

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

На тему:

Система електропостачання ремонтно-механічного цеху заводу із виготовлення запасних частин до тракторів

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТ-42
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Трач С.€

(підпис

(прізвище та ініціали)

Керівник

Белякова І.В

(підпис

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Коваль В.П

(підпис

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Коваль В.П

(підпис

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Трач Сергій Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система електропостачання ремонтно-механічного
цеху заводу із виготовлення запасних частин до тракторів

Керівник роботи Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2025 року № 4/7-51

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості про електричні навантаження

Генеральний план заводу

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., завідувач кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.03.2025	
2	Аналітичний розділ	28.03.2025	
3	Проектно-конструкторський розділ	31.04.2025	
4	Розрахунковий розділ	30.05.2025	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2025	
6	Загальні висновки	03.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2025	
8	Оформлення графічної частини	06.06.2025	

Студент

(підпис)

Трач С.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ–42. - Т. : ТНТУ, 2025.

Стор. 63; рис. 11; табл. 14; креслень -; джерел 19; додатків 0.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Система електропостачання ремонтно-механічного цеху заводу із виготовлення запасних частин до тракторів».

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху заводу із виготовлення запасних частин до тракторів.

Проведено визначення розрахункового електричного навантаження цеху, яке становить 380,2 кВА. Проведено визначення розрахункового електричного навантаження заводу, яке становить 4583,81 кВА. Побудована картограма електричних навантажень та визначено їх центр. Проведено вибір числа і потужності трансформаторів ЦТП. Вибрано 6 трансформаторів номінальною потужністю 1000 кВА. Запропонована схема зовнішнього електропостачання та схема внутрішньозаводської мережі 10 кВ. Визначено струми КЗ у мережі вище 1 кВ. Проведено розподіл приймачів по пунктам живлення. Вибрано захисні апарати для електроприймачів та захисні апарати для силових розподільних шаф. Проведено вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.

Ключові слова: ремонтно-механічний цех, завод, система електропостачання.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Об'єкт дослідження.....	8
1.2 Картограма навантаження. Оптимальне розміщення підстанцій по території підприємства.....	11
1.3 Проектування системи електропостачання промислового підприємства.....	14
1.4. Постановка задач.....	16
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	17
2.1. Визначення розрахункового електричного навантаження цеху....	17
2.2. Розрахункові навантаження заводу.....	22
2.3. Картограма електричних навантажень та визначення їх центру...	25
2.4. Вибір числа і потужності ЦТП.....	27
2.5 Схема зовнішнього електропостачання.....	29
2.6. Схема внутрішньозаводської мережі 10 кВ.....	31
2.7. Струми КЗ у мережі вище 1 кВ.....	36
2.8 Висновки до Розділу 2.....	39
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	40
3.1 Розподіл приймачів по пунктам живлення.....	40
3.2 Вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.....	48
3.3 Висновки до Розділу 3.....	55
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	56
4.1 Причини електротравм та умови ураження людини електричним струмом.....	56
4.2 Система засобів та заходів з безпечної експлуатації електроустановок.....	57

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61

ВСТУП

Актуальність теми. Ремонтно-механічний цех є важливою складовою виробничого процесу заводу з виготовлення запасних частин до тракторів. Саме в цьому підрозділі здійснюється виготовлення, обробка, ремонт та обслуговування основного технологічного обладнання, інструментів і механізмів, що безпосередньо впливають на ефективність і безперебійність виробництва. Для забезпечення надійної та безперервної роботи всього комплексу устаткування необхідною умовою є стабільне та безпечне електропостачання.

Актуальність розробки сучасної системи електропостачання обумовлена кількома факторами. По-перше, зростанням енергоспоживання внаслідок модернізації технологічного обладнання, яке вимагає високої якості електроенергії. По-друге, необхідністю підвищення енергоефективності підприємства, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку й енергозбереження. По-третє, дотриманням норм електробезпеки та відповідності чинним стандартам, що забезпечують захист працівників і обладнання від аварійних ситуацій.

Розробка нової або модернізація існуючої системи електропостачання також дозволяє гнучко реагувати на зміни у виробничих навантаженнях, забезпечуючи можливість розширення або перепрофілювання цеху в майбутньому. Таким чином, проектування системи електропостачання ремонтно-механічного цеху є не лише технічно доцільним, а й економічно вигідним рішенням.

Тому, розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху заводу із виготовлення запасних частин до тракторів є актуальною задачею.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання ремонтно-механічного цеху заводу із виготовлення запасних частин до тракторів.

Завдання:

1. Провести визначення розрахункового електричного навантаження цеху;
2. Провести визначення розрахункового електричного навантаження заводу;
3. Побудувати картограму електричних навантажень та визначити їх центр;
4. Провести вибір числа і потужності трансформаторів ЦТП;
5. Запропонувати схему зовнішнього електропостачання та схему внутрішньозаводської мережі 10 кВ;
6. Визначити струми КЗ у мережі вище 1 кВ;
7. Провести розподіл приймачів по пунктам живлення;
8. Провести вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Об'єкт дослідження.

Ремонтно-механічний цех призначений для ремонту технологічного та підйомно-транспортного обладнання. Безпосередньо в ремонтно-механічному цеху проводяться середні та капітальні ремонти обладнання, яке може бути доставлене в цех (станіни, вантажні візки кранів), а ремонт інших вузлів та подальше складання машини проводяться на місці установки машини.

Також у ремонтно-механічному цеху можуть виконуватися такі роботи, як термічна обробка деталей, виготовлення інструменту прокатних станів, нестандартного обладнання, зварювальні роботи, наплавлення.

Таблиця 11 - Відомості про електричні навантаження досліджуваного підприємства.

Номер на плані	Найменування цеху	Встановлена потужність, кВт
1.	Механічний	450,0
2.	Термічний	360,0
3.	Заготівельний	200,0
4.	Інструментальний	580,0
5.	Ковальський	920,0
6.	Котельня	800,0
7.	Електроцех	390,0
8.	Експериментальний	200,0
9.	Компресорна 10 кВ (синхронний двигун) 0,38 кВ	700,0 45,0
10.	Насосна	700,0
11.	Лабораторія	160,0
12.	Ремонтно-механічний	-

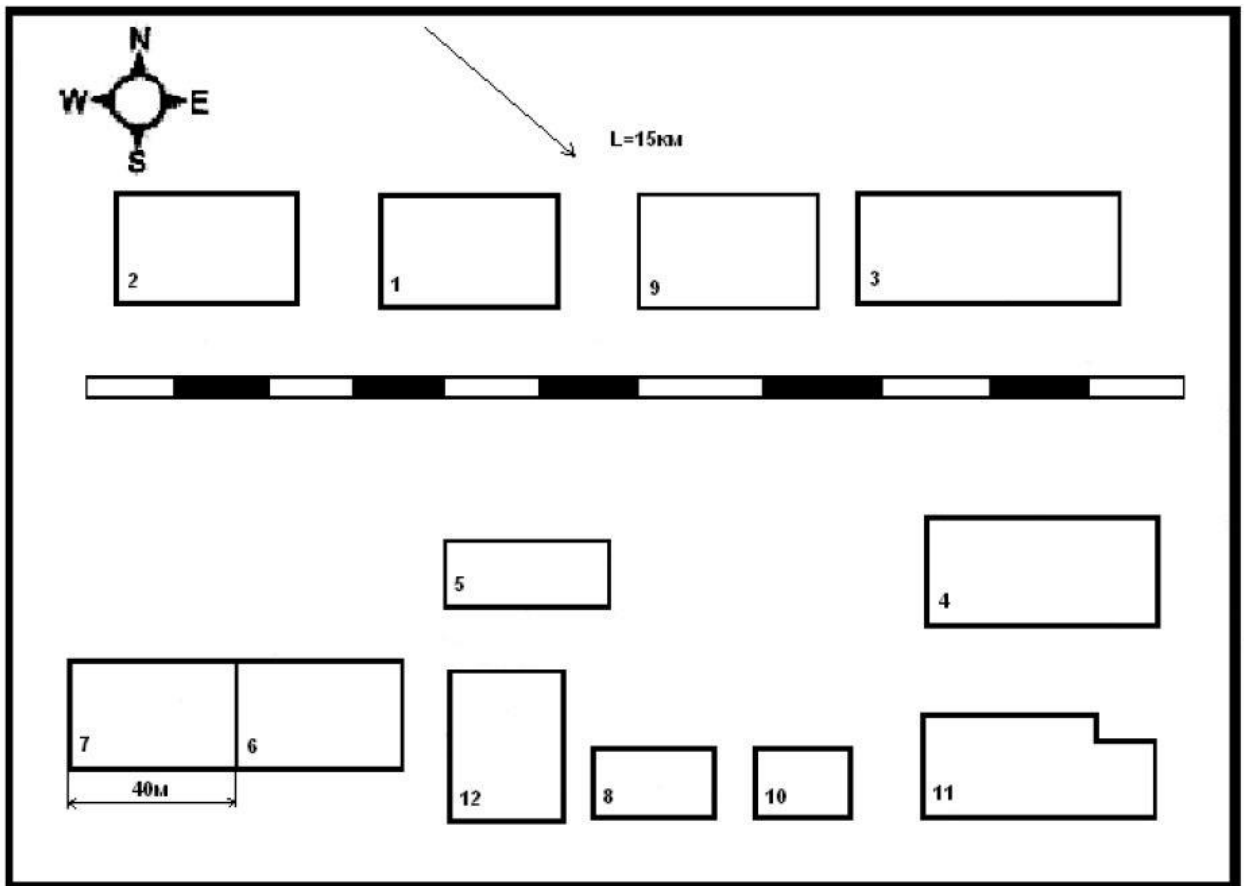


Рисунок 1.1 – Генеральний план заводу із виробництва запасних деталей до тракторів

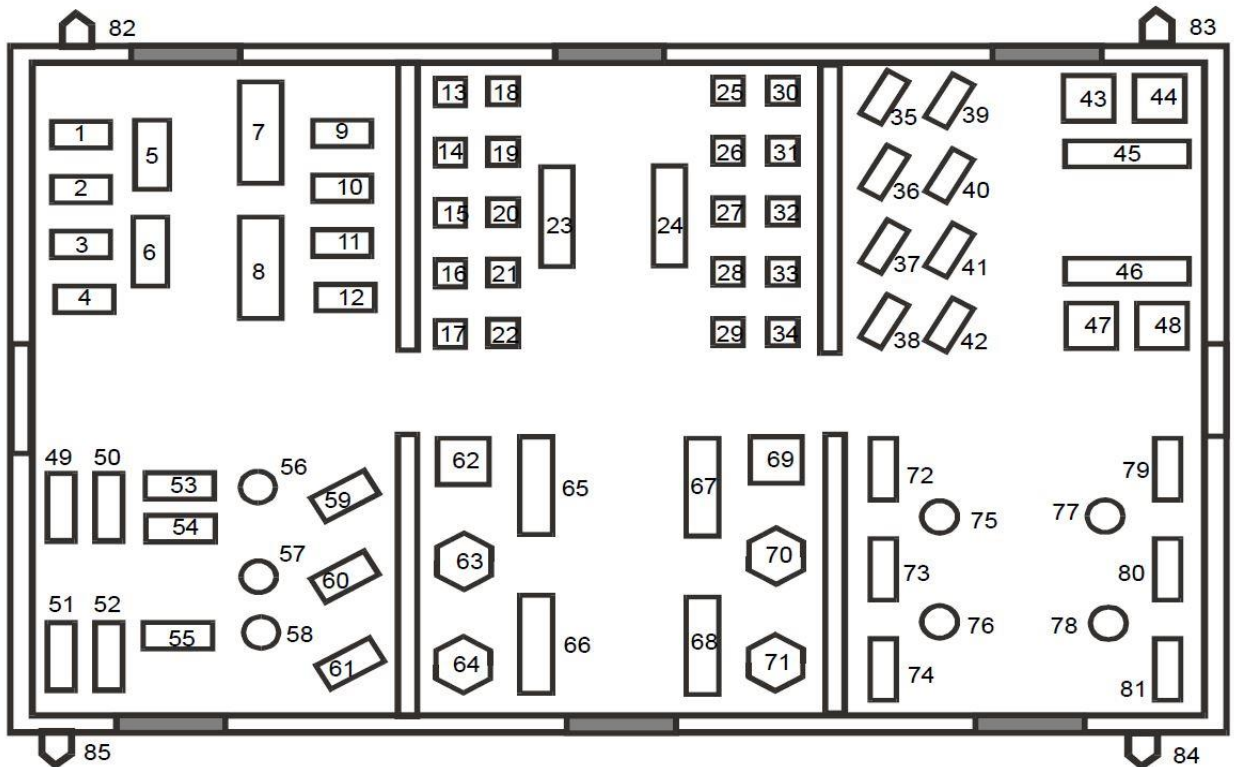


Рисунок 1.2 - План ремонтно-механічного цеху.

Таблиця 1.2 - Відомості про ЕН ремонтно-механічного цеху.

Номер на плані	Найменування електроприймача	K_B	$\cos\varphi$	P_n , кВт
1-4, 9-13	Токарно-гвинторізний верстат	0.15	0.5	4.0
5-8	Настільно-свердлильний верстат	0.15	0.5	0.9
14-22, 25-34	Токарно-гвинторізний верстат	0.15	0.5	3.0
23,24	Універсально-фрейзерний верстат	0.14	0.6	5.4
35-42	Металорізальний верстат	0.25	0.5	3.5
43,44, 47,48	Поперечно-стругальний верстат	0.17	0.65	4.1
45,46	Довжинний верстат	0.24	0.65	3.0
49-52	Транс. зварювальний ПВ = 40%	0.3	0.35	4.7
53-55	Намотувальний верстат	0.15	0.5	2.4
56-58	Вертикально-свердлили. верстат	0.15	0.5	2.4
59-61	Сушильна електрич.	0.75	0.95	6.3
62,69	Верстат відрізний з диском.	0.15	0.5	2.8
63,64, 70,71	Прес гідравлічний	0.65	0.8	5.1
65-68	Прес фрикційний	0.65	0.8	9.0
72-74, 79-81	Транс. зварювальний ПВ = 40%	0.3	0.35	39.0
75-78	Перетворювач зварювальний	0.3	0.5	16.0
82-85	Вентилятори	0.65	0.8	22.0

Дані таблиці були прийняті згідно з [2].

1.2 Картограма навантаження. Оптимальне розміщення підстанцій по території підприємства

Для того, щоб визначити центр електричних навантажень (ЦЕН) під час проектування на генеральний план підприємства відповідно наноситься картограма електричних навантажень. Дана картограма являє собою розміщені на плані окружності, при чому площа даних окружностей πr_i^2 у вибраному масштабі m дорівнює розрахунковим навантаженням P_i [1-4]:

$$P_i = \pi r_i^2 m,$$

звідки радіус окружності:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}}.$$

Кожне коло картограми розділяють на відповідні сектори, які дорівнюють навантаженням.

Картограму електричних навантажень необхідно наносити на план підприємства окремо для активного та реактивного навантаження. Значення активного навантаження дає змогу вибрати правильне місце розташування підстанції живлення (ГРП) усього промислового підприємства, а також окремих цехових ТП. Значення реактивного навантаження дозволяє визначити місце встановлення компенсуючих пристроїв (для прикладу батарей конденсаторів).

Є три методи, які дають змогу математично визначати ЦЕН [1-4]:

- Перший метод дає змогу визначити ЦЕН у випадку, коли електричні навантаження цехів рівномірно розподілені по всій площі досліджуваного цеху. Якщо розрахункове навантаження цеху P_i , а координати центру кола, які позначає це електричне навантаження, x_i , y_i , то у довільно прийнятій на генеральному плані системі координат можливо знайти координати центру електричних навантажень за відповідними формулами [1-4]:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

- Другий метод ураховує тривалість T_i роботи окремих цехів чи груп електроспоживачів. В цьому випадку координати центру електричних навантажень визначаються по формулам:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i};$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}.$$

- Третій метод, відповідно якого раціональне розташування має відповідати мінімумові розрахункових витрат, передбачає що для того щоб визначити центр електричних навантажень потрібно розв'язати систему алгебраїчних виразів.

Перечислені методи дають змогу визначити центр електричних навантажень у вигляді деякого умовного центру, оскільки у дійсності центр електричних навантажень постійно зміщується у зв'язку зі зміною графіку електричного навантаження, розвитку змінності та змінності навантаження, припаданням ЦЕН на проїжджу частину заводу. ПС розташовують біля теоретичного центру електричних навантажень із координатами X_0 та Y_0 .

На рисунку 1.3 показано приклад картограми навантажень з розміщенням ЦЕН.

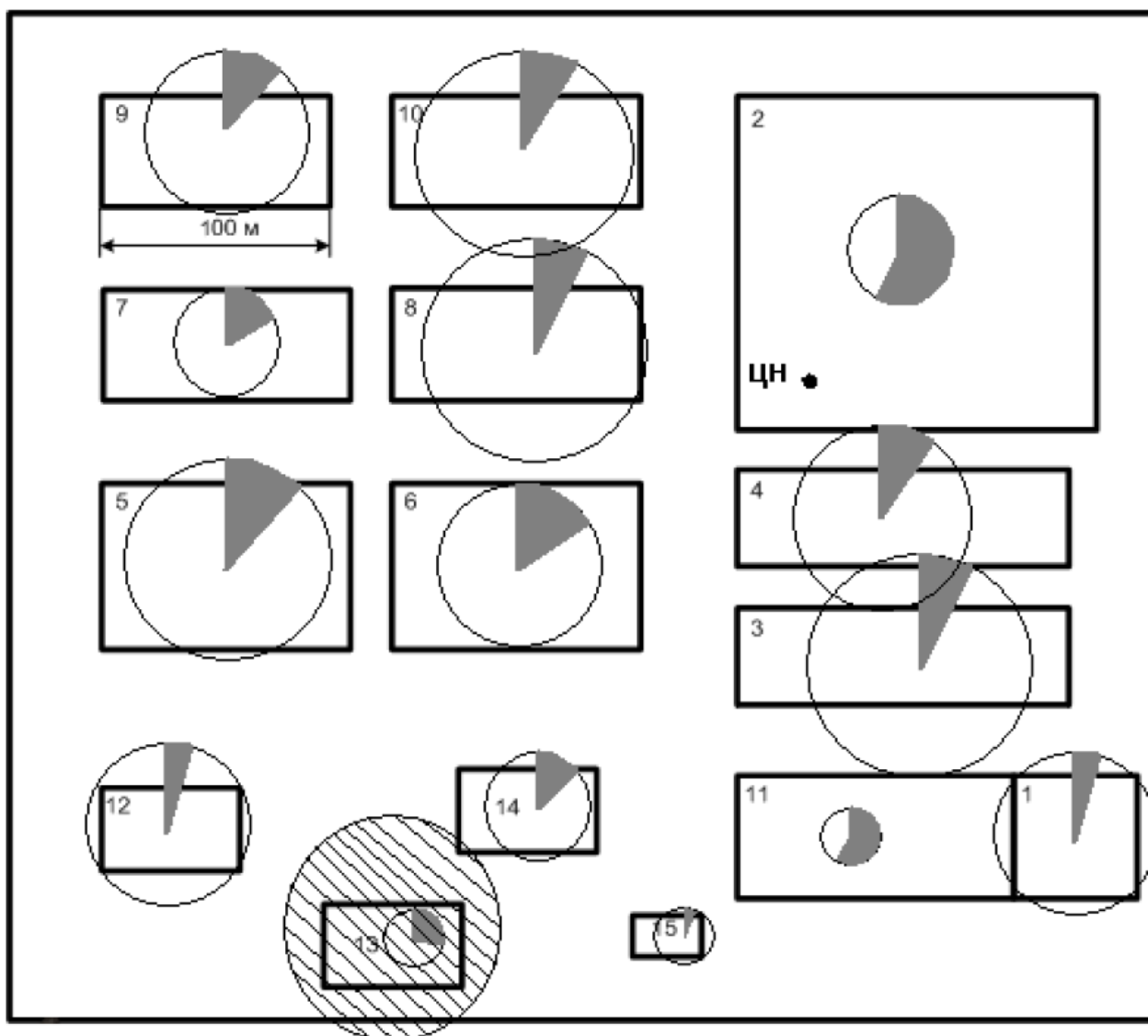


Рисунок 1.3 – Приклад картограми навантажень з розміщенням ЦЕН.

На рисунку 1.4 показано приклад генерального плану промислового підприємства з картограмою електричних навантажень та розташуванням ГПП.

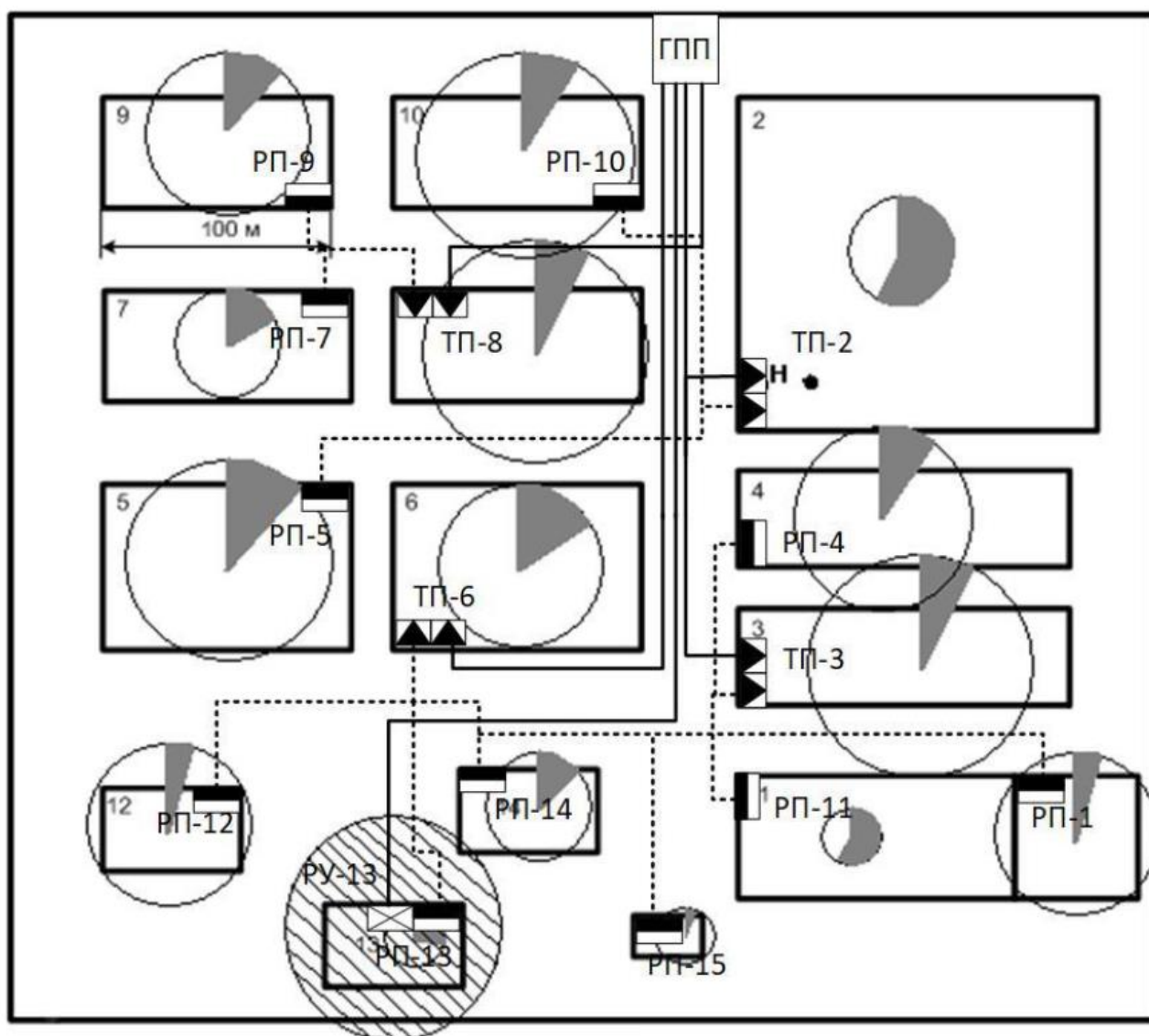


Рисунок 1.4 - Приклад генерального плану промислового підприємства з картограмою електричних навантажень та розташуванням ГПП

1.3 Проектування системи електропостачання промислового підприємства.

Під час проектування системи електропостачання промислового підприємства вирішується комплекс завдань, спрямованих на забезпечення надійного, безпечного та ефективного енергозабезпечення технологічних і побутових споживачів. Основні з них включають:

1. Визначення розрахункових електричних навантажень. Здійснюється аналіз споживачів електроенергії з урахуванням особливостей технологічного процесу, режимів роботи обладнання та рівнів автоматизації. На основі зібраних даних виконується розрахунок загального навантаження підприємства.

2. Вибір джерела живлення та рівня напруги. Обґрунтовується підключення підприємства до існуючих енергетичних мереж з урахуванням необхідної потужності, надійності та категорії електроприймачів. Визначається доцільний рівень напруги (низька, середня або висока) для підключення.

3. Розробка схеми електропостачання. Визначається оптимальна структура зовнішніх та внутрішніх електричних мереж, включаючи трансформаторні підстанції, розподільчі пристрої, кабельні і ПЛ. Обираються способи прокладання кабелів та їх технічні характеристики.

4. Підбір електротехнічного обладнання. Виконується вибір трансформаторів, комутаційної апаратури, пристроїв захисту та автоматики. Здійснюються необхідні технічні розрахунки для забезпечення відповідності обладнання умовам експлуатації та нормативним вимогам.

5. Забезпечення надійності електропостачання. Проєктом передбачено заходи для підвищення надійності системи, зокрема впровадження схем резервування живлення, автоматичного вводу резерву (АВР), джерел безперебійного живлення (ДБЖ) для критичних споживачів.

6. Енергетична ефективність і оптимізація витрат. Проєктні рішення спрямовані на зниження втрат електроенергії, ефективне керування навантаженням і раціональне використання енергоресурсів. Передбачено впровадження енергозберігаючих технологій та засобів обліку.

7. Забезпечення електробезпеки. Передбачено заходи щодо захисту персоналу та обладнання: системи захисного заземлення, вирівнювання потенціалів, застосування пристроїв захисного відключення та засобів захисту від перенапруг.

8. Дотримання вимог нормативних документів. Проєкт розроблено відповідно до діючих нормативно-правових актів, стандартів та правил: ДБН, ПУЕ [5], ПТЕЕС, а також з урахуванням вимог з ОП, пожежної безпеки та екологічних стандартів.

9. Узгодження з іншими інженерними системами. Система електропостачання інтегрується з іншими інженерними мережами підприємства (системами автоматизації, вентиляції, опалення тощо) для забезпечення безперебійної роботи виробничих процесів.

1.4. Постановка задач

1. Провести визначення розрахункового електричного навантаження цеху;
2. Провести визначення розрахункового електричного навантаження заводу;
3. Побудувати картограму електричних навантажень та визначити їх центр;
4. Провести вибір числа і потужності трансформаторів ЦТП;
5. Запропонувати схему зовнішнього електропостачання та схему внутрішньозаводської мережі 10 кВ;
6. Визначити струми КЗ у мережі вище 1 кВ;
7. Провести розподіл приймачів по пунктам живлення;
8. Провести вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1. Визначення розрахункового електричного навантаження цеху

Таблиця 2.1 - Характеристика середовища виробничих приміщень та основних споживачів електроенергії.

№ на плані	Найменування цеху	Категорія ЕП за рівнем безперебійності живлення (згідно ПУЕ)	Середовище
1.	Механічний	III	нормальна
2.	Термічний	II	жарка, наявна пилюка
3.	Заготівельний	III	нормальна
4.	Інструментальний	III	нормальна
5.	Ковальський	III	жарка, наявна пилюка
6.	Котельня	II	жарка
7.	Електроцех	III	нормальна
8.	Експериментальний	III	нормальна
9.	Компресорна 10 кВ (СД) 0,38 кВ	II	нормальна
10.	Насосна	II	нормальна
11.	Лабораторія	III	нормальна
12.	Ремонтно-механічний	III	нормальна

Правильне визначення очікуваних електричних навантажень – основа раціонального вирішення всього комплексу технологічних питань під час проектування електропостачання підприємства [2, 9].

Розрахунок силових навантажень цеху проведено «методом упорядкованих діаграм», тобто, методом коефіцієнта попиту та коефіцієнта максимуму. Розрахунок за цим методом проводиться у наступній послідовності.

Для правильного вибору перерізів ліній, комутаційних та захисних апаратів проводиться розрахунок ремонтно-механічного цеху.

Середнє активне навантаження визначається за формулою (на прикладі токарно-гвинторізного верстата):

$$P_{cm} = K_6 \cdot P_{ном}, \text{ кВт};$$

$$P_{cm} = 0,15 \cdot 4 = 0,6 \text{ кВт};$$

Середнє реактивне навантаження знаходиться за такою формулою:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр};$$

$$Q_{cm} = 0,6 \cdot 1,73 = 1,02 \text{ кВАр};$$

де K_6 - коефіцієнт використання активної потужності;

Визначення $K_{6.ср}$ за групою А:

$$K_{6.ср} = \frac{\Sigma P_{cm}}{\Sigma P_{ном}} = \frac{97,49}{402} = 0,24.$$

Для приймачів групи А визначається ефективне число електроприймачів n_{ef} . Так як $m > 3$ і $K_6 > 0,2$ ефективна кількість електроприймачів n_{ef} буде визначена за загальною формулою:

$$n_{ef} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{ном}}{P_{ном}^{max}} = \frac{2 \cdot 402}{27,4} = 29,3 = 30.$$

де $\Sigma P_{ном}$ – сумарна номінальна потужність всіх електроприймачів цієї групи.

Коефіцієнт максимуму активної потужності визначається за кривими залежно від $K_{6.ср}$ та n_{ef} . При $K_{6.ср} = 0,24$ і $n_{ef} = 30$ коефіцієнт максимуму дорівнює $K_m = 1,38$ [2].

Розрахункова активна P_m та реактивна Q_m максимальні потужності групи:

$$P_m = K_m \cdot P_{cm} = 1,38 \cdot 97,49 = 134,54, \text{ кВт}$$

$$Q_m = Q_{cm} = 207,3, \text{ кВАр, при } n_{ef} > 10;$$

Для електричних приймачів групи Б:

$$P_m = P_{cm} = 108,04 \text{ кВт}$$

$$Q_m = Q_{cm} = 75,08, \text{ кВАр}$$

Освітлювальне навантаження знаходиться за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту:

$$P_{po} = K_{co} \cdot P_{no} = 0,85 \cdot 14,13 = 12,01, \text{ кВт}$$

$$P_{no} = P_{y\partial.o} \cdot F_{\text{ц}} = 0,015 \cdot 942,1 = 14,13, \text{ кВт}$$

де $K_{co} = 0,85$ - коефіцієнт попиту виробничих будівель, які складаються з низки окремих приміщень [2];

$P_{y\partial.o} = 15 \text{ кВт} / \text{м}^2$ – питома густина освітлювального навантаження;

$$F_{\text{ц}} = 942,1 \text{ м}^2.$$

Таблиця 2.2 - Розрахункові навантаження цеху.

№ п/п	Магістралі живлення і групи електроприймачів	Кількість ЕП n	Встановлено потужність, приведено до ПВ=100%, кВт		$m = P_{H, MKC} / P_{H, MH}$	Коефіцієнт використання Кв.	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	Середнє навантаження		$\rho_{\text{сф}}$	K_M	Максимальне навантаження		
			Одного ЕП (найбільшого, найменшого), P_H	Загальна P_H				$P_{\text{сш}} = K_{\text{с}} \cdot P_{\text{сш}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{сш}} = P_{\text{сш}} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{сш}}, \text{кВАр}$			$P_M = K_M \cdot P_{\text{сш}}, \text{кВт}$	$Q_P = Q_{\text{сш}} \cdot \operatorname{при} n_{\text{сф}} > 10$ $Q_P = 1,1 \cdot Q_{\text{сш}} \cdot \operatorname{при} n_{\text{сф}} \leq 10$	$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \text{кВА}$

	Приймачі групи А													
1.	Верстати різні	40	0.9-4	116.6		0.15	0.5/1.73	17.49	30.26					
2.	Універсально-фрезерний верстат	2	5.4	10.8		0.14	0.6/1.33	1.51	2.01					
3.	Металорізальний верстат	8	3.5	28		0.25	0.5/1.73	7.0	12.11					
4.	Поперечно-стругальний верстат	4	4.1	16.4		0.17	0.65/1.17	2.79	3.26					
5.	Довжинний верстат	2	3.0	6		0.24	0.65/1.17	1.44	1.68					
6.	Транс. зварювальний ПВ = 40%	10	3-24.7	160.2		0.3	0.35/2.68	48.06	128.8					
7.	Перетворювач зварювальний	4	16	64		0.3	0.55/1.52	19.2	29.18					
	Разом за гр. А	70,0	0.9- 24.7	402	>3	0.24	-	97.49	207.3	30	1.38	134.54	207.3	
	Приймачі групи Б													
8.	Вентилятор	4	22	88		0.65	0.8/0.75	57.2	42.9					
9.	Сушильний електрич. шафа	3	6.3	18.9		0.75	0.95/0.33	14.18	4.68					
10.	Преси	8	5.1-9.0	56.4		0.65	0.8/0.75	36.66	27.5					

Продовження таблиці 2.2

	Разом по групі Б	15	5.1-22	163.3	-	-	-	108.04	75.08	-	1	108.04	75.08	
	Разом силового навантаження (гр. А і Б)	85	0.9-24.7	565.3	-	-	-	205.53	282.38	-	-	242.58	282.38	
	Електричне освітлення	-	-	14.13/78	-	K _c =0.85	-	12.01	-	-	-	12.01	-	
	Разом силове і освітлювальне навантаження цеху	85	0.9-24.7	579.43	-	-	-	217.54	282.38	-	-	254.59	282.38	380.2

2.2. Розрахункові навантаження заводу.

Активне та реактивне навантаження силових приймачів (окрім розглянутого) визначається із співвідношень [1-4, 9]:

$$P_p = K_c \cdot P_n;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

Розрахунок освітлювального навантаження ідентичний розрахунку освітлювального навантаження цеху. Але у разі густини навантаження на одиницю площі береться $10 - 20 \text{ Вт} / \text{м}^2$, а коефіцієнт попиту по освітлювальному навантаженню $K_{co} = 0,6 - 1,0$, залежно від виробничого будинку.

Приймачі напругою вище 1 кВ враховуються окремо.

Визначається розрахункове навантаження ЕП до 1000 В:

$$\Sigma P_p'' = 3463,58 \text{ кВт}$$

$$\Sigma Q_p'' = 3459,7 \text{ кВАр}$$

$$\Sigma P_{po} = 178,1 \text{ кВт}$$

ЕП вище 1000 В:

$$\Sigma P_p^e = 350 \text{ кВт}$$

$$\Sigma Q_p^e = 357 \text{ кВАр}$$

Оскільки трансформатори ЦТП ще не обрані, то:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p'' = 0,02 \cdot 5023,08 = 100,46 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p'' = 0,1 \cdot 5023,08 = 502,31 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_p'' = 0,03 \cdot 5023,08 = 150,69 \text{ кВт}$$

$$S_p'' = \sqrt{(\Sigma P_p'' + \Sigma P_{po})^2 + \Sigma Q_p''^2} = \sqrt{(3463,58 + 178,1)^2 + 3459,7^2} = 5023,08 \text{ кВА}$$

Таблиця 2.3 - Розрахункові навантаження 400 В та 10 кВ по цехах заводу за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту.

Номер за ген-планом	Найменування споживачів (цехів)	Силове навантаження					Освітлювальне навантаження					Силове і освітлювальне навантаження		
		P_n , $кВт$	K_c	$\cos\varphi / \tg\varphi$	P_p , $кВт$	Q_p , $кВАр$	$F, м^2$	$P_{уд.о}$, $Вт / м$	$P_{но}$, $кВт$	K_{co}	P_{po} , $кВт$	$P_p + P_{po}$, $кВт$	Q_p , $кВАр$	S_p , $кВА$
Споживачі електроенергії 0.38 кВ														
1.	Механічний	450	0.6	0.7/1.02	270	275.4	1168	15	17.52	0.85	14.9	284.9	275.4	396.25
2.	Термічний	360	0.65	0.7/1.02	234	238.68	1168	15	17.52	0.85	14.9	248.9	238.68	344.85
3.	Заготівельний	200	0.6	0.7/1.02	120	122.4	1727	15	25.91	0.85	22	142	122.4	187.47
4.	Інструментальний	580	0.7	0.7/1.02	406	414.12	1524	15	22.86	0.85	19.5	425.5	414.12	593.76
5.	Ковальський	920	0.7	0.7/1.02	644	656.88	685	15	10.28	0.95	8.8	652.8	656.88	926.09
6.	Котельня	800	0.65	0.7/1.02	520	530.4	1066	15	15.99	0.95	13.6	533.6	530.4	752.37
7.	Електроцех	390	0.6	0.7/1.02	234	238.68	1066	15	15.99	0.85	13.6	247.6	238.68	343.91
8.	Експериментальний	200	0.6	0.7/1.02	120	122.4	522	15	7.83	0.95	6.6	126.6	122.4	176.09
9.	Компресорна	45	0.5	0.7/1.02	20	20.4	1168	15	17.52	0.95	14.9	34.9	20.4	40.42
10.	Насосна	700	0.75	0.75/0.88	525	462	391	15	5.87	0.85	5.0	530	462	703.1
11.	Лабораторія	160	0.8	0.8/0.75	128	96	1408	15	21.12	0.85	18.0	146	96	174.73
12.	Ремонтно-механічний	380.2			242.58	282.38	942	15	14.13	0.85	12.01	254.59	282.38	380.20
Територія заводу							65032	0.22	14.3	1	14.3	14.3		
Разом по 0.38 кВ		5185			3463.58	3459.7	$\sum F_{\Pi}=12835$		206.84		178.1			
Споживачі електроенергії 10 кВ														
13.	Компресорна	700	0.5	0.7/1.02	350	357						350	357	499.9
Разом по 10 кВ		700			350	357						350	357	499.9

Активна потужність заводу, приведена до шин 10 кВ:

$$P_{p\Sigma} = (\Sigma P_p^H + \Sigma P_p^6) K_{pm} + \Sigma P_{po} + \Delta P_T + \Delta P_{\text{л}} = \\ = (3463,58 + 350) 0,95 + 178,1 + 100,46 + 150,69 = 4052,15 \text{ кВт}$$

де $K_{pm} = 0,95$ (для шин 10 кВ) - характеризує зміщення максимуму окремих ЕП у часі, що спричиняє зниження сумарного графіка навантаження порівняно із сумою максимумів окремих ЕП або груп ЕП.

$$Q_{p\Sigma} = (\Sigma Q_p^H + \Sigma Q_p^6) K_{pm} + \Delta Q_T = (3459,7 + 357) 0,95 + 502,31 = 4128,18 \text{ кВАр}.$$

Повне розрахункове навантаження, приведене до шин 10 кВ:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{4052,15^2 + 4128,18^2} = 5784,62 \text{ кВА}.$$

Оскільки трансформатори ГПП ще не обрані, втрати потужності в трансформаторах визначаються з наступних співвідношень:

$$\Delta P_T^{I\text{III}} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 5784,62 = 115,69 \text{ кВт}.$$

$$\Delta Q_T^{I\text{III}} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 5784,62 = 578,46 \text{ кВАр}$$

Якусь частину реактивної потужності одержують із системи - Q_c . Для КРП можливо перевести синхронний двигун у режим збудження, також можна поставити конденсаторні батареї.

Величина компенсованої реактивної потужності:

$$Q_{ky} = Q_{pc} - Q_c$$

Величина Q_c не відома, але можна на даному етапі проектування її оцінити.

$$Q_c = \alpha P_{p\Sigma},$$

де $\alpha = 0,24$.

$$\alpha = 0,24 \text{ при } U_n = 35 \text{ кВ};$$

$$\alpha = 0,29 \text{ при } U_n = 110 \text{ кВ};$$

$$\alpha = 0,40 \text{ при } U_n = 220 \text{ кВ}.$$

У випадку коли розрахункова потужність заводу S_p^{III} не перевищує 10 МВА, то економічно доцільно прийняти $U_n = 35 \text{ кВ}$, якщо $S_p^{III} = 10 \div 150 \text{ МВА}$ – $U_n = 110 \text{ кВ}$, при $S_p^{III} > 150 \text{ МВА}$ – $U_n = 220 \text{ кВ}$.

Оскільки $S_p^{III} = 5784.62 \text{ МВА} < 10, \text{ МВА}$ приймається $U_n = 35 \text{ кВ}$, отже, $\alpha = 0,24$.

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 4052,15 = 972,52 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{ку}} = Q_{p\Sigma} - Q_c - Q_{\text{сд}} = 4128,18 - 972,52 - 357 = 2798,66 \text{ кВАр}$$

Тоді:

$$\begin{aligned} S_p^{III} &= \sqrt{(\Sigma P_{p\Sigma} + \Delta P_{T,III})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{p\Sigma} - Q_{\text{ку}})^2} = \\ &= \sqrt{(4052,15 + 115,69)^2 + (4128,18 + 578,46 - 2798,66)^2} = 4583,81 \text{ кВА} . \end{aligned}$$

2.3. Картограма електричних навантажень та визначення їх центру.

Радіуси кіл для цехів знаходяться із виразу:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}},$$

де $m = 1,8$, $[кВА / мм^2]$.

Центр електричного навантаження співпадає з центром фігури, яка зображує цех на генеральному плані.

Кут сектора визначається по формуле:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}}.$$

Координати ЦЕН заводу x_0 і y_0 :

$$x_0 = \frac{\Sigma S_{pi} \cdot x_i}{\Sigma S_{pi}}$$

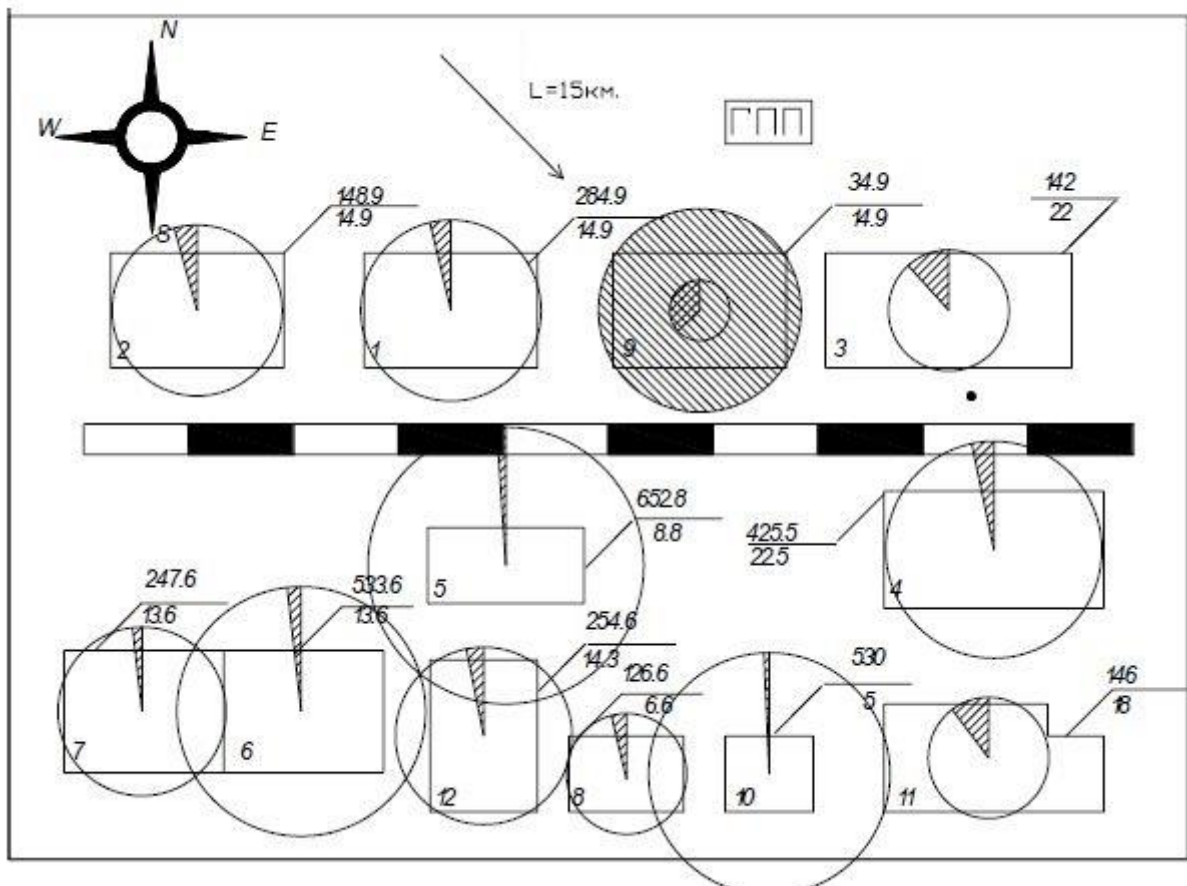
$$y_0 = \frac{\Sigma S_{pi} \cdot y_i}{\Sigma S_{pi}}$$

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{794227.4}{5519.14} = 143.9$$

$$y_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{428570.5}{5519.14} = 77.65$$

Таблиця 2.4 - Розрахункові дані побудови картограми електричних навантажень.

Номер цеху з генплану	S _{pi} , кВА	P _{po} , КВт	r, мм	α, град	x _i , мм	y _i , мм	S _{pi} ·x _i , кВА·м	S _{pi} ·y _i , кВА·м
Споживачі 0.38 кВ								
1.	396.25	14.9	8.37	13.54	47.6	154.3	18861.5	61141.38
2.	344.85	14.9	7.81	15.55	114.3	154.3	39416.36	53210.36
3.	187.47	22	5.76	42.25	240.0	154.3	44992.8	28926.62
4.	593.76	19.5	10.25	11.82	253.4	76.2	150458.8	45244.51
5.	926.09	8.8	12.8	3.42	127.6	76.2	118169.1	70568.06
6.	752.37	13.6	11.54	6.51	76.2	41.9	57330.59	31524.3
7.	343.91	13.6	7.8	14.24	36.2	41.9	12449.54	14409.83
8.	176.09	6.6	5.58	13.49	160.0	24.8	28174.4	4367.032
9.	40.42	14.9	2.67	132.71	177.2	154.3	7162.424	6236.806
10.	703.1	5.0	11.153	2.56	196.2	24.8	137948.2	17436.88
11.	174.73	18.0	5.56	37.09	249.6	30.5	43612.61	5329.265
12.	380.20	12.01	8.2	11.37	123.8	34.3	47068.76	13040.86
Споживачі 10 кВ								
13.	499.9		9.4		177.2	154.3	88582.28	77134.57
Разом	5519.14						794227.4	428570.5



Риснок 2.1 – Генплан підприємства з картограмою навантаження.

2.4. Вибір числа і потужності ЦТП

Питома густина навантаження визначається за такою формулою:

$$\sigma = \frac{S_p^n}{F_{\text{цехів}}} = \frac{5784,68}{12835,0} = 0,451 \text{ BA} / \text{м}^2.$$

Прийmemo $S_{н.тр} = 1000 \text{ кВА}$.

Мінімальна кількість трансформаторів цехових ТП [10].

$$N_0 = \frac{\Sigma(P_p^n + P_{po})}{\beta_T \cdot S_{н.тр}} = \frac{3463,58 + 178,1}{0,7 \cdot 1000} = 5,22,$$

$N = 6$ трансформаторів,

β_T – коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі, приймається 0,7.

Активне навантаження на один трансформатор:

$$P_1 = \frac{P_p + P_{po}}{N} = \frac{3463.58 + 178.1}{6} = 606.95 \text{ кВт}.$$

Число трансформаторів для встановлення в цехах підприємства:

$$N_i = \frac{(P_{p.o.} + P_p)_i}{P_1}.$$

Таблиця 2.5 - Число трансформаторів у цеху.

№ п/п	Назва цехів	$P_p + P_{po}$, кВт	Кількість трансформаторів, N_i , шт.
1.	Механічний	284.9	0.47
2.	Термічний	248.9	0.41
3.	Заготівельний	142	0.23
4.	Інструментальний	425.5	0.70
5.	Ковальський	652.8	1.08
6.	Котельня	533.6	0.88
7.	Електроцех	247.6	0.41
8.	Експериментальний	126.6	0.21
9.	Компресорна	34.9	0.06
10.	Насосна	530	0.87
11.	Лабораторія	146	0.24
12.	Ремонтно-механічний	254.59	0.42

Таблиця 2.6 - Розподіл електричних навантажень за пунктами живлення.

№ п/п	Назва пункту живлення	Споживачі енергії	Місце розташування пункту живлення на генплані	Примітки
1	ТП – 5	Цехи – 5,6,7,8,12	Цех – 5	
2	ТП – 9	Цехи – 1,2,3,4,9	Цех – 9	
3	ТП – 4	Цехи – 10,11	Цех – 4	
4	РП - 1	Цех - 9	Цех – 9	Споживачі вище 1000 В

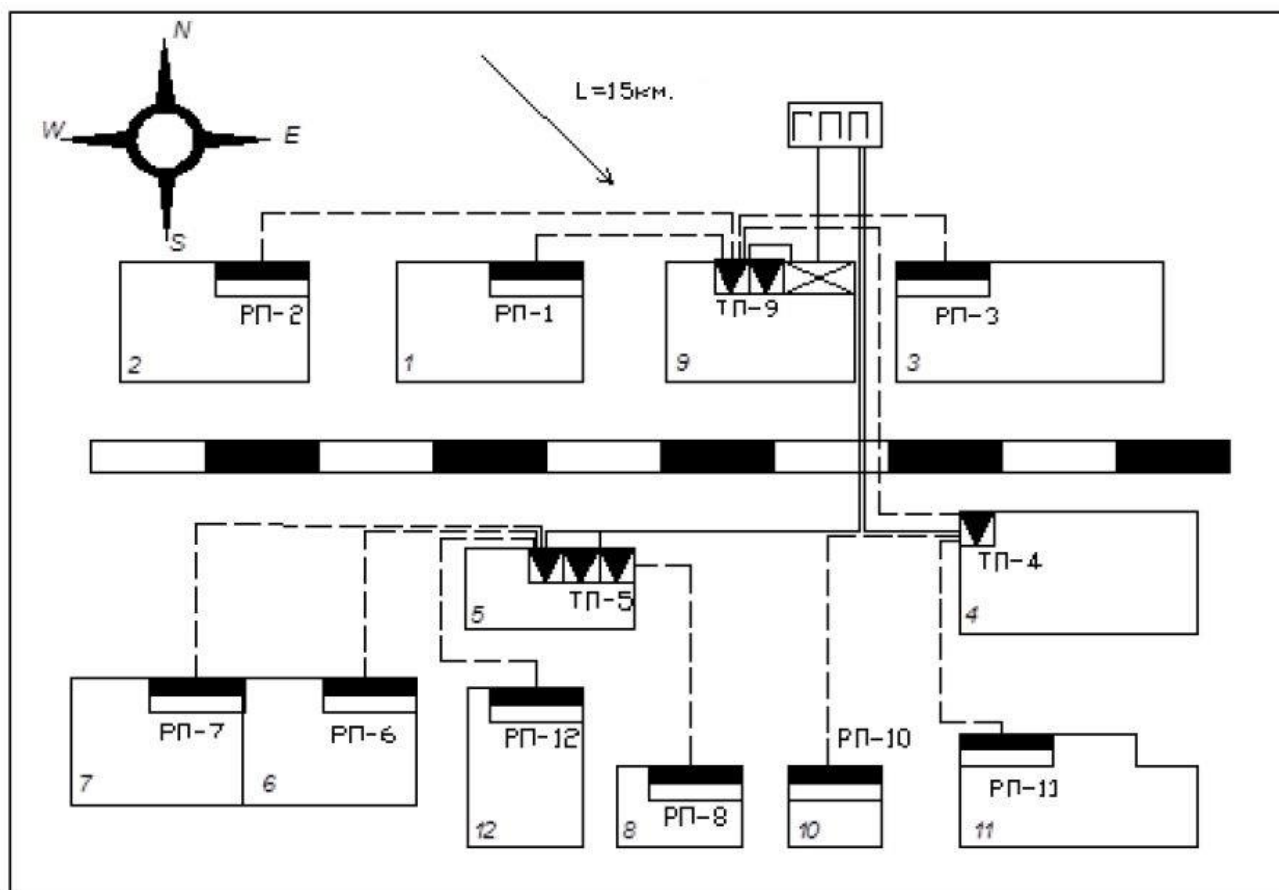


Рисунок 2.2 - Схема живлення цехових підстанцій та високовольтних електроприймачів (кабелі 10 кВ прокладаються у траншеях).

2.5 Схема зовнішнього електропостачання.

Основні вимоги:

- Необхідна надійність електропостачання [11-17];
- Простота та зручність в експлуатації;
- При аварійній ситуації, виходу з ладу однієї ЛЕП або одного трансформатора, ті, що залишилися в роботі, повинні прийняти на себе повністю або частково навантаження;
- Враховувати перспективу розвитку підприємства;
- Забезпечувати можливість проведення ремонтних робіт та післяаварійних робіт.

Розрахункова потужність трансформатора на ГПП:

$$S_{н.тр}^{ГПП} = \frac{S_p^{ГПП}}{2 \cdot \beta_T} = \frac{4583,81}{2 \cdot 0,7} = 3274,15 \text{ кВА}.$$

Розрахункове значення номінальної потужності трансформатора заокругляється до стандартного значення.

Вибирається два трансформатори $S_{н.сп} = 4000 \text{ кВА}$.

Перерізи проводів ЛЕП визначаються таким чином:

$$I_{p.л} = \frac{S_p^{ГПП}}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{4583,81}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 37,81 \text{ А}$$

$$I_{p.л.а} = \frac{S_p^{ГПП}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{4583,81}{\sqrt{3} \cdot 35} = 75,62 \text{ А}$$

Оскільки $T_m > 5000 \text{ год}$ підприємство працює у дві-три зміни $j_e = 1 \text{ А/мм}^2$

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_e} = \frac{37,81}{1} = 37,81 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо найближчий стандартний переріз:

$$S = 50 \text{ мм}^2.$$

$I_{дон} = 210 \text{ А}$ для алюмінієво-сталевих проводів.

Проведемо такі перевірки обраного перерізу:

1. За аварійним струмом при відключенні однієї з ліній

$$I_{p.а} \leq 1,3 I_{дон}$$

$$75,62 \text{ А} < 1,3 \cdot 210 = 273 \text{ А}.$$

2. За умовою коронування дроту $U = 35 \text{ кВ}$ не перевіряються.

3. За умовами механічної міцності: $50 \text{ мм}^2 > 25 \text{ мм}^2$.

4. За втратою напруги

$$l_{дон} = l_{\Delta U_{1\%}} \cdot \Delta U_{дон\%} \cdot \frac{I_{дон}}{I_p} \geq l_{\phi}$$

$$l_{\Delta U_{1\%}} = 1,48$$

$$l_{\phi} = 15 \text{ км}$$

$$\Delta U_{дон\%} = 5\% \text{ (для нормального режиму)}$$

$$I_{\text{доп}} = 210 \text{ A}$$

$$I_p = 37,81 \text{ A}$$

$$I_{\text{доп}} = 1,48 \cdot 5 \cdot \frac{210}{37,81} = 41,1 \text{ км} > 15 \text{ км}$$

Вибраний перетин відповідає умовам перевірки.

Електропостачання заводу з виробництва запасних деталей до тракторів відбувається від ПС енергетичної системи за двома повітряними ЛЕП-35 кВ, виконаними проводом АС-50 металевими двоколовими опорами.

На головній понижаючій підстанції встановлюємо два двообмоткових трансформатори ТМН-4000/35. На ВН приймаємо схему відділювач-короткозамикач. На НН прийємо одну одну систему шин, секційовану вимикачем.

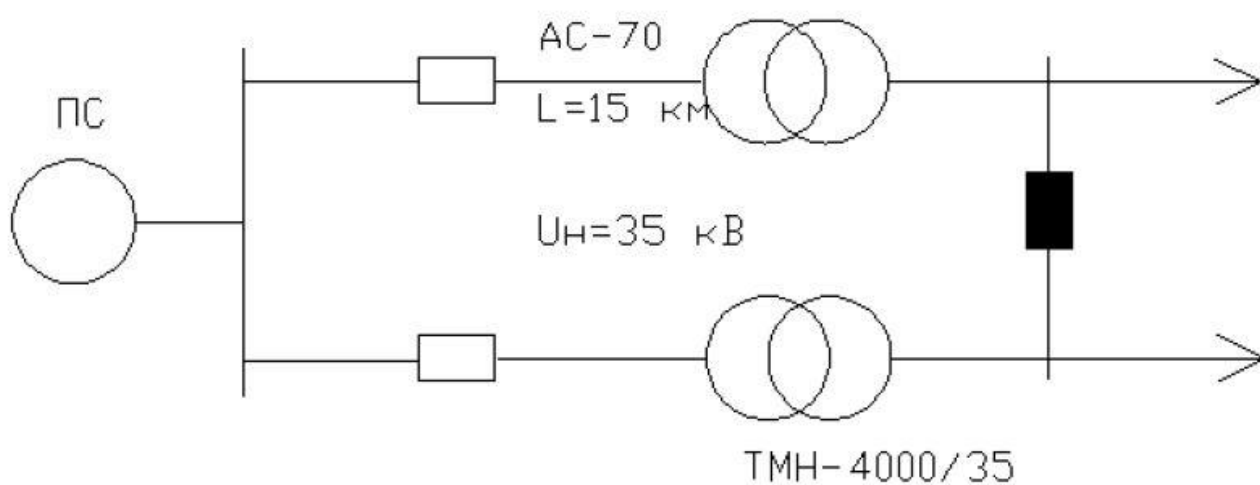


Рисунок 2.3 - Схема зовнішнього ЕП

2.6. Схема внутрішньозаводської мережі 10 кВ

Мережа вище 1 кВ територією заводу виконується трижильними кабелями з алюмінієвими жилами, з паперовою ізоляцією, з прокладкою в траншеях

(коефіцієнт прокладки - $K_{np} = 0,9$, так як у кожній траншеї знаходиться по два кабелі).

Перерізи кабельних ліній вибираються за економічною густиною струму [1-4]:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}$$

де $j_{ек}$ –приймається за довідковими даними.

$$j_{ек} = 1,2 \text{ A / мм}^2.$$

Розрахунковий струм визначаємо на одну лінію:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_n}.$$

Отриманий переріз округляється до стандартного перерізу.

Для завантажених та довгих ліній проведемо перевірку вибраного перерізу за допустимою втратою напруги.

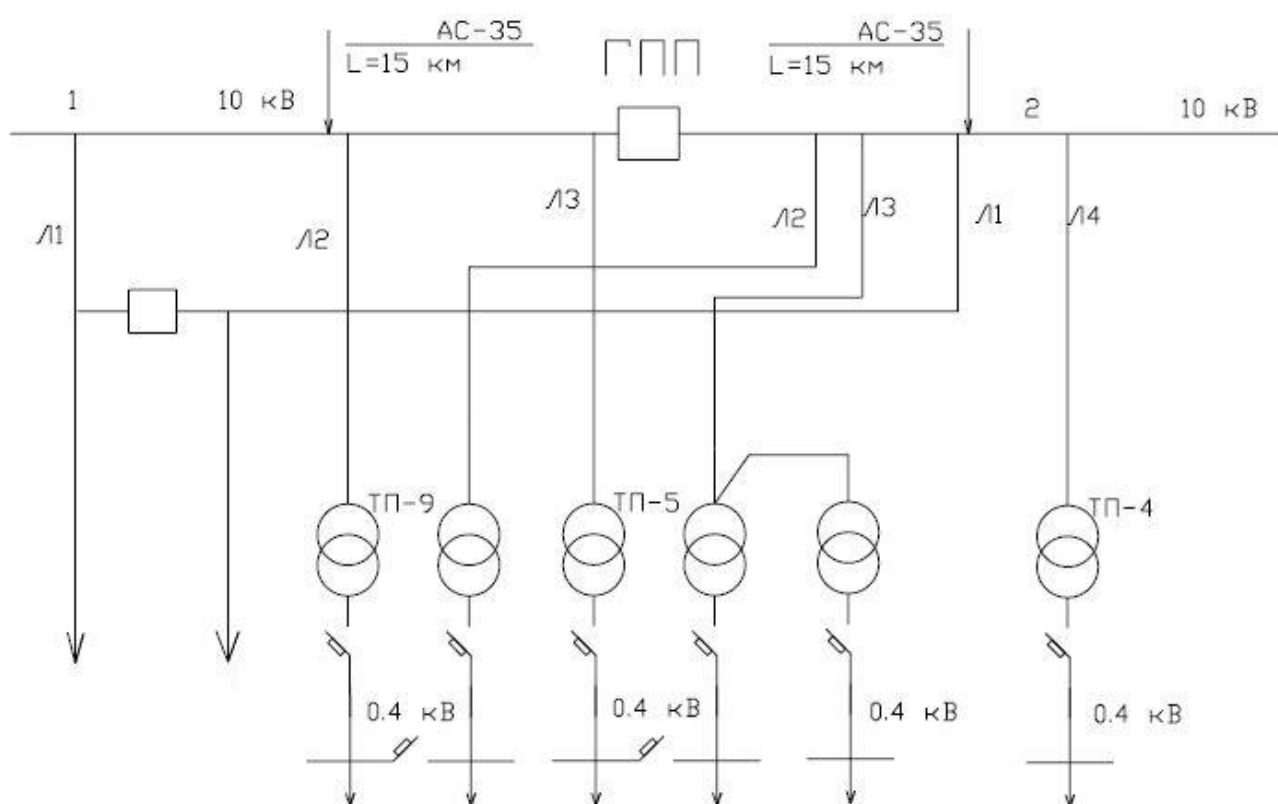


Рисунок 2.4 - Схема живлення цехових підстанцій та високовольтних електроприймачів.

Кабелі 10 КВ прокладаються у траншеях

ГПП - РП-9 (Л1)

$$I_p = \frac{S_p^B + S_p^H}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{499,9 + 2 \cdot 1000}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 72,17 \text{ A}$$

$$I_{pa} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 72,17 = 144,34 \text{ A}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{72,17}{1,2} = 60,14 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $S = 70 \text{ мм}^2$.

$$I_{дон} = 165 \text{ A}$$

$$I'_{дон} = K_{np} \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ A}$$

$$1,3 \cdot I'_{дон} = 193,05 \text{ A}$$

$$I_p < I'_{дон}$$

$$I_{p.a} < 1,3 \cdot I'_{дон}$$

$$72,17 < 148,5 \text{ A}$$

$$I_{ас} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 72,17 = 144,34$$

$$I_{ас} < 1,3 \cdot I'_{дон}$$

$$144 < 193,05 \text{ A}.$$

Вибраний перетин проходить за результатами перевірок. Приймаємо АСБ-2(3х70).

РП-1-ТП-9 (Л - 2)

$$S_p = 1000 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74 \text{ A}$$

$$I_{pa} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 57,74 = 115,48 \text{ A}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{57,74}{1,2} = 48,12 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $S = 35 \text{ мм}^2$.

$$I_{дон} = 115 \text{ A}$$

$$I'_{дон} = K_{np} \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A}$$

$$1,3 \cdot I'_{\text{дон}} = 134,55 \text{ A}$$

$$I_p < I'_{\text{дон}}$$

$$57,74 < 103,5$$

$$I_{p.a} < 1,3 \cdot I'_{\text{дон}}$$

$$115,48 < 134,55 \text{ A}$$

Вибраний перетин не проходить за результатами перевірок. Приймаємо АСБ-2 (3х35).

ГПП - ТП5 (Л - 3)

$$S_p = 1000 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74 \text{ A}$$

$$I_{pa} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 57,74 = 115,48 \text{ A}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{57,74}{1,2} = 41,24 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $S = 35 \text{ мм}^2$.

$$I_{\text{дон}} = 115 \text{ A}$$

$$I'_{\text{дон}} = K_{np} \cdot I_{\text{дон}} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A}$$

$$1,3 \cdot I'_{\text{дон}} = 134,55 \text{ A}$$

$$I_p < I'_{\text{дон}}$$

$$57,74 < 103,5$$

$$I_{p.a} < 1,3 \cdot I'_{\text{дон}}$$

$$115,48 < 134,55 \text{ A}$$

Вибраний перетин проходить за результатами перевірок. Приймаємо АСБ-2 (3х35).

ГПП - ТП-4 (Л - 4)

$$S_p = 1000 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74 \text{ A}$$

$$I_{pa} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 57,74 = 115,48 \text{ A}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{57,74}{1,2} = 41,24 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $S = 35 \text{ мм}^2$.

$$I_{дон} = 115 \text{ A}$$

$$I'_{дон} = K_{np} \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A}$$

$$1,3 \cdot I'_{дон} = 134,55 \text{ A}$$

$$I_p < I'_{дон}$$

$$57,74 < 103,5$$

$$I_{p.a} < 1,3 \cdot I'_{дон}$$

$$115,48 < 134,55 \text{ A}$$

Вибраний перетин проходить за результатами перевірок. Приймаємо АСБ-2 (3х35).

Таблиця 2.7 - Вибір перерізів КЛ мережі 10 кВ.

№	№ лінії	Призначення лінії	Кількість ліній	Розрахункове навантаження на один кабель		Довжина лінії l, км	Спосіб прокладання	Поправочний коефіцієнт прокладання кабелю	Марка та переріз кабелю, обраного за умовою допустимого нагріву S, мм ²	Допустиме навантаження на один кабель		I _{доп} , А
				У нормальному режимі, I _p , А	В аварійному режимі, I _м , А					У нормальному режимі I' _{доп} , А	В аварійному режимі 1,3·I' _{доп} , А	
1	Л-1	ГПП-РП9	2	72.8	144.3	0.009	Траншея	0.900	АС-2(3х70)	148.5	193.05	165
2	Л-2	РП9-ТП-9	2	57.7	72.8	0.005		0.900	АСБ-2(3х35)	103.5	134.55	115
3	Л-3	ГПП-ТП-5	2	57.7	72.8	0.08		0.900	АСБ-2(3х35)	85.5	134.55	115
4	Л-4	ГПП-ТП-10	2	57.7	72.8	0.181		0.900	АСБ-2(3х35)	85.5	134.55	115

2.7. Струми КЗ у мережі вище 1 кВ.

Розрахунки струмів КЗ проводяться на ділянці Енергетична система – Головна понижаюча підстанція – Розподільчий пункт 9 – ТП10. Для розрахунків струмів КЗ складається розрахункову схему.

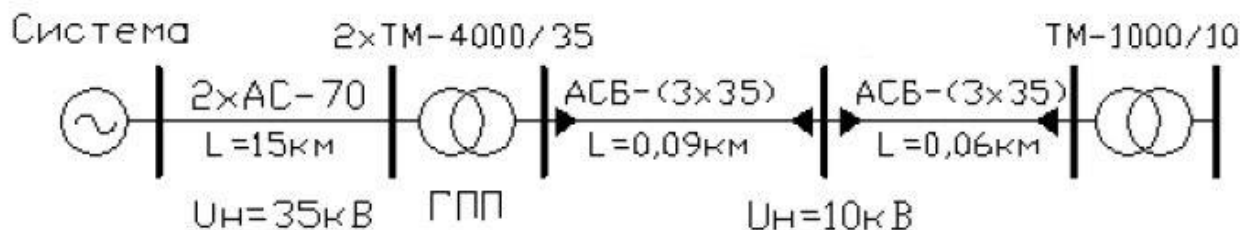


Рисунок 2.5 - Схема до розрахунків струмів КЗ

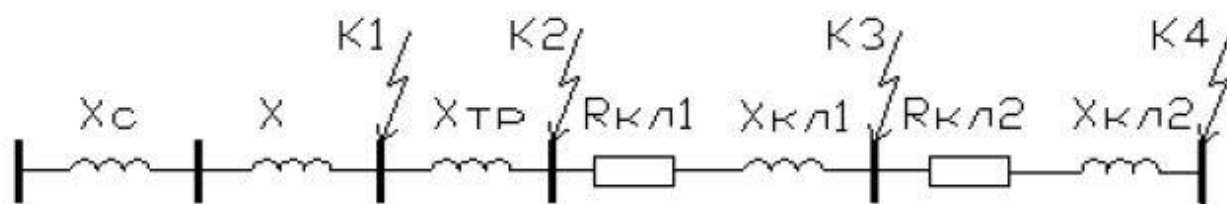


Рисунок 2.6 - Спрощена однолінійна схема заміщення.

Приймаємо базисні одиниці:

$$S_{\phi} = 100 \text{ MVA}$$

$$U_{\phi 1} = 37,5 \text{ kV}$$

$$U_{\phi 2} = 10,5 \text{ kV}$$

$$I_{\phi 1} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi 1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 0,502 \text{ kA}$$

$$I_{\phi 2} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ kA}$$

Розрахунок струмів для точки К1:

Для ПЛЕП приймаємо питомий індуктивний опір $x_0 = 0,4$ (Ом/км) згідно [6-8].

Для кабельних ліній приймаємо питомий індуктивний опір $x_0 = 0,08$ (Ом/км) згідно [6-8].

Напругу короткого замикання для вибраного трансформатора приймаємо рівним $U_k = 7,5\%$ гідно [6-8].

$$Z_{K1} = x_{ПЛ} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} = 0,4 \cdot 15 \cdot \frac{100}{37,5^2} = 0,44 \text{ у.о.}$$

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 3,5 \text{ кА}$$

$$I_{K1} = \frac{I_{\delta}}{Z_{K1}} = \frac{1,54}{0,44} = 3,5 \text{ кА.}$$

Приймаємо $K_{y01} = 1,8$;

$$i_{y1} = I_{K1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y01} = 3,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 8,8 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів для точки К2:

Для трансформатора:

$$x_{mp*} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.мп}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{4,0} = 1,88 \text{ у.о.}$$

$$Z_{K2} = Z_{K1} + X_{TP} = 0,44 + 1,88 = 2,32 \text{ у.о.}$$

Діюче значення усталеного струму:

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta}}{Z_{K2}} = \frac{5,5}{2,321} = 2,37 \text{ кА.}$$

Приймаємо $K_{y01} = 1,8$;

$$i_{y2} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y02} = 2,37 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 6,03 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів для точки К3:

Для кабельних ліній приймають питомий активний та індуктивний опори $r_0 = 0,025$ (Ом/км), $x_0 = 0,08$ згідно [6-8].

$$x_{KЛ1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = 0,08 \cdot 0,01 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0007 \text{ у.о.}$$

$$r_{KL1} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = 0,032 \cdot 0,01 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0002 \text{ y.o.}$$

$$Z_{K3} = Z_{K2} + Z_{K1} = 2,32 + 0,0007 = 2,321$$

Зважаючи на співвідношення $r_{\Sigma} < x_{\Sigma} / 3$ ($0,0002 < 0,00025$) активний опір не враховують;

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta}}{x \cdot \Sigma x_2} = \frac{5,5}{2,321} = 2,37 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} = 2,37 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 6,03 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів для точки К4:

Для кабельних ліній приймають питомий активний та індуктивний опір $r_0 = 0,025$ (Ом/км), $x_0 = 0,08$ згідно [6-8].

$$x_{KL2} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = 0,08 \cdot 0,01 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0007 \text{ y.o.}$$

$$r_{KL2} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = 0,032 \cdot 0,01 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0002 \text{ y.o.}$$

$$Z_{K4} = Z_{K3} + Z_{KL2} = 2,32 + 0,0007 = 2,322$$

Зважаючи на співвідношення $r_{\Sigma} < x_{\Sigma} / 3$ ($0,0002 < 0,00025$) активний опір не враховують;

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta}}{x \cdot \Sigma x_2} = \frac{5,5}{2,322} = 2,37 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} = 2,37 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 6,03 \text{ кА}$$

Використовуючи отримані значення струмів КЗ, перевіряють прийняті раніше перетини кабелів. Термічно стійкий переріз дорівнює:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}$$

де $B_K = I_K^2 (t_{відкл} + T_a)$, $A^2 \text{ с}$;

T_a - приймаємо рівною 0,01 с;

$t_{відкл} = t_z + t_{\theta}$ - час дії основного захисту, приймаємо рівним 1,2 с;

t_g - повний час відключення вимикача; враховуючи, що у ЗРП ГПП встановлені вимикачі типу ВМПЕ, у якого $t_g = 0,12c$;

C_T - коефіцієнт, що приймається, рівний $85 (A \cdot c^{\frac{1}{2}} / мм^2)$.

Лінія ГПП - РП-1:

$$(t_{відкл} + T_a) = 1,2 + 0,12 + 0,01 = 1,33c$$

$$F_{min} = \frac{I_{K1} \sqrt{t_{відкл} + T_a}}{C_T} = \frac{2,37 \cdot 10^3 \sqrt{1,33}}{85} = 32,2 мм^2$$

Отримане значення мінімального перерізу показує, що вибраний кабель для даної ділянки розподільної мережі 10 (кВ) АСБ – 2(3×70): (70>32,2мм²).

Лінія РП-1 - ТП1:

$$F_{min} = \frac{I_{K2} \sqrt{t_{відкл} + T_a}}{C_T} = \frac{2,37 \cdot 10^3 \sqrt{1,33}}{85} = 32,2 мм^2$$

Отримане значення мінімального перерізу показує, що вибраний кабель для даної ділянки розподільної мережі 10 (кВ) АСБ – 2(3×35): (35>32,2мм²).

2.8 Висновки до Розділу 2

1. Проведено визначення розрахункового електричного навантаження цеху, яке становить 380,2 кВА.
2. Проведено визначення розрахункового електричного навантаження заводу, яке становить 4583,81 кВА.
3. Побудована картограма електричних навантажень та визначено їх центр
4. Проведено вибір числа і потужності трансформаторів ЦТП. Вибрано 6 трансформаторів номінальною потужністю 1000 кВА.
5. Запропонована схема зовнішнього електропостачання та схема внутрішньозаводської мережі 10 кВ.
6. Визначено струми КЗ у мережі вище 1 кВ.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Електропостачання цеху виконується за наступною послідовністю [4].

1. Приймачі цеху розподіляються по пунктам електроживлення (силовим розподільним шафам або шинопроводам), вибирається схема і спосіб прокладки мережі цеху (від трансформаторних підстанцій до пунктів живлення). Вибір способу прокладки мережі живлення проводиться з урахуванням характеру навколишнього середовища та можливих умов місця прокладки. Виконання силових розподільчих пунктів та шинопроводів має також відповідати характеру навколишнього середовища.

2. Визначаються розрахункові електричні навантаження за пунктами живлення цеху.

3. Проводиться вибір перерізів мережі живлення.

4. Проводиться вибір силової розподільної мережі і апаратів захисту і управління цехом.

3.1 Розподіл приймачів по пунктам живлення.

Так як ШР бувають різних типів і мають певну кількість приєднань, а саме 8, то для кожного електроприймача необхідно вибрати запобіжник, а потім, знаючи тип запобіжника, підключити його до відповідного ШР. Крім того, для кожного ШР необхідно вибрати захисний апарат автоматичний вимикач.

Приклад вибору плавкого запобіжника для токарно-гвинторізного верстата:

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 13,51 A$$

$$I_{кр} = I_{пуск} = 5 \cdot I_{ном} = 5 \cdot 13,51 = 67,55 A$$

$$I_{вс} \geq I_{тр} = I_{ном} = 13,51 A$$

$$I_{вс} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha} = \frac{67,55}{2,5} = 27,02 A$$

Згідно [3] вибираємо запобіжник типу НПН2–60, у якого $I_{ном} = 60 \text{ А}$, $I_{вс} = 40 \text{ А}$.

Для вибору ШР різних типів використовуємо довідкову літературу [3].

Приклад вибору автоматичного вимикача ШР11–73705:

$$I_{н.розр} \geq I_{тр} = \Sigma I_{ном} = 5 \cdot 13,51 = 67,55 \text{ А}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр} = 1,25 \cdot (I_{пуск.макс} + \Sigma I_{ном}) = 1,25 \cdot (67,55 + 4 \cdot 13,51) = 151,99 \text{ А}$$

Згідно [3] вибирається автоматичний вимикач типу ВА57-35, у якого $I_{н.розр} = 200 \text{ А}$, $I_{кз} = 2,5 \cdot I_{н.розр} = 2,5 \cdot 200 = 500 \text{ А}$.

Вибрані захисні апарати для електроприймачів та ШР надані у вигляді таблиці, наведеної нижче.

Вибір автоматичного вимикача для КТП:

$$I_{н.розр} \geq I_{тр} = I_{ном.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1521,1 \text{ А}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр} = 1,25 \cdot I_{пик ПС} = 1,25 \cdot \left[I_{пуск.макс} + (I_{ном.тр} - K_v \cdot I_{ном.макс}) \right] = \\ = 1,25 \cdot [184,1 + (1521,1 - 0,65 \cdot 33,47)] = 2104,3 \text{ А}$$

Згідно [3], вибирається автоматичний вимикач типу ВА74–43, у якого $I_{н.розр} = 1600 \text{ А}$, $I_{кз} = 2 \cdot I_{н.розр} = 2 \cdot 1600 = 3200 \text{ А}$.

Таблиця 3.1 - Визначення розрахункових навантажень за пунктами живлення ремонтно-механічного цеху.

№ п/п	Назва вузлів живлення і груп електроприймачів	Кількість електроприймачів n	Встановлена потужність		$m = P_{H, \text{МДКС}} / P_{H, \text{МІН}}$	Коефіцієнт використання K_B	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	Середнє навантаження		$\eta_{\text{еф}}$	K_M	Розрахункове навантаження			I_p, A
			Одного ЕП P_H , кВт	Загальна P_H , кВт				$P_{CM} = K_{\epsilon} \cdot P_{H, \text{кВм}}$	$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \text{tg}\varphi_{CM}, \text{кВАр}$			$P_M = K_M \cdot P_{CM}, \text{кВм}$	$Q_p = Q_{CM} \text{ при } \eta_{\text{еф}} > 10$ $Q_p = 1,1 \cdot Q_{CM} \text{ при } \eta_{\text{еф}} \leq 10$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}$	

Шафа розподільна ШР-1																
	Група А. Верстати різні № 1-6	6	0.9-4	25.8	>3	0.15	0.5/1.73	3.87	6.7	4	3.11	12.04	7.37			
	Група Б															
	Вентилятор №82	1	22	22		0.65	0.8/0.75	14.3	10.73			14.3	10.73			
	Разом з ШР-1	7	0.9-22	47.8				18.17	17.43			26.34	18.1	31.96	48.61	
Шафа розподільна ШР-2																
	Група А. Верстати різні № 7-12	6	0.9-4	25.8	>3	0.15	0.5/1.73	3.87	6.7	4	3.11	12.04	7.37			
	Разом по ШР-2	6	0.9-4	25.8				3.87	6.7			12.04	7.37	14.12	21.45	

Продовження таблиці 3.1

Шафа розподільна ШР-3															
	Група А. Верстати різні № 13,14,18,19,23-25,30	8	3- 5.4	28.8	<3	0.15	0.5/1.73	4.32	7.47	8	2.31	9.98	8.22		
	Разом по ШР-3	8	3- 5.4	28.8				4.32	7.47			9.98	8.22	12.93	19.65
Шафа розподільна ШР-4															
	Група А. Верстати різні №15,16,17,20,21,22	6	3	18	<3	0.15	0.5/1.73	2.7	4.67	6	2.64	7.13	5.14		
	Разом по ШР-4	6	3	18				2.7	4.67			7.13	5.14	8.79	13.35
Шафа розподільна ШР-5															
	Група А. Токарно-гвинторізні верстати № 26- 29,31-34	8	3	24	<3	0.15	0.5/1.73	3.6	6.23	8	2.31	8.32	6.85		
	Разом по ШР-5	8	3	24				3.6	6.23			8.32	6.85	10.78	16.37
Шафа розподільна ШР-6															
	Група А. Верстати різні № 35-42	8	3.5	28	<3	0.25	0.5/1.73	7	12.11	8	1.85	12.95	13.32		
	Разом ШР–6	8	3.5	28				7	12.11			12.95	13.32	18.58	28.23
Шафа розподільна ШР-7															
	Група А. Верстати різні № 43-48	3- 4.1	22.4	3- 4.1	<3	0.15	0.5/1.73	3.36	5.81	6	2.64	8.87	6.39		
	Група Б Вентилятор 83	1	22	22		0.65	0.8/0.75	14.3	10.73			14.3	10.73		
	Разом по ШР-7	7		44.4								23.17	17.12	28.81	43.82
Шафа розподільна ШР-8															
	Група А. Верстати різні № 43-48	3	2.4	7.2	<3	0.15	0.5/1.73	3.36	5.81						

Продовження таблиці 3.1

Транс. зварювальний	4	3	12		0.3	0.35/2.68	3.6	9.45						
Разом за гр. А	7	2.4-3	19.2		0.36		6.96	15.26	7	1.85	12.88	16.79		
Група Б. Вентилятор 83	1	22	22		0.65	0.8/0.75	14.3	10.73			14.3	10.73		
Разом по ШР-8	8	2.4-22	53.2				21.26	25.99			27.18	27.52	38.68	58.84
Шафа розподільна ШР-9														
Група А. Вертикально-свердлильні верстати та шафи сушильні № 56-61	6	2.4-6.3	26.1	<3	0.15	0.5/1.73	7	12.11	8	1.85	12.95	13.32		
Разом по ШР-9	6	2.4-6.3	26.1				7	12.11			12.95	13.32	18.58	28.23
Шафа розподільна ШР-10														
Група А. Відрізний верстат №62	1	2.8	2.8	<3	0.15	0.5/1.73	0.42	0.73	1	3.83	1.61	2.06		
Група Б. Прес різні №63-66	4	5.1-9.6	33.9		0.65	0.8/0.75	22.04	16.53			22.04	4.68		
Разом по ШР-10	5	2.8-9.6	36.7				22.46	17.26			17.97	6.74	19.19	29.19
Шафа розподільна ШР-11														
Група А. Відрізний верстат №69	1	2.8	2.8	<3	0.15	0.5/1.73	0.42	0.73	1	3.83	1.61	2.06		
Група Б. Прес різні №67,68,70,71	4	5.1-9.6	33.9		0.65	0.8/0.75	22.04	16.53			22.04	4.68		

Продовження таблиці 3.1

Разом по ШР-11	5	2.8-9.6	36.7				22.46	17.26			17.97	6.74	19.19	29.19
Шафа розподільна ШР-12														
Група А. Перетворювач зварювальний №75,76	2	16	32	<3	0.3	0.55/1.52	9.6	14.59						
Трансформатор зварювальний №72-74	3	24.7	74.1		0.3	0.8/0.75	22.23	16.67						
Разом по ШР-12	5	16-24.7	106.1				31.83	31.26	5	1.86	59.2	34.4	68.4	92.5
Шафа розподільна ШР-13														
Група А. Перетворювач зварювальний №77,78	2	16	32	<3	0.3	0.55/1.52	9.6	14.59						
Трансформатор зварювальний №79-81	3	24.7	74.1		0.3	0.8/0.75	22.23	16.67						
Разом за гр. А	5	16-24.7	106.1		0.36		31.83	31.26	5	1.86	59.2	34.4		
Група Б. Вентилятор 84	1	22	22		0.65	0.8/0.75	14.3	10.73			14.3	10.73		
Разом ШР-13	6	16-24.7	128.1				46.13	41.99			73.5	45.13	86.25	126.3

Таблиця 3.2 - Захисні апарати для електроприймачів.

№ на плані	Найменування електроприймача	P_n	I_n	$I_{\text{пуск}}$	$I_{\text{кр}}/\alpha$	Тип запобіжника	$I_{\text{н.зап}}/I_{\text{вс}}$
		кВт	А	А	А		
1-4, 9-13	Токарно-гвинторізний верстат	4.0	6.08	33.46	13.38	НПН2-60	60/25
5-8	Настільно-свердильний верстат	0.9	1.37	7.52	3.01	НПН2-60	60/15
14-22, 25-34	Токарно-гвинторізний верстат	3.0	4.56	25.09	10.03	НПН2-60	60/15
23,24	Універсально-фрезерний верстат	5.4	8.21	45.17	18.07	НПН2-60	60/15
35-42	Металорізальний верстат	3.5	5.32	29.28	11.71	НПН2-60	60/15
43,44,47,48	Поперечно-стругальний верстат	4.1	6.24	34.3	13.72	НПН2-60	60/15
45,46	Довжинний верстат	3.0	4.56	25.09	10.03	НПН2-60	60/15
49-52	Транс. зварювальний ПВ = 40%	4.7	4.56	25.09	10.03	НПН2-60	60/15
53-55	Намотувальний верстат	2.4	3.65	20.07	8.03	НПН2-60	60/15
56-58	Вертикально-свердлил.	2.4	3.65	20.07	8.03	НПН2-60	60/15
59-61	Сушильний електрич. шафа	6.3	9.58	52.7	21.08	НПН2-60	60/25
62,69	Верстат відрізний з диском. пилкою	2.8	4.26	23.42	9.37	НПН2-60	60/15
63,64, 70,71	Прес гідравлічний	5.1	7.76	42.66	17.06	НПН2-60	60/25
65-68	Прес фрикційний	9.0	13.69	75.29	30.11	НПН2-60	60/40
72-74,79-81	Транс. зварювальний ПВ = 40%	39	41.68	229.23	91.69	ПН2-100	100/100
75-78	Перетворювач зварювальний	16	24.34	133.86	53.54	ПН2-100	100/60
82-85	Вентилятори	22	33.47	184.05	73.62	ПН2-100	100/80
	Електричне освітлення	14.13	21.49	-	-	НПН2-60	60/6

Таблиця 3.3 - Захисні апарати для силових розподільних шаф.

№ п/п	Тип ШР та число 3-х фазних секцій	$I_{тр},$ А	$I_{кр},$ А	Тип авт. вим.	$I_{н.розр}/I_{кз}$
1.	ШР11-73505 (8х100)	48.61	267.355	ВА57-35	50/300
2.	ШР11-73505 (8х100)	21.45	117.975	ВА57-35	25/125
3.	ШР11-73504 (8х60)	19.65	108.075	ВА57-35	25/125
4.	ШР11-73504 (8х60)	13.35	73.425	ВА57-35	16/80
5.	ШР11-73504 (8х60)	16.37	90.035	ВА57-35	20/100
6.	ШР11-73504 (8х60)	28.23	155.265	ВА57-35	31.5/157.5
7.	ШР11-73504 (8х60)	43.82	241.01	ВА57-35	50/250
8.	ШР11-73504 (8х60)	58.84	323.62	ВА57-35	63/378
9.	ШР11-73504 (8х60)	28.23	155.265	ВА57-35	31.5/157.5
10.	ШР11-73504 (8х60)	29.19	160.545	ВА57-35	31.5/189
11.	ШР11-73506 (8х60)	29.19	160.545	ВА57-35	31.5/189
12.	ШР11-73505 (8х100)	92.5	508.75	ВА57-35	100/600
13.	ШР11-73506 (8х250)	126.3	694.65	ВА57-35	160/800

Для ШР-2:

Для $n > 5$

$$I_{тр} = \Sigma I_{н.ед} = I_p = 48,61 \text{ А}$$

$$I_{кр} = I_{пуск.макс} + (\Sigma I_p - k_v \cdot I_{ном.макс}) = 184,09 + (48,61 - 0,65 \cdot 33,47) = 210,94 \text{ А}$$

Силова розподільна шафа виконана із встановленням ввідного запобіжника ПН2-400. Вибір плавки вставки:

$$I_{вс} \geq I_{тр} = 33,47 \text{ А}$$

$$I_{вс} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha} = \frac{210,94}{2,5} = 82,59 \text{ А}$$

$$I_{вс} = 200 \text{ А}$$

3.2 Вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.

Приклад розрахунку лінії РП – ШР1:

$$I_{\text{ном}} = I_p = I_{\text{пр}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{31,96}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 48,6 \text{ A}.$$

Згідно [6], вибирається кабель марки АНРГ-(3×16), у якого $I_{\text{дон}} = 60 > 48,6 \text{ A}$.

Вибраний переріз необхідно перевірити за допустимою втратою напруги, $\Delta U_p \% = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l$,

де ΔU_0 - втрата напруги в 3-х фазних мережах [%/А · км], приймаємо по довідковій літературі [3];

I_p - розрахунковий струм;

l - довжина провідника.

$$\Delta U_p \% = 1,17 \cdot 48,6 \cdot 0,01 = 0,56\% < 5\%$$

Приклад розрахунку перерізу кабелю відгалуження до токарно-гвинторізного верстата: $I_{\text{ном}} = I_p = 6,08 \text{ A}$.

Згідно [6] вибирається провід марки АПВ-(3х2), у якого $I_{\text{дон}} = 15 > 6,08 \text{ A}$.

Приклад узгодження відгалуження та захисного апарату до токарно-гвинторізного верстата.

$$\text{Умова узгодження: } I_{\text{дон}} \geq \frac{K_z \cdot I_z}{K_{\text{пр}}}$$

де $I_{\text{дон}}$ - допустимий тривалий струм провідника, А;

K_z - коефіцієнт захисту, приймаємо згідно [2];

$K_{\text{пр}}$ - коефіцієнт прокладання провідника, приймаємо згідно [2].

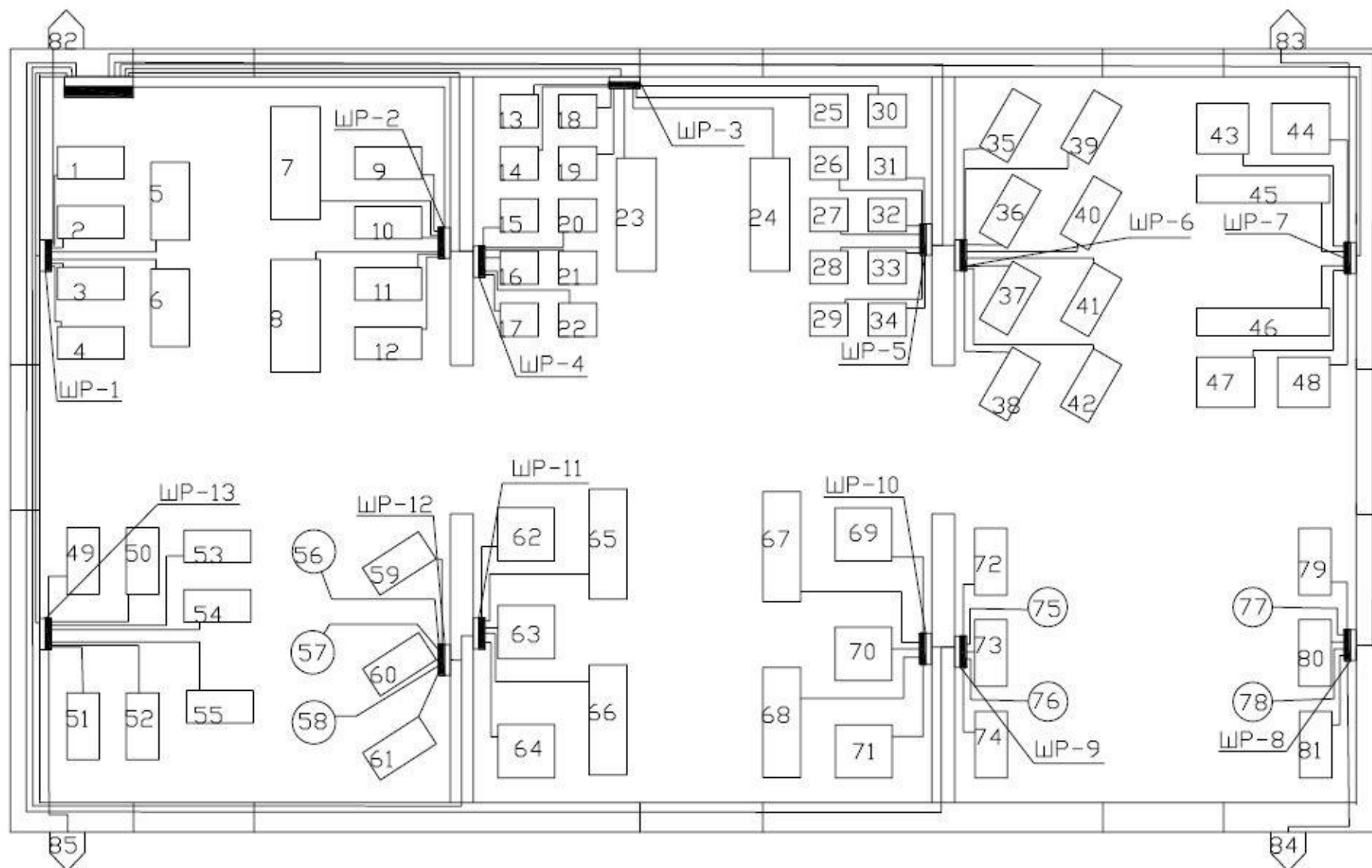
$$15 \geq \frac{0,33 \cdot 25}{1} = 8,25 \text{ A}.$$

Це означає, що відгалуження та захисний апарат до токарно-гвинторізного верстата обрані правильно, оскільки вони задовольняють усім умовам перевірки та узгодження. Інші розрахунки виконуються аналогічно.

Таблиця 3.4 - Вибір перерізів ліній мережі цеху.

№ п/п	Номер лінії на плані цеху	Призначення ділянки лінії мережі живлення	Розрахункове навантаження S_p , кВА	Розрахунковий струм I_p , А	Довжина лінії l , км	Спосіб прокладки	Коефіцієнт прокладки, К	Марка кабелю	Перетин, вибраний з умови допустимого нагріву S_n , мм ²	Допустимий тривалий струм $I_{доп}$, А	$\cos\varphi$	Розрахункові втрати напруги ΔU_p , %	Втрати напруги на 1 А.км. ΔU_0 , %
1.	Л-1	РП - ШР1	31.96	48.59	0.003	На стіні, на скобах	1	АНРГ	(3×16)	60	0.82	0.56	1.17
2.	Л-2	РП - ШР2	14.12	21.47	0.02		1	АНРГ	(3×4)	28	0.85	1.23	2.87
3.	Л-3	РП - ШР3	12.93	19.66	0.022		1	АНРГ	(3×4)	28	0.77	1.24	2.87
4.	Л-4	РП - ШР4	8.79	13.36	0.025		1	АНРГ	(3×2.5)	19	0.81	1.53	4.58
5.	Л-5	РП - ШР5	10.78	16.39	0.036		1	АНРГ	(3×2.5)	19	0.77	2.70	4.58
6.	Л-6	РП - ШР6	18.58	28.25	0.038		1	АНРГ	(3×6)	32	0.7	1.81	1.69
7.	Л-7	РП - ШР7	28.81	43.80	0.05		1	АНРГ	(3×10)	47	0.8	2.56	1.17
8.	Л-8	РП - ШР8	36.68	55.76	0.009		1	АНРГ	(3×16)	60	0.7	0.32	0.642
9.	Л-9	РП - ШР9	18.58	28.25	0.02		1	АНРГ	(3×6)	32	0.7	0.95	1.69
10.	Л-10	РП - ШР10	19.19	29.17	0.025		1	АНРГ	(3×6)	32	0.94	1.64	2.25
11.	Л-11	РП - ШР11	19.19	29.17	0.038		1	АНРГ	(3×6)	32	0.94	2.49	2.25
12.	Л-12	РП - ШР12	68.4	103.99	0.04		1	АНРГ	(3×50)	130	0.87	1.14	0.273
13.	Л-13	РП - ШР13	86.25	126.30	0.05		1	АНРГ	(3×50)	130	0.85	1.72	0.273

Рисунок 3.1 - Схема силової та розподільної мереж ремонтно-механічного цеху.



Таблиця 3.5 - Апарати захисту та марки проводів для електроприймачів.

Приймач				Відгалуження до ЕП			Запобіжник	
№ на плані цеху	Назва електроприймача	P _н , кВт	I _p , А	Марка та перетин провідника, мм ²	Сп. прокл.	Довжина, м	Тип	I _{н.зап} /I _{вс} А
1.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)	У трубах	3	НПН2-60	60/10
2.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
3.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
4.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
5.	Настільно-свердильний верстат	0.9	1.37	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
6.	Настільно-свердильний верстат	0.9	1.37	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
7.	Настільно-свердильний верстат	0.9	1.37	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
8.	Настільно-свердильний верстат	0.9	1.37	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
9.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
10.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
11.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
12.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
13.	Токарно-гвинторізний верстат	4	6.08	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
14.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		1	НПН2-60	60/10
15.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		1	НПН2-60	60/10
16.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
17.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
18.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
19.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
20.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10

Продовження таблиці 3.5

21.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)	У трубах	4	НПН2-60	60/10
22.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
23.	Універсально-фрезерний верстат	5.4	8.21	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
24.	Універсально-фрезерний верстат	5.4	8.21	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
25.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
26.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
27.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
28.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
29.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
30.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
31.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
32.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
33.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
34.	Токарно-гвинторізний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
35.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
36.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
37.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
38.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
39.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
40.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
41.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
42.	Металорізальний верстат	3.5	5.32	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
43.	Поперечно стругальний верстат	4.1	6.24	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
44.	Поперечно стругальний верстат	4.1	6.24	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
45.	Довжинний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
46.	Довжинний верстат	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10

Продовження таблиці 3.5

47.	Поперечно стругальний верстат	4.1	6.24	АПВ-3(1×2)	У трубах	2	НПН2-60	60/10
48.	Поперечно стругальний верстат	4.1	6.24	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
49.	Трансформатор зварювальний	3	4.56	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/10
50.	Трансформатор зварювальний	3	4.56	АПВ-3(1×2)		1	НПН2-60	60/10
51.	Трансформатор зварювальний	3	4.56	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
52.	Трансформатор зварювальний	3	4.56	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
53.	Намотувальний верстат	2.4	3.65	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
54.	Намотувальний верстат	2.4	3.65	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
55.	Намотувальний верстат	2.4	3.65	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
56.	Вертикально-свердильний верстат	2.4	3.65	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
57.	Вертикально-свердильний верстат	2.4	3.65	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
58.	Вертикально-свердильний верстат	2.4	3.65	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
59.	Сушильна електрична шафа	6.3	9.58	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/15
60.	Сушильна електрична шафа	6.3	9.58	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/15
61.	Сушильна електрична шафа	6.3	9.58	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/15
62.	Верстат відрізний з дисковою пилкою	2.8	4.26	АПВ-3(1×2)		5	НПН2-60	60/10
63.	Прес гідравлічний	5.1	7.76	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/10
64.	Прес гідравлічний	5.1	7.76	АПВ-3(1×2)		1	НПН2-60	60/10
65.	Прес фрикційний	9	13.69	АПВ-3(1×2)		1	НПН2-60	60/15
66.	Прес фрикційний	9	13.69	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/15
67.	Прес фрикційний	9	13.69	АПВ-3(1×2)		2	НПН2-60	60/15
68.	Прес фрикційний	9	13.69	АПВ-3(1×2)		3	НПН2-60	60/15
69.	Верстат відрізний з дисковою пилкою	2.8	4.26	АПВ-3(1×2)	У трубах	3	НПН2-60	60/10
70.	Прес гідравлічний	5.1	7.76	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
71.	Прес гідравлічний	5.1	7.76	АПВ-3(1×2)		4	НПН2-60	60/10
72.	Трансформатор зварювальний	24.7	37.57	АПВ-3(1×8)		3	ПН2-100	100/60
73.	Трансформатор зварювальний	24.7	37.57	АПВ-3(1×8)		3	ПН2-100	100/60
74.	Трансформатор зварювальний	24.7	37.57	АПВ-3(1×8)		3	ПН2-100	100/60
75.	Перетворювач зварювальний	16	24.34	АПВ-3(1×4)		2	ПН2-100	100/60
76.	Перетворювач зварювальний	16	24.34	АПВ-3(1×4)		2	ПН2-100	100/60
77.	Перетворювач зварювальний	16	24.34	АПВ-3(1×4)		2	ПН2-100	100/60

Продовження таблиці 3.5

78.	Перетворювач зварювальний	16	24.34	АПВ-3(1×4)	У трубах	2	ПН2-100	100/6 0
79.	Трансформатор зварювальний	24.7	37.57	АПВ-3(1×8)		3	ПН2-100	100/6 0
80.	Трансформатор зварювальний	24.7	37.57	АПВ-3(1×8)		2	ПН2-100	100/6 0
81.	Трансформатор зварювальний	24.7	37.57	АПВ-3(1×8)		3	ПН2-100	100/6 0
82.	Вентилятори	22	33.47	АПВ-3(1×6)		2	ПН2-100	100/6 0
83.	Вентилятори	22	33.47	АПВ-3(1×6)		2	ПН2-100	100/6 0
84.	Вентилятори	22	33.47	АПВ-3(1×6)		2	ПН2-100	100/6 0
85.	Вентилятори	22	33.47	АПВ-3(1×6)		3	ПН2-100	100/6 0

3.3 Висновки до Розділу 3.

1. Проведено розподіл приймачів по пунктам живлення. Вибрано захисні апарати для електроприймачів та захисні апарати для силових розподільних шаф.
2. Проведено вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Причини електротравм та умови ураження людини електричним струмом

Чинна класифікація причин електротравматизму не відрізняється від загальноприйнятої класифікації причин нещасних випадків. Найбільш поширеними серед груп причин електротравматизму є організаційні та технічні.

Серед технічних причин слід виділити такі, як недосконалість конструкції електроустановки і засобів захисту, допущені недоліки при виготовленні, монтажу і ремонті електроустановки, невідповідність будови електроустановок і захисних засобів умовам їх застосування тощо.

Організаційні причини електротравматизму в першу чергу пов'язані з недостатньою кваліфікацією працівників, порушеннями правил безпеки, відсутністю нагляду та контролю за виконанням робіт в електроустановках, несвоєчасним опосвідчення технічного стану електроустановок, відсутністю чи невідповідністю вимогам безпеки засобів захисту, експлуатацією несправних електроустановок тощо.

Серед безпосередніх причин попадання людей під напругу слід виділити такі: ·

- поява напруги на корпусі електроустановки або на електрично зв'язаних з ним металоконструкціях (далі – корпусі) у результаті пошкодження ізоляції; ·
- поява напруги на ізольованих струмопровідних частинах електроустановок у результаті пошкодження ізоляції; ·
- доступність неізольованих струмопровідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою, що призводить до випадкового дотику до них; ·
- потрапляння в зону розтікання струму в землі; ·
- виникнення електричної дуги між струмопровідними частинами і

тілом людини.

Струм через тіло людини проходить, якщо вона торкається одночасно двох точок, між якими існує напруга, і при цьому виникає замкнене коло. Величина цього струму залежить від схеми включення, тобто від того, яких частин електроустановки торкається людина, а також від параметрів електричної мережі. Серед різноманітних схем включення людини в електричне коло слід виділити такі: ·

- одночасний дотик до двох полюсів мережі постійного струму або до фази та нуля однофазної мережі чи двох фаз трифазної мережі змінного струму;
- дотик до одного з полюсів чи однієї з фаз мережі змінного струму, при якому коло струму замикається через людину та землю; ·
- дотик до корпусу електроустановки, який у результаті пошкодження ізоляції знаходиться під напругою, за умови, що коло струму замикається через людину та землю; ·
- одночасний дотик до двох точок на поверхні землі, які в результаті замикань на землю знаходяться під напругою.

Практично при всіх схемах (крім першої) складовим елементом кола струму через тіло людини є земля. Тому при аналізі небезпеки враження струмом у різних електричних мережах необхідно зрозуміти сутність явищ, які виникають при замиканні мережі на землю та розтіканні струму в землі.

4.2 Система засобів та заходів з безпечної експлуатації електроустановок

При розробці системи засобів та заходів з безпечної експлуатації електроустановок у першу чергу враховується: ·

- особливості виробничого середовища; ·
- доступність електрообладнання; ·
- величина напруги мережі живлення, В; ·

- величина струму замкнення на землю, A ; ·
- конструктивні особливості мережі живлення – кількість фаз і режим нейтралі; ·
- величина опору і стан ізоляції провідників відносно землі;
- протяжність і розгалуженість мережі живлення.

Усі засоби і заходи електробезпеки прийнято поділяти на три групи: технічні, організаційні та електрозахисні.

Технічних засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи електробезпеки поділяються на дві групи: ·

- технічні заходи та засоби електробезпеки, що використовуються за нормального режиму роботи електроустановок; ·
- технічні заходи та засоби електробезпеки, що використовуються за аварійних режимів роботи електроустановок.

До основних технічних засобів і заходів першої групи відносяться: ·

- захист від випадкового доторкання до струмопровідних частин; ·
- блокувальні пристрої; ·
- засоби орієнтації та сигналізації; ·
- захисне розділення електричних мереж; ·
- застосування малої напруги; ·
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю; ·
- вирівнювання потенціалів.

Залежно від призначення, умов експлуатації та конструкції в електроустановках можуть застосовуватись одночасно декілька з перелічених технічних засобів і заходів.

Технічні заходи електробезпеки, що використовуються за аварійних режимів роботи електроустановок включають: ·

- захисне заземлення; ·

- занулення;
- захисне відключення.

Електрозахисні засоби – це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і застосовуються під час виконання робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

Організаційні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» []. Вони включають професійний відбір, професійну підготовку, навчання і перевірку знань працівників з питань електробезпеки, організацію безпечного виконання та нагляду за роботами в електроустановках, обмеження доступу в електроустановки, огляд, профілактичні, протиаварійні, приймально-здавальні випробування електроустановок, опосвідчення діючих електроустановок тощо.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено визначення розрахункового електричного навантаження цеху, яке становить 380,2 кВА.
2. Проведено визначення розрахункового електричного навантаження заводу, яке становить 4583,81 кВА.
3. Побудована картограма електричних навантажень та визначено їх центр
4. Проведено вибір числа і потужності трансформаторів ЦТП. Вибрано 6 трансформаторів номінальною потужністю 1000 кВА.
5. Запропонована схема зовнішнього електропостачання та схема внутрішньозаводської мережі 10 кВ.
6. Визначено струми КЗ у мережі вище 1 кВ.
7. Проведено розподіл приймачів по пунктам живлення. Вибрано захисні апарати для електроприймачів та захисні апарати для силових розподільних шаф.
8. Проведено вибір перерізів мережі живлення та силової розподільної мережі, апаратів захисту та управління цеху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. - Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с. ISBN 978-966-553-833-2
2. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об'єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
3. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. ISBN 978-966-641-450-5
4. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропостачання ” (скорочений курс лекцій, частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Павло Микола ВУСАТИЙ, ПОТАПСЬКИЙ, Ігор ГАРАСИМЧУК (За загальною редакцією Павла ПОТАПСЬКОГО). – Кам'янець – Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. – 127с.
5. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України,. - К., 2017.
6. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.
7. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
8. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.:

Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта XXI століття).

9. Розрахунок електричного навантажень / Іван Михайлович Сисак, О. Й. Іваніга, С. В. Любка, Ю. І. Джуган // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 242. — (Електротехніка та енергозбереження).

10. Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю / Н. В. Бабанін, І. М. Сисак, А. В. Гапонюк, О. М. Максимчук // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 89. — (Електротехніка та енергозбереження).

11. Підвищення технічної надійності підстанції / А. Л. Стефанюк, А. А. Гуменюк, А. З. Стасів, І. М. Сисак // Тези XIII МНПК „Актуальні задачі сучасних технологій“, 11-12 грудня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2024. — С. 267–268. — (Електротехніка та енергозбереження).

12. Сисак І. М. Забезпечення надійності системи електропостачання деревообробного цеху / Іван Михайлович Сисак, С. В. Корюков // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 237–238. — (Електротехніка та енергозбереження).

13. Підвищення надійності та пропускної здатності трансформаторних підстанцій / В. О. Купчик, Т. Т. Сердюк, Г. І. Головачук, Р. Б. Волосинецький, Л. Т. Мовчан, І. М. Сисак // XI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 7-8 грудня 2022 року. — Т. : ТНТУ, 2022. — С. 80–81. — (Електротехніка та енергозбереження).

14. Забезпечення надійності системи електропостачання промислових об'єктів / Є. В. Бацюра, Р. І. Шинькар, А. Р. Ухін, П. Б. Костецький, С. В. Осадчук, Іван Михайлович Сисак // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі

сучасних технологій“, 24-25 листопада 2021 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2021. — Том II. — С. 9–10. — (Електротехніка та енерго-збереження).

15. Романишен О. В. Підвищення надійності системи електропостачання / О. В. Романишен, Д. Р. Клименко, І. М. Сисак // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 128. — (Електротехніка та енергозбереження).

16. Підвищення надійності системи електропостачання промислових підприємств / М. В. Ткач, І. М. Сисак, В. В. Миколишин, Т. Т. Сердюк // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 3. — С. 125. — (Електротехніка та енергозбереження).

17. Сисак І. М. Дослідження та вибір заходів підвищення надійності системи електропостачання трансформаторної підстанції 35/10 кВ / І. М. Сисак, О. І. Скакун // Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 17-18 листопада 2016 року. — Т. : ТНТУ, 2016. — Том II. — С. 192. — (Електротехніка та енергозбереження).

18. Гурик О.Я. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 4656): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2017. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

19. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.