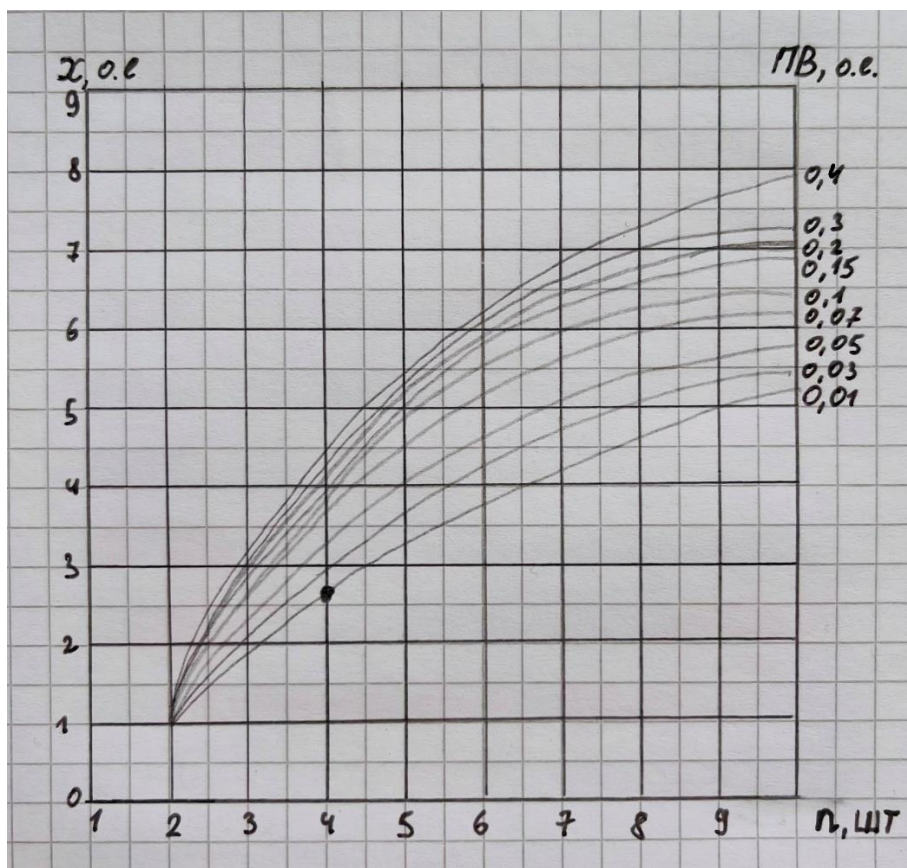


Рисунок 3.1 – Залежність $x = f(n, \overline{PB})$ при $\alpha = 0,0005$

Висновок до розділу

У розділі проведено комплексний аналіз та розрахунок навантажень групи установок комплексного електропостачання (УКЕ) за різними методами. На основі паспортних даних і режимів роботи УКЕ було визначено розрахункові навантаження як наближеним, так і більш точним способом із врахуванням фазного розподілу потужностей. Отримані результати показали, що точніший метод дає значно більші значення розрахункової потужності (319,57 кВА проти 86,18 кВА за методом коефіцієнта використання), що більш адекватно відображає реальні умови роботи обладнання.

Обрано відповідне струмопровідне обладнання з урахуванням запасів по струму та характеристик захисту, що забезпечує надійність і безпеку електропостачання.

Також проведено розрахунок пікових навантажень із застосуванням коефіцієнтів приведення, що дозволило врахувати вплив одно- та двофазних установок на загальне навантаження. Визначено умовну потужність та кількість еквівалентних установок, що дозволяє більш точно прогнозувати пікові навантаження з урахуванням ймовірнісних характеристик.

Загалом, отримані результати дають змогу обґрунтовано вибрати електротехнічне обладнання і забезпечити ефективну, безпечну роботу системи електропостачання міського району з урахуванням особливостей роботи установок комплексного електропостачання.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						90
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО ЦЕХУ

4.1 Технічна характеристика обладнання

Інструментальний цех функціонує у три зміни, річний фонд робочого часу становить приблизно 6800 годин. Основними споживачами електроенергії є верстати (токарні, фрезерні, шліфувальні, координатно-розгортувальні), преси, кран-балки, електроіскрові верстати, зварювальні трансформатори, гідравлічні преси та інші. Усі електроприймачі відносяться до II категорії надійності електропостачання [3].

Потужності та технічні параметри споживачів

Таблиця 4.1 – Технічні параметри основних електроспоживачів інструментального цеху

№	Обладнання	Кількість	Потужність, кВт	Коеф-т використання (ТВ)	Режим
1	Кран-балка	1	30	40 %	змінний
2	Верстати внутрішньо-та плоско-шліфувальні	2 шт/3 шт	12 / 22	25–40 %	змінний
...	Інше обладнання (фрезер, токар, прес)	...	до 60	40–100 %	змінний/пост.

Система електропостачання

Для гарантування стабільності системи використовується блокова комплектна трансформаторна підстанція (БКТП), обладнана двома трансформаторами (ТМЗ-250/10, ТМЗ-630/10 чи ТМЗ-1000/10). Потужність варіюється від 250 до 1000 кВА, а напруга становить 10/0,4 кВ.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Макієнко Д.В.			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО ЦЕХУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Філянін Д.В.					91	98
Н.контр.		Прокопенко І.Д.			НН ІЕЕ ОЕ-11			
Затв.								

Підстанція містить:

- мережеві ввідні вимикачі високої напруги (6–10 кВ) та низької напруги;
- розподільчі шафи низької напруги (РШНН);
- автоматику резервного живлення (АВР), систему компенсації реактивної потужності.

Схема мережі розподілу

Передбачається комбінована структура (радіально-магістральна):

- магістральний струмопровід (ШЗМ-16УЗ) від підстанції до розподільчих шаф, звідки відходять радіальні лінії до станків та устаткування;
- захисні апарати та дроти.

У системі використовуються:

- автоматичні вимикачі та запобіжники для захисту від перевантажень і коротких замикань;
- Диференційні реле та пристрої захисту від витоку;
- Рубильники з видимим розривом на щитах управління.

Кабельні мережі виготовлені з мідних дротів, вкритих негорючим ПВХ-ізоляційним шаром, прокладені в кабельних лотках та трубах, спроможних протистояти вогню.

4.2 Перелік робіт до виконання і відповідальні виконавці

Загальні групи робіт:

- Монтаж і налаштування електрообладнання . Обов'язки: монтаж трансформаторів, ввідних автоматів, розподільних щитів, головних кабелів, систем заземлення; контроль показників; регулювання автоматів.
- Профілактичне обслуговування (Профілактичний ремонт). Обов'язки: перевірка стану кабельних мереж, автоматичних систем, заземлювальних контурів, проведення очисних робіт, налаштування та регулювання обладнання, актуалізація технічної документації (CMMS).
- Екстрене та аварійне реагування. Обов'язки: Швидке виявлення та негайне усунення проблем (заклинений автомат, коротке замикання, загоряння),

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						92
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контрольоване освітлення – 200–750 лк, низька пульсація.
- Комфортний мікроклімат – 18–25 °С, вологість 40–60 %.
- Допустимі рівні шуму й вібрації – у межах нормативів із застосуванням

ЗІЗ і захистів.

- Ергономічне робоче середовище – механізація, підтримка правильної постави.
- Захист від пилу та хімії – локальні витяжки, ЗІЗ.
- Психофізіологічна підтримка персоналу – планування змін, перерви, профілактика стресу.

4.4 Визначення шкідливих чинників

Фізичні фактори:

- Електричний струм: загроза травмування під час взаємодії з електроцитами та технікою.
- Шум: показник до 110 дБ(А) від обладнання та машин.
- Вібрація: вплив при праці з ручним знаряддям та важкою технікою.
- Неналежне освітлення: замало світла здатне спричинити спад продуктивності та збільшення небезпеки травмування.

Хімічні фактори:

- Пил: металевий пил, що виникає під час обробки матеріалів, здатний спричинити захворювання дихальної системи.
- Мاستила та очищувачі: випари від хімікатів здатні викликати подразнення дихальних шляхів та шкіри.

Біологічні фактори:

- Волога і пил: їхнє поєднання здатне стимулювати розмноження мікроорганізмів, що збільшує ймовірність виникнення інфекцій.

Психофізіологічні фактори:

- Перенапруження: тривале виконання обов'язків без відпочинку здатне викликати втрату зосередженості та збільшення ризику допущення погрішностей.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						94
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Стрес: великі очікування щодо акуратності та швидкості виконання завдань здатні породжувати стресові стани.

4.5 Вибір відповідних заходів і засобів з обмеження шкідливих чинників та електробезпеки

Електробезпека [4]:

- Регулярні огляди системи - це контроль кабелів, автоматики та заземлення з метою виявлення несправностей та запобігання аварійним ситуаціям.
- Процедури LOTO (блокування/маркування) - обов'язкове знеструмлення обладнання та його маркування під час обслуговування. До роботи допускаються лише працівники з відповідною кваліфікацією.
- Заземлення та зрівнювання потенціалів - систематична перевірка та контроль за допомогою захисних пристроїв (ПЗВ, RCD).
- ЗІЗ: рукавиці, інструмент з ізоляцією, діелектричні килимки, шоломи, окуляри, спецодяг вогнетривкий – відповідно до робочої напруги та їх виду.
- Знаки охорони праці, плакати та інструкції — розміщення біля електрощитових, в машинних зонах, електрощитках.
- Моніторинг показників живлення – застосування реле захисту, тепловізорів, приладів СНЧ для виявлення пошкоджень.

Освітлення й вентиляція [19]:

- Світлодіодне освітлення $\geq 300\text{--}500$ лк, без мерехтіння.
- Місцева вентиляція за наявності пилу/газів.
- Пил та хімічні речовини:
- Місцеві відсмоктувачі та фільтри при шліфувальних роботах.
- Засоби індивідуального захисту для шкіри та органів дихання: респіратори, рукавиці, спецодяг.

Організаційні заходи [20]:

- Навчання для співробітників: норми безпеки (NFPA 70E), алгоритми LOTO, пожежна безпека.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						95
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Документи з безпеки: протоколи ТО, політика звітування про інциденти, внутрішні аудити.
- Безпекова культура: заохочення звітування про небезпеки, періодичні перевірки.
- План реагування: інструкції на випадок надзвичайних ситуацій при ураженні електрикою або пожежі.

4.6 Розрахунок заземлення блискавкозахисту

Питомий опір ґрунту: $\rho = 130 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Коефіцієнт сезонності K_c :

Вертик. – 1,4.

Гориз. – 2,4.

Довжина вертикального електрода $l_B = 4 \text{ м}$. діаметр електрода $d = 0,04 \text{ м}$.

Глибина траншеї горизонтального заземлення: $t = 0,8 \text{ м}$.

Розрахунок

Визначаємо розрахунковий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{роз}} = \rho \cdot K_c, \quad (4.1)$$

де K_c – коефіцієнт сезону для вертикальних заземлювачів $K_c = 1,2 \dots 1,4$ для горизонтальних $K_c = 2 \dots 2,5$.

$$\rho_{\text{роз.в}} = 130 \cdot 1,4 = 182 \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

$$\rho_{\text{роз.г}} = 130 \cdot 2,5 = 325 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму з одного вертикального стержня:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{роз.в}}}{l_B} \cdot \left(\lg \left(\frac{2l_B}{d} + 0,5 \lg \frac{4t+3l_B}{4t+l_B} \right) \right), \quad (4.2)$$

де $\rho_{\text{роз}}$ – розрахунковий опір ґрунту, Ом·м; l_B - довжина вертикального заземлювача, м; d – діаметр вертикального заземлювача, приймаємо 0.02м; t – глибина траншеї з дна якої проводять забивання заземлювача.

Приймаємо 0,7 м.

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{182}{4} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 4}{0,04} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 0,8 + 3 \cdot 4}{4 \cdot 0,8 + 4} \right) \right) = 41,0 \text{ Ом}.$$

Кількість вертикальних заземлювачів визначаємо із співвідношення:

						Арк.
					ОЕ-11-18.012 ПЗ	96
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_B = \frac{R_B}{R_{\text{доп}}}, \quad (4.3)$$

де $R_{\text{доп}}$ – допустимий опір з таблиці; $R_{\text{доп}} \leq 30$ Ом.

$$n_B = \frac{41,044}{30} = 1,368.$$

Приймаємо $n_B = 4$

Відстань між вертикальними стержнями приймаємо у відповідності до співвідношення: $a \geq l_B$, $a = 3$ тобто $\frac{a}{l_B} = 1$.

Тоді маємо коефіцієнт використання $\eta = 0,57$.

Результуючий опір вертикальних елементів з врахуванням екранування:

$$R_{P.B} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B} = \frac{41,044}{4 \cdot 0,57} = 17,999 \text{ Ом.} \quad (4.4)$$

Визначаємо опір горизонтальної з'єднувальної полоси довжиною:

$$L_{\Gamma} = n \cdot a = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м,} \quad (4.5)$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{роз.г}}}{l_{\Gamma}} \cdot \lg \frac{2l_{\Gamma}^2}{b \cdot t} = 0,366 \cdot \frac{325}{12} \cdot \lg \frac{2 \cdot 12^2}{0,05 \cdot 0,8} = 38,35 \text{ Ом.} \quad (4.6)$$

де B – ширина полицки рівно бокової кутникової сталі горизонтального заземлювача.

Визначаємо результуючий опір горизонтального заземлювача:

$$R_{P.\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}, \quad (4.5)$$

де η_2 – коефіцієнт використання, приймаємо $\eta_2 = 0,77$;

$$R_{P.\Gamma} = \frac{38,35}{0,77} = 49,805 \text{ Ом.}$$

Визначаємо загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_3 = \frac{R_{P.B} \cdot R_{P.\Gamma}}{R_{P.B} + R_{P.\Gamma}} = \frac{17,999 \cdot 49,805}{17,999 + 49,805} = 13,22 \text{ Ом,} \quad (4.6)$$

$$13,22 \text{ Ом} < 30 \text{ Ом.}$$

Опір штучного заземлювача відповідає нормі згідно ПТЕЕС [4].

На рисунку 4.1 наведено схему розміщення заземлювачів у ґрунті.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						97
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

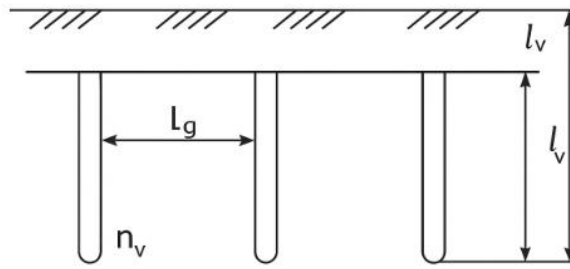


Рисунок 4.1 – Схема розміщення заземлювачів у ґрунті

4.7 Конкретні й нормативно обґрунтовані заходи пожежної безпеки в інструментальному цеху

1. Вогнегасники [21].

- Порошкові (ОП-5/ОП-9) – 7 шт., припасно 1 шт. в резерві (норма: 1 на 75 м²).
- Вуглекислотні (ОВК-5) – 2–3 шт., переважно біля електрощитових та складського електрообладнання.
- Пінні (ОПП-10 л) – 4 шт., у зонах з горючими рідинами чи мастилами.

Розміщення:

Всі на видному місці, 0,8–1,5 м від підлоги, з відстанню ≤ 20 м до найвіддаленої точки

2. Пожежна сигналізація [21].

Автоматичні сповіщувачі:

- Точкові димові / теплові (адресні) — приблизно 20 шт. (1 на 25 м²).
- Аспіраційні локальні – додатково над зонами з мастилами (якщо вибрані).
- Відстані між точковими автоматичними — ≤ 7 м, до стіни $\leq 3,5$ м (як клас С) .
- Кожна точка у зоні перекриватися мінімум двома сповіщувачами .

Ручна активація:

- Адресні ППР – 4–6 шт., біля кожного евакуаційного виходу, електрощитової Центральний пульт (ППКП).
- 1 шт. у диспетчерській чи охороні, із резервом шлейфів ≥ 10 %.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						98
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Оповіщення персоналу [21].

– Звукові сирени / гучномовці – 2–3 шт. (1 на 300–400 м²) для повного покриття.

– Світлові / тактильні маяки – опціонально у шумних зонах.

– Мовне оповіщення рекомендоване при площі > 500 м².

4. Система пожежогасіння [21].

Стационарні системи:

– Спринклери / дренчери – над зонами з мастилами (проект за ДСТУ В EN 12845).

– Автоматична порошкова система – у електрощитовій та біля станків (з'єднана зі СПС).

Мобільні засоби:

– Пожежні крани з рукавами – 2–3 шт., інтервал ≤ 30 м.

– Ящики з піском / інертним порошком – 1–2 шт. (0,4 м³) у зонах мастил/хімікатів.

Тематика чітко деталізована за типами засобів пожежної безпеки, і таблиця 4.3 зводить усі необхідні позиції для інструментального цеху площею приблизно 500 м².

Таблиця 4.3 – Обладнання для цеху

Засіб	Кількість	Розміщення
Порошкові ОП-5/ОП-9	7 шт.	Біля станків, електрощитової, мастил
Вуглекислотні ОВК-5	2–3 шт.	Біля електрощитових
Пінні (ОПП-10 л)	4 шт.	Біля зон з горючими рідинами
Димові/теплові адресні	~20 шт.	По стелі, з покриттям кожної точки
Аспіраційні (опц.)	За потребою	Над мастильними зонами
Адресні ручні ППР	4–6 шт.	Біля виходів та щитів
Звукові сирени/гучномовці	2–3 шт.	Покривають усю площу
Світлові / маяки	За потребою	У шумних місцях
ППКП з резервом шлейфів ≥10 %	1 шт.	У диспетчерській, з автономним живленням
Спринклери/дренчери	Спец. проект	Над мастильними зонами
Авт. порошкова система	1 шт.	В електрощитовій або біля станків

Висновок до розділу

В рамках дипломної праці було здійснено комплексний аналіз стану охорони праці та протипожежної безпеки при використанні системи електропостачання інструментального цеху. Здійснено розгляд технічних специфікацій устаткування, умов робочого середовища, небезпечних факторів, а також підбір заходів і засобів для їх усунення або зменшення впливу. Окрему увагу сфокусовано на аспектах електробезпеки, а саме: на заземленні, захисті від дугових випромінювань і використанні засобів індивідуального захисту згідно з нормами NFPA 70E. Крім того, було розглянуто заходи пожежної безпеки, серед яких автоматичні системи пожежогасіння, протипожежна сигналізація та організаційні заходи, спрямовані на недопущення загорянь. В цілому, запропоновані кроки спрямовані на організацію безпечних умов для роботи, зменшення ймовірності виникнення небезпечних ситуацій, а також на підтримання необхідного рівня охорони праці та пожежної безпеки в інструментальному цеху.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						100
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Внаслідок здійсненого дослідження було проаналізовано вплив зварювальних установок на навантаження електричної мережі інструментального цеху промислового підприємства. З'ясовано, що функціонування цього обладнання супроводжується імпульсним споживанням електроенергії, що спричиняє суттєві коливання навантаження та здатне негативно впливати на якість електропостачання і стабільність роботи мережі.

Виконано обчислення розподілу навантажень і встановлено ключові електротехнічні характеристики. Це дає змогу ретельніше проаналізувати фактичне споживання енергії у цеху, беручи до уваги особливості функціонування зварювального обладнання. Рекомендовано використання методів компенсації реактивної потужності, інтеграцію сучасних інверторних джерел живлення та автоматизованих систем управління. Мета - підвищення енергоефективності та зменшення втрат електроенергії.

Запропоновані рішення дають можливість гарантувати безперебійне, безпечне та економічне електрозабезпечення інструментального цеху. Це, в свою чергу, позитивно впливає на покращення якості виробництва та скорочення операційних витрат.

Отже, впровадження порад, напрацьованих у рамках цього дипломного проєкту, має надзвичайне значення та вкрай необхідне для осучаснення систем електропостачання промислових об'єктів, що використовують енерговитратне зварювальне устаткування.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						101
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструментальний цех, характеристика виробничого процесу та техніко-економічні показники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9310401/page:28/>
2. Електричне контактне зварювання – характеристика процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://odk-ergon.pl/ua/публікації/електрозварювальний/>
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. – 832 с.
4. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ: Держнаглядохоронпраці України, 1998. – 96 с.
5. Загальна інформація про точкове зварювання [Електронний ресурс] // Zvarka.info. – Режим доступу: <https://zvarka.info/zagalna-informaciya-pro-tochkove-zvaryuvannya/amp/>
6. Машина контактного точкового зварювання DN-25 [Електронний ресурс] // MetSol. – Режим доступу: <https://shop.metsol.com.ua/ua/p2469830975-mashina-kontaktnoj-tochechnoj.html>
7. ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 35 с.
8. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2021. – 44 с.
9. ДБН В.1.1-31:2013 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих техногенних впливів і надзвичайних ситуацій. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 49 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Матеріали теплоізоляційні. Методи випробування на стискання. [Чинний від 2010-01-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2009. – 14 с.
11. ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Електропостачання. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 123 с.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						102
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12.ДСТУ EN 60529:2018 Ступені захисту, що забезпечуються кожухами (Код IP) (EN 60529:1991 + A1:2000, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 24 с.
- 13.Трансформатор масляний ТМ-10 10/0,4; 6/0,4 кВ [Електронний ресурс] // E-lektra. – Режим доступу: <https://e-lektra.com.ua/katalog-materialov/elektrotekhnicheskaya-produktsiya/1056/103/transformatory-transformatornye-podstantsii/transformatory-maslyanye-tm/tm-10-transformator-tm-10-10-0-4-tm-10-6-0-4-1048-1049-1050-1051-1052-1053-1054-1055-buy>
- 14.Лещенко І. М., Олійник М. М. Захист і автоматика в електропостачанні. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 248 с.
- 15.ДСТУ EN 60269-2:2017. Вимикачі плавкі. Частина 2. Додаткові вимоги до плавких вставок для застосування у побутових та аналогічних установках. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 98 с.
- 16.Автоматичний вимикач ЗР 400А Eaton BZM-N3-A400 [Електронний ресурс] // ElectroControl. – Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/av/circuit-breaker-3-p-400a-eaton-bzmn3-a400-158275>
- 17.ЕТІ. Запобіжник плавкий СН 10×38, 10 А, 500 V, gG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eti.ua/produktsiya-ua/d-d0-c/fuse-links-c/002620007-ch-ch10-10a-500-gg>
- 18.Пости управління кнопкові (УКЕ) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elektroservice.com.ua/upravlenie-indikaziya/59-posty-knopochnye/236-posty-upravleniya-knopochnye-pke.html>
- 19.Наказ МОЗ України від 08.04.2014 № 248 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу"». – Київ: МОЗ України, 2014. – 41 с.
- 20.ДСТУ ISO 45001:2018 Системи управління охороною праці та безпекою: вимоги з рекомендаціями щодо застосування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 46 с.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						103
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21.НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні: наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417. – Київ: МВС України, 2015. – 124 с.

					ОЕ-11-18.012 ПЗ	Арк.
						104
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		