



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 Ухіну Андрію Руслановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення надійності системи електропостачання птахофабрики

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 №4/7-808

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 1л. ф – А1
2. Картограма навантажень 1л. ф – А1
3. Схема електрична принципова 1л. ф – А1
4. Схема силової мережі цеху 1л. ф – А1
5. Принципова однолінійна схема живлення цехових електроспоживачів 1л. ф – А1
6. Епюра відхилення напруги. Картограма селективності 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)

Ухін А.Р.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Сисак І.М.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Ухін А.Р. Забезпечення надійності системи електропостачання птахофабрики. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕмз-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021.

Стор. – 69; рис. – 5; табл. – 10; креслень - 6; джерел - 16; додатків - 0.

Розглянуто питання показників надійності елемента системи електропостачання та описано три фази з різними закономірностями зміни інтенсивності відмов. Проведено розподіл приймачів за пунктами живлення. Здійснено вибір внутрішньої схеми електропостачання. Розраховано повну розрахункову потужність цеху з урахуванням освітлення. Проведено вибір апаратів захисту і січень ліній. Запропоновано до встановлення однострансформаторну підстанцію. Побудовано епюру відхилення напруги. Проведено розрахунок струмів короткого замикання у мережі до 1000 В. Побудована карта селективності дії апаратів захисту. Здійснено перевірку цехової мережі з умови спрацювання від однофазного короткого замикання.

**Ключові слова:** план підприємства, електричні навантаження, короткі замикання.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Дані про підприємство.....	9
1.2 Показники надійності елемента системи електропостачання. Інтенсивність відмов.....	13
1.3 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 Вибір захисних апаратів і січень ліній.....	27
2.3 Висновки до розділу.....	38
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	39
3.1 Побудова епюри відхилення напруги.....	39
3.2 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В.....	48
3.3 Побудова карти селективності дії апаратів захисту.....	52
3.4 Перевірка цехової мережі з умови спрацювання від однофазного КЗ.....	53
3.5 Висновки до розділу.....	58
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	59
4.1 Ураження електричним струмом.....	59
4.2 Рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання.....	62
4.3 Надзвичайні ситуації. Основні причини та ліквідація наслідків.....	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	68

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Проблема надійності електричних станцій, електричних підстанцій, повітряних та кабельних ліній електропередач, електричних мереж та систем – одна із першочергових проблем електроенергетики. В окремих електроенергетичних системах кількість аварій протягом одного року може сягати кількох десятків, а річне недовідпущення електричної енергії внаслідок таких аварій – кількох мільярдів кіловат-годин. Можливі наслідки від ненадійності стають такими суттєвими, що потрібно постійно вдосконалювати методи прогнозування розвитку, проектування, будівництва, монтажу та експлуатації енергетичних систем. Це дозволяють повніше враховувати надійність та найбільш економно витратити виділені на надійність кошти.

При проектуванні системи електропостачання даного підприємства потрібно забезпечити надійне електропостачання, що буде здійснювати [1]:

- вентиляцію приміщень;
- освітлення приміщень;
- автоматичний збір та відвід відходів життєдіяльності;
- автоматичну подачу води та їжі;
- пожежну безпеку.

Уже неодноразово на території України відбувалися трагічні випадки масової загибелі пташок за рахунок недотримання вимог до надійності системи електропостачання. Це були несправності роботи вентиляції, що призвели до масового удушення пташок; пожежі на птахофабриках різних областей України [1].

Тому, задача забезпечення надійності системи електропостачання птахофабрики є актуальною.

**Мета і завдання роботи** Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення надійності системи електропостачання птахофабрики.

Завдання:

- провести розподіл приймачів за пунктами живлення; здійснити вибір схеми внутрішнього електропостачання;
- розрахувати повну розрахункову потужність цеху;
- провести вибір апаратів захисту і січень ліній;
- з урахуванням категорії по надійності електропостачання обґрунтувати число та потужність силових трансформаторів підстанції;
- побудувати епюру відхилення напруги;
- провести розрахунок струмів короткого замикання у мережі до 1000 В.
- побудувати карту селективності дії апаратів захисту;
- здійснити перевірку цехової мережі з умови спрацювання від однофазного короткого замикання.

**Об'єкт дослідження** – процеси режимів електроспоживання

**Предмет дослідження** – методи підвищення надійності в системі електроспоживання птахофабрики.

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

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

**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 - 69 сторінок, 10 таблиць, 5 рисунків.



## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

В кваліфікаційній роботі проводиться проектування системи електропостачання ремонтно-механічного цеху птахофабрики, використовуючи при проектуванні генеральний план, план цеху, відомості про електричні навантаження.

Птахофабрика заснована у 1978 році для вирощування птиці яєчної породи. Тоді птахофабрика вважалася найбільшою в області, і постачала всю область і сусідні регіони дієтичним яйцем.

За багато років існування підприємство змінило багато напрямів вирощування птиці. У 2010 році птахофабрика збанкрутувала і діяльність було припинено майже на один рік.

У 2011 року було набрано основний штат фахівців та робітників, з колишніх співробітників птахофабрики. 35 корпусів утримання птахів відновили свою роботу, поголів'я склало до кінця року 900 тис. бройлерів.

Стартувала масштабна реконструкція пташників. Розпочався монтаж обладнання для кліткового утримання бройлерів з автоматичною системою годівлі, послідовидалення та вивантаження птиці на забій, а також світлодіодним освітленням у кожній клітці. Це дозволило підприємству втричі збільшити кількість бройлерів у кожному корпусі і збільшити виробництво м'яса.

У 2012 році повністю закінчилася реконструкція всіх корпусів із клітковим утриманням птиці. Поголів'я збільшилося до 1,7 млн. голів бройлерів. Побудовано та запущено в експлуатацію новий інкубатор, потужністю 22 млн. інкубаційного яйця на рік. Новий інкубатор оснащений найсучаснішим бельгійським обладнанням, що дозволяє значно збільшити виведення курчат, знижуючи при цьому енерговитрати і трудовитрати на інкубацію.

Наразі максимальна потужність підприємства 36 тисяч тон бройлерів на рік.

На підприємстві працевлаштовано 1300 осіб.

## 1.1 Дані про підприємство

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

Найменування об'єкта	Число змін	Категорія ЕП	Середовище	Встановлена потужність, кВт
1 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	138
2 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	184
3 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	184
4 Холодний господарський склад	1	III	Нормальне	5
5 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	184
6 Бригадний будинок	1	III	Нормальне	10
7 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	138
8 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	138
9 Корпус кліткового утримання птиці	3	I	Нормальне	272
10 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	138
11 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	138
12 Корпуси підлогового утримання птиці	3	I	Нормальне	138
13 Інкубатор	3	I	Нормальне	115

## Продовження таблиці 1.1

14 Господарське приміщення	1	III	Нормальне	20
15 Ремонтно-механічний цех	1	III	Нормальне	-
16 Корпус кліткового утримання птиці	3	I	Нормальне	204
17 Корпус кліткового утримання птиці	3	I	Нормальне	204
18 Корпус кліткового утримання птиці	3	I	Нормальне	204
19 Їдальня	2	III	Нормальне	100
20 Заводоуправління	2	III	Нормальне	85
21 Ветеринарний блок	1	II	Нормальне	25
22 Кормоцех	3	II	Нормальне	205
23 Склад сухих кормів	1	III	Нормальне	35
24 Склад будівельних матеріалів	1	III	Нормальне	10
25 Господарське приміщення	1	III	Нормальне	15
26 Газова котельня	3	I	Вибухонебезпечне	40
27 Насосне водопостачання	3	I	Вологе	120
28 Прохідна	3	III	Нормальне	5
29 Вагова	1	III	Нормальне	7
30 Забійний цех	2	I	Нормальне	240

Генеральний план підприємства представлений у графічній частині роботи до кваліфікаційної роботи.

Таблиця 1.2 – Відомості про електричні навантаження ремонтно-механічного цеху

Найменування	$P_{вст},$ кВт	$K_B$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$\eta$	$K_{пуск}$	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Підйомник воріт	5.2	0.10	0.45	1.98	0.89	5	19.7	98.6
2 Підйомник воріт	5.2	0.10	0.45	1.98	0.89	5	19.7	98.6
3 Тепловентилятор	7.3	0.75	0.80	0.75	0.89	7	15.6	109.0
4 Кран-балка ПВ = 25%	34.0	0.05	0.50	1.73	0.89	5	116.1	580.4
5 Кран-балка ПВ = 25%	34.0	0.05	0.50	1.73	0.89	5	116.1	580.4
6 Витяжна вентиляція	12.0	0.75	0.80	1.17	0.89	7	25.6	179.2
7 Прес-ножиці	9.0	0.25	0.65	0.75	0.89	5	23.6	118.2
8 Компресор	18.8	0.65	0.80	0.33	0.89	5	40.1	200.6
9 Піч	25.0	0.80	0.95	0.33	0.95	-	42.1	-
10 Сушильна шафа	21.0	0.80	0.95	1.17	0.95	-	35.4	-
11 Відрізний верстат	24.0	0.18	0.65	1.17	0.89	5	63.0	315.2
12 Фрезерний верстат	19.4	0.18	0.65	1.17	0.89	5	51.0	254.8
13 Токарний верстат	17.9	0.18	0.65	1.17	0.89	5	47.0	235.1
14 Наждаковий верстат	4.2	0.18	0.65	1.17	0.89	5	11.0	55.2
15 Трубозгинальний верстат	15.0	0.18	0.65	1.17	0.89	5	39.4	197.0
16 Підйомник воріт	5.2	0.10	0.45	1.98	0.89	5	19.7	98.6
17 Тепловентилятор	7.3	0.75	0.80	0.75	0.89	7	15.6	109.0
18 Кран-балка ПВ = 25%	34.0	0.05	0.50	1.73	0.89	5	116.1	580.4
19 Зварювальний агрегат ПВ = 60%	44.0	0.30	0.60	1.33	0.98	3	113.7	341.1
20 Зварювальний трансфор- матор ПВ=40%	35.0	0.30	0.60	1.33	0.98	3	90.4	271.3

## Продовження таблиці 1.2

21 Припливна вентиляція	8.5	0.75	0.80	0.75	0.89	7	18.1	127.0
22 Свердлильний верстат	2.8	0.18	0.65	1.17	0.89	5	7.4	36.8
23 Витяжна вентиляція	12.0	0.75	0.80	0.75	0.89	7	25.6	179.2
24 Точильно-шліфувальний верстат	5.5	0.18	0.65	1.17	0.89	5	14.4	72.2
25 Вертикально-свердлильний верстат	5.3	0.18	0.65	1.17	0.89	5	13.9	69.6
26 Прес гідравлічний	12.0	0.25	0.65	1.17	0.89	5	31.5	157.6
27 Прес гідравлічний	14.7	0.25	0.65	1.17	0.89	5	38.6	193.0
28 Припливна вентиляція	8.5	0.75	0.80	0.75	0.89	7	18.1	127.0
29 Точильно-шліфувальний верстат	5.5	0.18	0.65	1.17	0.89	5	14.4	72.2
30 Консольно-фрезерний верстат	10.0	0.18	0.65	1.17	0.89	5	26.3	131.3
31 Консольно-фрезерний верстат	10.0	0.18	0.65	1.17	0.89	5	26.3	131.3
32 Токарно-гвинторізний верстат	7.5	0.18	0.65	1.17	0.89	5	19.7	98.5
33 Токарно-гвинторізний верстат	7.5	0.18	0.65	1.17	0.85	5	20.6	103.1
34 Витяжна вентиляція	12.0	0.75	0.80	0.75	0.85	7	26.8	187.7

План цеху з розташуванням електричного устаткування представлено графічній частині до кваліфікаційної роботи.

## 1.2 Показники надійності елемента системи електропостачання. Інтенсивність відмов

Надійність системи електропостачання залежить від надійності її елементів; елемент – це частина системи електропостачання, надійність якої вивчається незалежно від надійності складових його частин [1].

Під час аналізу надійності електричних мереж як елементи розглядають лінії електропередач, електроустаткування (вимикачі, трансформатори, двигуни), функціональні вузли, відмови яких призводять до однакових наслідків (шини підстанцій, комірki розподільних пристроїв), а також виробничі установки.

Для характеристики надійності елементів необхідно встановити спостереження за їхньою роботою. Спостереження починається від моменту  $t=0$  (тобто моменту продажу виробу, пуску установки) до закінчення терміну їх функціонування.

У процесі функціонування елементів час від часу відбуваються відмови. Статистична обробка даних про відмови дає змогу визначити показники надійності.

Інтенсивність відмов – це ймовірність того, що елемент, який раніше проробив безвідмовно до моменту  $t$ , відмовить на відрізку  $(t + \Delta t)$  за умови, що  $\Delta t$  досить малий [1]:

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

де  $\varphi_1$  – випадковий інтервал часу до першої відмови.

Іншими словами,  $\lambda(t)$  – це умовна ймовірність відмови після  $t$  за одиницю часу  $\Delta t$  за умови, що до моменту  $t$  відмови не було.

Статистичну інтенсивність відмов визначають як відношення числа елементів  $n(t, \Delta t)$ , що відмовили саме в інтервалі  $(t, t + \Delta t)$  до числа елементів  $N(t)$ , справних до моменту  $t$  [1]:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(t) \Delta t}.$$

З досвіду відомо, що  $\Delta t$  повинне бути досить малим, а  $n(t, t + \Delta t)$  – великим [1].

На основі проведеного аналізу великої кількості статистичних даних про відмови елементів систем електропостачання було доведено, що  $\lambda(t)$  в часі описується кривою, на якій можна виділити три фази з різними закономірностями зміни інтенсивності відмов [1].

На рис. 1.1 показано залежність інтенсивності відмов від часу роботи елемента.

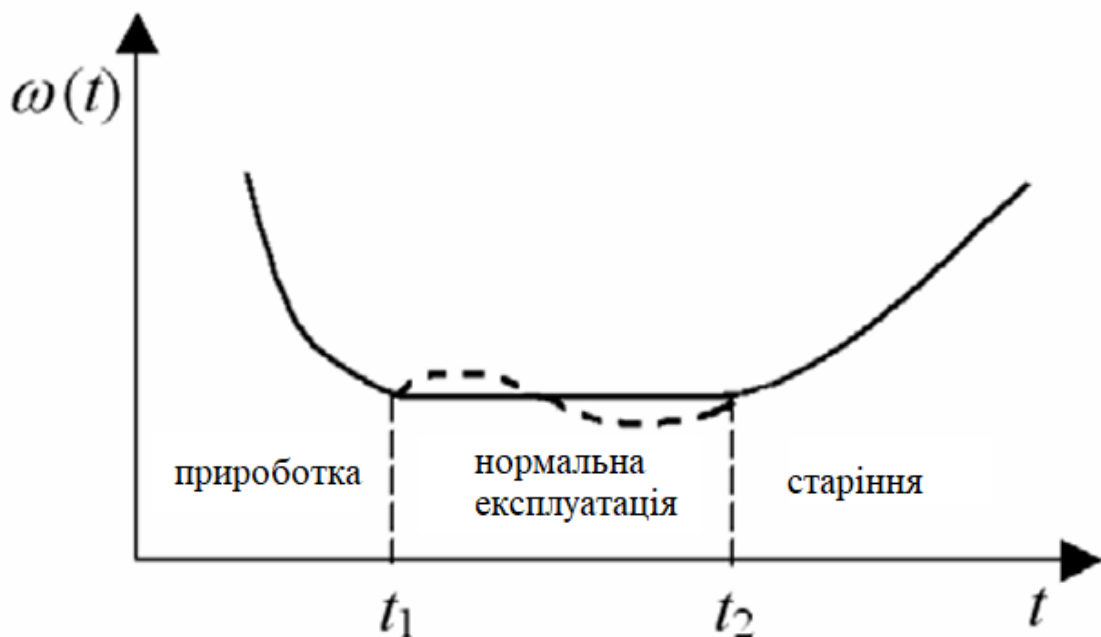


Рисунок 1.1 - Залежність інтенсивності відмов від часу роботи елемента

I фаза – прироботочні відмови. Відмови в цей період відбуваються при невідповідності параметрів елементів умовам функціонування – напрузі, навантаженню. На цій стадії в основному виявляються дефекти спорудження, проектування, монтажу. В міру їхнього усунення інтенсивність відмов падає. На цій фазі  $\lambda(t)$  описується гаммарозподілом або розподілом Вейбулла.

II фаза – нормальний період роботи елемента. На елемент впливають випадкові фактори та відмови відбуваються в основному за рахунок перевищення розрахункових значень впливових факторів. В цей період функція не залежить від часу початку спостереження та описується експоненціальним розподілом.

III фаза – старіння елемента. Внаслідок втоми, зношування, тобто зміни внутрішньої структури елемента в результаті необоротних фізико-хімічних процесів, число відмов збільшується навіть при нормальній експлуатації. Умови, в яких працює елемент (підвищена вологість, агресивне середовище, електричні і механічні впливи), можуть прискорити процес старіння. Довговічність роботи елементів можна збільшити (тобто III фазу віддалити) за рахунок заходів із захисту від впливів охолодження, навколишнього середовища, організації системи обслуговування.

Для основних елементів систем електропостачання період триває від трьох до п'яти років. Для повітряних ліній на опорах з просоченої деревини старіння проявляється через п'ятнадцять – двадцять років після введення у експлуатацію. Термін старіння трансформаторів та кабельних ліній, обумовлений старінням ізоляції, становить двадцять-тридцять років. Старіння комутаційних апаратів настає через сорок – п'ятдесят років. Звичайно така апаратура морально застаріває раніше, ніж фізично. В основному ж елементи системи електропостачання є високонадійними елементами, такими, у яких час їхньої безвідмовної роботи  $T$  значно перебільшує час відновлення  $\tau$  [1].



### 1.3 Висновки до розділу

1. Розглянуто загальну інформацію про птахофабрику: відомості про електричні навантаження підприємства, категорію надійності електропостачання, відомості про електричні навантаження ремонтно-механічного цеху.

2. Розглянуто питання показників надійності елемента системи електропостачання. Дано визначення елемента системи електропостачання та визначення інтенсивності відмов. Описано три фази з різними закономірностями зміни інтенсивності відмов.

## **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 близько до центру електричних навантажень, підключених до 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 відкрито на лотках по стінах. Прийнята схема забезпечує необхідну ступінь надійності живлення приймачів та необхідну за технологічними умовами гнучкість та універсальність мережі щодо приєднання нових приймачів та переміщення приймачів площею цеху.

Як розподільні пункти приймаємо пункти марки РП11-7123. Цей пункт розрахований на кількість відходящих ліній до дванадцяти штук.

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

#### **2.1.2 Визначення розрахункового навантаження цеху**

Для правильного вибору січень ліній, комутаційних та захисних апаратів здійснимо розрахунок електричних навантажень цеху.

Для цього скористаємося методом коефіцієнта максимуму.

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

Кран-балка ПВ = 25%:

$$P_{\text{ном}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 34,0 \cdot \sqrt{0,25} = 17,000 \text{ кВт}$$

Зварювальний агрегат ПВ = 60%:

$$P_{\text{ном}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 44,0 \cdot \sqrt{0,60} = 34,082 \text{ кВт}$$

Зварювальний трансформатор ПВ = 40%:

$$P_{\text{ном}} = P \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 35,0 \cdot \sqrt{0,40} = 22,136 \text{ кВт}$$

Для кожної групи визначається сумарна номінальна потужність електроприймачів (з прикладу групи «А» РП1):

$$P_{\text{ном.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} = 10,4 + 34,0 + 9,0 = 53,4 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт використання  $K_v$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi$  для кожного електроприймача або групи електроприймачів визначається за [3].

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

$$P_{\text{см}} = K_v \cdot P_{\text{ном.}\Sigma} = 0,10 \cdot 10,4 = 1,0 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,0 \cdot 1,98 = 2,1 \text{ кВАр}$$

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

$K_v$  - 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»):

$$P_{\text{CM}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{CM},i} = 1,0 + 1,7 + 2,3 = 5,0 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{CM},i} = 2,1 + 2,9 + 2,6 = 6,7 \text{ кВАр}.$$

Діапазон величини модуля:

$$m = \frac{P_{\text{ном.мах}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{17,0}{5,2} = 3,3 > 3.$$

Визначення середньозваженого коефіцієнта використання за групою:

$$K_{\text{в.ср}} = \frac{P_{\text{CM}}^{\text{A}}}{P_{\text{ном.}\Sigma}} = \frac{5,0}{53,4} = 0,09.$$

Середньозважене значення коефіцієнта реактивної потужності:

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{CM}}^{\text{A}}}{P_{\text{CM}}^{\text{A}}} = \frac{7,6}{5,0} = 1,53.$$

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

$$n_e = \frac{[P_{\text{ном.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{ном}}^2} = \frac{53,4^2}{713,1} = 4,0 \text{ шт.}$$

приймаємо  $n_e = 4$  шт.

Коефіцієнт максимуму активної потужності [3]:

$$K_M = 3,34.$$

Коефіцієнт максимуму реактивної потужності:

$$K'_M = 1,1$$

Розрахункова активна та реактивна потужності пункту:

$$P_p^{A''} = K_M \cdot P_{CM}^{A''} = 3,34 \cdot 5,0 = 16,6 \text{ кВт},$$

$$Q_p^{A''} = K'_M \cdot Q_{CM}^{A''} = 1,1 \cdot 7,6 = 8,4 \text{ кВАр}.$$

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:

$$P_p^{B''} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ.i}^{B''} = 38,1 \text{ кВт},$$

$$Q_p^{B''} = \sum_{i=1}^n (P_{НОМ.i}^{B''} \cdot \text{tg}\varphi_i) = 28,6 \text{ кВАр}.$$

Визначаємо активну, реактивну та повну розрахункові потужності електроприймачів пункту:

$$P_p = P_p^{A''} + P_p^{B''} = 16,6 + 38,1 = 54,7 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_p^{A''} + Q_p^{B''} = 8,4 + 28,6 = 37,0 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{54,7^2 + 37,0^2} = 66,1 \text{ кВА}.$$

Визначення розрахункового струму пункту:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{66,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 100,4 \text{ А},$$

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

Номінальний струм найпотужнішого електроприймача пункту:

$$I_{НОМ}^{max} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{34,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 116,1 \text{ А},$$

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

$\eta$  - ККД електроприймача.

Пусковий струм найпотужнішого електроприймача пункту:

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}} = 5 \cdot 116,1 = 580,4 \text{ А},$$

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

Піковий струм пункту:

$$I_{\text{п.п}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{в.мак}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = 580,4 + (100,4 - 0,05 \cdot 116,1) = 675,0 \text{ А},$$

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

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

$$P_{\text{н.о}} = P_{\text{пщ.о}} \cdot F_{\text{ц}} = 0,016 \cdot 780 = 12,5 \text{ кВт},$$

де  $F_{\text{ц}} = 780 \text{ м}^2$  – площа цеху;

$P_{\text{пщ.о}} = 0,016 \text{ кВт/м}^2$  - питома щільність освітлювального навантаження [4].

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху:

$$P_{\text{р.о}} = K_{\text{по}} \cdot P_{\text{н.о}} = 0,95 \cdot 12,5 = 11,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.о}} = P_{\text{р.о}} \cdot \text{tg}\varphi_0 = 11,9 \cdot 0,33 = 3,9 \text{ кВАр},$$

де  $K_{\text{по}} = 0,95$  - коефіцієнт попиту для виробничих будівель, які складаються з окремих великих прольотів [3];

$\text{tg}\varphi_0 = 0,33$  - для люмінесцентних ламп [3].

Визначення розрахункового навантаження цеху з урахуванням освітлення:

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о}})^2 + (Q_p + Q_{\text{р.о}})^2} = \\ &= \sqrt{(263,4 + 11,9)^2 + (155,6 + 3,9)^2} = 318,1 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Визначення розрахункового струму цеху:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{318,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 483,3 \text{ А},$$

де  $U_{\text{ном}}$  - номінальна напруга електроприймачів, В.

Визначення пікового струму цеху.

Розрахунковий струм найпотужнішого пункту цеху:

$$I_p^{\text{max.ПР}} = 153,5 \text{ А.}$$

Піковий струм найпотужнішого пункту цеху:

$$I_{\text{пik}}^{\text{max.ПР}} = 728,1 \text{ А.}$$

Піковий струм цеху:

$$I_{\text{пik.ц}} = I_{\text{пik}}^{\text{max.ПР}} + I_p - I_p^{\text{max.ПР}} = 728,1 + 483,3 - 153,5 = 1058,0 \text{ А.}$$

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

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункових навантажень ремонтно-механічного цеху за пунктами живлення

Найменування вузлів живлення та груп ЕП	Кількість ЕП, n	Встановлена потужність		$m = P_{\text{ном.макс}}/P_{\text{ном.мін}}$	Коефіцієнт використання Кв.	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		Ефективна кількість електроприймачів n <sub>е</sub>	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальне навантаження			I <sub>p</sub> , А	I <sub>пик</sub> , А
		P <sub>ном</sub> , кВт	∑P <sub>ном</sub> , кВт					P <sub>см</sub> = K · P <sub>ном</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> = P <sub>см</sub> · tgφ, кВАр			P <sub>p</sub> = K <sub>м</sub> · P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> = (1÷1,1) · Q <sub>см</sub> , кВАр	S <sub>p</sub> = √(P <sub>p</sub> <sup>2</sup> + Q <sub>p</sub> <sup>2</sup> ), кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Шафа розподільна РП-1																
Електроприймачі групи "А", К <sub>в</sub> < 0.6																
1 Підйомник воріт	2	5.2÷5.2	10.4		0.10	0.45	1.98	1.0	2.1							
2 Кран-балка ПВ = 25%	2	17.0÷17.0	34.0		0.05	0.50	1.73	1.7	2.9							
3 Прес-ножиці	1	9.0÷9.0	9.0		0.25	0.65	1.17	2.3	2.6							
Разом за групою "А"	5	5.2÷17.0	53.4	>3	0.09	0.55	1.53	5.0	7.6	4	3.34	16.6	8.4	18.6		



Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Електроприймачі групи "Б", $K_B \geq 0.6$																
4 Вентиляція, тепловентилятор	2	7.3÷12.0	19.3		0.75	0.80	0.75	14.5	10.9							
5 Компресор	1	18.8÷18.8	18.8		0.65	0.80	0.75	12.2	9.2							
Разом за групою "Б"	3	7.3 ÷ 18.8	38.1		0.70	0.80	0.75	26.7	20.0			38.1	28.6	47.6		
Разом з РП-1	8	5.2 ÷ 18.8	91.5		0.35	0.75	0.87	31.7	27.7			54.7	37.0	66.1	100.4	675.0
Шафа розподільна РП-2																
Електроприймачі групи "А", $K_B < 0.6$																
1 Верстати різні	5	4.2 ÷ 24.0	80.5		0.18	0.65	1.17	14.5	16.9							
2 Підйомник воріт	1	5.2 ÷ 5.2	5.2		0.10	0.45	1.98	0.5	1.0							
3 Кран-балка ПВ=25%	1	17.0÷17.0	17.0		0.05	0.50	1.73	0.9	1.5							
Разом по групі "А"	7	4.2 ÷ 24.2	102.7	>3	0.15	0.63	1.23	15.9	19.4	6	2.43	38.6	21.4	44.1		
Електроприймачі групи "Б", $K_B \geq 0.6$																
4 Піч, сушильна шафа	2	21.0÷25.0	46.0		0.80	0.95	0.33	36.8	12.1							
5 Тепловентилятор	1	7.3 ÷ 7.3	7.3		0.75	0.80	0.75	5.5	4.1							
Разом за групою "Б"	3	7.3 ÷ 25.0	53.3		0.79	0.93	0.38	42.3	16.2			53.3	20.6	57.1		
Разом з РП-2	10	4.2 ÷ 25.0	156.0		0.37	0.85	0.61	58.1	35.6			91.9	42.0	101.0	153.5	728.1

## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Шафа розподільна РП-3																
Електроприймачі групи "А", $K_B < 0.6$																
1 Зварювальне обладнання	2	22.1÷34.1	56.2		0.30	0.60	1.33	16.9	22.5							
2 Верстати різні	3	2.8÷5.5	13.6		0.18	0.65	1.17	2.4	2.9							
Разом за групою "А"	5	2.8÷34.1	69.8	>3	0.28	0.61	1.31	19.3	25.3	3	2.4	46.4	27.9	54.1		
Електроприймачі групи "Б", $K_B \geq 0.6$																
3 Вентиляція	2	8.5÷12.0	20.5		0.75	0.80	0.75	15.4	11.5							
Разом за групою "Б"	2	8.5÷12.0	20.5		0.75	0.80	0.75	15.4	11.5			20.5	15.4	25.6		
Разом з РП-3	7	2.8÷34.1	90.3		0.38	0.69	1.06	34.7	36.9			66.9	43.3	79.6	121.0	428.0
Шафа розподільна РП-4																
Електроприймачі групи "А", $K_B < 0.6$																
1 Прес гідравлічний	2	12.0÷14.7	26.7		0.25	0.65	1.17	6.7	7.8							
2 Верстати різні	5	5.5 ÷ 10.0	40.5		0.18	0.65	1.17	7.3	8.5							
Разом за групою "А"	7	5.5 ÷ 14.7	67.2	<3	0.21	0.65	1.17	14.0	16.3	7	2.11	29.4	18.0	34.5		

## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Електроприймачі групи "Б", $K_b \geq 0.6$																
3 Вентиляція	2	8.5÷12.0	20.5		0.75	0.80	0.75	15.4	11.5							
Разом за групою "Б"	2	8.5÷12.0	20.5		0.75	0.80	0.75	15.4	11.5			20.5	15.4	25.6		
Разом по РП-4	9	5.5÷14.7	87.7		0.33	0.73	0.95	29.3	27.9			49.9	33.3	60.0	91.2	274.6
Разом силове навантаження	34	2.8÷34.1	425.5		0.36	0.77	0.83	153.8	128.0			263.4	155.6	306.8		
Електричне освітлення	12.5	$K_{по}=0.95$	0.95		0.33	11.9	3.9	11.9	3.9							
Разом по цеху	34	2.8÷34.1	438.0		0.38	0.78	0.80	165.7	131.9			275.3	159.5	318.1	483.3	1058.0

## 2.2 Вибір захисних апаратів і січень ліній

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

Вибір січень ліній живлення проводиться за тривало допустимим струмом навантаженням з умови нагріву. 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 АВВГ із прокладкою на лотках по стінах. Живлення здійснюємо за радіальними лініями.

Для подальшого розрахунку так само необхідно знати потужність трансформатора цехової підстанції, а також січення кабельної лінії, що живить цю підстанцію.

Приклади вибору апаратів та кабелів.

а) Вибір цехового трансформатора та лінії, що живить підстанцію.

На даному етапі роботи припустимо, що від підстанції живиться тільки цех, що розглядається.

Розрахункова потужність навантаження підстанції:

$$S_{p.пс} = 318,1 \text{ кВА.}$$

Так як цех відноситься до електроприймачів III категорії, то приймаємо однострансформаторну підстанцію [13, 15, 16]:

$$S_{тр.розр} = \frac{S_{p.пс}}{\beta_{тр} \cdot n_{тр}} = \frac{318,1}{0,7 \cdot 1} = 454,5 \text{ кВА.}$$

За стандартним рядом номіналів потужностей приймаємо трансформатор потужністю 400 кВА. Розрахуємо фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta_{\text{тр.розр}} = \frac{S_{\text{р.ПС}}}{S_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}}} = \frac{318,1}{400 \cdot 1} = 0,80$$

Параметри вибраного трансформатора наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри трансформатора [5]

Тип	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{вн}}$	$U_{\text{нн}}$	$P_{\text{хх}}$	$Q_{\text{хх}}$	$P_{\text{кз}}$	$Q_{\text{кз}}$	$U_{\text{к}}$	$I_{\text{хх}}$
	МВА	кВ	кВ	кВт	кВАр	кВт	кВАр	%	%
ТМ-400/10	0.40	10.0	0.4	1.20	8.4	5.5	22.0	5.5	2.10

Кабель, що живить цехову підстанцію, вибирається за економічною щільністю струму.

Розрахунковий струм на одне коло:

$$I_{\text{розр}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1 \cdot 400}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 23,1 \text{ А,}$$

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

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

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

Економічне січення при роботі підприємства з  $T_{\text{max}} > 5000$  год/рік та живленні кабелями з алюмінієвими жилами визначається для економічної щільності струму 1,2 А/мм<sup>2</sup> [6]:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{розр}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{23,1}{1,2} = 19,2 \text{ мм}^2.$$

Намічаємо кабель найближчого стандартного січення марки АВББШв:

$$F = 25 \text{ мм}^2 \text{ з } I_{\text{доп}} = 75 \text{ А [6].}$$

Вибране січення перевіряється за допустимим навантаженням з умов нагріву в нормальному режимі:

$$I'_{\text{дон}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{дон}} = 1,00 \cdot 75 = 75,0 \text{ A} > I_{\text{розр}} = 23,1 \text{ A},$$

де  $K_{\text{пр}} = 1,00$  – коефіцієнт прокладки при прокладанні кабельних ліній по естакадах.

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

б) Вибір відходящого вимикача підстанції.

Розрахунковий струм навантаження підстанції:

$$I_{\text{р.ЛС}} = \frac{S_{\text{р.ЛС}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{318,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 483,3 \text{ A}.$$

Номінальний струм трансформатора підстанції:

$$I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 607,7 \text{ A}.$$

Струм післяаварійного режиму трансформаторів підстанції:

$$I_{\text{н/ав.тр}} = 1,4 \cdot I_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot 607,7 = 850,8 \text{ A}.$$

Піковий струм підстанції:

$$I_{\text{пікЛС}} = I_{\text{пік}}^{\text{max.ПР}} + I_{\text{р.ЛС}} - I_{\text{р}}^{\text{max.ПР}} = 728,1 + 607,7 - 153,5 = 1182,4 \text{ A}.$$

Намічаємо до встановлення автомат марки ВА83 - 41 з параметрами  $I_{\text{ном.ав}} = 1000 \text{ A}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ A}$  [6].

- перевірка наміченого автомата з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ A} > 1,1 \cdot I_{\text{р.ЛС}} = 1,1 \cdot 607,7 = 668,5 \text{ A}.$$

- перевірка наміченого автомата з нагрівання післяаварійним струмом:

$$I_{\text{пер}} = 2 \cdot I_{\text{тепл}} = 2 \cdot 1000 = 2000,0 \text{ A} > I_{\text{н/ав.тр}} = 850,8 \text{ A}.$$

- перевірка наміченого автомата за умовою навантаження піковим струмом:

$$1,25 \cdot I_{\text{пікЛС}} = 1,25 \cdot 1182,4 = 1477,9 \text{ A}.$$

Коефіцієнт кратності струму спрацьовування вставки:

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пiкПC}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1477,9}{1000} = 1,5,$$

приймаємо  $K = 2,0$ .

Номинальний струм спрацьовування вставки у зоні КЗ:

$$I_c = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2,0 \cdot 1000 = 2000,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пiкПC}} = 1477,9 \text{ A}.$$

Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок.

в) Ділянка ТП-РП1.

Розрахунковий та піковий струм навантаження РП1:

$$I_p = 100,4 \text{ A}, \quad I_{\text{пiк}} = 675,0 \text{ A}.$$

Намічаємо до встановлення автомат марки: ВА74 - 40 з параметрами  $I_{\text{ном.ав}} = 800 \text{ A}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 190 \text{ A}$  [6].

- перевірка наміченого автомата з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{тепл}} = 190 \text{ A} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 100,4 = 110,4 \text{ A}.$$

- перевірка наміченого автомата за умовою навантаження піковим струмом:

$$1,25 \cdot I_{\text{пiк}} = 1,25 \cdot 675,0 = 843,7 \text{ A}.$$

Коефіцієнт кратності струму спрацьовування вставки:

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пiк}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{843,7}{190} = 4,4,$$

приймаємо  $K = 6,0$ .

Номинальний струм спрацьовування вставки у зоні КЗ:

$$I_c = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6,0 \cdot 190 = 1140,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пiк}} = 843,7 \text{ A}.$$

Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок.

Намічаємо вибір кабелю марки АВВГ - 1 (4 x 120) з  $I_{\text{доп}} = 200 \text{ A}$  [6].

- перевірка наміченого кабелю з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{доп}} = 200 \text{ A} > I_p = 110,4 \text{ A}.$$

- узгодження з дією апарату захисту:

$$I_{\text{дон}} = 200 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1,00 \cdot 190}{1} = 190,0 \text{ A}.$$

де  $I_3$  - струм вставки спрацьовування захисного апарату, А;

$K_{\text{прокл}}$  – поправочний коефіцієнт на умову прокладання;

$K_3$  – кратність захисту.

- перевірка з допустимої втрати напруги:

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_{p\%} \cdot I_p \cdot l = 0,117 \cdot 100,4 \cdot 0,007 = 0,08 \% < 5 \%,$$

де  $l$  - довжина лінії, що розглядається, км,

5% - допустиме значення втрат напруги;

$\Delta U_0$  - втрата напруги в трифазних мережах 380 В [3], %/(А·км).

Прийнятий кабель проходить за результатами перевірок.

г) Ділянка РП1 – підйомник воріт.

Номинальний та пусковий струм навантаження РП1:

$$I_{\text{ном}} = 19,7 \text{ A}, \quad I_{\text{пуск}} = 98,6 \text{ A}.$$

Намічаємо до встановлення автомат марки: ВА13 - 29 з параметрами

$$I_{\text{ном.ав}} = 63 \text{ A}, \quad I_{\text{тепл}} = 25 \text{ A} [6].$$

- перевірка наміченого автомата з нагрівання номінальним струмом:

$$I_{\text{тепл}} = 25 \text{ A} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 19,7 = 21,7 \text{ A}.$$

- перевірка наміченого автомата за умовою перевантаження пусковим струмом:

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 98,6 = 148,0 \text{ A}.$$

Коефіцієнт кратності струму спрацьовування вставки:

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{148,0}{25} = 5,9,$$

Номинальний струм спрацьовування вставки у зоні КЗ:

$$I_c = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6,0 \cdot 25 = 150,0 \text{ A} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 148,0 \text{ A}.$$



Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок.

Намічаємо вибір кабелю марки АВВГ – 1 (4 х 4) з  $I_{\text{доп}} = 35 \text{ A}$  [6].

- перевірка наміченого кабелю з нагрівання розрахунковим струмом:

$$I_{\text{доп}} = 35 \text{ A} > I_{\text{ном}} = 21,7 \text{ A}.$$

- узгодження з дією апарату захисту:

$$I_{\text{доп}} = 35 \text{ A} > \frac{K_z \cdot I_z}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1,00 \cdot 25}{1} = 25,0 \text{ A}.$$

Прийнятий кабель проходить за результатами перевірок.

Оскільки розрахунок на вибір апаратів захисту і кабельних ліній всіх розподільних пунктів і електроприймачів аналогічний, інші розрахунки зведемо в таблицю 2.3 (для розподільних пунктів) і таблицю 2.4 (для окремих електроприймачів).

Таблиця 2.3 - Вибір марки та сечення провідників мережі живлення, апаратів захисту

Ділянка	$I_p / I_{пik}$	$1,1 \cdot I_p$	$1,25 \cdot I_{пik}$	Автомат			Спосіб прокладання	$K_3$	$K_{пр}$	$K_3 \cdot I_3 / K_{пр}$	Кабель		L	$\cos\varphi$	$\Delta U_0$	$\Delta U_p$
				K	$I_{тепл} / I_c$	Тип					$I_{доп}$	Марка				
	A	A	A	-	A	-		-	-	A	A	-	км	-	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Відходящий вимикач ТП	607.7/ 1182.4	668.5	1477.9	2.0	1000/ 2000.0	ВА83 - 41	на лотках	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ТП - ПР1	100.4/ 675.0	110.4	843.7	6.0	190/ 1140.0	ВА74 - 40		1.00	1	190	200	АВВГ -1 (4 x 120)	0.007	0.75	0.117	0.08
ТП - ПР2	153.5/ 728.1	168.8	910.1	6.0	190/ 1140	ВА74 - 40		1.00	1	190	200	АВВГ -1 (4 x 120)	0.018	0.85	0.123	0.34
ТП - ПР3	121.0/ 428.0	133.1	535.0	5.0	190/ 950	ВА74 - 40		1.00	1	190	200	АВВГ -1 (4 x 120)	0.030	0.69	0.109	0.40
ТП - ПР4	91.2/ 274.6	100.3	343.2	4.0	130/ 520	ВА74 - 40		1.00	1	130	140	АВВГ -1 (4 x 70)	0.044	0.73	0.169	0.68

Таблиця 2.4 - Вибір розподільних пунктів, автоматів та кабелів

Приймач	P <sub>ном</sub>	I <sub>ном</sub>	I <sub>пуск</sub>	1,1 · I <sub>ном</sub>	1,25 · I <sub>пуск</sub>	Автомат				K <sub>пр</sub>	K <sub>з</sub>	K <sub>з</sub> ·I <sub>з</sub> / K <sub>пр</sub>	Кабель	
						K	I <sub>тепл</sub>	I <sub>с</sub>	Тип				I <sub>доп</sub>	Марка
	кВт	A	A	A	A	-	A	A	-	-	-	A	A	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП – 1 РП11 – 7123														
Підйомник воріт	5.2	19.7	98.6	21.7	148.0	6.0	25.0	150.0	ВА13-29	1.0	1.00	25	27	АВВГ–1(4х4)
Тепловентилятор	7.3	15.6	109.0	17.1	163.6	12.0	20.0	240.0	ВА13-29	1.0	1.00	20	27	АВВГ–1(4 х 4)
Кран-балка ПВ = 25%	34.0	116.1	580.4	127.7	870.6	6.0	160.0	960.0	ВА57-35	1.0	1.00	160	170	АВВГ–1(4 х 95)
Витяжна вентиляція	12.0	25.6	179.2	28.2	268.9	12.0	31.5	378.0	ВА13-29	1.0	1.00	31.5	32	АВВГ–1(4 х 6)
Прес-ножиці	9.0	23.6	118.2	26.0	177.3	6.0	31.5	189.0	ВА13-29	1.0	1.00	31.5	32	АВВГ–1(4 х 6)
Компресор	18.8	40.1	200.6	44.1	300.9	12.0	50.0	600.0	ВА13-29	1.0	1.00	50.0	60	АВВГ–1(4 х 16)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП – 2 РП11 – 7123														
Піч	25.0	42.1	-	46.3	-	-	50.0	-	BA13-29	1.0	1.00	50.0	60	АВВГ-1(4x16)
Сушильна шафа	21.0	35.4	-	38.9	-	-	40.0	-	BA13-29	1.0	1.00	40.0	42	АВВГ-1 (4x10)
Відрізний верстат	24.0	63.0	315.2	69.3	472.7	6.0	80.0	480.0	BA57-35	1.0	1.00	80.0	90	АВВГ-1 (4x35)
Фрезерний верстат	19.4	51.0	254.8	56.0	382.1	12.0	63.0	756.0	BA13-29	1.0	1.00	63.0	75	АВВГ-1(4x25)
Токарний верстат	17.9	47.0	235.1	51.7	352.6	6.0	63.0	378.0	BA13-29	1.0	1.00	63.0	75	АВВГ-1(4x25)
Наждачний верстат	4.2	11.0	55.2	12.1	82.7	12.0	12.5	150.0	BA13-29	1.0	1.00	12.5	27	АВВГ-1(4x4)
Трубозгинальний верстат	15.0	39.4	197.0	43.3	295.5	6.0	50.0	300.0	BA13-29	1.0	1.00	50.0	60	АВВГ-1(4x16)
Підйомник воріт	5.2	19.7	98.6	21.7	148.0	6.0	25.0	150.0	BA13-29	1.0	1.00	25.0	27	АВВГ-1(4x4)
Тепловентилятор	7.3	15.6	109.0	17.1	163.6	12.0	20.0	240.0	BA13-29	1.0	1.00	20.0	27	АВВГ-1(4x4)
Кран-балка ПВ=25%	34.0	116.1	580.4	127.7	870.6	6.0	160.0	960.0	BA57-35	1.0	1.00	160.0	170	АВВГ-1 (4x95)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП – 3 РП11 – 7123														
Зварювальний агрегат ПВ = 60%	44.0	113.7	341.1	125.1	511.6	4.0	160.0	640.0	BA57- 35	1.0	1.00	160.0	170	АВВГ– 1(4x95)
Зварювальний трансформатор ПВ=40%	35.0	90.4	271.3	99.5	407.0	5.0	100.0	500.0	BA57- 35	1.0	1.00	100.0	110	АВВГ-1 (4x50)
Приточна вентиляція	8.5	18.1	127.0	20.0	190.5	12.0	16.0	192.0	BA13- 29	1.0	1.00	16.0	27	АВВГ–1(4x4)
Свердильний верстат	2.8	7.4	36.8	8.1	55.2	6.0	10.0	60.0	BA13- 29	1.0	1.00	10.0	27	АВВГ–1(4x4)
Витяжна вентиляція	12.0	25.6	179.2	28.2	268.9	12.0	31.5	378.0	BA13- 29	1.0	1.00	31.5	32	АВВГ–1(4x6)
Точильно-шліфувальний верстат	5.5	14.4	72.2	15.9	108.3	12.0	16.0	192.0	BA13- 29	1.0	1.00	16.0	27	АВВГ–1(4x4)
Вертикально-свердильний верстат	5.3	13.9	69.6	15.3	104.4	12.0	16.0	192.0	BA13- 29	1.0	1.00	16.0	27	АВВГ–1(4x4)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП – 4 РП11 – 7123														
Прес гідравлічний	12.0	31.5	157.6	34.7	236.4	6.0	40.0	240.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	40.0	42	АВВГ - 1 (4 x 10)
Прес гідравлічний	14.7	38.6	193.0	42.5	289.6	6.0	50.0	300.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	50.0	60	АВВГ – 1(4 x 16)
Приточна вентиляція	8.5	18.1	127.0	20.0	190.5	12.0	25.0	300.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	25.0	27	АВВГ – 1(4 x 4)
Точильно-шліфувальний верстат	5.5	14.4	72.2	15.9	108.3	12.0	16.0	192.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	16.0	27	АВВГ – 1(4 x 4)
Консольно-фрезерний верстат	10.0	26.3	131.3	28.9	197.0	12.0	31.5	378.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	31.5	32	АВВГ – 1(4 x 6)
Токарно-гвинторізний верстат	7.5	20.6	103.1	22.7	154.7	12.0	25.0	300.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	25.0	27	АВВГ – 1(4 x 4)
Витяжна вентиляція	12.0	26.8	187.7	29.5	281.5	12.0	31.5	378.0	ВА13 - 29	1.0	1.00	31.5	32	АВВГ – 1(4 x 6)

### 2.3 Висновки до розділу

1. Проведено розподіл приймачів за пунктами живлення. Розподільчі пункти встановлюються якомога ближче до центру електричних навантажень, щоб відстані до електроприймачів були мінімальні, що дозволить уникнути великої протяжності кабельних ліній і скоротити втрати в них.

2. Для живлення окремих електроприймачів та розподільчих пунктів вибрана радіальна схема, яка забезпечує необхідний ступінь надійності та необхідні за технологічними умовами гнучкість та універсальність.

3. На основі методу коефіцієнту максимуму повна розрахункова потужність цеху з урахуванням освітлення становить 319 кВА.

4. Проведено вибір апаратів захисту і січень ліній. Вибір січень ліній живлення проводився за тривало допустимим струмом навантаженням з умови нагріву. Лінії, що живлять розподільні пункти, перевірялися за допустимою втратою напруги.

5. З урахуванням того, що цех відноситься до III категорії по надійності електропостачання, запропоновано до встановлення одноструматорну підстанцію з фактичним коефіцієнтом завантаження 0,8, тип силового трансформатора - ТМ-400/10.





$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{1,240 \cdot 60,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,075 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,099 \cdot 60,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,006 \text{ Ом}.$$

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

$$P_{12} = \sum P_{ц,ТП} = 275,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{12} = \sum Q_{ц,ТП} = 159,5 \text{ кВар}.$$

Втрата напруги на ділянці 1-2:

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{275,3 \cdot 0,075 + 159,5 \cdot 0,006}{10 \cdot 10,0^2} = 0,022 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на ділянці 1-2 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,022 \cdot \frac{10000}{100} = 2,2 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 1-2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10000 - 2,2 = 9997,8 \text{ В}.$$

Ділянка 2-3.

Активна та реактивна складова значення напруги короткого замикання трансформатора:

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{5,5 \cdot 100}{400} = 1,375,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 + U_a^2} = \sqrt{5,5^2 + 1,375^2} = 5,325$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = \frac{P_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{275,3}{1 \cdot 400} = 0,688.$$

Втрати активної та реактивної потужності у трансформаторі:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}) = 1 \cdot (1,20 + 0,69^2 \cdot 5,5) = 3,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot (\Delta Q_{\text{хх}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{кз}}) = 1 \cdot (8,4 + 0,69^2 \cdot 22,0) = 18,8 \text{ кВАр}.$$

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

$$P_{23} = P_{12} - \Delta P_{\text{тр}} = 275,3 - 3,8 = 271 \text{ кВт},$$

$$Q_{23} = Q_{12} - \Delta Q_{\text{тр}} = 159,5 - 18,8 = 140,6 \text{ кВАр}.$$

$$S_{23} = \sqrt{P_{23}^2 + Q_{23}^2} = \sqrt{271,5^2 + 140,6^2} = 305,7 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнт потужності ділянки 2-3:

$$\cos\varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{271,5}{305,7} = 0,888,$$

$$\sin\varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{140,6}{305,7} = 0,460$$

Втрата напруги на ділянці 2-3:

$$\Delta U_{23,\%} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos\varphi + U_p \cdot \sin\varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin\varphi - U_p \cdot \cos\varphi)$$

$$= 0,688 \cdot (1,375 \cdot 0,888 + 5,325 \cdot 0,460) + \frac{0,688^2}{200}$$

$$\cdot (1,375 \cdot 0,460 - 5,325 \cdot 0,888) = 2,516 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на ділянці 2-3 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 2,516 \cdot \frac{9997,8}{100} = 251,6 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 2-3:

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 9997,8 - 251,6 = 9746,3 \text{ В}.$$

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

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{9746,3}{10000} = 389,9 \text{ В.}$$

Ділянка 3-4.

Активний та реактивний опір ділянки 3-4:

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 30,3}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0078 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 30,3}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0018 \text{ Ом.}$$

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

$$P_{34} = P_{\text{ПР}} = 66,9 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{ПР}} = 43,3 \text{ кВАр.}$$

Втрата напруги на ділянці 3-4:

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{66,9 \cdot 0,0078 + 43,3 \cdot 0,0018}{10 \cdot 0,390^2} = 0,396 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на ділянці 3-4 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,396 \cdot \frac{389,9}{100} = 1,5 \text{ В.}$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 3-4:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 389 - 1,5 = 388,3 \text{ В.}$$

Ділянка 4-5.

Активний та реактивний опір ділянки 4-5:

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,326 \cdot 8,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ Ом,}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 8,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ Ом.}$$

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

$$P_{45} = P_{ном} = 44,0 \text{ кВт}, \quad Q_{45} = Q_{ном} = 58,7 \text{ кВАр}.$$

Втрата напруги на ділянці 4-5:

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{44,0 \cdot 0,003 + 58,7 \cdot 0,001}{10 \cdot 0,388^2} = 0,103 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на ділянці 4-5 у іменованих одиницях:

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,103 \cdot \frac{388,3}{100} = 0,4 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 4-5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 388,3 - 0,4 = 387,9 \text{ В}.$$

Розрахунок мінімального режиму навантаження:

Ділянка 1-2.

Активний та реактивний опір ділянки 1-2:

$$R_{12} = 0,075 \text{ Ом}, \quad X_{12} = 0,006 \text{ Ом}.$$

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

$$P_{\min 12} = K_{\min} \cdot P_{\max 12} = 0,750 \cdot 275,3 = 206,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{\min 12} = K_{\min} \cdot Q_{\max 12} = 0,750 \cdot 159,5 = 119,6 \text{ кВАр},$$

де  $K_{\min}$  – коефіцієнт мінімуму навантаження (за графіком навантаження).

Втрата напруги на ділянці 1-2:

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{\min 12} \cdot R_{12} + Q_{\min 12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{206,5 \cdot 0,075 + 119,6 \cdot 0,006}{10 \cdot 10,0^2} = 0,016 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на ділянці 1 -2 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,016 \cdot \frac{10000}{100} = 1,6 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 1-2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10000 - 1,6 = 9998,4 \text{ В.}$$

Ділянка 2-3.

Активна та реактивна складова значення напруги короткого замикання трансформатора:

$$U_a = 1,375, \quad U_p = 5,325$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = \frac{P_{\min 12}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{206,5}{1 \cdot 400} = 0,516.$$

Втрати активної та реактивної потужності у трансформаторі:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}) = 1 \cdot (1,20 + 0,52^2 \cdot 5,5) = 2,7 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot (\Delta Q_{\text{хх}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{кз}}) = 1 \cdot (8,40 + 0,52^2 \cdot 22,0) = 14,3 \text{ кВАр}.$$

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

$$P_{\min 23} = P_{\min 12} - \Delta P_{\text{тр}} = 206,5 - 2,7 = 203,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{\min 23} = Q_{\min 12} - \Delta Q_{\text{тр}} = 119,6 - 14,3 = 105,3 \text{ кВАр}.$$

$$S_{\min 23} = \sqrt{P_{\min 23}^2 + Q_{\min 23}^2} = \sqrt{203,8^2 + 105,3^2} = 229,4 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнт потужності ділянки 2-3:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\min 23}}{S_{\min 23}} = \frac{203,8}{229,4} = 0,888,$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_{\min 23}}{S_{\min 23}} = \frac{105,3}{229,4} = 0,459,$$

Втрата напруги на ділянці 2-3:

$$\begin{aligned}\Delta U_{23,\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos\varphi + U_p \cdot \sin\varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin\varphi - U_p \cdot \cos\varphi) \\ &= 0,516 \cdot (1,375 \cdot 0,888 + 5,325 \cdot 0,459) + \frac{0,516^2}{200} \\ &\quad \cdot (1,375 \cdot 0,459 - 5,325 \cdot 0,888) = 1,887 \%. \end{aligned}$$

Втрата напруги на ділянці 2-3 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 1,887 \cdot \frac{9998,4}{100} = 188,7 \text{ В.}$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 2-3:

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 9998,4 - 188,7 = 9809,7 \text{ В.}$$

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

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{9809,7}{10000} = 392,4 \text{ В.}$$

Ділянка 3-4.

Активний та реактивний опір ділянки 3-4:

$$R_{34} = 0,0078 \text{ Ом}, \quad X_{34} = 0,0018 \text{ Ом.}$$

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

$$\begin{aligned}P_{\min 34} &= K_{\min} \cdot P_{\max 34} = 0,750 \cdot 66,9 = 50,1 \text{ кВт}, \\ Q_{\min 34} &= K_{\min} \cdot Q_{\max 34} = 0,750 \cdot 43,3 = 32,4 \text{ кВАр}, \end{aligned}$$

де  $K_{\min}$  – коефіцієнт мінімуму навантаження (за графіком навантаження).

Втрата напруги на ділянці 3-4:

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{\min 34} \cdot R_{34} + Q_{\min 34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{50,1 \cdot 0,0078 + 32,4 \cdot 0,0018}{10 \cdot 0,392^2} = 0,293 \%.$$

Втрата напруги на ділянці 3-4 в іменованих одиницях:

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,293 \cdot \frac{392,4}{100} = 1,2 \text{ В.}$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 3-4:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 392,4 - 1,2 = 391,2 \text{ В.}$$

Ділянка 4-5.

Активний та реактивний опір ділянки 4-5:

$$R_{45} = 0,003 \text{ Ом}, \quad X_{45} = 0,001 \text{ Ом.}$$

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

$$P_{45} = P_{\text{ном}} = 44,0 \text{ кВт}, \quad Q_{45} = Q_{\text{ном}} = 58,7 \text{ кВар.}$$

Втрата напруги на ділянці 4-5:

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{\text{min}45} \cdot R_{45} + Q_{\text{min}45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{44,0 \cdot 0,003 + 58,7 \cdot 0,001}{10 \cdot 0,391^2} = 0,101 \text{ \%}.$$

Втрата напруги на ділянці 4-5 у іменованих одиницях:

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,101 \cdot \frac{391,2}{100} = 0,4 \text{ В.}$$

Фактичне значення напруги наприкінці ділянки 4-5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 391,2 - 0,4 = 390,8 \text{ В.}$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Розрахункові дані для побудови епюри відхилень напруги

Максимальний режим завантаження				
Ділянка	1-2	2-3	3-4	4-5
$P_i$ , кВт	275.3	271.5	66.9	44.0
$Q_i$ , кВАр	159.5	140.6	43.3	58.7
$S_i$ , кВА	318.1	305.7	79.6	73.3
$R_i$ , Ом	0.075	-	0.008	0.003
$X_i$ , Ом	0.006	-	0.002	0.001
$\cos\varphi$	-	0.888	-	-
$\sin\varphi$	-	0.460	-	-
$\beta_T$	-	0.688	-	-
$U_a$ , %	-	1.375	-	-
$U_p$ , %	-	5.325	-	-
$\Delta U_i$ , %	0.022	2.516	0.396	0.103
$\Delta U_i$ , В	2.2	251.6	1.5	0.4
$\Sigma=3,036\%$				
Мінімальний режим завантаження				
Ділянка	1-2	2-3	3-4	4-5
$P_i$ , кВт	206.5	203.8	50.1	44.0
$Q_i$ , кВАр	119.6	105.3	32.4	58.7
$S_i$ , кВА	238.6	229.4	59.7	73.3
$R_i$ , Ом	0.075	-	0.0078	0.003
$X_i$ , Ом	0.006	-	0.0018	0.001
$\cos\varphi$	-	0.888	-	-
$\sin\varphi$	-	0.459	-	-
$\beta_T$	-	0.516	-	-
$U_a$ , %	-	1.375	-	-
$U_p$ , %	-	5.325	-	-
$\Delta U_i$ , %	0.016	1.887	0.293	0.101
$\Delta U_i$ , В	1.6	188.7	1.2	0.4
$\Sigma=2,297\%$				



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 січення придатні для експлуатації.

### 3.2 Розрахунок струмів короткого замикання в 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;
- напругу приймаємо на 5% вище за номінальну напругу мережі.

Розрахунок струмів КЗ ведемо для ділянки ТП - РПЗ - ЕП №19.

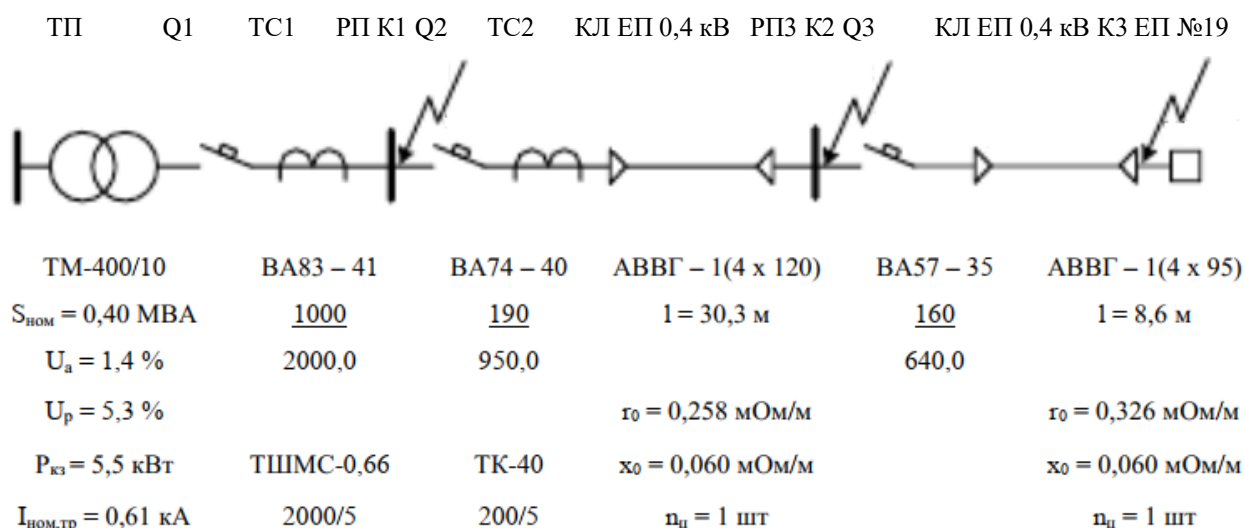


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема

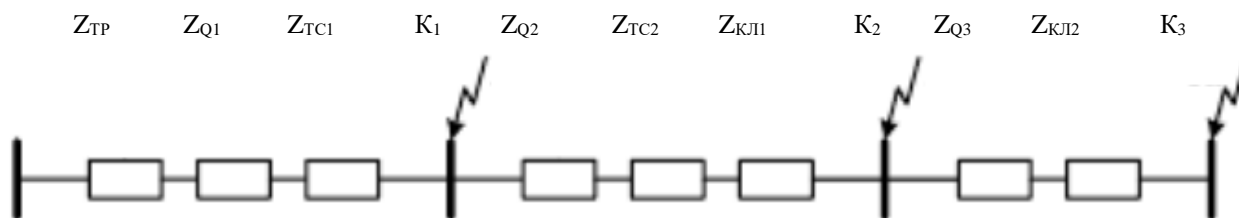


Рисунок 3.3 - Схема заміщення

Опір елементів.

Трансформатори:

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{1,375}{100} \cdot \frac{400^2}{400} = 5,5 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{5,325}{100} \cdot \frac{400^2}{400} = 21,3 \text{ мОм},$$

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

Автомати  $Q_2, Q_3$ :

$$R_{Q2} = 0,36 \text{ мОм}, \quad X_{Q2} = 0,28 \text{ мОм},$$

$$R_{Q3} = 0,74 \text{ мОм}, \quad X_{Q3} = 0,55 \text{ мОм}.$$

Опір первинної обмотки трансформаторів струму з коефіцієнтом трансформації  $> 1000/5$  не враховується, тому опір трансформатора струму  $ТС_1$  не враховуємо.

Трансформатор струму  $ТС_2$ :

$$R_{ТС2} = 0,42 \text{ мОм}, \quad X_{ТС2} = 0,67 \text{ мОм}.$$

Кабельна лінія  $КЛ_1$ :

$$R_{\text{КЛ1}} = \frac{r_o \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 30,3}{1} = 7,8 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = \frac{x_o \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 30,3}{1} = 1,8 \text{ мОм},$$

Кабельна лінія КЛ<sub>2</sub>:

$$R_{\text{КЛ2}} = \frac{r_o \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,326 \cdot 8,6}{1} = 2,8 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = \frac{x_o \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 8,6}{1} = 0,5 \text{ мОм},$$

Розрахунок струму короткого замикання точки К<sub>1</sub>.

Повний опір до точки К<sub>1</sub>:

$$Z_{\text{К1}} = Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{5,5^2 + 21,3^2} = 22,0 \text{ мОм}.$$

Струм короткого замикання в точці К<sub>1</sub>:

$$I_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,0} = 10,5 \text{ кА}.$$

Стала часу:

$$T_{\text{a1}} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{21,3}{314 \cdot 5,5} = 0,0123 \text{ с}.$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{a1}}} = 1 + e^{-0,01/0,0123} = 1,445.$$

Ударний струм короткого замикання у точці К<sub>1</sub>:

$$i_{\text{уд.К1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,445 \cdot 10,5 = 21,4 \text{ кА}.$$

Розрахунок струму короткого замикання точки К<sub>2</sub>.

Повний опір до точки К<sub>2</sub>:

$$Z_{K2} = \sqrt{(R_{тр} + R_{Q2} + R_{TC2} + R_{кл1})^2 + (X_{тр} + X_{Q2} + X_{TC2} + X_{кл1})^2} \\ = \sqrt{(5,5 + 0,36 + 0,42 + 7,8)^2 + (21,3 + 0,28 + 0,67 + 1,8)^2} = 27,9 \text{ мОм.}$$

Струм короткого замикання в точці К<sub>2</sub>:

$$I_{K2} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 27,9} = 8,3 \text{ кА.}$$

Стала часу:

$$T_{a2} = \frac{X_{рез2}}{\omega \cdot R_{рез2}} = \frac{24,1}{314 \cdot 14,1} = 0,0054 \text{ с.}$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_{уд2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,0054} = 1,159.$$

Ударний струм короткого замикання у точці К<sub>2</sub>:

$$i_{уд.К2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,159 \cdot 8,3 = 13,6 \text{ кА.}$$

Розрахунок струму короткого замикання точки К<sub>3</sub>.

Повний опір до точки К<sub>3</sub>:

$$Z_{K3} = \sqrt{(R_{тр} + R_{Q2} + R_{TC2} + R_{кл1} + R_{Q3} + R_{кл2})^2 + (X_{тр} + X_{Q2} + X_{TC2} + X_{кл1} + X_{Q3} + X_{кл2})^2} \\ = \sqrt{(5,5 + 0,36 + 0,42 + 7,8 + 0,74 + 2,8)^2 + (21,3 + 0,28 + 0,67 + 1,8 + 0,55 + 0,5)^2} \\ = 30,7 \text{ мОм.}$$

Струм короткого замикання в точці К<sub>3</sub>:

$$I_{K3} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30,7} = 7,5 \text{ кА.}$$

Стала часу:

$$T_{a3} = \frac{X_{рез3}}{\omega \cdot R_{рез3}} = \frac{25,1}{314 \cdot 17,7} = 0,0045 \text{ с.}$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_{удз} = 1 + e^{-0,01/T_{аз}} = 1 + e^{-0,01/0,0045} = 1,110.$$

Ударний струм короткого замикання у точці К<sub>3</sub>:

$$i_{уд,К3} = \sqrt{2} \cdot k_{удз} \cdot I_{К3} = \sqrt{2} \cdot 1,110 \cdot 7,5 = 11,8 \text{ кА.}$$

Для наочності результати розрахунків зведемо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$ , мОм	$k_{уд}$	$T_a$ , с	$I_k$ , кА	$i_{уд}$ , кА
К <sub>1</sub>	22.0	1.445	0.0123	10.5	21.4
К <sub>2</sub>	27.9	1.159	0.0054	8.3	13.6
К <sub>3</sub>	30.7	1.110	0.0045	7.5	11.8

### 3.3 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 і піковий струм ввідного розподільчого пристрою (за його наявності);
- розрахунковий і піковий струм підстанції;
- характеристики захисних апаратів;
- значення струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.

Дані навантаження та апаратів захисту для побудови карти селективності наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Дані навантаження та апаратів захисту для побудови карти селективності

Вузол навантаження	ТП	РПЗ	Зварювальний агрегат №19
Розрахунковий струм $I_M$ , А	607.7	121.0	-
Піковий струм $I_{\text{пik}}$ , А	1182.4	428.0	-
Номінальний струм $I_{\text{ном}}$ , А	-	-	113.7
Пусковий струм $I_{\text{пуск}}$ , А	-	-	341.1
Струм КЗ $I_K$ , А	10497.3	8276.9	7515.4
Тип апарату	ВА – 41	ВА74 - 40	ВА57 - 35
Умови спрацьовування за струмом - при перевантаженні $I_{\text{ном.роз}}$ , А - при КЗ $I_{K3}$ , А	10002000.0	190950.0	160.0640.0
Умови спрацьовування за часом, с	0.1	0.02	0.02

Карта селективності представлена в графічній частині роботи.

### 3.4 Перевірка цехової мережі з умови спрацювання від однофазного КЗ

Забезпечення відключення апаратами захисту струмів трифазного КЗ не є гарантією відключення однофазного КЗ, тому що струми однофазного короткого замикання в кілька разів менше струмів трифазного КЗ. У мережі напруги 0,4 кВ потрібне швидке відключення пошкодження. Це досягається високою провідністю петлі фаза-нуль.

Розрахунок струмів КЗ ведемо для ділянки ТП - РПЗ - ЕП №19.

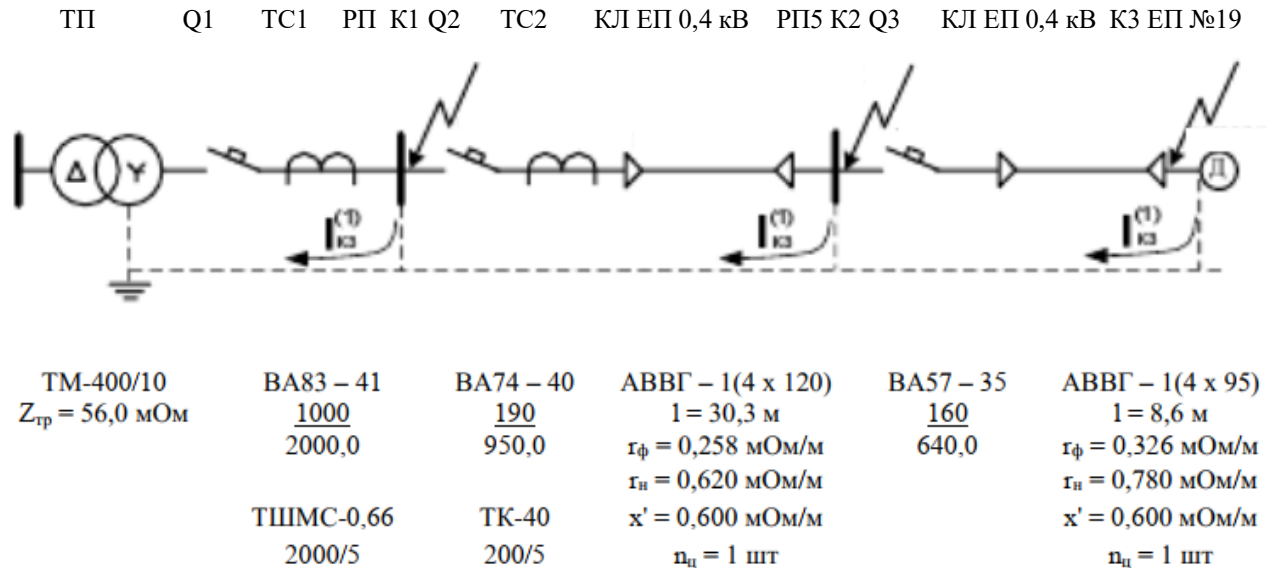


Рисунок 3.4 - Розрахункова схема

Опір елементів.

Опір трансформатора струму однофазного замикання на корпус [7]:

$$\frac{Z_{тр}}{3} = \frac{56,0}{3} = 18,7 \text{ мОм.}$$

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

Автомати  $Q_2, Q_3$ :

$$\begin{aligned} R_{Q2} &= 0,36 \text{ мОм}, & X_{Q2} &= 0,28 \text{ мОм}, \\ R_{Q3} &= 0,74 \text{ мОм}, & X_{Q3} &= 0,55 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Опір первинної обмотки трансформаторів струму з коефіцієнтом трансформації  $> 1000/5$  не враховується, тому опір трансформатора струму  $TC_1$  не враховуємо.

Трансформатор струму  $TC_2$ :

$$R_{TC2} = 0,42 \text{ мОм}, \quad X_{TC2} = 0,67 \text{ мОм.}$$

Кабельна лінія  $КЛ_1$ :

активний опір основних провідників:

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,258 \cdot 30,3}{1} = 7,8 \text{ мОм},$$

активний опір нульового провідника [8]:

$$R_{H1} = \frac{r_H \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,620 \cdot 30,3}{1} = 18,8 \text{ мОм},$$

зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль [9]:

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,600 \cdot 30,3}{1} = 18,2 \text{ мОм},$$

Кабельна лінія КЛ<sub>2</sub>:

активний опір основних провідників:

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,326 \cdot 8,6}{1} = 2,8 \text{ мОм},$$

активний опір нульового провідника [8]:

$$R_{H2} = \frac{r_H \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,780 \cdot 8,6}{1} = 6,7 \text{ мОм},$$

зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль [9]:

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,600 \cdot 8,6}{1} = 5,2 \text{ мОм},$$

Опір дуги у точці К<sub>3</sub> [10]:

$$R_d = 0,03 \text{ мОм}.$$

Опір системи живлення:

$$X_c = 3,2 \text{ мОм}.$$

Внутрішній індуктивний опір проводів занулення враховується тільки для проводів, виконаних зі сталі.

Для розрахунку однофазного струму К<sub>3</sub> рекомендується спрощена формула:



$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_n},$$

де  $U_\phi$  - фазна напруга мережі, В.

Розрахунок струму короткого замикання точки  $K_1$ .

Опір петлі фаза-нуль до точки  $K_1$ :

$$Z_{n1} = \sqrt{R_d^2 + X_c^2} = \sqrt{0,03^2 + 3,2^2} = 3,2 \text{ мОм.}$$

Струм короткого замикання в точці  $K_1$ :

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_n} = \frac{220}{18,7 + 3,2} = 10,1 \text{ кА.}$$

Перевірка умови:

$$I_{K1}^{(1)} = 10,1 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном. роз}} = 3 \cdot 1,000 = 3,0 \text{ кА,}$$

отже, у разі однофазного КЗ у точці  $K_1$  автомат, що захищає лінію, що відходить на ТП, повинен безвідмовно спрацювати.

Розрахунок струму короткого замикання точки  $K_2$ .

Опір петлі фаза-нуль до точки  $K_2$ :

$$\begin{aligned} Z_{n2} &= \sqrt{(R_d + R_{Q2} + R_{TC2} + R_{\phi1} + R_{n1})^2 + (X_c + X_{Q2} + X_{TC2} + X'_1)^2} \\ &= \sqrt{(0,03 + 0,36 + 0,42 + 7,82 + 18,8)^2 + (3,2 + 0,28 + 0,67 + 18,2)^2} \\ &= 35,4 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

Струм короткого замикання в точці  $K_2$ :

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_n} = \frac{220}{18,7 + 35,4} = 4,1 \text{ кА.}$$

Перевірка умови:

$$I_{K2}^{(1)} = 4,1 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном. роз}} = 3 \cdot 0,190 = 0,6 \text{ кА},$$

отже, у разі однофазного КЗ у точці К<sub>2</sub> автомат, що захищає лінію, що відходить на ТП, повинен безвідмовно спрацювати.

Розрахунок струму короткого замикання точки К<sub>3</sub>.

Опір петлі фаза-нуль до точки К<sub>3</sub>:

$$\begin{aligned} Z_{n3} &= \sqrt{(R_d + R_{Q2} + R_{TC2} + R_{\phi1} + R_{H1} + R_{Q3} + R_{\phi2} + R_{H2})^2 + (X_c + X_{Q2} + X_{TC2} + X'_1 + X_{Q3} + X'_2)^2} \\ &= \sqrt{(0,03 + 0,36 + 0,42 + 7,82 + 18,8 + 0,74 + 2,8 + 6,7)^2 + (3,2 + 0,28 + 0,67 + 18,2 + 0,55 + 5,2)^2} \\ &= 47,0 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Струм короткого замикання в точці К<sub>3</sub>:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_n} = \frac{220}{18,7 + 47,0} = 3,3 \text{ кА}.$$

Перевірка умови:

$$I_{K3}^{(1)} = 3,3 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном. роз}} = 3 \cdot 0,160 = 0,5 \text{ кА},$$

отже, у разі однофазного КЗ у точці К<sub>3</sub> автомат, що захищає лінію, що відходить на ТП, повинен безвідмовно спрацювати.

Для наочності результати розрахунків зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	Z <sub>Σ</sub> , мОм	I <sub>к</sub> , кА	3·I <sub>ном.роз</sub> , кА
К <sub>1</sub>	3.2	10.1	3.0
К <sub>2</sub>	35.4	4.07	0.57
К <sub>3</sub>	47.0	3.35	0.48

### 3.5 Висновки до розділу 3

1. Побудовано епюру відхилення напруги, з якої видно, втрата напруги в лініях відповідає нормі та прийняті січення придатні для експлуатації.
2. Проведено розрахунок струмів короткого замикання у мережі до 1000 В.
3. Побудована карта селективності дії апаратів захисту, яка служить для перевірки правильності вибору апаратів захисту.
4. Здійснено перевірку цехової мережі з умови спрацювання від однофазного короткого замикання.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Ураження електричним струмом

За небезпекою ураження електричним струмом ремонтно-механічний цех птахофабрики відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою. У цеху відсутній струмопровідний пил і вологість, але є можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій будівлі, які мають з'єднання з землею, технологічним апаратам і механізмами з одної сторони, і до металевих корпусів електрообладнання (відкритими провідними частинам), з іншої [11].

Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин необхідно застосовувати такі способи та засоби [11]:

- захисні оболонки;
- захисні огороження (тимчасові чи стаціонарні);
- безпечне розташування струмопровідних частин;
- ізоляцію струмопровідних частин (робочу, додаткову, посилену, подвійну);
- ізоляцію робочого місця;
- мала напруга;
- захисне відключення;
- попереджувальну сигналізацію, блокування, знаки безпеки.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції застосовують наступні способи [11]:

- захисне заземлення;
- занулення;
- вирівнювання потенціалу;
- систему захисних проводів;
- захисне відключення;

- ізоляцію невідповідних частин;
- електричний поділ мережі;
- мала напруга;
- контроль ізоляції;
- компенсація струмів замикання на землю;
- засоби індивідуального захисту.

Технічні способи та засоби застосовують окремо або в поєднанні один з другим так, щоб забезпечувався оптимальний захист. Трансформаторну підстанцію, що живить цех, необхідно забезпечити захисними засобами.

1. Для роботи з електроустановками вище 1000 В застосовуються [11].

Основні захисні засоби:

- ізолюючі штанги, ізолюючі та електровимірювальні кліщі, покажчики напруги, пристрої для ремонтних робіт;
- ізолюючі пристрої та пристрої для робіт на ПЛ з безпосереднім дотиком електрика до струмоведучих частин (ізолюючі драбини, майданчики, ізолюючі тяги, канати, кошики телескопічних вишок, кабіни для роботи біля дроту та ін.).

Додаткові захисні засоби:

- діелектричні рукавички;
- діелектричні боти;
- діелектричні килими;
- індивідуальні екрануючі комплекти;
- ізолюючі підставки та накладки;
- діелектричні ковпаки;
- переносні заземлення;
- огорожувальні пристрої;
- плакати та знаки безпеки.

1. Для роботи з електроустановками нижче 1000 В застосовуються [11]:

Основні захисні засоби:

- ізолюючі та електровимірювальні кліщі;

- показчики напруги;
- Діелектричні рукавички;
- слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими ручками.

Додаткові захисні засоби:

- Діелектричні боти;
- діелектричні килими;
- переносні заземлення;
- ізолюючі підставки та накладки;
- огорожувальні пристрої;
- плакати та знаки безпеки.

Кожна підстанція повинна мати комплект запобіжних плакатів.

На робочому місці чергового персоналу знаходиться повний комплект робочих інструкцій та інструкцій з техніки безпеки [11]:

1. Посадова інструкція чергового району обслуговування.
2. Інструкція з здійснення оперативних перемикань на підстанції цього району.
3. Інструкція дій оперативного персоналу у разі аварії.
4. Інструкція з пошуку однофазних замикань на землю в цьому район підстанцій.
5. Інструкція чергового персоналу з техніки безпеки.
6. Оперативний журнал.
7. Журнал виконання робіт.
8. Журнал телефонограм.
9. Журнал закорочень.

На підстанції є список осіб адміністративно-технічного персоналу затверджений головним енергетиком підприємства, які мають право одноосібного огляду підстанцій [11].

## **4.2 Рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання**

Безпечні умови роботи забезпечуються правильною організацією робіт, постійним наглядом за працюючими з боку керівника робіт та дотриманням робітниками техніки безпеки та регламентуються Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів [12].

Правила поширюються на працівників організацій незалежно від форм власності та організаційно-правових форм та інших фізичних осіб, зайнятих технічним обслуговуванням електроустановок, які проводять у них оперативні перемикання, що організовують та виконують будівельні, монтажні, налагоджувальні, ремонтні роботи, випробування та вимірювання [12].

У цеху, що розглядається, велика частка ймовірності отримати механічну травму, тому що використовується велика кількість обладнання. При необхідності вживаються заходи для зменшення ймовірності травмування персоналу – попереджувальні плакати, огороження, сигналізація [12].

Кожен технологічний комплекс та автономно використовуване виробниче обладнання повинні укомплектовуватися експлуатаційною документацією, що містить вимоги (правила), що запобігають виникнення небезпечних ситуацій під час монтажу (демонтажу), введення в експлуатацію та експлуатації

Матеріали конструкції виробничого обладнання не повинні надавати небезпечний та шкідливий вплив на організм людини на всіх заданих режимах роботи та передбачені умови експлуатації, а також створювати пожежо-вибухонебезпечні ситуації.

Частини виробничого обладнання (у тому числі трубопроводи гідро-, паро-, пневмосистем, запобіжні клапани, кабелі та ін.), механічне пошкодження яких може спричинити виникнення небезпеки, мають бути захищені огорожами або розташовані так, щоб запобігти їх випадкове пошкодження працюючими або засобами технічного обслуговування.

Повне або часткове припинення енергопостачання та подальше його відновлення, а також пошкодження кола управління енергопостачанням не повинні призводити до виникнення небезпечних ситуацій, у тому числі:

- мимовільному пуску при відновленні енергопостачання;
- невиконання вже виданої команди на зупинку;
- падіння та викидання рухомих частин виробничого обладнання та закріплених на ньому предметів (наприклад, заготовок, інструменту і т.д.);
- зниження ефективності захисних пристроїв.

Вимоги до засобів захисту, що входять до конструкції, та сигнальних пристроїв.

Конструкція засобів захисту має забезпечувати можливість контролю виконання ними свого призначення на початок і (або) у процесі функціонування виробничого устаткування.

Засоби захисту повинні виконувати своє призначення безперервно в процесі функціонування виробничого обладнання або при виникненню небезпечної ситуації.

Дія засобів захисту не повинна припинятися раніше, ніж закінчиться дія відповідного небезпечного чи шкідливого виробничого фактору. Відмова одного із засобів захисту або його елемента не повинна призводити до припинення нормального функціонування інших засобів захисту.

Виробниче обладнання, до складу якого входять засоби захисту, що вимагають їх включення до початку функціонування виробничого обладнання та (або) вимкнення після закінчення його функціонування, повинен мати пристрої, що забезпечують таку послідовність.

Конструкція та розташування засобів захисту не повинні обмежувати технологічні можливості виробничого обладнання та повинні забезпечувати зручність експлуатації та технічного обслуговування. Сигнальні пристрої, що попереджають про небезпеку, мають бути виконані та розташовані так, щоб їх сигнали були добре помітні та чутні у виробничій обстановці всіма особами, яким загрожує небезпека.



Частини виробничого обладнання, що становлять небезпеку, повинні бути пофарбовані в сигнальні кольори та позначені відповідним знаком безпеки відповідно до чинних стандартів.

### **4.3 Надзвичайні ситуації. Основні причини та ліквідація наслідків**

До надзвичайних ситуацій належать воєнні дії, аварії, катастрофи, пожежі, стихійне лихо. До стихійних лих зазвичай відносять землетруси, повені, селеві потоки, зсуви та ін.

Основні причини виникнення надзвичайних ситуацій:

- результат стихійних лих;
- вплив зовнішніх природних факторів, що призводять до старіння матеріалів;
- техніко-виробничі дефекти споруд;
- порушення правил експлуатації споруд та технологічних процесів;
- порушення правил техніки безпеки під час проведення робіт та під час технологічних процесів.

До надзвичайних ситуацій у цеху можна віднести порушення безперебійності електропостачання. У разі виникнення виходу з ладу однієї з двох кабельних ліній, електропостачання цеху буде забезпечувати друга кабельна лінія.

Для підвищення стійкості до НС передбачені різні заходи:

1. Для забезпечення безперебійної роботи у разі НС передбачено живлення від двох джерел електроенергії, віддалених на таку відстань, щоб унеможливити руйнування їх у воєнний час одним ядерним ударом, а у мирний час – стихійним лихом або аварією, а також є резервні джерела.

2. З метою зниження небезпеки вибуху застосовують вентиляційні установки, автоматична сигналізація, систематично контролюється температура вузлів електроустаткування. На кожному поверсі підприємства встановлено радіоточку для оповіщення людей про пожежу або іншу НС.

3. Від прямих ударів блискавки встановлено блискавкозахист.

Блискавкоприймачами служать неізолювані стрижневі блискавковідводи. Як струмовідведення використовують зовнішні вертикальні сталеві конструкції (пожежні сходи). По кожному поверху прокладено сталеві пояси зі смугової сталі, до яких приєднуються струмовідводи, всі металеві конструкції та обладнання. Кожен струмовідвід такого пристрою приєднано до замкнутого контуру, покладеного по периметру будівлі.

4. Як профілактика від сезонних спалахів вірусу грипу регулярно проводиться вакцинація працюючих.

5. Для зниження ймовірності пожежі передбачено автоматичну пожежну сигналізацію. На випадок виникнення пожежі передбачено первинні засоби пожежогасіння.

Ліквідація наслідків стихійного лиха організується, як правило, під керівництвом спеціально створюваних надзвичайних комісій. Для цивільної оборони (ЦО) та проведення рятувальних та невідкладних аварійно-відновлювальні роботи на всіх об'єктах формуються служби ЦО.

На зведені загони, окрім порятунку людей, покладаються невідкладні аварійно-відновлювальні роботи, гасіння пожеж, знезараження ділянок місцевості, транспорту, техніки.

Важливою умовою швидкої ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій є дотримання громадського порядку. Персонал, що знаходиться на території підприємства повинен виявляти високу дисципліну, організованість, спокій, не піддаватися паніці. Для цього на підприємстві кілька разів на рік проводяться теоретична підготовка та практичні тренінги.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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

1. Розглянуто питання показників надійності елемента системи електропостачання та описано три фази з різними закономірностями зміни інтенсивності відмов.

2. Проведено розподіл приймачів за пунктами живлення. Розподільчі пункти встановлюються якомога ближче до центру електричних навантажень, щоб відстані до електроприймачів були мінімальні, що дозволить уникнути великої протяжності кабельних ліній і скоротити втрати в них.

3. Для живлення окремих електроприймачів та розподільчих пунктів вибрана радіальна схема, яка забезпечує необхідний ступінь надійності та необхідні за технологічними умовами гнучкість та універсальність.

4. На основі методу коефіцієнту максимуму повна розрахункова потужність цеху з урахуванням освітлення становить 319 кВА.

5. Проведено вибір апаратів захисту і січень ліній. Вибір січень ліній живлення проводився за тривало допустимим струмом навантаженням з умови нагріву. Лінії, що живлять розподільні пункти, перевірялися за допустимою втратою напруги.

6. З урахуванням того, що цех відноситься до III категорії по надійності електропостачання, запропоновано до встановлення однострансформаторну підстанцію з фактичним коефіцієнтом завантаження 0,8, тип силового трансформатора - ТМ-400/10.

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

8. Проведено розрахунок струмів короткого замикання у мережі до 1000 В.

9. Побудована карта селективності дії апаратів захисту, яка служить для перевірки правильності вибору апаратів захисту.

10. Здійснено перевірку цехової мережі з умови спрацювання від однофазного короткого замикання.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А.Р. Ухін. 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 X 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).
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. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: "Высшая школа" 1990. – 366 с. Издание четвертое, переработанное и дополненное.
4. 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.
5. Сегеда М.С. Электричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
6. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України, - К., 2017.
7. <http://zprim.com.ua/vimiryuvannya-petli-faza-nul-metodika-perevirki-oporu/>

8. [https://studopedia.com.ua/1\\_230287\\_priklad-rozrahunku.html](https://studopedia.com.ua/1_230287_priklad-rozrahunku.html)
9. [https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah\\_rozd\\_OP\\_DP\\_bak\\_spec\\_mag/120.html](https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/120.html)
10. <https://electric-in-home.com/calculation-of-network-connection-in-04-kv-program/>
11. ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів
12. ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»
13. Решетник В.Я. Електричні системи і мережі: Навчальний посібник – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2010. - 191 с.
14. 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.*
15. 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.*
16. 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.*