

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2021 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту _____ Шинькарю Ростиславу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення надійності системи електропостачання інструментального заводу

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» вересня 2021 року №4/7-807

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Відомість електричних навантажень підприємства, генеральний план підприємства, відомість електричних навантажень цеху, план цеху

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

1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проектно-конструкторський розділ
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Генеральний план підприємства, план цеху 1л. ф – А1
2. План розташування РП. Картограма навантажень 1л. ф – А1
3. Розміщення ТП. 1л. ф – А1
4. Схема зовнішнього електропостачання 1л. ф – А1
5. Схема живлення ЦТП і високовольтних споживачів 1л. ф – А1
6. Схема розподілу електроенергії підприємством 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.2021	
2	Аналітичний розділ	10.2021	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	10.2021	
4	Проектно-конструкторський розділ	11.2021	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	11.2021	
6	Висновки	12.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки	12.2021	
8	Оформлення графічної частини	12.2021	

Студент _____
(підпис)

Шинькар Р.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сисак І.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Шинькар Р.І. Забезпечення надійності системи електропостачання інструментального заводу. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021.

Стор. – 80; рис. – 3; табл. – 21; креслень - 6; джерел - 16; додатків - 0.

Розглянуто причини відмов основних елементів у системах електропостачання. Для живлення окремих електроприймачів та РП вибрана радіальна схема. Розрахована повна розрахункова потужність цеху та підприємства. Прийнято напругу лінії живлення. Розраховано центр електричних навантажень та побудована картограма навантажень. Прийнято для встановлення кількість та потужність силових трансформаторів. Здійснено розташування ЦТП територією підприємства. Запропоновано схему зовнішнього електропостачання. Проведено вибір трансформаторів ГПП. Здійснено вибір січення кабелів мереж вище 1 кВ. Виконана перевірка за допустимим навантаженням з умов нагріву в нормальному режимі та з урахуванням допустимого навантаження у післяаварійному режимі. Здійснено розрахунок струмів КЗ в мережі вище 1000 В. Здійснено перевірку та вибір обладнання у мережі вище 1000 В. Запропоновано систему автоматизованого комерційного обліку електроенергії. Здійснено вибір захисних апаратів та січень ліній, що живлять РП та електроприймачів ремонтно-механічного цеху. Побудовано епюру відхилення напруги. Здійснено розрахунок струмів КЗ у мережі до 1000 В. Побудована карта селективності дії апаратів захисту.

Ключові слова: план підприємства, електричні навантаження, короткі замикання, зовнішнє електропостачання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Інформація про підприємство.....	10
1.2 Відмови в системах електропостачання.....	14
1.3 Причини відмов основних елементів систем електропостачання.....	15
1.4 Висновки до розділу.....	16
2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	17
2.1 Визначення розрахункового навантаження ремонтно-механічного цеху.....	17
2.1.1 Розподіл приймачів за пунктами живлення.....	17
2.1.2 Визначення розрахункового навантаження цеху.....	17
2.2 Електропостачання на території підприємства.....	25
2.2.1 Визначення розрахункового навантаження підприємства.....	25
2.2.2 Картограма та визначення центру електричних навантажень.....	31
2.2.3 Вибір числа та потужності цехових трансформаторів.....	33
2.2.4 Складання схеми зовнішнього електропостачання.....	35
2.2.5 Схема внутрішньозаводської мережі вище 1000 В.....	37
2.2.6 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1000 В.....	39
2.3 Висновки до розділу.....	43
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	45
3.1 Вибір і перевірка обладнання у мережі вище 1000 В.....	45
3.1.1 Вибір вимикачів та роз'єднувачів.....	45
3.1.2 Вибір вимірювальних трансформаторів струму.....	47
3.1.3 Вибір вимірювальних трансформаторів напруги.....	50
3.1.4 Облік електричної енергії.....	52

3.2 Електропостачання ремонтно-механічних майстерень.....	53
3.2.1 Вибір захисних апаратів та січень ліній, що живлять розподільні пункти та електроприймачі.....	54
3.2.2 Побудова епюри відхилення напруги.....	62
3.2.3 Розрахунок струмів короткого замикання у мережі до 1000 В	67
3.2.4 Побудова карти селективності дії апаратів захисту.....	70
3.3 Висновки до розділу.....	71
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	72
4.1 Напруга дотику. Класифікація електроустановок та приміщень з електробезпеки. Аналіз умов ураження людини електричним струмом.	73
4.2 Поглинена енергія випромінювання.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	79

ВСТУП

Актуальність теми. Потужність, перспективи розвитку, призначення електроустановки та інші чинники впливають на визначення ступені надійності електропостачання. Здатність системи електропостачання та її елементів виконувати поставлені завдання щодо забезпечення електричною енергією підприємств, побутових споживачів, які не призводять до зриву плану виробництва, знеструмлення цілих житлових кварталів міст та сіл, а також не призводять до аварій у технологічних та електричних частинах промислових підприємств – це все характеризує надійність електропостачання. Також вона може бути охарактеризована збитками, завданими під час перерви електроживлення, тривалістю ремонту, часом безвідмовної роботи та іншими факторами. [13]

Електроустановки споживачів електричної енергії мають свої специфічні особливості. До даних установок пред'являються певні вимоги: якість електроенергії, надійність живлення, захист і резервування окремих елементів. При проектуванні та експлуатації систем електропостачання промислових підприємств потрібно правильно визначати електричні навантаження, здійснювати вибір напруг живлення, вибирати потужність та число трансформаторних підстанцій, системи компенсації реактивної потужності, види захисту силових трансформаторів, способи регулювання напруг. Це повинно вирішуватися із врахуванням зростання потужностей окремих електроприймачів, вдосконалення технологічних процесів виробництва, особливостями кожного підприємства, установки, цеху, підвищення ефективності та якості їх роботи. Передача, розподіл і споживання електричної енергії на промислових підприємствах повинні здійснюватися з високою надійністю та економічністю. [1]

Тому, задача забезпечення надійності системи електропостачання інструментального заводу є актуальною.

Мета і завдання роботи Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення надійності системи електропостачання інструментального заводу.

Завдання:

- розглянути причини відмов основних елементів у системах електропостачання;
- запропонувати схему зовнішнього та внутрішнього електропостачання;
- розрахувати повну розрахункову потужність цеху та підприємства;
- вибрати напругу лінії живлення підприємства;
- розрахувати центр електричних навантажень та побудувати картограму навантажень;
- прийняти число та потужність цехових трансформаторних підстанцій та головної понижаючої підстанції; розташувати ЦТП територією підприємства;
- здійснити вибір січення кабелів та виконати відповідну перевірку; здійснити вибір захисних апаратів та січень ліній, що живлять РП та електроприймачів цеху;
- здійснити розрахунок струмів КЗ в мережі до і вище 1000 В;
- запропонувати систему автоматизованого комерційного обліку електроенергії;
- побудувати епюру відхилення напруги та карту селективності дії апаратів захисту.

Об'єкт дослідження – процеси режимів електроспоживання

Предмет дослідження – методи підвищення надійності в системі електроспоживання інструментального заводу

Наукова новизна. Отримало подальший розвиток застосування методів підвищення надійності в мережах електроспоживання для забезпечення надійної роботи електричного устаткування інструментального заводу.

Практичне значення. Запропоновані технічні рішення із зменшення втрат потужності в ЛЕП та заміна обладнання дасть змогу підвищити надійність роботи системи електроспоживання інструментального заводу.

Апробація результатів. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (24-25 листопада 2021 року), м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (16 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 80 сторінок, 21 таблиця, 3 рисунки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Метою кваліфікаційної роботи є проектування системи електропостачання інструментального заводу, використовуючи при проектуванні дані підприємства (генеральний план, план цеху, відомості про електричні навантаження), детально опрацювати систему електропостачання приймачів у приміщенні цеху.

Основною функцією інструментального виробництва є виготовлення інструменту та оснастки, таких як, штампи, прес-форми, різальний та вимірювальний інструмент.

Інструментальне виробництво розбите на кілька областей:

- заготівельну ділянку (забезпечення виробництва заготовками та чорнова обробка);
- ділянку різального та вимірювального інструменту (виготовлення нестандартного різального інструменту, калібрів, шаблонів, кондукторів, плашок та мітчиків);
- ділянка штампів та прес-форм (виготовлення штампів та прес-форм);
- ділянки термічної обробки (загартування та відпуск заготовок та готового продукту);
- ковальська ділянка;
- деревообробна (створення дерев'яних елементів інструменту);
- технологічний відділ.

Основними завданнями технологічного відділу інструментального виробництва є:

- розробка технологічних процесів виготовлення продукції;
- підготовка керуючих програм для верстатів з ЧПУ;
- планування виробництва.

На підприємстві є своя випробувальна станція для перевірки та калібрування готового обладнання, а також компресорна та насосна станції для забезпечення технологічного виробництва стисненим повітрям та водою для гідравлічних приводів обладнання.

Підприємство приймає такі замовлення:

- виготовлення спеціального різального та вимірювального інструменту (фрези, розгортки, протяжки, кондуктора, калібри та шаблони різного призначення);
- виготовлення штампів (вирубних, згинальних, формувальних, суміщеної та послідовної дії);
- виготовлення нестандартних пристроїв;
- будь-які види механічної обробки на наявному устаткуванні.

Підприємство належить до споживачів II категорії електроспоживання. Це зумовлюється безперервністю технологічного процесу, зупинка, якого приносить значних матеріальних збитків, пов'язаних із масовим недовідпуском продукції та простоем техніки.

1.1 Інформація про підприємство

Вихідними даними є:

1. Генеральний план підприємства (графічна частина роботи);
2. Відомості про електричні навантаження, характеристика середовища виробничих приміщень, характеристика споживачів електроенергії (таблиця 1.1);
3. План цеху, що розглядається (графічна частина роботи);
4. Відомості про електричні навантаження цеху (таблиця 1.2).

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження, ступінь надійності та середовище виробничих приміщень

Найменування об'єкта	Число змін	Категорія ЕП	Середовище	Встановлена потужність, кВт
1 Пилорама	1	III	Пожежонебезпечна	140
2 Ливарний цех	2	II	Гаряча	2000
3 РММ	2	III	Гаряча	-
4 Склад	1	III	Нормальна	50
5 Підйомний цех	2	III	Нормальна	450
6 Колісний цех	2	III	Нормальна	2700
7 Інструментальний цех	2	III	Нормальна	1630
8 Фарбувальний цех	2	III	Пожежонебезпечна	80
9 Деревообробний цех	2	III	Пожежонебезпечна	810
10 Котельня	3	II	Гаряча	60
11 Компресорна 0,38 кВ 6 кВ (СД 2×635 кВт)	3	II	Нормальна	1001270
12 Зварювальний цех ПВ = 25%	2	III	Пожежонебезпечна	320
13 Механічний цех	2	III	Нормальна	770
14 Заготівельний цех	1	III	Нормальна	310

Генплан підприємства представлений в графічній частині роботи.

Таблиця 1.2 – Відомості про електричні навантаження ковальського цеху

Найменування об'єкта	$P_{вст}$, кВт	K_b	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	η	$K_{пуск}$	$I_{ном}$, А	$I_{пуск}$, А
1 Кран-балка ПВ = 40%	40.0	0.10	0.50	1.73	0.89	5	136.6	682.9
2 Кран-балка ПВ = 40%	40.0	0.10	0.50	1.73	0.89	5	136.6	682.9
3 Фрезерний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
4 Фрезерний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
5 Фрезерний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
6 Кран-балка ПВ = 40%	40.0	0.10	0.50	1.73	0.89	5	136.6	682.9
7 Трубогинальний верстат	20.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	52.5	262.6
8 Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	0.20	0.40	2.29	0.95	3	159.9	479.8
9 Шліфувальний верстат	16.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	42.0	210.1
10 Трубогинальний верстат	20.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	52.5	262.6
11 Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	0.20	0.40	2.29	0.95	3	159.9	479.8
12 Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	0.20	0.40	2.29	0.95	3	159.9	479.8
13 Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	0.20	0.40	2.29	0.95	3	159.9	479.8
14 Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	0.20	0.40	2.29	0.95	3	159.9	479.8
15 Сушильна шафа	44.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	70.4	-
16 Гартувальна піч	60.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	96.0	-
17 Гартувальна піч	60.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	96.0	-
18 Прес	50.0	0.25	0.65	1.17	0.89	5	131.3	656.6

Продовження таблиці 1.2

19 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
20 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
21 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
22 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
23 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
24 Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	0.20	0.40	2.29	0.95	3	159.9	479.8
25 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
26 Шліфувальний верстат	16.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	42.0	210.1
27 Сушильна шафа	44.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	70.4	-
28 Електрованна	60.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	96.0	-
29 Електрованна	60.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	96.0	-
30 Кран-балка ПВ = 40%	40.0	0.10	0.50	1.73	0.89	5	136.6	682.9
31 Вентилятор	28.0	0.75	0.80	0.75	0.90	7	59.1	413.6
32 Електромолот	32.0	0.30	0.60	1.33	0.89	5	91.0	455.2
33 Вентилятор горна	28.0	0.75	0.80	0.75	0.90	7	59.1	413.6
34 Токарний верстат	22.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	57.8	288.9
35 Обдирний верстат	24.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	63.0	315.2
36 Електромолот	32.0	0.30	0.60	1.33	0.89	5	91.0	455.2
37 Свердлильний верстат	16.0	0.12	0.65	1.17	0.89	5	42.0	210.1
38 Поворотний кран	16.0	0.10	0.50	1.73	0.89	5	54.6	273.1
39 Нагрівальна плита	44.0	0.75	0.95	0.33	1.00	-	70.4	-
40 Вентилятор горна	28.0	0.75	0.80	0.75	0.90	7	59.1	413.6

План цеху з розташуванням обладнання представлено в графічній частині роботи.

1.2 Відмови в системах електропостачання

Відмова є одним із основних понять теорії надійності. Система електропостачання та її частини є об'єктом із рівнем ефективності функціонування, що змінюється.

Стосовно відмов та ушкоджень у системах електропостачання застосовують [2]:

- критерій;
- ознаки (прояв);
- причина;
- наслідки;
- характер.

Критерій відмови – працездатний стан об'єкту визначається переліком заданих параметрів та допусками - допустимими межами їх зміни. Порухенням працездатного стану вважається вихід хоча би одного параметру за встановлений допуск. Ознаки, які дозволяють встановити факт порушення працездатного стану називаються критеріями відмов і є зазначені у нормативно-технічній документації на об'єкт.

Ушкодження або ознаками відмови називають безпосередні, або непрямі впливи на органи почуттів спостерігача явищ, які є характерними для непрацездатного стану об'єктів або зв'язаних з ним процесів. Для прикладу: дія сигнального пристрою, зміна показників контрольних приладів, поява характерних шумів.

Причинами відмов можуть бути природні процеси зношування і старіння, а також дефекти, допущені під час конструювання, ремонтах, виробництві, порушенні норм та правил експлуатації, різного роду ушкодження.

До наслідків відмови можна віднести явища, події і процеси, які виникли після відмови та безпосередньо зв'язані з ним (відтавання холодильника, зупинка двигуна та інше). Інколи наслідки відмови є його ознаками.

Ушкодження або характером відмови називають конкретні зміни у об'єкті, які пов'язані з виникненням ушкодження (відмови), для прикладу обрив проводів.

Для об'єктів електроенергетики основною нормативно-технічною документацією, яка встановлює критерії відмов, є [3]. Відповідно до документу [3] порушення роботи об'єктів електроенергетики залежно від характеристики порушення ступеню ушкодження та їх наслідків вважають аварії, відмови у роботі першого ступеня, відмови у роботі другого ступеня, споживчі відключення.

1.3 Причини відмов основних елементів систем електропостачання

Самим ненадійним елементом систем електропостачання є лінії електропередачі через розосередженість по території та впливи на них різних зовнішніх факторів. Так, у міських електричних мережах приблизно 85% відключень доводяться на лінії електропередачі. У сільських електричних мережах ця цифра сягає 90–95%.

Основними причинами ушкоджень повітряних ліній електропередачі є [2]:

- ожеледь;
- грозові перекриття ізоляції;
- вібрація та танок проводів (вібрація проводів - коливання з високою частотою і малою амплітудою; танок проводів - коливання з малою частотою і великою амплітудою);
- навантаження від вітру;
- ослаблення механічної міцності деталей опор;
- загоряння дерев'яних опор;
- ушкодження опор та проводів автотранспортом та механізмами.

Зовнішні впливи приводять до розриву ізоляторів, перекриття ізоляції, обриву проводів, оплавленню металевих деталей, ослабленню їх механічної міцності при танку та вібрації в результаті розламу окремих дротів, падінню

стійок разом з проводами, поломці деталей. Ожеледь-вітрові навантаження викликають найбільш важкі наслідки.

1.4 Висновки до розділу

1. Розглянуто загальну інформацію про підприємство
2. Розглянуто питання відмов в системах електропостачання
3. Розглянуто причини відмов основних елементів систем електропостачання.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення розрахункового навантаження ремонтно-механічного цеху

2.1.1 Розподіл приймачів за пунктами живлення

Розподіл електроприймачів за пунктами живлення здійснюється шляхом підключення групи електроприймачів до відповідного розподільчого пункту.

Розподільчі пункти встановлюються наскільки можна у центрі електричних навантажень, підключених щодо нього, щоб відстані до електроприймачів були мінімальні. Це дозволить уникнути великої протяжності кабельних ліній і скоротити втрати в них.

Живлення окремих електроприймачів та розподільчих пунктів здійснюємо по радіальних лініях, прокладених у коробах. Прийнята схема забезпечує необхідну ступінь надійності живлення приймачів та необхідну за технологічними умовами гнучкість, і універсальність мережі щодо приєднання нових приймачів та переміщення приймачів площею цеху.

Як розподільні пункти приймаємо пункти марки ПР11-7123. Цей пункт розрахований на кількість відходящих ліній до дванадцяти штук.

В графічній частині проекту зображено план цеху з розташуванням розподільчих пунктів і електроприймачів, що живляться від них.

2.1.2 Визначення розрахункового навантаження цеху

Для правильного вибору січення ліній, комутаційних та захисних апаратів здійснимо розрахунок електричних навантажень цеху, що розглядається. Для цього скористаємося методом впорядкованих діаграм.

Паспортні потужності електроприймачів із повторно-короткочасним режимом роботи (ПКР) наводяться до ПВ = 100%, тобто до номінальної встановленої потужності.

Кран-балка ПВ = 40%:

$$P_{\text{ном}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 40,0 \cdot \sqrt{0,4} = 25,298 \text{ кВт.}$$

Зварювальний трансформатор ПВ = 25%:

$$P_{\text{ном}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 40,0 \cdot \sqrt{0,25} = 20,000 \text{ кВт.}$$

Для кожної групи визначається сумарна номінальна потужність електроприймачів (з прикладу групи «А» РП2):

$$P_{\text{ном.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} = 50,0 + 148,0 + 20,0 = 218,0 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт використання $K_{\text{в}}$, $\cos\varphi$, $\text{tg}\varphi$ для кожного електроприймача або групи електроприймачів визначається за [4].

Середнє активне та реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну для електроприймачів (на прикладі преса):

$$P_{\text{см}} = K_{\text{в}} \cdot P_{\text{ном.}\Sigma} = 0,25 \cdot 50,0 = 12,5 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 12,5 \cdot 1,17 = 14,6 \text{ кВт.}$$

де $P_{\text{ном}}$ – сумарна номінальна активна потужність електроприймачів;

$K_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання активної потужності;

$\text{tg}\varphi$ – приймається за відповідним значенням коефіцієнта потужності.

Для кожної групи електроприймачів підбивається підсумок по середньозмінному активному та реактивному навантаженню для всієї групи (на прикладі групи «А»).

$$P_{\text{см}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см},i} = 12,5 + 17,8 + 4,0 = 34,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{см},i} = 14,6 + 20,8 + 9,2 = 44,5 \text{ кВАр}.$$

Діапазон величини модуля силового складання:

$$m = \frac{P_{\text{ном.мах}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{50,0}{16,0} = 3,1 > 3.$$

Визначення середньозваженого коефіцієнта використання за групою:

$$K_{\text{в.ср}} = \frac{P_{\text{см}}^{\text{A}}}{P_{\text{ном.}\Sigma}} = \frac{34,3}{218,0} = 0,16.$$

Середньозважене значення коефіцієнта реактивної потужності:

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{см}}^{\text{A}}}{P_{\text{см}}^{\text{A}}} = \frac{44,5}{34,3} = 1,30.$$

Для електроприймачів групи «А» визначимо ефективне число електроприймачів n_e :

$$n_e = \frac{[P_{\text{ном.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{ном}}^2} = \frac{218,0^2}{6060} = 7,8 \text{ шт},$$

приймаємо $n_e = 7$ шт.

Коефіцієнт максимуму активної потужності [4]:

$$K_M = 2,31.$$

Коефіцієнт максимуму реактивної потужності:

$$K'_M = 1,1.$$

Розрахункова активна та реактивна потужності пункту:

$$P_p^{A''} = K_M \cdot P_{CM}^{A''} = 2,31 \cdot 34,3 = 79,2 \text{ кВт},$$

$$Q_p^{A''} = K'_M \cdot Q_{CM}^{A''} = 1,1 \cdot 44,5 = 49,0 \text{ кВар}.$$

З урахуванням того, що у групі "Б" кількість приймачів не перевищує трьох штук, розрахункові активна та реактивна потужності розраховуються за сумарною номінальною потужністю приймачів групи:

$$P_p^{B''} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ.i}^{B''} = 44,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p^{B''} = \sum_{i=1}^n (P_{НОМ.i}^{B''} \cdot \text{tg}\varphi_i) = 14,5 \text{ кВар}.$$

Визначаємо активну, реактивну та повну розрахункові потужності електроприймачів пункту:

$$P_p = P_p^{A''} + P_p^{B''} = 79,2 + 44,0 = 123,2 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_p^{A''} + Q_p^{B''} = 49,0 + 14,5 = 63,5 \text{ кВар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{123,2^2 + 63,5^2} = 138,6 \text{ кВА}.$$

Визначення розрахункового струму пункту:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{138,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 210,6 \text{ А},$$

де $U_{НОМ}$ - номінальна напруга електроприймачів, В.

Визначення пікового струму пункту.

Номінальний струм найпотужнішого електроприймача пункту:

$$I_{НОМ}^{\max} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{50,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,89} = 131,3 \text{ А},$$

де $P_{НОМ}$ – номінальна активна потужність електроприймача, кВт;

η - ККД електроприймача.

Пусковий струм найпотужнішого електроприймача пункту:

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = 5 \cdot 131,3 = 656,6 \text{ А},$$

де $K_{\text{пуск}}$ – кратність пускового струму.

Піковий струм пункту:

$$I_{\text{п.п}}^{\text{max}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{в.макс}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = 656,6 + (210,6 - 0,25 \cdot 131,3) = 834,4 \text{ А},$$

де $K_{\text{в.макс}}$ - коефіцієнт використання найпотужнішого електроприймача.

Номінальне навантаження освітлювальних приймачів цеху визначається за питомою щільністю освітлювального навантаження та площею цеху:

$$P_{\text{НОМ.О}} = P_{\text{П.О}} \cdot F_{\text{ц}} = 0,006 \cdot 2378 = 14,3 \text{ кВт},$$

де $F_{\text{ц}}$ – площа цеху, м^2 ;

$P_{\text{П.О}}$ - питома щільністю освітлювального навантаження [6], $\text{кВт}/\text{м}^2$.

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху:

$$P_{\text{р.о}} = K_{\text{п.о}} \cdot P_{\text{НОМ.О}} = 0,95 \cdot 14,3 = 13,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.о}} = P_{\text{р.о}} \cdot \text{tg}\varphi_0 = 13,6 \cdot 0,48 = 6,6 \text{ кВАр},$$

де $K_{\text{п.о}}$ - коефіцієнт використання для виробничих будівель, які з окремих великих прольотів [4];

$\text{tg}\varphi_0$ – для світлодіодних ламп.

Визначення розрахункового навантаження цеху з урахуванням освітлення:

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о}})^2 + (Q_p + Q_{\text{р.о}})^2} = \\ &= \sqrt{(670,9 + 13,6)^2 + (344,2 + 6,6)^2} = 769,1 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Визначення розрахункового струму цеху:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{769,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1168,5 \text{ A.}$$

Визначення пікового струму цеху.

Розрахунковий струм найпотужнішого пункту цеху:

$$I_p^{\text{max.РП}} = 328,4 \text{ A.}$$

Піковий струм найпотужнішого пункту цеху:

$$I_{\text{пik}}^{\text{max.РП}} = 997,6 \text{ A.}$$

Піковий струм цеху

$$I_{\text{пik.ц}} = I_{\text{пik}}^{\text{max.РП}} + I_p - I_p^{\text{max.РП}} = 997,6 + 1168,5 - 328,4 = 1837,7 \text{ A.}$$

Розподіл електроприймачів за пунктами живлення та розрахунок електричних навантажень за пунктами живлення зведено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Визначення розрахункових навантажень ковальського цеху

Найменування вузлів живлення та груп ЕП	Кількість ЕП, п	Встановлена потужність		$m = P_{ном. max} / P_{ном. min}$	Коефіцієнт використання $K_{в}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження за зміну		Ефективне число електроприймачів	Коефіцієнт максимуму $K_{м}$	Розрахункове навантаження			I_p, A	$I_{шк}, A$
		$P_{ном}, кВт$	$\Sigma P_{ном}, кВт$					$P_{см} = K_{в} \cdot P_{ном}, кВт$	$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi, кВАр$			$P_p = K_{м} \cdot P_{см}, кВт$	$Q_p = (1 \div 1,1) \cdot Q_{см}, кВАр$	$S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)}, кВА$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пункт розподільний ПР-1																
Електроприймачі групи "А" $K_{в} < 0.6$																
1 Кран-балка ПВ = 40%	2	25.3 ÷ 25.3	50.6		0.10	0.50	1.73	5.1	8.8							
2 Верстати різальні	3	22.0 ÷ 22.0	66.0		0.12	0.65	1.17	7.9	9.3							
Разом за групою "А"	5	22.0 ÷ 25.3	116.6	<3	0.11	0.58	1.39	13.0	18.0	5	2.90	37.6	19.8	42.5		
Електроприймачі групи "Б" $K_{в} \geq 0.6$																
3 Нагрівальні прилади	3	44.0 ÷ 60.0	164.0		0.75	0.95	0.33	123.0	40.4							
Разом за групою "Б"	3	44.0 ÷ 60.0	164.0		0.75	0.95	0.33	123.0	40.4			164.0	53.9	172.6		
Разом з ПР-1	8	22.0 ÷ 60.0	280.6		0.48	0.92	0.43	136.0	58.5			201.6	73.7	214.6	326.1	995.3
Пункт розподільний ПР-2																
Електроприймачі групи "А" $K_{в} < 0.6$																
1 Прес	1	50.0 ÷ 50.0	50.0		0.25	0.65	1.17	12.5	14.6							
2 Верстати різальні	7	16.0 ÷ 22.0	148.0		0.12	0.65	1.17	17.8	20.8							
3 Зварювальний трансформатор	1	20.0 ÷ 20.0	20.0		0.20	0.40	2.29	4.0	9.2							
Разом за групою "А"	9	16.0 ÷ 50.0	218.0	>3	0.16	0.61	1.30	34.3	44.5	7	2.31	79.2	49.0	93.2		
Електроприймачі групи "Б" $K_{в} \geq 0.6$																
4 Сушильна шафа	1	44.0 ÷ 44.0	44.0		0.75	0.95	0.33	33.0	10.8							
Разом за групою "Б"	1	44.0 ÷ 44.0	44.0		0.75	0.95	0.33	33.0	10.8			44.0	14.5	46.3		
Разом з ПР-2	10	16.0 ÷ 50.0	262.0		0.26	0.77	0.82	67.3	55.4			123.2	63.5	138.6	210.6	834.4

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пункт розподільний ПР-3																
Електроприймачі групи "А" Кв <0.6																
1 Кран-балка ПВ = 40%	2	25.3 ÷ 25.3	50.6		0.10	0.50	1.73	5.1	8.8							
2 Верстати різальні	3	16.0 ÷ 20.0	56.0		0.12	0.65	1.17	6.7	7.9							
3 Зварювальний трансформатор	5	20.0 ÷ 20.0	100.0		0.20	0.40	2.29	20.0	45.8							
Разом за групою "А"	10	16.0 ÷ 25.3	206.6	<3	0.15	0.45	1.96	31.8	62.4	10	2.11	67.1	68.7	96.0		
Електроприймачі групи "Б" Кв ≥ 0.6																
4 Електрованна	2	60.0 ÷ 60.0	120.0		0.75	0.95	0.33	90.0	29.6							
Разом за групою "Б"	2	60.0 ÷ 60.0	120.0		0.75	0.95	0.33	90.0	29.6			120.0	39.4	126.3		
Разом з ПР-3	12	16.0 ÷ 60.0	326.6		0.37	0.80	0.76	121.8	92.0			187.1	108.1	216.1	328.4	997.6
Пункт розподільний ПР-4																
Електроприймачі групи "А" Кв <0.6																
1 Електромолот	2	32.0 ÷ 32.0	64.0		0.30	0.60	1.33	19.2	25.6							
2 Верстати різальні	3	16.0 ÷ 24.0	62.0		0.12	0.65	1.17	7.4	8.7							
3 Поворотний кран	1	16.0 ÷ 16.0	16.0		0.10	0.50	1.73	1.6	2.8							
Разом за групою "А"	6	16.0 ÷ 32.0	142.0	<3	0.20	0.61	1.31	28.2	37.1	6	2.23	62.9	40.8	75.0		
Електроприймачі групи "Б" Кв ≥ 0.6																
4 Вентилятори	3	28.0 ÷ 28.0	84.0		0.75	0.80	0.75	63.0	47.3							
5 Нагрівальна плита	1	44.0 ÷ 44.0	44.0		0.75	0.95	0.33	33.0	10.8							
Разом за групою "Б"	4	28.0 ÷ 44.0	128.0		0.75	0.86	0.61	96.0	58.1		1	96.0	58.1	112.2		
Разом по ПР-4	10	16.0 ÷ 44.0	270.0		0.46	0.79	0.77	124.2	95.2			158.9	98.9	187.2	284.4	712.3
Разом силове навантаження	40	16.0 ÷ 60.0	1139.2		0.39	0.83	0.67	449.3	301.0			670.9	344.2	756.6		
Електричне освітлення			14.3	Кпо= 0.95	0.90	0.48	13.6	6.6				13.6	6.6			
Разом по цеху	40	16.0 ÷ 60.0	1153.5		0.40	0.83	0.66	462.8	307.6			684.5	350.8	769.1	1168.5	1837.7

2.2 Електропостачання на території підприємства

2.2.1 Визначення розрахункового навантаження підприємства

Розрахунок електричних навантажень підприємства проводиться за встановленою потужністю та коефіцієнтом використання [4]. Розрахункове навантаження силових приймачів цехів (крім розглянутого) визначаються із співвідношень

$$P_p = K_c \cdot P_{вст} \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

де P_p , Q_p - сумарні активна та реактивна потужності всіх приймачів цеху;

$\operatorname{tg}\varphi$ – приймається за відповідним значенням коефіцієнта потужності.

Розрахунок освітлювального навантаження цехів ідентичний розрахунку освітлювального навантаження розрахованого цеху.

Розрахункова активна потужність груп приймачів вище 1000 В визначається за вищенаведеними формулами і враховуються окремо.

Результати розрахунків представлено у таблиці 2.2.

Приклад розрахунку (Пилорама):

$$P_{вст} = 140 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,50, \quad \cos\varphi = 0,75, \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,88.$$

Розрахункові активна та реактивна потужності корпусу:

$$P_p = K_c \cdot P_{вст} = 0,50 \cdot 140 = 70 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 70 \cdot 0,88 = 61,7 \text{ кВАр}.$$

Номінальне навантаження освітлювальних приймачів корпусу визначається за питомою щільністю освітлювального навантаження та площею цеху:

$$P_{н.о} = P_{шт.о} \cdot F_{ц} = 0,006 \cdot 3778 = 22,7 \text{ кВт}.$$

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху визначається за номінальною потужністю та коефіцієнтом використання:

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{ном.o} = 0,95 \cdot 22,7 = 21,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg}\varphi_o = 21,5 \cdot 0,48 = 10,4 \text{ кВАр}.$$

Повна максимальна потужність корпусу:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ \sqrt{(70 + 21,5)^2 + (61,7 + 10,4)^2} = 116,6 \text{ кВА}.$$

Таблиця 2.2 - Визначення розрахункових навантажень по цехах підприємства

Найменування споживачів (цехів)	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження						Сумарне навантаження		
	Р _н , кВт	К _с	cosφ	tgφ	Р _р , кВт	Q _р , кВАр	F, м ²	Р _{уд.о} , Вт/м ²	Р _{но} , кВт	К _{со}	К _{по} , кВт	Q _{ро} , кВАр	Р _{р+Рро} , кВт	Q _{р+Qро} , кВАр	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Споживачі електроенергії до 1000 В															
1 Пилорама	140.0	0.50	0.75	0.88	70.0	61.7	3778	6	22.7	0.95	21.5	10.4	91.5	72.2	116.6
2 Ливарний цех	2000.0	0.60	0.70	1.02	1200.0	1224.2	5149	5	25.7	0.95	24.5	11.8	1224.5	1236.1	1739.9
3 РММ	1139.2	-	0.83	0.67	670.9	344.2	2378	6	14.3	0.95	13.6	6.6	684.5	350.8	769.1
4 Склад	50.0	0.40	0.85	0.62	20.0	12.4	3053	5	15.3	0.60	9.2	4.4	29.2	16.8	33.7
5 Підйомний цех	450.0	0.65	0.75	0.88	292.5	258.0	4574	5	22.9	0.95	21.7	10.5	314.2	268.5	413.3
6 Колісний цех	2700.0	0.70	0.75	0.88	1890.0	1666.8	6021	5	30.1	0.95	28.6	13.9	1918.6	1680.7	2550.6
7 Інструментальний цех	1630.0	0.60	0.70	1.02	978.0	997.8	1722	6	10.3	0.95	9.8	4.8	987.8	1002.5	1407.4
8 Фарбувальний цех	80.0	0.60	0.80	0.75	48.0	36.0	2787	5	13.9	0.95	13.2	6.4	61.2	42.4	74.5
9 Деревообробний цех	810.0	0.45	0.75	0.88	364.5	321.5	2201	5	11.0	0.95	10.5	5.1	375.0	326.5	497.2
10 Котельня	60.0	0.75	0.75	0.88	45.0	39.7	1692	5	8.5	0.95	8.0	3.9	53.0	43.6	68.6
11 Компресорна	100.0	0.75	0.75	0.88	75.0	66.1	2392	5	12.0	0.95	11.4	5.5	86.4	71.6	112.2
12 Зварювальний цех ПВ = 25%	320.0	0.60	0.90	0.48	192.0	93.0	4198	6	25.2	0.95	23.9	11.6	215.9	104.6	239.9
13 Механічний цех	770.0	0.65	0.80	0.75	500.5	375.4	1798	6	10.8	0.95	10.2	5.0	510.7	380.3	636.8
14 Заготівельний цех	310.0	0.55	0.80	0.75	170.5	127.9	1774	6	10.6	0.95	10.1	4.9	180.6	132.8	224.2
Територія заводу	0	-	-	-	0	0	144447	0.16	23.1	1	23.1	7.6	23.1	7.6	24.3
Разом по 0.38 кВ	10559.2	-	-	-	6516.9	5624.6	ΣF _н = 43517		256.3	-	239.3	112.3	6756.2	5737.0	8863.4
Споживачі електроенергії понад 1000 В															
11 Компресорна	1270.0	0.75	0.75	0.88	952.5	840.0	-	-	-	-	-	-	952.5	840.0	1270.0
Разом по 6 кВ	1270.0	-	-	-	952.5	840.0	-	-	-	-	-	-	952.5	840.0	1270.0

Для зручності винесемо окремо результати розрахунків:

$$\begin{aligned} \sum P_p^H &= 6516,9 \text{ кВт}, & \sum Q_p^H &= 5624,6 \text{ кВАр}, \\ \sum P_{p.o} &= 239,3 \text{ кВт}, & \sum Q_{p.o} &= 112,3 \text{ кВАр}, \\ \sum P_p^B &= 952,5 \text{ кВт}, & \sum Q_p^B &= 840,0 \text{ кВАр}, \end{aligned}$$

Повна потужність навантаження підприємства на шинах напругою до 1000 В за максимально завантаженою зміну:

$$\begin{aligned} S_p^H &= \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} = \\ &= \sqrt{(6516,9 + 239,3)^2 + (5624,6 + 112,3)^2} = 8863,4 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Оскільки трансформатори цехових підстанцій і високовольтна мережу ще не вибрані, то приблизно втрати потужності в них можна визначити з [4]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 8863,4 = 177,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 8863,4 = 886,3 \text{ кВАр},$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 8863,4 = 265,9 \text{ кВт},$$

де $\Delta P_{\text{тр}}$ - втрати активної потужності в цехових трансформаторах, кВт;

$\Delta Q_{\text{тр}}$ – втрати реактивної потужності в цехових трансформаторах, кВАр;

$\Delta P_{\text{л}}$ – втрати активної потужності в лініях, кВт.

Сумарні розрахункові активна, реактивна та повна потужності з урахуванням втрат у лініях та цехових трансформаторах:

$$\begin{aligned}
 P_{p\Sigma} &= \left(\sum P_p^H + \sum P_p^B \right) \cdot K_{p.m} + P_{p.o} + \Delta P_{тр} + \Delta P_l = \\
 &= (6516,9 + 952,5) \cdot 0,95 + 239,3 + 177,3 + 265,9 = 7778,4 \text{ кВт}, \\
 Q_{p\Sigma} &= \left(\sum Q_p^H + \sum Q_p^B \right) \cdot K_{p.m} + Q_{p.o} + \Delta Q_{тр} = \\
 &= (5624,6 + 840,0) \cdot 0,95 + 112,3 + 886,3 = 7140,1 \text{ кВАр}, \\
 S_{p\Sigma} &= \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2} = \sqrt{7778,4^2 + 7140,1^2} = 10558,7 \text{ кВА}.
 \end{aligned}$$

де $K_{p.m} = 0,9 \div 0,95$ - коефіцієнт різночасності максимумів навантаження [4].

Приблизні втрати потужності у трансформаторах ГПП:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{тр.ГПП} &= 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 10558,7 = 211,2 \text{ кВт}, \\
 \Delta Q_{тр.ГПП} &= 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 10558,7 = 1055,9 \text{ кВАр},
 \end{aligned}$$

де $\Delta P_{тр.ГПП}$ – втрати активної потужності у трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{тр.ГПП}$ – втрати реактивної потужності у трансформаторах ГПП, кВАр.

Визначаємо повну розрахункову потужність підприємства з боку високої напруги трансформаторів ГПП:

$$\begin{aligned}
 S_p &= \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{тр.ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{тр.ГПП})^2} = \\
 &= \sqrt{(7778,4 + 211,2)^2 + (7140,1 + 1055,9)^2} = \\
 &= \sqrt{7989,6^2 + 8196,0^2} = 11445,9 \text{ кВА}.
 \end{aligned}$$

Здійснено розрахунок навантаження підприємства без врахування компенсації реактивної потужності. Щоб врахувати компенсацію реактивної потужності необхідно визначитися з рівнем напруги ліній живлення.

При виборі напруги лінії живлення ГПП використовуються наступні рекомендації [5]:

- напруга 35 кВ має економічні переваги при потужності, що передається, не більше 10 МВА;

- напругу 110 кВ доцільно застосовувати при споживаній підприємством потужності 10 – 120 МВА;

- при потужностях, що перевищують 120 – 150 МВА, для електропостачання підприємства можливе застосування напруги 220 кВ.

Для визначення економічно доцільної величини напруги лінії живлення ГПП скористаємося формулою Іларіонова:

$$U_{ек} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{7,0} + \frac{2500}{7,990}}} = 51,0 \text{ кВ},$$

де L - довжина лінії живлення, км;

$U_{ек}$ - економічна напруга ділянки, що розглядається, кВ.

З урахуванням рекомендацій приймаємо напругу $U_{ном} = 35$ кВ.

Реактивна потужність, що передається в мережу підприємства від системи:

$$Q_e = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 7989,6 = 1917,5 \text{ кВАр},$$

де α - розрахунковий коефіцієнт, що відповідає середнім умовам передачі реактивної потужності по мережах системи [5].

Приблизне значення потужності компенсуючих пристроїв:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 8196,0 - 1917,5 = 6278,4 \text{ кВАр}.$$

Повна розрахункова потужність підприємства з боку високої напруги трансформаторів ГПП з урахуванням компенсації реактивної потужності:

$$S_{р.ГПП} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ку})^2} = \sqrt{7989,6^2 + (8196,0 - 6278,4)^2} = \sqrt{7989,6^2 + 1917,5^2} = 8216,5 \text{ кВА}.$$

Надалі після точного визначення потужності компенсуючих пристроїв буде визначено більш точне значення повної розрахункової потужності підприємства.

2.2.2 Картограма та визначення центру електричних навантажень

Для визначення місця розташування ГПП на генеральному плані підприємства наноситься картограма електричних навантажень. Картограма навантажень є розміщені на генплані підприємства площі, обмежені колами, які у певному масштабі відповідають розрахунковим навантаженням цехів. Силові навантаження до і вище 1000 В зображуються окремими колами.

Освітлювальне навантаження наноситься як сектора кола, що зображує навантаження до 1000 В.

На генеральний план підприємства довільно наносяться осі координат та визначаються значення x_i та y_i для кожного цеху.

Приклад розрахунку (Пилорама):

$$S_p = 116,6 \text{ кВА}, \quad S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{21,5^2 + 10,4^2} = 23,9 \text{ кВА},$$

$$x = 35,0 \text{ мм}, \quad y = 137,3 \text{ мм},$$

Радіус кола для силового навантаження корпусу:

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{116,6}{\pi \cdot 2,0}} = 4,3 \text{ мм},$$

де $S_{p.i}$ - розрахункова повна потужність і-того цеху з урахуванням освітлення, кВА;

m - масштаб визначення площі кола навантаження, кВА/мм².

Кут сектора навантаження освітлення корпусу:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 23,9}{116,6} = 73,9 \text{ град.}$$

Тоді

$$S_p \cdot x = 116,6 \cdot 35,0 = 4079,6 \text{ кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 116,6 \cdot 137,3 = 16003,7 \text{ кВА} \cdot \text{мм}.$$

Результати розрахунків представлено у таблиці 2.3.

Координати центру електричних навантажень підприємства:

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot x_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{1316011,5}{10154,0} = 129,6 \text{ мм},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot y_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{698361,5}{10154,0} = 68,8 \text{ мм}.$$

Оскільки ЦЕН потрапив у зону розташування цехів, то розташування ГПП зміщується у бік відкритого майданчика. Тоді нові координати ЦЕН будуть:

$$x_0 = 91,0 \text{ мм},$$

$$y_0 = 90,4 \text{ мм}.$$

Картограма навантажень наведено в графічній частині роботи.

Таблиця 2.3 – Розрахункові дані для побудови картограми навантаження

Найменування цеху	$S_{p,i}$, кВА	$S_{p,o,i}$, кВАр	r, мм	α , град	x_i , мм	y_i , мм	$S_{p,i} \cdot x_i$, кВА·мм	$S_{p,i} \cdot y_i$, кВА·мм
Споживачі електроенергії до 1000 В								
1 Пилорама	116.6	23.9	4.3	73.9	35.0	137.3	4079.6	16003.7
2 Ливарний цех	1739.9	27.2	16.6	5.6	73.0	134.5	127011.9	234015.2
3 РММ	769.1	15.1	11.1	7.0	111.5	132.0	85755.0	101521.6
4 Склад	33.7	10.2	2.3	108.8	164.5	111.0	5538.4	3737.1
5 Підйомний цех	413.3	24.1	8.1	21.0	170.5	87.5	70468.6	36164.3
6 Колісний цех	2550.6	31.8	20.1	4.5	185.5	66.5	473141.1	169616.6
7 Інструментальний цех	1407.4	10.9	15.0	2.8	123.0	51.5	173111.8	72481.8
8 Фарбувальний цех	74.5	14.7	3.4	71.1	28.1	61.5	2093.2	4581.2
9 Деревообробний цех	497.2	11.6	8.9	8.4	24.6	33.5	12231.1	16656.2
10 Котельня	68.6	8.9	3.3	46.8	98.0	23.0	6727.1	1578.8
11 Компресорна	112.2	12.6	4.2	40.5	125.5	18.5	14082.7	2075.9
12 Зварювальний цех ПВ = 25%	239.9	26.6	6.2	39.9	168.0	32.5	40306.7	7797.4
13 Механічний цех	636.8	11.4	10.1	6.4	212.2	10.5	135130.2	6686.5
14 Заготівельний цех	224.2	11.2	6.0	18.0	31.0	8.7	6949.1	1950.2
Споживачі електроенергії понад 1000 В								
11 Компресорна	1270.0	-	22.5	-	125.5	18.5	159385.0	23495.0
Разом	10154.0	-	-	-	-	-	1316011.5	698361.5

2.2.3 Вибір числа та потужності цехових трансформаторів

При встановленні на великих промислових підприємствах групи цехових трансформаторів їх номінальна потужність визначається щільністю навантаження і вибирається однаковою для всієї групи. Питома щільність навантаження [6]:

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{ц}} = \frac{8863,4}{43517,0} = 0,204 \text{ кВА/м}^2,$$

приймаємо $S_{\text{ном.тр}} = 1000 \text{ кВА}$.

Таблиця 2.4 - Дані по трансформаторам [7]

Тип	S _{ном} , МВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	P _{хх} , кВт	Q _{хх} , кВАр	P _{кз} , кВт	Q _{кз} , кВАр	U _к , %	I _х , %
ТМ-1000/10	1.00	6	0.4	2.45	14.0	12.2	55.0	5.5	1.40

Мінімальна кількість цехових трансформаторів:

$$n_{\text{тр.0}} = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.0})}{\beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{6756,2}{0,7 \cdot 1000} = 9,65 \text{ шт.},$$

приймаємо $n_{\text{тр}} = 10 \text{ шт.}$

Активне навантаження на один трансформатор:

$$P_1 = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.0})}{n_{\text{тр}}} = \frac{6756,2}{10} = 675,6 \text{ кВт.}$$

Число трансформаторів для встановлення в цехах підприємства (корпус №1)

$$n_{\text{тр.i}} = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.0})}{P_1} = \frac{91,5}{675,6} = 0,135 \text{ шт.}$$

Навантаження цехів поєднуються таким чином, щоб трансформаторні підстанції були завантажені оптимально, а кількість трансформаторів була в межах розрахункового числа трансформаторів [14, 15].

Результати розрахунків представлено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Число трансформаторів у цехах підприємства

Найменування цехів	$P_p + P_{p.o}$, кВт	Кількість тр-ів n_i , шт
1	2	3
1 Пилорама	91.5	0.135
2 Ливарний цех	1224.5	1.812
3 РММ	684.5	1.013
4 Склад	29.2	0.043
5 Підйомний цех	314.2	0.465
6 Колісний цех	1918.6	2.840
7 Інструментальний цех	987.8	1.462
8 Фарбувальний цех	61.2	0.091
9 Деревообробний цех	375.0	0.555
10 Котельня	53.0	0.079
11 Компресорна	86.4	0.128
12 Зварювальний цех ПВ = 25%	215.9	0.320
13 Механічний цех	510.7	0.756
14 Заготівельний цех	180.6	0.267

На підставі розрахунків та групувань навантажень на генплані підприємства проводимо розстановку цехових трансформаторних підстанцій, таблиця 2.6, графічна частина роботи.

Таблиця 2.6 – Розподіл електричних навантажень за пунктами живлення

Найменування пункту живлення та кількість трансформаторів	Споживачі енергії (номер за генеральним планом)	Сумарна потужність, кВт	Місце розташування на генеральному плані
ТП1 2 трансф.	1, 2	1316.0	Цех №2
ТП2 1 трансф.	3	684.5	Цех №3
ТП3 1 трансф.	8, 9, 14	616.8	Цех №9
ТП4 2 трансф.	7, 10, 11, 12	1343.1	Цех №11
ТП5 2 трансф.	4, 5, 6	1302.7	Цех №6
ТП6 2 трансф.	6, 13	1470.0	Цех №6

2.2.4 Складання схеми зовнішнього електропостачання

Приймаємо схему зовнішнього електропостачання у вигляді двох блоків із вимикачами та неавтоматичною перемичкою. При пошкодженні трансформатора, спрацює захист і подасть сигнал на відключення вимикача в колах трансформатора на низькій і високій стороні. Секційний вимикач низької сторони підключить секцію, що залишилася без напруги. Роз'єднувачі у ремонтній перемичці нормально відключені. У разі виведення в ремонт трансформатора або вимикача в колі трансформатора є можливість залишити в роботі обидві лінії живлення шляхом включення роз'єднувачів перемички. Причому спочатку вмикається перемичка, а потім відключаються кола трансформатора. Схема представлена в графічній частині роботи.

При двох встановлених на підстанції трансформаторів, при аварії з одним із паралельно працюючих трансформаторів, інший приймає на себе його навантаження.

З урахуванням того, що на підприємстві застосовуються приймачі II категорії, приймемо двохтрансформаторну підстанцію.

Розрахункова потужність трансформаторів:

$$S_{\text{тр.розр}} = \frac{S_{\text{р.гпп}}}{n_{\text{тр}} \cdot \beta_{\text{тр}}} = \frac{8216,5}{2 \cdot 0,7} = 5868,9 \text{ кВА.}$$

Отримане значення $S_{\text{тр.розр}}$ округляється до найближчого стандартного значення. Виходячи з розрахунку приймаємо до встановлення на головній понижаючій підстанції двохобмоткові трансформатори марки ТМН-6300/35. Перевіряємо встановлену потужність трансформатора у післяаварійному режимі при відключенні одного із трансформаторів

$$S_{\text{р.гпп}} = 8216,5 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot 6300 = 8820,0 \text{ кВА.}$$

Отже, обрана потужність трансформаторів забезпечує електропостачання підприємства у післяаварійному режимі.

Таблиця 2.7 - Параметри трансформаторів [7]

Тип	S _{ном} , МВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	P _{хх} , кВт	Q _{хх} , кВАр	P _{кз} , кВт	Q _{кз} , кВАр	U _к , %	I _х , %
ТМН-6300/35	6.3	35	6.3	9.2	56.7	46.5	472.5	7.5	0.9

Вибір січення проводу проводиться за економічною щільністю струму.

Розрахунковий струм на одне коло:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{р.гпп}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{8216}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 67,8 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм у післяаварійному режимі:

$$I_{\text{розр.п/ав}} = \frac{S_{\text{тр.гпп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{8216}{\sqrt{3} \cdot 35} = 135,5 \text{ А.}$$

Економічне січення:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{розр}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{67,8}{1} = 67,8 \text{ мм}^2,$$

де $j_{\text{ек}}$ - нормоване значення економічної щільності струму з урахуванням числа годин використання максимального навантаження [8], А/мм².

Зі стандартного ряду січень приймаємо сталевалюмінієвий провід марки АС-120/19 з $I_{\text{доп}} = 390$ А [8].

- Перевірка по перевантажувальній здатності (у післяаварійному режимі при відключенні однієї з ліній живлення):

$$I_{\text{розр.п/ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 390 = 507,0 \text{ А,}$$

перевірка виконується.

- Перевірка за умовою механічної міцності: згідно з ПУЕ, повітряні лінії напругою 35 кВ і вище, що споруджуються на двоколових опорах із застосуванням сталевалюмінієвих проводів, повинні мати січення не менше 120 мм². Отже, перевірка виконується.

- Перевірка з допустимої втрати напруги:

$$L_{\text{доп}} < L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{розр}}} = 2,05 \cdot 5 \cdot \frac{390}{67,8} = 59,0 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 7,0 \text{ км,}$$

де $\Delta U_{\text{доп}}$ - допустиме значення втрати напруги, %;

$L_{\text{доп}}$ - допустима довжина лінії живлення, км;

$L_{\text{факт}}$ - фактична довжина лінії живлення, км;

$L_{\Delta U 1\%}$ - довжина лінії при повному завантаженні, на якій втрата напруги дорівнює 1% [5].

перевірка виконується.

- Перевірка на корону: для ліній 35 кВ не проводиться.

2.2.5 Схема внутрішньозаводської мережі вище 1000 В

Розподільна мережа вище 1000 В по території підприємства виконується трижильними кабелями марки АПВВнг з прокладкою естакадами. Живлення високовольтних двигунів здійснюємо кабельними лініями тієї ж марки з прокладкою в коробах.

Спрощену схему живлення цехових трансформаторних підстанцій наведено в графічній частині роботи.

Для кабелів з алюмінієвими жилами економічне сичення при роботі підприємства з $T_{\max} > 5000$ год/год визначається для економічної щільністю струму $j_{\text{ек}} = 1,2$ А/мм² [8].

ГПП - ТП1:

Розрахунковий струм на одне коло:

$$I_{\text{розр}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 96,2 \text{ А},$$

де $S_{\text{ном.тр}}$ - номінальна потужність цехового трансформатора, кВА;

$n_{\text{тр}}$ - кількість трансформаторів, шт;

$n_{\text{ц}}$ - кількість кіл лінії живлення, шт.

Розрахунковий струм у післяаварійному режимі:

$$I_{\text{розр.п/ав}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 192,5 \text{ А}.$$

Економічне сичення

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{розр}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{96,2}{1,2} = 80,2 \text{ мм}^2.$$

Намічаємо кабель марки АПвВнг-2(3×120) з $I_{\text{доп}} = 200$ А [8].

Вибране сичення перевіряється за допустимим навантаженням з умов нагріву в нормальному режимі та з урахуванням допустимого навантаження у післяаварійному режимі:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,85 \cdot 200 = 170,0 \text{ А} > I_{\text{розр}} = 96,2 \text{ А},$$

де $K_{\text{пр}}$ - коефіцієнт прокладки при прокладанні кабельних ліній за естакадами;

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 170 = 221,0 \text{ А} > I_{\text{розр.п/ав}} = 192,5 \text{ А}.$$

Вибране сичення проходить за результатами перевірок. Залишаємо раніше намічений кабель.

Подальші розрахунки зводимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Вибір січення провідників розподільчої мережі вище 1000 В

Ділянка	Потужність ділянки, кВА	n _ц , шт	U _{ном} , кВ	L, км	Розрахункове навантаження		F _{ек} , мм ²	К _{пр}	Марка та січення	Допустиме навантаження	
					I _{розр} , А	I _{розр.ав} , А				Г _{доп} , А	1,3 · Г _{доп} , А
ГПП – ТП1	2000.0	2	6	0.127	96.2	192.5	80.2	0.85	АПВнг -2 (3×120)	170.0	221.0
ГПП – ТП2	1000.0	1	6	0.076	96.2	-	80.2	0.85	АПВнг -1 (3×95)	144.5	-
ГПП – ТП3	1000.0	1	6	0.179	96.2	-	80.2	1.00	АПВнг -1 (3×95)	170.0	-
РУ1 - ТП4	2000.0	2	6	0.015	96.2	192.5	80.2	0.90	АПВнг -2 (3×95)	153.0	198.9
ГПП – ТП5	2000.0	2	6	0.170	96.2	192.5	80.2	0.75	АПВнг -2 (3×120)	150.0	195.0
ГПП – ТП6	2000.0	2	6	0.336	96.2	192.5	80.2	0.75	АПВнг -2 (3×120)	150.0	195.0
ГПП – РУ1	5270.0	4	6	0.257	126.8	253.6	105.6	0.75	АПВнг -4 (3×185)	202.5	263.3
ГПП - СД	846.7	1	6	0.060	81.5	-	67.9	1.00	АПВнг -	140.0	-

Вибрана схема розподілу електроенергії територією підприємства наведена в графічній частині.

2.2.6 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1000 В

У електричних установках можуть бути різні види КЗ, що супроводжуються різким збільшенням струму. Тому електрообладнання, яке встановлюється в системах електропостачання, має бути стійким до струмів КЗ та вибиратися з урахуванням величин цих струмів.

Напруга на шинах ВН ГПП при розрахунку вважатиметься постійною, оскільки підприємство отримує живлення від енергосистеми необмеженої потужності, це означає, що періодична складова струму КЗ мало змінюється у часі і залишається постійною від початку КЗ до його закінчення.

Розрахунок струмів КЗ ведемо у відносних одиницях. Для цього всі розрахункові дані призводять до базисної напруги та базової потужності.

Для розрахунків струмів КЗ складають розрахункову схему системи електропостачання (графічна частина роботи) та на її основі схему заміщення (графічна частина роботи). Розрахункова схема є спрощеною однолінійною

схемою, на якій вказують всі елементи системи електропостачання та їх параметри, що впливають на струм КЗ. Тут же вказують точки, у яких необхідно визначити струм КЗ.

Розрахунок струмів КЗ ведемо на ділянці: Система – ГПП – ТП5

Приймаємо за базисні величини:

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, \quad U_{61} = 37 \text{ кВ}, \quad U_{62} = 6,3 \text{ кВ},$$

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,560 \text{ кА}, \quad I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164 \text{ кА}.$$

Для генераторів, трансформаторів, високовольтної лінії, як правило, враховуються лише індуктивні опори. Доцільно враховувати активні опори, якщо $R_\Sigma > X_\Sigma/3$.

Опір елементів:

Система:

$$S_c = \infty, \quad Z_1 = X_c = X_1 = \frac{S_6}{S_c} = 0.$$

Повітряна лінія:

$$Z_2 = X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{61}^2} = 0,414 \cdot 7,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37^2} = 0,212.$$

Трансформатори:

$$Z_3 = X_3 = \frac{U_{\text{к,}\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,190.$$

Кабельна лінія, що живить ПС:

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,326 \cdot 0,179 \cdot \frac{100}{1 \cdot 6,3^2} = 0,147,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,078 \cdot 0,179 \cdot \frac{100}{1 \cdot 6,3^2} = 0,035,$$

$$Z_4 = \sqrt{R_4^2 + X_4^2} = \sqrt{0,147^2 + 0,035^2} = 0,151.$$

Кабельна лінія, що живить РП:

$$R_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,167 \cdot 0,257 \cdot \frac{100}{1 \cdot 6,3^2} = 0,108,$$

$$X_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{62}^2} = 0,073 \cdot 0,257 \cdot \frac{100}{1 \cdot 6,3^2} = 0,047,$$

$$Z_5 = \sqrt{R_5^2 + X_5^2} = \sqrt{0,108^2 + 0,047^2} = 0,118.$$

Кабельна лінія, що живить СД:

$$R'_6 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,443 \cdot 0,060 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,067,$$

$$X'_6 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,080 \cdot 0,060 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,012,$$

з урахуванням того, що на підприємстві кілька двигунів:

$$R_6 = \frac{R'_6}{n_{сд}} = \frac{0,067}{2} = 0,033, \quad X_6 = \frac{X'_6}{n_{сд}} = \frac{0,012}{2} = 0,006,$$

$$Z_6 = \sqrt{R_6^2 + X_6^2} = \sqrt{0,033^2 + 0,006^2} = 0,034.$$

Синхронний двигун:

опір одного двигуна:

$$X'_7 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{\text{ном}}} = \frac{0,189 \cdot 100}{0,847} = 22,323,$$

з урахуванням того, що на підприємстві кілька двигунів:

$$Z_7 = X_7 = \frac{X'_7}{n_{\text{сд}}} = \frac{22,32}{2} = 11,161.$$

Розрахунок короткого замикання точки К1.

Еквівалентний опір кола СД щодо точки К1:

$$Z_{\text{сд}} = Z_7 + Z_6 + Z_5 + Z_3 = 11,161 + 0,034 + 0,118 + 1,190 = 12,504.$$

Еквівалентний опір кола системи щодо точки К1:

$$Z_{\text{с}} = Z_1 + Z_2 = 0 + 0,212 = 0,212.$$

Результуючий опір у точці К1:

$$Z_{\Sigma 1} = \frac{Z_{\text{сд}} \cdot Z_{\text{с}}}{Z_{\text{сд}} + Z_{\text{с}}} = \frac{12,504 \cdot 0,212}{12,504 + 0,212} = 0,208.$$

Діюче значення струму КЗ у точці К1:

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{61}}{Z_{\Sigma 1}} = \frac{1,560}{0,208} = 7,496 \text{ кА.}$$

Ударний струм КЗ у точці К1:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot 7,496 = 17,0 \text{ кА,}$$

де $k_{\text{уд}}$ - ударний коефіцієнт, що залежить від сталої часу T_a , що визначається залежно від $k_{\text{уд}} = f(T_a)$ [9].

Розрахунки струмів КЗ інших точок зведемо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	U_6 , кВ	I_6 , кА	Z_{Σ}	$k_{\text{уд}}$	T_a , сек	$I_{\text{к}}$, кА	$i_{\text{уд}}$, кА
К1	37.0	1.560	0.208	1.608	0.02	7.496	17.0
К2	6.3	9.164	1.248	1.869	0.01	7.346	19.4
К3	6.3	9.164	1.398	1.869	0.01	6.554	17.3

Отримане з економічної щільності струму січення високовольтних ліній необхідно перевірити на термічну стійкість при короткому замиканні.

Час відключення короткого замикання [9]:

$$t_{\text{пр}} = 0,1 \div 0,3 \text{ сек.}$$

Тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{к}}^2 \cdot t_{\text{пр}} = 7345,9^2 \cdot 0,2 = 10792317,7 \text{ A}^2 \cdot \text{сек.}$$

де $I_{\text{к}}$ - струм короткого замикання на низькій стороні трансформаторів ГПП.

Термічно стійке січення дорівнює:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_{\text{к}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} = \frac{\sqrt{10792317,7}}{85} = 38,6 \text{ мм}^2 < F_{\text{реал}} = 95 \text{ мм}^2,$$

де C – коефіцієнт, що залежить від допустимої температури при короткому замиканні та матеріалу провідника [9], $\text{A} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$;

$F_{\text{реал}}$ - січення лінії, що живить підстанцію, мм^2 .

Таким чином, попередньо обране січення згідно термічної стійкості проходить. Залишаємо раніше обране січення.

2.3 Висновки до розділу

1. Для живлення окремих електроприймачів та РП вибрана радіальна схема, яка забезпечує необхідний ступінь надійності та необхідні за технологічними умовами гнучкість та універсальність.
2. Повна розрахункова потужність цеху становить 770 кВА. Повна розрахункова потужність з боку ВН трансформаторів ГПП становить 8217 кВА.
3. Для підключення підприємства прийнято напругу лінії живлення 35 кВ.
4. Розраховано центр електричних навантажень та побудована картограма навантажень, що дозволить уникнути великої протяжності кабельних ліній та скоротити втрати в них.

5. Для встановлення прийнято 10 трансформаторів потужністю 1000 кВА. Навантаження цехів поєднано таким чином, щоб ТП були завантажені оптимально. Здійснено розташування ЦТП територією підприємства.
6. Запропоновано схему зовнішнього електропостачання: два блоки з вимикачами та неавтоматичною перемичкою.
7. З урахуванням того, що підприємство належить до II категорії по надійності електропостачання, проведено вибір трансформаторів ГПП: 2 ТМН-6300/35.
8. Здійснено вибір січення кабелів мереж вище 1 кВ. Виконана перевірка за допустимим навантаженням з умов нагріву в нормальному режимі та з урахуванням допустимого навантаження у післяаварійному режимі.
9. Здійснено розрахунок струмів КЗ в мережі вище 1000 В.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір і перевірка обладнання у мережі вище 1000 В

У системах електропостачання можуть виникати режими, що характеризуються електричними, тепловими та механічними навантаженнями, що перевищують навантаження нормального режиму робіт і є небезпекою для елементів системи електропостачання. Правильно обране обладнання – запорука надійної роботи електроустаткування та всієї системи електропостачання.

3.1.1 Вибір вимикачів та роз'єднувачів

Розглянемо вибір вимикача та роз'єднувача на високій стороні трансформатора ГПП.

Намічаємо до встановлення вимикач типу ВВУ-35-40/2000

Параметри вимикача [10]

номінальна напруга $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$;

номінальний струм $I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$;

номінальний струм відключення $I_{\text{відк.ном}} = 40 \text{ кА}$;

струм електродинамічної стійкості $I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$;

пік струму електродинамічної стійкості $i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$;

струм термічної стійкості $I_{\text{тер}} = 40 \text{ кА}$;

тривалість протікання струму термічної стійкості $t_{\text{тер}} = 3$;

повний час відключення вимикача $t_{\text{відк.в}} = 0,07 \text{ с}$.

Перевірка вимикача:

- за напругою установки $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$:

$$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ};$$

- за струмом $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$:

$$I_{\max} = \frac{S_{p,гпп}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{8216,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 135,5 \text{ А} < I_{\text{НОМ}} = 2000 \text{ А};$$

- за здатністю відключати $I_{n,t} \leq I_{\text{відк.НОМ}}$:

$$I_{n,t} = 7,5 \text{ кА} < I_{\text{відк.НОМ}} = 40 \text{ кА};$$

- по електродинамічній стійкості $I_{n,0} \leq I_{\text{дин}}$, $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$:

$$I_{n,0} = 7,5 \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = 17,0 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА};$$

- по термічній стійкості $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_k = I_{n,0}^2 \cdot (t_{p.z.} + t_{\text{відк.в}} + T_a) = 7,5^2 \cdot (1,2 + 0,07 + 0,020) = 72,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40,0^2 \cdot 3 = 4800,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_k < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}.$$

Вимикач проходить за результатами перевірок.

Намічаємо до встановлення роз'єднувач типу РДЗ-35/1000.

Параметри роз'єднувача [11]:

номінальна напруга $U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$;

номінальний струм $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$;

пік струму електродинамічної стійкості $i_{\text{пр.с}} = 63 \text{ кА}$;

струм термічної стійкості $I_{\text{тер}} = 25,0 \text{ кА}$;

тривалість протікання струму термічної стійкості $t_{\text{тер}} = 4 \text{ с}$.

Перевірка роз'єднувача:

- за напругою установки $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{НОМ}}$:

$$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ} = U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ};$$

- за струмом $I_{\max} \leq I_{\text{НОМ}}$:

$$I_{\max} = 135,5 \text{ А} < I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А};$$

- по електродинамічній стійкості $i_{уд} \leq i_{пр.с}$:

$$i_{уд} = 17,0 \text{ кА} < i_{пр.с} = 63 \text{ кА};$$

- по термічній стійкості $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$:

$$B_k = 72,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 25,0^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Роз'єднувач проходить за результатами перевірок.

Обладнання вибираємо однотипне, тобто. всі роз'єднувачі на високій стороні будуть однієї марки і всі вимикачі на високій стороні будуть однієї марки.

Подальший розрахунок зведемо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів

Розрахункові дані	Вимикач ВБУ-35-40/2000	Роз'єднувач РДЗ-35/1000
Уст = 35 кВ	Уном = 35 кВ	Уном = 35 кВ
Іmax = 135.5 А	Іном = 2000 А	Іном = 1000 А
Іn.t = 7.5 кА	Івідк.ном = 40 кА	-
Іn.0 = 7.5 кА	Ідин = 40 кА	-
$i_{уд} = 17.0 \text{ кА}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 63 \text{ кА}$
$B_k = 72.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Розрахункові дані	Вимикач ВЕ-10-20/1000	Роз'єднувач
Уст = 6 кВ	Уном = 10 кВ	Використовується викочувальний візок
Іmax = 790.6 А	Іном = 1000 А	
Іn.t = 7.3 кА	Івідк.ном = 20 кА	
Іn.0 = 7.3 кА	Ідин = 20 кА	
$i_{уд} = 19.4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	
$B_k = 30.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

3.1.2 Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Трансформатори струму призначені для зменшення первинного струму до значень, найбільш зручних для вимірювальних приладів та реле, а також для відділення кіл вимірювання та захисту від первинних кіл високої напруги.

Основними приладами, які підключаються до трансформаторів струму на понижаючих підстанціях є амперметри, ватметри, варметри та лічильники активної та реактивної енергії. Навантаження трансформаторів струму представлено таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Навантаження трансформаторів струму

Місце встановлення	Прилад	Тип	Навантаження, В·А		
			А	В	С
Сторона ВН трансформатора	Амперметр	Е - 350	0.5	-	0.5
	Амперметр	Е - 350	0.5	-	0.5
Разом:			1,0	-	1,0
Сторона НН трансформатора	Амперметр	Е - 350	-	0,5	-
	Ватметр	Д - 335	0,5	-	0,5
	Варметр	Д - 335	0,5	-	0,5
	Лічильник W	СЕТ-4ТМ	2,5	-	2,5
	Лічильник V	СЕТ-4ТМ	2,5	-	2,5
Разом:			6,0	0,5	6,0

Приклад вибору трансформатора струму за ВН трансформатора ГПП. З таблиці 3.2 видно, що найбільш завантажені фази А і С. Для них ведемо розрахунок.

Намічаємо до встановлення трансформатор струму типу ТФЗМ-35Б.

Параметри трансформатора струму [12]:

номінальна напруга $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$;

номінальний струм $I_{\text{ном}} = 150 \text{ А}$;

вторинний номінальний струм трансформатора струму $I_2 = 5 \text{ А}$;

струм електродинамічної стійкості $i_{\text{дин}} = 31 \text{ кА}$;

струм термічної стійкості $I_{\text{тер}} = 7,0 \text{ кА}$;

тривалість протікання струму термічної стійкості $t_{\text{тер}} = 3$;

вторинне номінальне навантаження трансформатора струму $Z_{2\text{ном}} = 1,2$

Ом;

клас точності 0,5.

- за напругою установки $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$:

$$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ};$$

- за струмом $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{р.гпп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{8216,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 135,5 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 150 \text{ А};$$

- перевірка трансформатора струму за вторинним навантаженням $Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$.

Загальний опір приладів, підключених до трансформатора струму:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_2^2} = \frac{1,0}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

де $S_{\text{прил}}$ - потужність, що споживається приладами (таблиця 3.2).

Допустимий опір провідників:

$$r_{\text{пр.доп}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,04 - 0,10 = 1,06 \text{ Ом},$$

де $r_{\text{к}}$ - опору контактів (0,05 Ом при двох-трьох приладах; 0,1 Ом при більшій кількості приладів).

Для приєднання приладів до трансформаторів струму використовуємо кабель із алюмінієвими жилами. Розрахункове сечення кабелю:

$$q_{\text{розр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 10}{1,06} = 0,27 \text{ мм}^2,$$

де ρ – питомий опір алюмінієвого дроту [5], Ом/мм²;

$l_{\text{пр}}$ - довжина дроту, м.

Приймаємо кабель марки АКРВГ сеченням $q = 4 \text{ мм}^2$ [8].

Тоді опір кабелю:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 10}{4} = 0,071 \text{ Ом}.$$

Тоді вторинне навантаження трансформатора струму:

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,04 + 0,071 + 0,10 = 0,211 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}.$$

- перевірка трансформатора струму на електродинамічну стійкість $i_{уд} \leq i_{пр.с.}$

$$i_{уд} = 17,0 \text{ кА} < i_{дин} = 31 \text{ кА};$$

- перевірка трансформатора струму на термічну стійкість $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$

$$B_k = 72,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 7,0^2 \cdot 3 = 147,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Трансформатор струму проходить за результатами перевірок.

Вибір трансформатор струму на низькій стороні трансформатора ГПП проводиться аналогічно. Тому подальші розрахунки зведемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Вибір трансформаторів струму в колах трансформатора ГПП

Тип ТТ	Розрахункові дані	Каталожні дані
ТА1	Ууст = 6 кВ	Уном = 10 кВ
	Імах = 790.6 А	Іном = 2000 А
ТШЛ 10	$B_k = 30.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 19.4 \text{ кА}$	не перевіряється
Сторона НН трансформатора	$r_2 = 0.375 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0.800 \text{ Ом}$
ТА2	Ууст = 35 кВ	Уном = 35 кВ
	Імах = 135.5 А	Іном = 150 А
ТФЗМ110	$B_k = 72.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 147.0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 17.0 \text{ кА}$	Ідин = 31 кА
Сторона ВН трансформатора	$r_2 = 0.211 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1.2 \text{ Ом}$

3.1.3 Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

Трансформатори напруги призначені для пониження високої напруги до стандартного значення 100 вольт, а також відділення кіл вимірювання та захисту від первинних кіл високої напруги.

Основними приладами, які підключаються до трансформаторів напруги на понисаючих підстанціях є вольтметри, ватметри, варметри, частотоміри та лічильники активної та реактивної енергії. Навантаження трансформаторів напруги представлено таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Навантаження трансформаторів напруги

Місце встановлення	Прилад	Тип	S _{обм} , В · А	побм, шт	cosφ	sinφ	пприл, шт	Споживана потужність	
								P, Вт	Q, ВАр
Сторона ВН трансформатора	Вольтметр	Е - 335	2.0	1	1	0	1	2.0	0.0
	Вольтметр	Н - 393	10.0	1	1	0	1	10.0	0.0
	Частотомір	Н - 397	7.0	1	1	0	1	7.0	0.0
Разом:								19.0	0.0
Сторона ВН трансформатора	Вольтметр	Е - 335	2.0	1	1	0	2	4.0	0.0
	Ватметр	Д - 335	1.5	2	1	0	1	3.0	0.0
	Варметр	Д - 335	1.5	2	1	0	1	3.0	0.0
	Лічильник W	СЕТ-4ТМ	0.02	-	-	-	6	0.12	0.0
	Лічильник V	СЕТ-4ТМ	0.02	-	-	-	6	0.12	0.0
Разом:								10.2	0.0

а) Вибір трансформаторів напруги на стороні НН трансформатора.

Намічаємо установку трансформатора напруги типу НТМІ-6.

Параметри трансформатора напруги:

номінальна напруга $U_{ном} = 6$ кВ;

номінальна потужність $S_{ном} = 75$ В·А;

клас точності 0,5.

- за напругою установки $U_{уст} \leq U_{ном}$:

$$U_{уст} = 6 \text{ кВ} < U_{ном} = 10 \text{ кВ};$$

- перевірка трансформатора напруги за вторинним навантаженням $S_2 \leq S_{ном}$.

Вторинна навантаження трансформатора напруги з таблиці 3.4:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,2^2 + 0^2} = 10,2 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 75 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напруги проходить за результатами перевірок.

б) Вибір трансформаторів напруги на стороні ВН трансформатора.

Намічаємо встановлення трансформатора напруги типу ЗНОЛ-35.

Параметри трансформатора напруги:

номінальна напруга $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$;

номінальна потужність $S_{\text{ном}} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}$;

клас точності 0,5.

- за напругою установки $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$:

$$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ};$$

- перевірка трансформатора напруги за вторинним навантаженням $S_2 \leq S_{\text{ном}}$.

Вторинне навантаження трансформатора напруги з таблиці 3.4.

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{19,0^2 + 0^2} = 19,0 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{ном}} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напруги проходить за результатами перевірок.

Для з'єднання трансформаторів напруги з приладами приймаємо контрольний кабель АКРВГ із січенням жил $q = 4 \text{ мм}^2$ за умовою механічної міцності [8].

3.1.4 Облік електричної енергії

Для приєднання точних вимірювальних приладів використовуються трансформатори струму з класом точності – 0,2, лічильників грошового розрахунку – 0,5, всіх технічних вимірювальних приладів – 1, для релейного захисту – 3 і 10.

Велике значення грає точність виміру спожитої електроенергії, оскільки питання раціонального та економного витрачання електроенергії займають найважливішу роль на промисловому підприємстві. Однією з головних умов вирішення цих питань є організація доступної та якісної системи обліку електроенергії. Як таку систему застосуємо автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

АСКОЕ – ієрархічна система, що представляє собою технічний пристрій, що функціонально поєднує сукупність вимірювально-інформаційних комплексів точок вимірювань, інформаційно-обчислювальних комплексів електроустановок, інформаційно-обчислювального комплексу та системи забезпечення єдиного часу, що виконує функції проведення вимірювань, збору, обробки та зберігання результатів вимірювань, інформації про стан об'єктів та засобів вимірювань, а також передачі отриманої інформації в інтегровану автоматизовану систему управління комерційним обліком на оптовому ринку електроенергії в автоматизованому режимі.

Система АСКОВЕ дає можливість пов'язати планування енерговитрат із планом випуску готової продукції, а також точно визначити витрати енергоресурсів та виділити їх у собівартості кінцевого продукту виробництва. Крім цього, АСКОВЕ дозволяє бачити моменти простою та перевантаження роботи підприємства, витоку електроенергії, що допомагає скоригувати роботу та підвищити економічну ефективність підприємства, автоматизувати збір даних.

3.2 Електропостачання ремонтно-механічних майстерень

Електропостачання виконується у наступній послідовності.

Приймачі розподіляються за пунктами живлення, визначаються розрахункові електричні навантаження, вибирається схема та спосіб прокладання мережі.

Проводиться вибір січень мережі живлення за тривало допустимим струмовим навантаженням з умови нагрівання і перевірка їх по втраті напруги.

Проводиться вибір апаратів захисту та силової розподільної мережі, узгоджуючи з апаратами захисту.

Для ділянки мережі об'єкта, що проектується, будується карта селективності дії апаратів захисту.

Проводиться розрахунок струмів короткого замикання для ділянки цехової мережі від ТП до потужного електроприймача цеху. Отримані дані наносяться на карту селективності дії апаратів захисту.

Проводиться розрахунок розподільної мережі та мережі живлення за умовами допустимої втрати напруги.

3.2.1 Вибір захисних апаратів та січень ліній, що живлять розподільні пункти та електроприймачі

Як апарати захисту приймаємо автоматичні вимикачі серії ВА з електромагнітним розчеплювачем для захисту лінії від струмів КЗ та тепловим - для захисту від перевантаження.

Вибір січень ліній живлення проводиться за тривало допустимим струмовим навантаженням з умови нагрівання. Лінії, що живлять розподільні пункти, перевіряються за допустимою втратою напруги. Січення кабелів узгоджуються з дією апаратів захисту.

Для живлення розподільних пунктів та окремих електроприймачів приймаємо кабель марки АВВГнг-LS із прокладкою на лотках по стінах. Живлення здійснюємо за радіальними лініями.

Приклади вибору апаратури та кабелів.

а) Вибір відходящого вимикача ТП:

Розрахункова потужність навантаження підстанції:

$$S_{p.пс} = 769,1 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм навантаження підстанції:

$$I_{p.пс} = \frac{S_{p.пс}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{769,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1168,5 \text{ А.}$$

Номінальний струм трансформаторів підстанції:

$$I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519,3.$$

Струм післяаварійного режиму трансформаторів підстанції:

$$I_{\text{п/ав.тр}} = 1,4 \cdot I_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot 1519,3 = 2127,1 \text{ А.}$$

Піковий струм підстанції:

$$I_{\text{пik.ПС}} = I_{\text{пik}}^{\text{max.ПР}} + I_{\text{р.ПС}} - I_{\text{р}}^{\text{max.ПР}} = 997,6 + 1519,3 - 328,4 = 2188,5 \text{ А.}$$

Намічаємо до встановлення автомат марки ВА74 - 45 з параметрами:

$$I_{\text{ном.ав}} = 3000 \text{ А, } I_{\text{тепл}} = 2000 \text{ А}$$

– перевірка наміченого автомата з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{тепл}} = 2000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р.ПС}} = 1,1 \cdot 1519,3 = 1671,3 \text{ А.}$$

– перевірка наміченого автомата з нагрівання післяаварійним струмом:

$$I_{\text{пер}} = 2 \cdot I_{\text{тепл}} = 2 \cdot 2000 = 4000 \text{ А} > I_{\text{п/ав.тр}} = 2127,1 \text{ А.}$$

– перевірка наміченого автомата за умовою навантаження піковим струмом:

$$1,25 \cdot I_{\text{пik.ПС}} = 1,25 \cdot 2188,5 = 2735,7 \text{ А.}$$

Коефіцієнт кратності струму спрацьовування уставки:

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пik.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{2735,7}{2000} = 1,4,$$

приймаємо $K = 4,0$.

Номинальний струм спрацьовування уставки у зоні КЗ:

$$I_{\text{е.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 4,0 \cdot 2000 = 8000 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пik.ПС}} = 2735,7 \text{ А.}$$

Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок.

б) Ділянка ТП - РП1

Розрахунковий та піковий струм навантаження РП1:

$$I_p = 326,1 \text{ A}, \quad I_{\text{пiк}} = 995,3 \text{ A}.$$

Намічаємо до встановлення автомат марки ВА52 - 39 з параметрами:

$$I_{\text{ном.ав}} = 630 \text{ A}, \quad I_{\text{тепл}} = 400 \text{ A}$$

– перевірка наміченого автомата з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{тепл}} = 400 \text{ A} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 326,1 = 358,7 \text{ A}.$$

– перевірка наміченого автомата за умовою навантаження піковим струмом:

$$1,25 \cdot I_{\text{пiк}} = 1,25 \cdot 995,3 = 1244,1 \text{ A}.$$

Коефіцієнт кратності струму спрацьовування уставки:

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пiк}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1244,1}{400} = 3,1,$$

приймаємо $K = 10,0$.

Номинальний струм спрацьовування уставки у зоні КЗ:

$$I_{\text{е.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 10,0 \cdot 400 = 4000 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пiк}} = 1244,1 \text{ A}.$$

Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок.

Намічаємо вибір кабелю марки АВВГнг-LS-2 (5 × 150), $I_{\text{доп}} = 470 \text{ A}$ [8].

– перевірка наміченого кабелю з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{доп}} = 470 \text{ A} > I_p = 358,7 \text{ A}.$$

- узгодження з дією апарату захисту:

$$I_{\text{доп}} = 470 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 400}{0,9} = 444,4 \text{ A},$$

де I_3 - струм уставки спрацьовування захисного апарату, А;

$k_{\text{прокл}}$ – поправочний коефіцієнт за умови прокладки (для нормальних умов приймається рівним 1);

k_3 – кратність захисту (відношення тривало допустимого струму для кабелю до номінального струму чи струму спрацьовування захисного апарату під час навантаження чи КЗ).

– перевірка щодо допустимої втрати напруги:

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,050 \cdot 326,1 \cdot 0,038 = 0,61\% < 5\%,$$

де l - довжина аналізованої лінії, км;

5% - допустиме значення втрат напруги;

ΔU_0 – втрата напруги у трифазних мережах 380 В, %/(А·км).

Прийнятий кабель проходить за результатами перевірок.

в) Ділянка РП1 - Кран-балка

Номінальний та пусковий струм навантаження

$$I_{\text{ном}} = 136,6 \text{ А}, \quad I_{\text{пуск}} = 682,9 \text{ А}.$$

Намічаємо до встановлення автомат марки ВА57 - 35 з параметрами:

$$I_{\text{ном.ав}} = 250 \text{ А}, \quad I_{\text{тепл}} = 160 \text{ А}$$

– перевірка наміченого автомата з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{тепл}} = 160 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 136,6 = 150,2 \text{ А}.$$

– перевірка наміченого автомата за умовою навантаження піковим струмом:

$$1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 682,9 = 1024,3 \text{ А}.$$

Коефіцієнт кратності струму спрацьовування уставки:

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1024,3}{160} = 6,4,$$

приймаємо $K = 8,0$.

Номінальний струм спрацьовування уставки у зоні КЗ:

$$I_{e.o} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 8,0 \cdot 160 = 1280 \text{ A} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1024,3 \text{ A.}$$

Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок.

Намічаємо вибір кабелю марки АВВГнг-LS – 1(5×120), $I_{\text{доп}} = 200 \text{ A}$ [8].

– перевірка наміченого кабелю з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{доп}} = 200 \text{ A} > I_{\text{ном}} = 150,2 \text{ A.}$$

- узгодження з дією апарату захисту:

$$I_{\text{доп}} = 200 \text{ A} > \frac{K_z \cdot I_z}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 160}{0,90} = 177,8 \text{ A.}$$

Прийнятий кабель проходить за результатами перевірок.

Оскільки розрахунок на вибір апаратів захисту і кабельних ліній всім розподільних пунктів і електроприймачів аналогічний, інші розрахунки зведемо в таблицю 3.5 (для розподільних пунктів) і таблицю 3.6 (для окремих електроприймачів).

Таблиця 3.5 – Вибір марки та січення провідників мережі живлення, апаратів захисту

Ділянка	Ір. А	Іпк. А	1.1 · Ір. А	1.25 Іпк. А	К	Автомат			Кз	Кпр	Кз · Із / Кпр. А	Кабель		L. км	cosφ	ΔU ₀ , %	ΔU _p , %
						Ітепл. А	Іе.о. А	Тип				Ідоп А	Марка				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ТП	1519.3	2188.5	1671.3	2735.7	4.0	2000	8000	ВА74 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ТП – РП1	326.1	995.3	358.7	1244.1	10.0	400	4000	ВА52 - 39	1.0	0.9	444	470	АВВГнг- LS-2(5 × 150)	0.038	0.92	0.050	0.61
ТП - РП2	210.6	834.4	231.7	1043.0	10.0	260	2600	ВА52 - 39	1.0	0.9	289	340	АВВГнг- LS-2(5 × 95)	0.029	0.77	0.071	0.43
ТП - РП3	328.4	997.6	361.2	1247.0	10.0	400	4000	ВА52 - 39	1.0	0.9	444	470	АВВГнг- LS-2(5 × 150)	0.040	0.80	0.049	0.63
ТП - РП4	284.4	712.3	312.8	890.4	10.0	320	3200	ВА52 - 39	1.0	0.9	356	400	АВВГнг- LS-2(5 × 120)	0.037	0.79	0.059	0.62

Таблиця 3.6 - Вибір розподільних пунктів, автоматів та кабелів

Приймач	Рном. кВт	Іном. А	Іпуск. А	1.1 · Іном.А	1.5 · Іпік. А	Автомат				Кпр	Кз	Кз · Із / Кпр. А	Кабель	
						К	Ітепл. А	Іе.о. А	Тип				Ідоп А	Марка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП – 1 РП11-7123														
Кран-балка ПВ = 40%	40.0	136.6	682.9	150.2	1024.3	8.0	160.0	1280.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	177.8	200	АВВГнг-LS - 1(5× 120)
Фрезерний верстат	22.0	57.8	288.9	63.6	433.3	6.0	80.0	480.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	АВВГнг-LS - 1(5× 35)
Сушильна шафа	44.0	70.4	-	77.4	-	-	80.0	-	ВА57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	АВВГнг-LS - 1(5× 35)
Гартувальна піч	60.0	96.0	-	105.6	-	-	125.0	-	ВА57 - 35	0.9	1.00	138.9	140	АВВГнг-LS - 1(5× 70)
РП – 2 РП11-7123														
Прес	50.0	131.3	656.6	144.4	984.9	8.0	160.0	1280.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	177.8	200	АВВГнг-LS - 1(5× 120)
Токарний верстат	22.0	57.8	288.9	63.6	433.3	6.0	80.0	480.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	АВВГнг-LS - 1(5× 35)
Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	159.9	479.8	175.9	719.7	4.0	200.0	800.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	222.2	235	АВВГнг-LS - 1(5× 150)
Шліфувальний верстат	16.0	42.0	210.1	46.2	315.2	8.0	50.0	400.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	55.6	60	АВВГнг-LS - 1(5× 16)
Сушильна шафа	44.0	70.4	-	77.4	-	-	80.0	-	ВА57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	АВВГнг-LS - 1(5× 35)
РП – 3 РП11-7123														
Кран-балка ПВ = 40%	40.0	136.6	682.9	150.2	1024.3	8.0	160.0	1280.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	177.8	200	АВВГнг-LS - 1(5× 120)
Трубогинальний верстат	20.0	52.5	262.6	57.8	394.0	8.0	63.0	504.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	70.0	75	АВВГнг-LS - 1(5× 25)
Зварювальний трансформатор ПВ = 25%	40.0	159.9	479.8	175.9	719.7	4.0	200.0	800.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	222.2	140	АВВГнг-LS - 1(5× 70)
Шліфувальний верстат	16.0	42.0	210.1	46.2	315.2	8.0	50.0	400.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	55.6	60	АВВГнг-LS - 1(5× 16)
Трубогинальний верстат	20.0	52.5	262.6	57.8	394.0	8.0	63.0	504.0	ВА57 - 35	0.9	1.00	70.0	75	АВВГнг-LS - 1(5× 25)
Електрованна	60.0	96.0	-	105.6	-	-	125.0	-	ВА57 - 35	0.9	1.00	138.9	140	АВВГнг-LS - 1(5× 70)

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП – 4 РП11-7123														
Вентилятор	28.0	59.1	413.6	65.0	620.4	8.0	80.0	640.0	BA57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	ABBГНГ-LS - 1(5× 35)
Електромот	32.0	91.0	455.2	100.2	682.9	6.0	125.0	750.0	BA57 - 35	0.9	1.00	138.9	140	ABBГНГ-LS - 1(5× 70)
Вентилятор горна	28.0	59.1	413.6	65.0	620.4	8.0	80.0	640.0	BA57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	ABBГНГ-LS - 1(5× 35)
Токарний верстат	22.0	57.8	288.9	63.6	433.3	6.0	80.0	480.0	BA57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	ABBГНГ-LS - 1(5× 35)
Обдирний верстат	24.0	63.0	315.2	69.3	472.7	6.0	80.0	480.0	BA57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	ABBГНГ-LS - 1(5× 35)
Свердильний верстат	16.0	42.0	210.1	46.2	315.2	8.0	50.0	400.0	BA57 - 35	0.9	1.00	55.6	60	ABBГНГ-LS - 1(5× 16)
Поворотний кран	16.0	54.6	273.1	60.1	409.7	8.0	63.0	504.0	BA57 - 35	0.9	1.00	70.0	75	ABBГНГ-LS - 1(5× 25)
Нагрівальна плита	44.0	70.4	-	77.4	-	-	80.0	-	BA57 - 35	0.9	1.00	88.9	90	ABBГНГ-LS - 1(5× 35)

3.2.2 Побудова епюри відхилення напруги

Відповідно до цього для силових мереж промислових підприємств відхилення напруги не має перевищувати $\pm 5\%$ від номінального значення. На шинах 6-10 кВ підстанції, до якої приєднані розподільчі мережі, напруга повинна підтримуватися не нижче 105% номінальної у період найбільших навантажень і не вище 100% номінальної у період найменших навантажень цих мереж. [16]

Розглянемо коло ГПП - ТП2 - ПР3 - ЕП №30.

Розрахункові дані приймача №30

$$P_{\text{ном}} = 40,0 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ном}} = 69,3 \text{ кВАр};$$

$$S_{\text{ном}} = 80,0 \text{ кВА.}$$

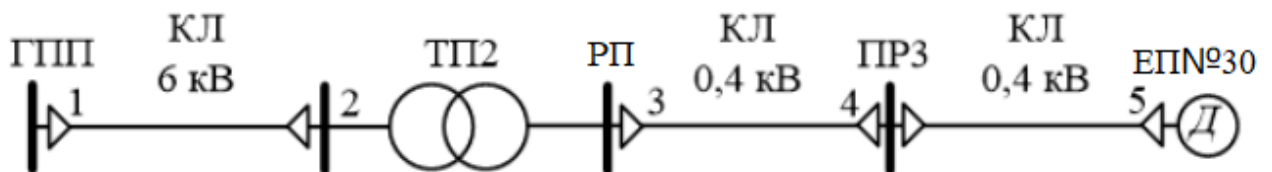


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Розрахунок максимального режиму навантаження

Ділянка 1-2

Активний та реактивний опір ділянки 1-2:

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,326 \cdot 178,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,058 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,078 \cdot 178,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,014 \text{ Ом}.$$

Активна та реактивна потужності, що протікають ділянкою 1-2:

$$P_{12} = \sum P_{\text{ц.ТП}} = 684,5 \text{ кВт}, \quad Q_{12} = \sum Q_{\text{ц.ТП}} = 350,8 \text{ кВАр}.$$

Втрата напруги на ділянці 1-2:

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{684,5 \cdot 0,058 + 350,8 \cdot 0,014}{10 \cdot 6,3^2} = 0,113 \%$$

Втрата напруги на ділянці 1-2 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,113 \cdot \frac{6300}{100} = 7,1 \text{ В.}$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 1-2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 6300 - 7,1 = 6292,9 \text{ В.}$$

Ділянка 2-3.

Активна та реактивна складова значення напруги короткого замикання трансформатора:

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{12,2 \cdot 100}{1000} = 1,220,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 + U_a^2} = \sqrt{5,5^2 + 1,220^2} = 5,363.$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = \frac{P_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{684,5}{2 \cdot 1000} = 0,684.$$

Втрати активної та реактивної потужності у трансформаторі:

$$\Delta P_{тр} = n_{тр} \cdot (\Delta P_{хх} + \beta^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 2 \cdot (2,45 + 0,684^2 \cdot 12,2) = 8,2 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{тр} = n_{тр} \cdot (\Delta Q_{хх} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 2 \cdot (14,0 + 0,684^2 \cdot 55,0) = 39,8 \text{ кВт},$$

Активна, реактивна та повна потужності, що протікають ділянкою 2-3:

$$P_{23} = P_{12} - \Delta P_{\text{тр}} = 684,5 - 8,2 = 676,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{23} = Q_{12} - \Delta Q_{\text{тр}} = 350,8 - 39,8 = 311,0 \text{ кВАр},$$

$$S_{23} = \sqrt{P_{23}^2 + Q_{23}^2} = \sqrt{676,3^2 + 311,0^2} = 744,4 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнт потужності ділянки 2-3:

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{676,3}{744,4} = 0,91, \quad \sin \varphi = \frac{311,0}{744,4} = 0,42,$$

Втрата напруги на ділянці 2-3:

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,684 \cdot (1,220 \cdot 0,91 + 5,363 \cdot 0,42) + \frac{0,684^2}{200} \cdot (1,220 \cdot 0,42 - 5,363 \cdot 0,91) \\ &= 2,282\%. \end{aligned}$$

Втрата напруги ділянки 2-3 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 2,282 \cdot \frac{6292,9}{100} = 143,6 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 2-3:

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 6292,9 - 143,6 = 6149,3 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 2-3 з урахуванням коефіцієнта трансформації:

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{6149,3}{6300} = 390,4 \text{ В}.$$

Ділянка 3-4.

Активний та реактивний опір ділянки 3-4:

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,206 \cdot 39,7}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0041 \text{ Ом},$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 39,7}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0012 \text{ Ом}.$$

Активна та реактивна потужності, що протікають дільницею 3-4:

$$P_{34} = P_{\text{ПР}} = 187,1 \text{ кВт}, \quad Q_{34} = Q_{\text{ПР}} = 108,1 \text{ кВАр}.$$

Втрата напруги на ділянці 3-4:

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{187,1 \cdot 0,0041 + 108,1 \cdot 0,0012}{10 \cdot 0,390^2} = 0,586 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на дільниці 3-4 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,586 \cdot \frac{390,4}{100} = 2,3 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 3-4:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 390,4 - 2,3 = 388,1 \text{ В}.$$

Ділянка 4-5.

Активний та реактивний опір ділянки 4-5:

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 4,1}{1} \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ Ом},$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 4,1}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0002 \text{ Ом}.$$

Активна та реактивна потужності, що протікають дільницею 4-5:

$$P_{45} = P_{\text{НОМ}} = 40,0 \text{ кВт}, \quad Q_{45} = Q_{\text{НОМ}} = 69,3 \text{ кВАр}.$$

Втрата напруги на дільниці 4-5 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{40,0 \cdot 0,001 + 69,3 \cdot 0,0002}{10 \cdot 0,388^2} = 0,039 \text{ \%}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 4-5:

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,039 \cdot \frac{388,1}{100} = 0,2 \text{ В.}$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Розрахункові дані для побудови епюри відхилень напруги

Максимальний режим навантаження				
Ділянка	1-2	2-3	3-4	4-5
P _i . кВт	684.5	676.3	187.1	40.0
Q _i . кВАр	350.8	311.0	108.1	69.3
S _i . кВА	769.1	744.4	216.1	80.0
R _i . Ом	0.058	-	0.004	0.001
X _i . Ом	0.014	-	0.001	0.000
cosφ	-	0.909	-	-
sinφ	-	0.418	-	-
β _г	-	0.684	-	-
U _{а.} %	-	1.220	-	-
U _{р.} %	-	5.363	-	-
ΔU _i . %	0.113	2.282	0.586	0.039
ΔU _i . У	7.1	143.6	2.3	0.2

Продовження таблиці 3.7

Мінімальний режим навантаження				
Ділянка	1-2	2-3	3-4	4-5
P _i . кВт	410.7	406.2	112.3	40.0
Q _i . кВАр	210.5	187.2	64.9	69.3
S _i . кВА	461.5	447.2	129.7	80.0
R _i . Ом	0.058	-	0.0041	0.001
X _i . Ом	0.014	-	0.0012	0.000
cosφ	-	0.908	-	-
sinφ	-	0.419	-	-
β _г	-	0.411	-	-
U _{а.} %	-	1.220	-	-
U _{р.} %	-	5.363	-	-
ΔU _i . %	0.068	1.373	0.345	0.038
ΔU _i . У	4.3	86.5	1.4	0.2

За результатами розрахунків будемо епюру відхилення напруги. Епюра представлена в графічній частині роботи.

З епюр відхилень напруги видно, що втрата напруги в лініях відповідає нормі та прийняті сечення придатні для експлуатації.

3.2.3 Розрахунок струмів короткого замикання у мережі до 1000 В

Розрахунок у порівнянні з розрахунком струмів КЗ в мережах напругою вище 1000 В має такі особливості:

- напруга на шинах ЦТП вважається незмінною при КЗ в мережі до 1000 В;
- при розрахунку струмів КЗ враховуємо активні та індуктивні опори до точки КЗ усіх елементів мережі;
- розрахунок ведемо в іменованих одиницях;
- напруга приймаємо на 5% вище за номінальну напругу мережі.

Розрахунок струмів КЗ ведемо на ділянці ТП2 – ПР3 – ЕП №30.

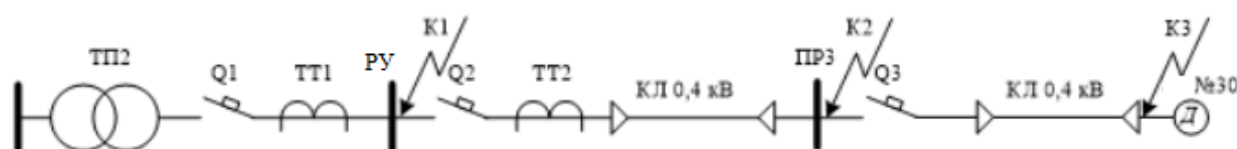


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

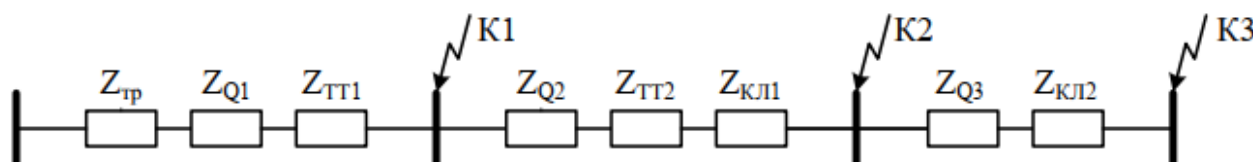


Рисунок 3.3 – Схема заміщення

Опір елементів.

Трансформатори:

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{1,220}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 2,0 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{5,363}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 8,6 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{2,0^2 + 8,6^2} = 8,8 \text{ мОм}.$$

Опір котушок максимального струму автоматів при номінальних струмах більше 1000 А не враховуються, тому опір автомата Q_1 не враховуємо.

Автомати Q_2, Q_3 :

$$Z_{Q2} = \sqrt{R_{Q2}^2 + X_{Q2}^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,10^2} = 0,2 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q3} = \sqrt{R_{Q3}^2 + X_{Q3}^2} = \sqrt{0,74^2 + 0,55^2} = 0,9 \text{ мОм}.$$

Опір первинної обмотки трансформаторів струму з коефіцієнтом трансформації $>1000/5$ не враховується, тому опір трансформатора струму $ТТ_1$ не враховуємо.

Трансформатор струму $ТТ_2$:

$$Z_{\text{ТТ}2} = \sqrt{R_{\text{ТТ}2}^2 + X_{\text{ТТ}2}^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,17^2} = 0,2 \text{ мОм}.$$

Кабельна лінія $КЛ_1$:

$$R_{\text{КЛ}1} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,206 \cdot 39,7}{2} = 4,1 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ}1} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 39,7}{2} = 1,2 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ}1} = \sqrt{R_{\text{КЛ}1}^2 + X_{\text{КЛ}1}^2} = \sqrt{4,1^2 + 1,2^2} = 4,3 \text{ мОм}.$$

Кабельна лінія $КЛ_2$:

$$R_{\text{KL2}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 4,1}{1} = 1,1 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{KL2}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 4,1}{1} = 0,2 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{KL2}} = \sqrt{R_{\text{KL2}}^2 + X_{\text{KL2}}^2} = \sqrt{1,1^2 + 0,2^2} = 1,1 \text{ мОм}.$$

Розрахунок струму короткого замикання точки К1.

Повний опір до точки К1:

$$Z_{\text{K1}} = Z_{\text{тр}} = 8,8 \text{ мОм}.$$

Струм короткого замикання в точці К1:

$$I_{\text{K1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{K1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8,8} = 26,2 \text{ кА}.$$

Стала часу:

$$T_{\text{a1}} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{8,6}{314 \cdot 2,0} = 0,0140 \text{ с}.$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{a1}}} = 1 + e^{-0,01/0,0140} = 1,490.$$

Ударний струм короткого замикання у точці К1:

$$i_{\text{уд,К1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,490 \cdot 26,2 = 55,3 \text{ кА}.$$

Подальші розрахунки зведемо до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8- Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	Z_{Σ} , мОм	$k_{\text{уд}}$	T_{a} , с	$I_{\text{к}}$, кА	$I_{\text{уд}}$, кА
К1	8.8	1.490	0.0140	26.2	55.3
К2	13.4	1.139	0.0051	17.2	27.7
К3	15.5	1.095	0.0043	14.9	23.2

3.2.4 Побудова карти селективності дії апаратів захисту

Карта селективності дії апаратів захисту будується в логарифмічній системі координат і служить для перевірки правильності вибору апаратів захисту. На карту селективності наносяться:

- номінальний та пусковий струм електроприймача;
- розрахунковий і піковий струм силової розподільної шафи;
- розрахунковий та піковий струм ввідного розподільного пристрою (за його наявності);
- розрахунковий і піковий струм підстанції;
- показники захисних апаратів;
- значення струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.

Дані навантаження та апаратів захисту для побудови карти селективності наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - Дані навантаження та апаратів захисту для побудови карти селективності

Вузол навантаження	ТП2	РПЗ	Кран-балка №30
Розрахунковий струм I_m , А	1519.3	328.4	-
Піковий струм $I_{лік}$, А	2188.5	997.6	-
Номінальний струм $I_{ном}$, А	-	-	136.6
Пусковий струм $I_{пуск}$, А	-	-	682.9
Струм КЗ I_k , А	26243.2	17179.2	14946.4
Тип апарату	ВА74 - 45	ВА52 - 39	ВА57 - 35
Умови спрацьовування за струмом-при перевантаженні $I_{ном.розр}$, А – при КЗ $I_{кз}$, А	2000 8000.0	400 4000.0	160.01280.0
Умови спрацьовування за часом, с	0.1	0.02	0

Карта селективності представлена в графічній частині роботи.

3.3 Висновки до розділу

1. Здійснено перевірку та вибір обладнання у мережі вище 1000 В: вимикачів та роз'єднувачів, трансформаторів струму, трансформаторів напруги.
2. Для забезпечення раціонального та економного використання електроенергії запропоновано систему автоматизованого комерційного обліку електроенергії.
3. Здійснено вибір захисних апаратів та січень ліній, що живлять РП та електроприймачів ремонтно-механічного цеху
4. Побудовано епюру відхилення напруги, з якої видно, втрата напруги в лініях відповідає нормі та січення придатні для експлуатації.
5. Здійснено розрахунок струмів КЗ у мережі до 1000 В.
6. Побудована карта селективності дії апаратів захисту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Напруга дотику. Класифікація електроустановок та приміщень з електробезпеки. Аналіз умов ураження людини електричним струмом

Гранично допустимі рівні напруги дотику та струму.

Напругою дотику називається напруга між двома точками кола струму, яких одночасно торкається людина.

Напруги дотику $U_{\text{пр}}$ і сила струму I , що протікає через тіло людини при нормальному (неаварійному) режимі електроустановки, не повинні перевищувати наступних значень:

Таблиця 4.1 – Значення напруги дотику і сили струму

Рід струму	$U_{\text{пр}}$, В, не більше	I , мА, не більше
Змінний, 50 Гц	2	0,3
Змінний, 400 Гц	3	0,4
Постійний	8	1

Сила струму, що протікає через тіло людини при тривалості дії понад 1 с, відповідає відпускаючим (змінним) і невеликим (постійним) струмам. Такі струми (6 мА змінного із частотою 50 Гц і 15 мА для постійного) дозволяють людині самостійно звільнитися від струмопровідних частин. Їх можна вважати довгостроково допустимими, якщо відсутні обставини, що посилюють небезпеку.

Класифікація електроустановок та приміщень з електробезпеки.

Електроустановки – це машини, апарати, лінії та допоміжне обладнання, що служить для трансформації, передачі, розподілу електричної енергії, а також споруди та будівлі, в яких вони встановлені.

З погляду заходів безпеки електроустановки поділяються на електроустановки напругою вище 1000 В мережах з ефективно заземленою

нейтраллю (з великими струмами замикання на землю); електроустановки напругою вище 1000 В у мережах із ізольованою нейтраллю (з малими струмами замикання на землю); електроустановки напругою до 1000 В із заземленою нейтраллю; електроустановки напругою до 1000 В із ізольованою нейтраллю.

Заземленою нейтраллю називається нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до заземлюючого пристрою безпосередньо або через малий опір.

Ізольованою нейтраллю називається нейтраль трансформатора, не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через прилади сигналізації, вимірювання, захисту, заземлювальні дугогасні реактори та подібні пристрої, що мають великий опір

Залежно від умов, що підвищують або знижують небезпеку ураження людини електричним струмом, ПУЕ ділять усі приміщення на:

Приміщення із підвищеною небезпекою, що характеризуються наявністю в них однієї з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку: вологості (відносна вологість повітря перевищує 75%); високої температури (температура повітря тривало перевищує 35 °С); струмопровідного пилу (вугільного, металевого); струмопровідних підлог (металевих, земляних, залізобетонних, цегляних тощо); можливості одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будівлі, що мають з'єднання із землею, та металевих корпусів електрообладнання.

Особливо небезпечні приміщення, де висока відносна вологість повітря (близька до 100 %) або хімічно активне середовище, що руйнує ізоляцію електрообладнання, або одночасно є дві або більше умов, що відповідають приміщенням з підвищеною небезпекою;

Приміщення без підвищеної небезпеки, у яких відсутні всі зазначені вище умови.

Небезпека ураження електричним струмом існує усюди, де використовуються електроустановки, тому не можна говорити про безпечні приміщення.

Аналіз умов ураження людини електричним струмом.

Ураження людини електричним струмом може статися у таких випадках:

- 1) при однофазному (однополюсному) дотику не ізолюваної від землі людини до неізолюваних струмоведучих частин електроустановок, що знаходяться під напругою;
- 2) при одночасному зіткненні людини із двома неізолюваними частинами (фазами, полюсами) електроустановок, що знаходяться під напругою;
- 3) при наближенні людини, не ізолюваної від землі, на небезпечну відстань до струмоведучих, не захищених ізоляцією частин електроустановок, що знаходяться під напругою;
- 4) при дотику людини, не ізолюваної від землі, до неструмоведучих металевих частин (корпусів) електроустановок, що знаходяться під напругою через замикання на корпус;
- 5) при зіткненні людини з двома точками землі (грунту), що знаходяться під різними потенціалами в полі розтікання струму (включення під крокову напругу);
- 6) при дії атмосферної електрики під час розряду блискавки;
- 7) через дію електричної дуги;
- 8) при звільненні іншої людини, яка перебуває під напругою.

Електричним замиканням на корпус називається випадкове електричне з'єднання струмоведучої частини з металевими неструмоведучими частинами електроустановки.

Пораження людини при випадковому дотику до струмоведучих частин електричної мережі залежить від схеми дотику людини, напруги мережі, схеми самої мережі, режиму нейтралі мережі, якості ізоляції струмопровідних частин від землі, ємності струмопровідних частин щодо землі і т.п.

Найбільшу небезпеку становить двофазний (двополюсний) дотик, тому що в цьому випадку людина опиняється під робочою напругою мережі,

У цьому випадку значення струму, що проходить через тіло людини, залежить тільки від напруги мережі і опору людини.

При дотику до однофазних (однополюсних) струмопровідних частин людина виявляється під напругою, що не перевищує фазної напруги.

У трифазній трьохпровідній мережі напругою до 1000 В за умови її малої протяжності ємнісним опором ізоляції можна знехтувати

Мережа із заземленою нейтраллю характеризується тим, що нейтральна точка джерела живлення з'єднана із землею через малий опір.

Струм, що проходить через людину, яка торкнулася фази в такій мережі, практично не залежить від стану ізоляції.

У разі аварійних режимів мережі (замикання на корпус або замикання на землю) умови змінюються.

У мережах з напругою вище 1000 В небезпека однофазного та двофазного дотику практично однакова та небезпечна для життя.

Крокова напруга - це напруга між двома точками кола на відстані кроку (0,8 м) і на яких одночасно стоїть людина. Такий випадок може виникнути, якщо людина опиниться в зоні розтікання струму, яка утворюється навколо будь-якого провідника, який опинився на землі або в землі. Найбільший електричний потенціал буде у місці зіткнення провідника із землею. У міру віддалення від цього місця потенціал поверхні ґрунту зменшується і на відстані близько 20 м може бути прийнятий рівним нулю. Перебіг струму шляхом «нога-нога» менш небезпечно, ніж шляхом «рука-ноги». Відомі нещасні випадки дії крокової напруги. Пораження при цьому посилюється тим, що через судомні скорочення м'язів ніг людина падає, після чого коло струму замикається вздовж тіла через життєво-важливі органи. Крім того, зріст людини більший його кроку і це зумовлює більшу різницю потенціалів.

Основні причини нещасних випадків:

- 1) випадковий дотик;
- 2) несправність захисних засобів;
- 3) поява напруги на металевих частинах обладнання;
- 4) поява напруги на відключених частинах обладнання;

5) виникнення крокової напруги.

4.2 Поглинена енергія випромінювання

Поглинена енергія випромінювання D - це фізична величина, що дорівнює відношенню середньої енергії, переданої випромінюванням речовині в деякому елементарному обсязі, до маси речовини в цьому обсязі:

$$D = \frac{dE}{dm},$$

де E - енергія;

m - маса речовини.

Одиницею поглиненої дози є грей (Гр); 1 Гр. = 1 Дж/кг. Застосовується також колишня одиниця рад. 1 Гр. = 100 рад.

Встановлено, що дія іонізуючого випромінювання на організм залежить не тільки від поглинутої дози, а й від просторового розподілу поглиненої енергії, що характеризується лінійною передачею енергії (ЛПЕ) заряджених частинок у середовищі.

Для порівняння біологічної дії різних видів випромінювання використовують поняття коефіцієнт якості, пов'язаний із ЛПЕ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розглянуто забезпечення надійності системи електропостачання інструментального заводу. Одержано наступні результати:

1. Розглянуто причини відмов основних елементів у системах електропостачання.
2. Для живлення окремих електроприймачів та РП вибрана радіальна схема, яка забезпечує необхідний ступінь надійності та необхідні за технологічними умовами гнучкість та універсальність.
3. Повна розрахункова потужність цеху становить 770 кВА. Повна розрахункова потужність з боку ВН трансформаторів ГПП становить 8217 кВА.
4. Для підключення підприємства прийнято напругу лінії живлення 35 кВ.
5. Розраховано центр електричних навантажень та побудована картограма навантажень, що дозволить уникнути великої протяжності кабельних ліній та скоротити втрати в них.
6. Для встановлення прийнято 10 трансформаторів потужністю 1000 кВА. Навантаження цехів поєднано таким чином, щоб ТП були завантажені оптимально. Здійснено розташування ЦТП територією підприємства.
7. Запропоновано схему зовнішнього електропостачання: два блоки з вимикачами та неавтоматичною перемичкою.
8. З урахуванням того, що підприємство належить до II категорії по надійності електропостачання, проведено вибір трансформаторів ГПП: 2 ТМН-6300/35.
9. Здійснено вибір січення кабелів мереж вище 1 кВ. Виконана перевірка за допустимим навантаженням з умов нагріву в нормальному режимі та з урахуванням допустимого навантаження у післяаварійному режимі.
10. Здійснено розрахунок струмів КЗ в мережі вище 1000 В.
11. Здійснено перевірку та вибір обладнання у мережі вище 1000 В: вимикачів та роз'єднувачів, трансформаторів струму, трансформаторів напруги.

12. Для забезпечення раціонального та економного використання електроенергії запропоновано систему автоматизованого комерційного обліку електроенергії.

13. Здійснено вибір захисних апаратів та січень ліній, що живлять РП та електроприймачів ремонтно-механічного цеху

14. Побудовано епюру відхилення напруги, з якої видно, втрата напруги в лініях відповідає нормі та січення придатні для експлуатації.

15. Здійснено розрахунок струмів КЗ у мережі до 1000 В.

16. Побудована карта селективності дії апаратів захисту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.В. Журахівський С.В. Казанський Ю.П. Матеєнко О.Р. Пастух. «Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж», підручник, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017
2. Рожков П. П. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність електричних мереж» для магістрів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітні програми «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Електротехнічні системи електроспоживання (освітньо-наукова)») / П. П. Рожков, С. Е. Рожкова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 85 с.
3. Інструкція про розслідування і облік технологічних порушень на об'єктах електроенергетики і в об'єднаній енергетичній системі України
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1165-05#Text>
4. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: "Высшая школа" 1990. – 366 с. Издание четвертое, переработанное и дополненное.
5. Решетник В.Я. Електричні системи і мережі: Навчальний посібник – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2010. - 191 с.
6. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Системи електропостачання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання / Давиденко В.А., Давиденко Н.В. – Рівне: НУВГП, 2018.- 32 с.
7. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
8. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України., - К., 2017.

9. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з курсу «Електропостачання промислових підприємств» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 6.05070108 «Енергетичний менеджмент», 6.05070101 «Електричні станції» ц двох частинах. Частина I / уклад.: Н.А. Дейнеко, К.В. Махотіло. – Х.: НТУ ХПІ, 2012. – 36 ст.

10. <https://leg.co.ua/info/vyklyuchатели/tehnicheskie-dannye-vozdushnyh-vyklyuchateley-s-pnevmaticheskim-privodom.html>

11. <http://www.em.dn.ua/vv/razed/rdz-35.htm>

12. <https://volttten.com/tfzm-35-transformator-toka-izmeritelnyj-maslyanyj/>

13. Шинькар, А.Р. Забезпечення надійності системи електропостачання промислових об'єктів. Є.В. Бацюра, Р.І. Шинькар, А.Р. Ухін, П.Б. Костецький, С.В. Осадчук, І.М. Сисак // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 24-25 листопада 2021. — Т : ТНТУ, 2021. — Том 2. — С. 9-10. — (Електротехніка та енерго-збереження).

14. Сисак І.М., et al. Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “*, 2017, 3: 89-89.

15. БУНЯК, Олег Андронікович; БОРИСЮК, Я. В. Розробка заходів зниження втрат електроенергії трансформаторної підстанції. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “*, 2018, 3: 6-6.

16. РЕШЕТНИК, Віктор; ВАКУЛЕНКО, Олександр Олексійович; КОРКУЛОВ, Валентин. Схемо-технічні рішення покращення якості електроенергії в мережах промислових підприємств. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті)*, 2018, 272-273.