

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Романський Владислав Васильович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Аналіз та розробка варіанту захисного заземлення та блискавкозахисту
зварювального цеху промислового підприємства
(тема роботи)

Провідників та захисних пристроїв

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Романський В.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Денисюк Анатолій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Романський В.В. Аналіз та розробка захисного заземлення та блискавкозахисту зварювального цеху промислового підприємства

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Основною метою роботи є підвищення електробезпеки цеху, що здійснює зварювальні роботи, підприємства промисловості.

Результатом роботи є розрахунок пристроїв та елементів системи захисного заземлення та блискавкозахисту.

Ключові слова: головна понижуюча підстанція, вертикальні та горизонтальні заземлювачі, опорів розтікання, екранування, опір розтікання, питомий опір ґрунту.

ABSTRACT

Romansky V.V. Analysis and development of protective grounding and lightning protection of the welding shop of the industrial enterprise

Qualifying work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The main goal of the work is to improve the electrical safety of the welding shop and industrial enterprise.

The result of the work is the calculation of devices and elements of the protective grounding and lightning protection system.

Key words: the main step-down substation, vertical and horizontal earthing devices, leakage resistances, shielding, leakage resistance, soil resistivity.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СКЛАД ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЦЕХУ	7
Висновки по розділу 1	11
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ І БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЦЕХУ	12
2.1. Розрахунок захисного заземлення	12
2.2. Захист від блискавки	21
2.3. Розрахунок струмів короткого замикання	27
Висновки по розділу 2	35
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	36
3.1. Загальні положення	36
3.2. Заходи щодо техніки безпеки при роботі на підприємстві	37
Висновки по розділу 3	38
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40

ВСТУП

Актуальність роботи. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування захистити працівника від ураження струмом.

Метою роботи є підвищення електробезпеки зварювального цеху промислового підприємства.

Задачі, що вирішуються при цьому:

1. Дослідження структури цеху.
2. Розробка системи захисного заземлення та блискавкозахисту цеху.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні задачі:

Об'єктом дослідження є аналіз споживачів, щодо вибору системи захисного заземлення та захисту від блискавок.

Предметом дослідження є система електробезпеки зварювального цеху промислового підприємства з розробкою та розрахунком системи захисного заземлення та захисту від блискавок.

Методи досліджень. При виконанні досліджень, використовувалися методи всебічного аналізу, моделювання, оптимальних рішень.

Практична значимість результатів роботи:

Здійснено обґрунтування вибору системи електробезпеки об'єкту, щодо вирішення таких практичних завдань:

1. Обрати найбільш доцільний варіант системи захисного заземлення та захисту від блискавок.
2. У перспективі реалізувати можливість вдосконалення системи при нарощуванні виробництва.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Романський В.В РОЗРАХУНОК БЛИСКАВКОЗАХИСТУ
ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЦЕХУ.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 167-168.

Романський В.В., Козаков О.С. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 181-182.

Романський В.В., Козаков О.С. ВИБІР ВЕЛИЧИН НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 179-180.

РОЗДІЛ 1

СКЛАД ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЦЕХУ

У зварювальному цеху можуть здійснюються наступні роботи: електродугове та автоматичне ручне зварювання.

Технологічне обладнання (рисунок 1.1) має наступний склад та розміщення обладнання.

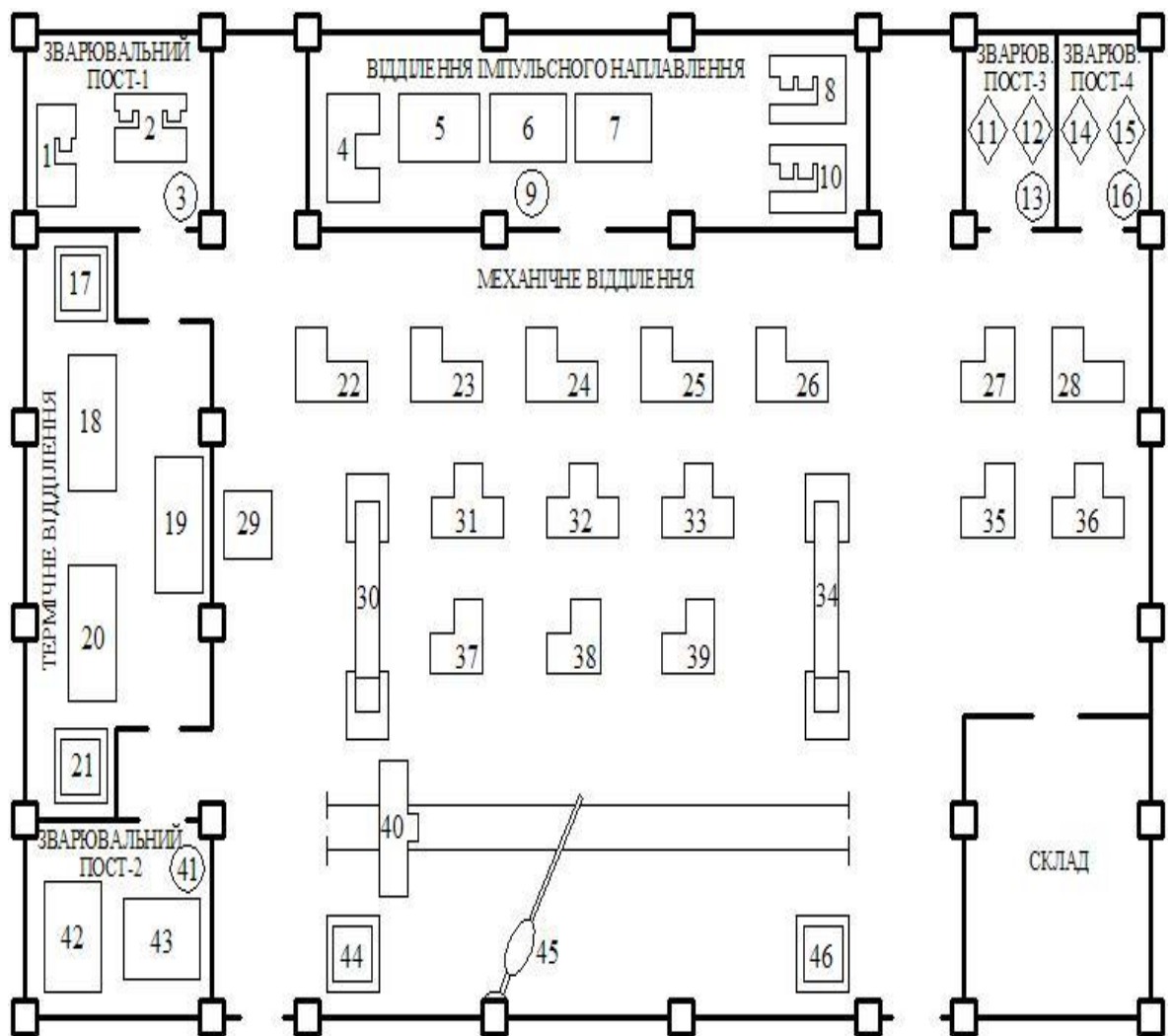


Рис. 1.1. Розміщення технологічного обладнання.

Дані для розрахунків наведені в табл.1.1.

Табл. 1.1

Номер	Найменування	Кіль- сть	P_n , кВт	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$	K_ϵ
1	2	3	4	5	6
11,12,14,15	<i>Зварювальні агрегати</i>	4	6,5	0,55/1,52	0,35
1, 4	<i>Зварювальні перетворювачі</i>	2	12	0,55/1,52	0,35
8, 10	<i>Токарні верстати імпульсної наплавки</i>	2	15,1	0,6/1,33	0,14
2	<i>Зварювальний напівавтомат</i>	1	30	0,55/1,52	0,35
22-26, 28	<i>Злиткообдирні верстати</i>	6	4,5	0,65/1,17	0,17
40	<i>Зварювальний стенд</i>	1	11,2	0,55/1,52	0,35
3,9,13,16,41	<i>Вентиляційні установки</i>	5	6	0,8/0,75	0,65
27,35,37 – 39	<i>Свердлильні верстати</i>	5	1,8	0,6/1,33	0,14
5, 6, 7	<i>Зварювальні випрямлячі</i>	3	8,8	0,55/1,52	0,35
42, 43	<i>Зварювальні трансформатори ТВ-4%</i>	2	3,6	0,65/1,17	0,3
45	<i>Електроталь ТВ-25%</i>	1	1,3	0,45/1,98	0,15
31, 32, 33, 36	<i>Обдирно-шліфувальні верстати</i>	4	5	0,6/1,33	0,14
17, 21, 44, 46	<i>Кондиціонери</i>	4	16	0,8/0,75	0,65
30, 34	<i>Конвеєри стрічкові</i>	2	4,5	0,75/0,88	0,6
18, 19, 20	<i>Електропечі опору</i>	3	48	0,85/0,62	0,5
29	<i>Кран-балка ТВ-60%</i>	1	9,3	0,45/1,98	0,15

Картограма електричних навантажень та схема електропостачання цеху наведені на рис.1.2 та 1.3.

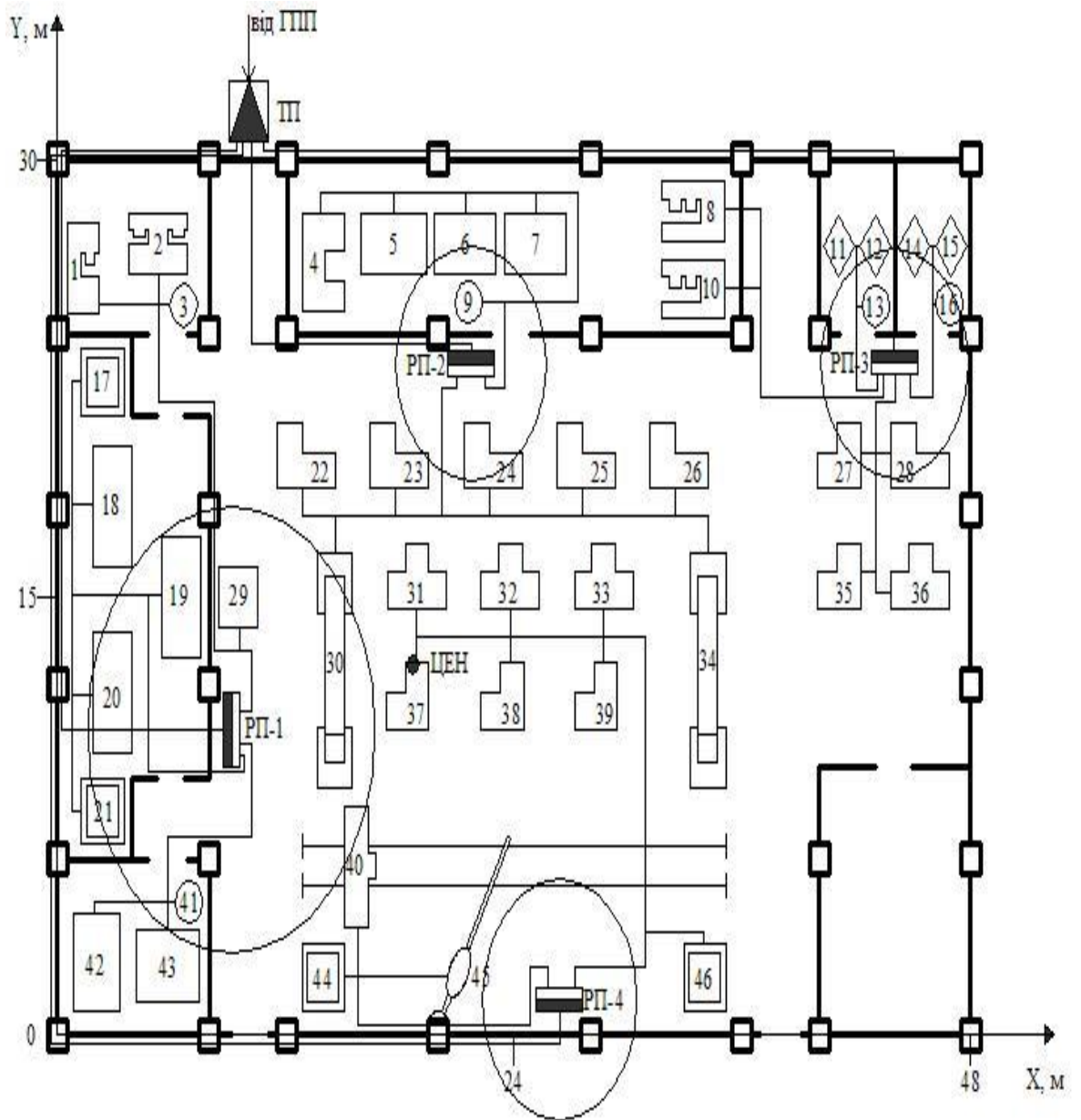


Рисунок 1.2. Картограма навантаження цеху.

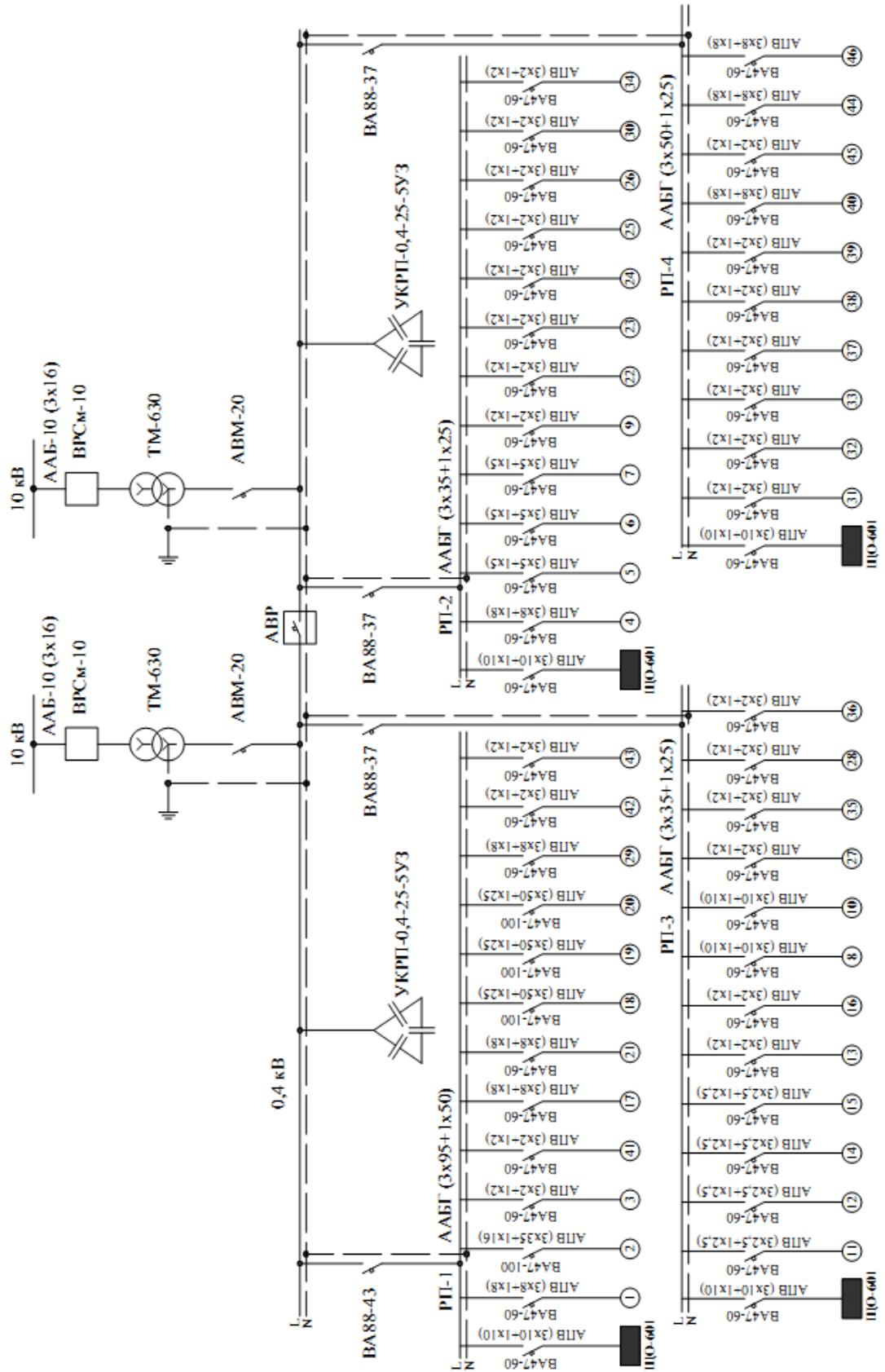


Рисунок 1.3. Схема електропостачання цеху

Висновки по першому розділу

Приведено склад електрообладнання цеху, варіант розташування технологічного обладнання цеху, картограма електричних навантажень та розміщення основних елементів електропостачання цеху.

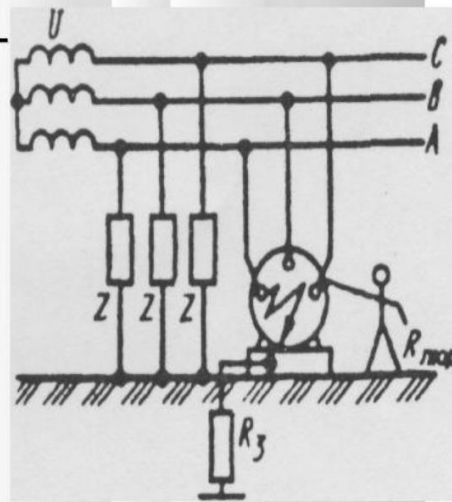
РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ І БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЦЕХУ

2.1. Розрахунок захисного заземлення

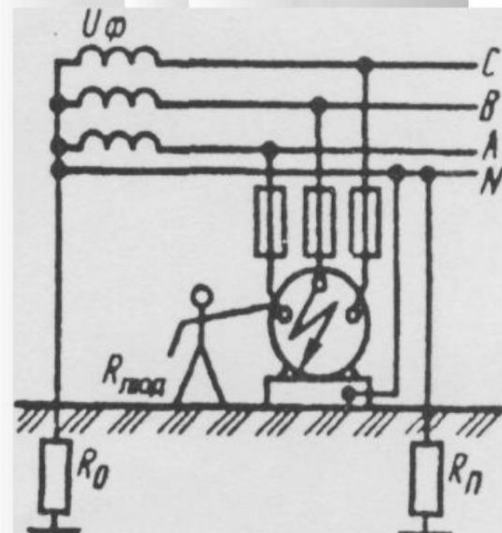
Заземлення

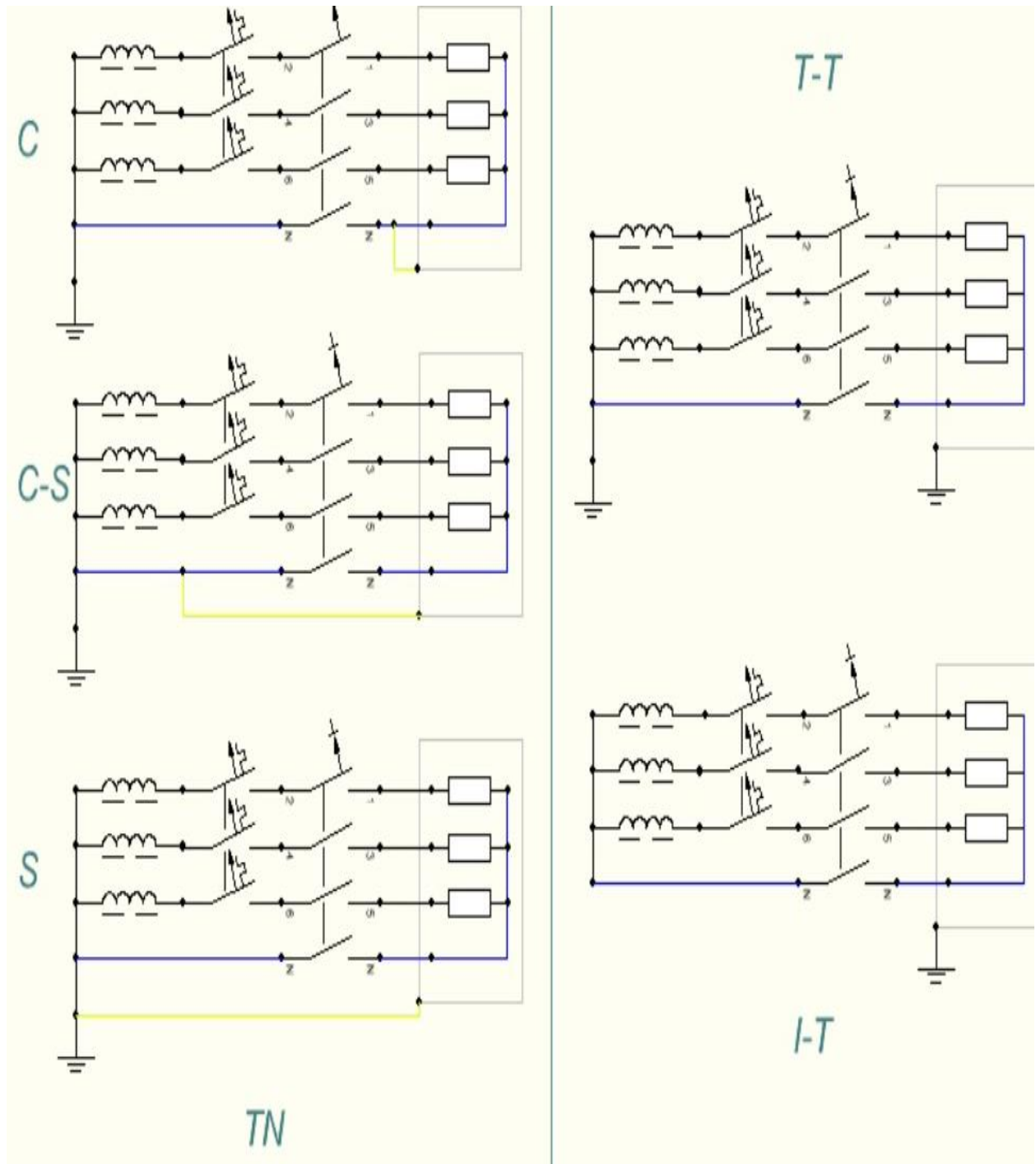
Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.



ЗАНУЛЕННЯ

- Занулення** — це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмонепровідних частин, які можуть опинитися під напругою (корпуси електроустаткування, кабельні конструкції, сталеві труби тощо).





Проведемо розрахунок штучного заземлювального пристрою з використанням природних заземлювачів.

Початкові дані :

1. Захисту підлягає електрообладнання зварювального цеху.

2. Вимірний опір розтікання струму в природному заземлювачі $R_{н.з} = 15 \text{ Ом}$.

Тип додаткового штучного заземлення – кутова сталь 40х40 мм довжиною $l_B = 3 \text{ м}$.

Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,8 \text{ м}$.

З'єднувальна стрічка шириною $B_c = 0,04 \text{ м}$.

3. Ґрунт – пісок; склад однорідний; вологість нормальна.

Кліматична зона – III.

Таблиця 2.1 – Приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів.

Ґрунт	Можливі межі коливань, ρ	При вологості 10 – 20% до маси ґрунту	Рекомендоване значення для приблизних розрахунків
Глина	8 – 70	40	40
Суглинок	40 – 150	100	100
Супісок	150 – 400	300	300
Пісок	400 – 700	700	700

Таблиця 2.2 - Коефіцієнт сезонності K_c для однорідної землі

Кліматична зона	Вологість землі при вимірюванні		
	підвищена	нормальна	мала
K_c для електрода довжиною $l_g = 3 \text{ м}$			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для III – кліматичної зони, вологість нормальна :

$$\rho_{розр} = \rho_{табл} \cdot K_c, \quad (2.1)$$

де

$\rho_{табл}$ – значення питомих електричних опорів різних ґрунтів, Ом·м;

За таблицею 2.1 $\rho_{табл} = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

K_c - коефіцієнт сезонності для однорідної землі при вимірюванні її опору;

За таблицею 2.2 $K_c = 1,3$;

$$\rho_{розр} = 500 \cdot 1,3 = 650 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача :

$$H = \frac{H_0 + l_{\epsilon}}{2}, \quad (2.2)$$

$$H = \frac{0,8 + 3}{2} = 1,9 \text{ м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі :

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\epsilon}} \left(\lg \frac{2 \cdot l_{\epsilon}}{d_{екв}} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot H + l_{\epsilon}}{4 \cdot H - l_{\epsilon}} \right), \quad (2.3)$$

$$d_{екв} = 0,95 \cdot B_c = 0,95 \cdot 0,04 = 0,038 \text{ м}, \quad (2.4)$$

$$d_{екв} = 0,95 \cdot 0,04 = 0,038 \text{ м},$$

$$R_{\epsilon} = \frac{650}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,038} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,9 + 3}{4 \cdot 1,9 - 3} \right) = 82,06 \text{ Ом}.$$

Визначаємо опір розтікання струму штучного заземлення, якщо врахувати, що штучні і природні заземлювачі з'єднані паралельно та їх загальний опір не перевищує $R_3 = 4 \text{ Ом}$:

$$R_{\partial} = \frac{R_{н.з.} \cdot R_3}{R_{н.з.} + R_3}, \quad (2.5)$$

$$R_{\partial} = \frac{15 \cdot 4}{15 + 4} = 3,16 \text{ Ом}.$$

Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $\eta_B = 1$:

$$\eta_{ор.} = \frac{R_{\epsilon}}{R_3 \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (2.6)$$

$$\eta_{ор.} = \frac{82,06}{4 \cdot 1} = 20,51,$$

$$\eta_{ор.} \approx 21 \text{ шт.}$$

Таблиця 2.3– Значення коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів η_B , розташованих по контуру

a/l_ϵ	Кількість заземлювачів, n							
	4	8	12	16	20	40	60	100
1	0,66	0,56	0,50	0,47	0,44	0,41	0,39	0,36
2	0,76	0,68	0,65	0,63	0,61	0,58	0,55	0,52
3	0,84	0,77	0,73	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62

Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів $\eta_B = 1$ за таблицею 2.3.

ВТЗаземлювачі розташовані по контуру; $a / l_\epsilon = 1$, $n = 21$.

Тоді $\eta_\epsilon = 0,44$.

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням η_B :

$$n_\epsilon = \frac{\eta_{op.}}{\eta_\epsilon}, \quad (2.7)$$

$$n_\epsilon = \frac{21}{0,44} = 47,7.$$

Беремо $n = 48$ штук.

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n = 48$ шт.:

$$R_{розр.в.} = \frac{R_\epsilon}{\eta_\epsilon \cdot n}, \quad (2.8)$$

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{82,06}{0,44 \cdot 48} = 3,89 \text{ Ом}.$$

Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$l_c = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (2.9)$$

$$l_c = 1,05 \cdot 3 \cdot 48 = 151,2 \text{ м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі:

$$R_z = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_c} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot l_c^2}{H_0 \cdot B_c}, \quad (2.10)$$

$$R_z = \frac{650}{2 \cdot 3,14 \cdot 151,2} \cdot \ln \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 151,2^2}{0,8 \cdot 0,04} = 10,42 \text{ Ом}.$$

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнта використання горизонтального стрічкового електрода η_r , що з'єднує вертикальні заземлювачі, що розташовані по контуру

a/l_g	Кількість заземлювачів, n								
	4	6	8	10	12	16	20	40	60
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,22	0,20
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,54	0,50	0,45	0,39	0,36

Визначаємо коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів η_z за таблицею 2.4.

Заземлювачі розташовані по контуру; $a/l_g = 1$. $n=48$.

Тоді $\eta_z = 0,20$.

Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням η_r :

$$R_{розр.г.} = \frac{R_z}{\eta_z}, \quad (2.11)$$

$$R_{розр.г.} = \frac{10,42}{0,2} = 52,1 \text{ Ом}.$$

Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальних та вертикальних заземлювачах:

$$R_{розр.} = \frac{R_{розр.в.} \cdot R_{розр.г.}}{R_{розр.в.} + R_{розр.г.}}, \quad (2.12)$$

$$R_{розр.} = \frac{3,89 \cdot 52,1}{3,89 + 52,1} = 3,62 \text{ Ом}.$$

Визначаємо загальний опір розтікання струму в штучному та природному заземлювачах:

$$R_{заг.} = \frac{R_{н.з..} \cdot R_{розр.}}{R_{н.з..} + R_{розр.}}, \quad (2.13)$$

$$R_{заг.} = \frac{15 \cdot 3,62}{15 + 3,62} = 2,92 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{заг.}} < R_3.$$

Отримане загально розрахункове значення опору розтікання струму в природному та штучному заземлювачах відповідає вимогам ПУЕ.

Схема заземлення цеху наведена на рисунку 2.1.

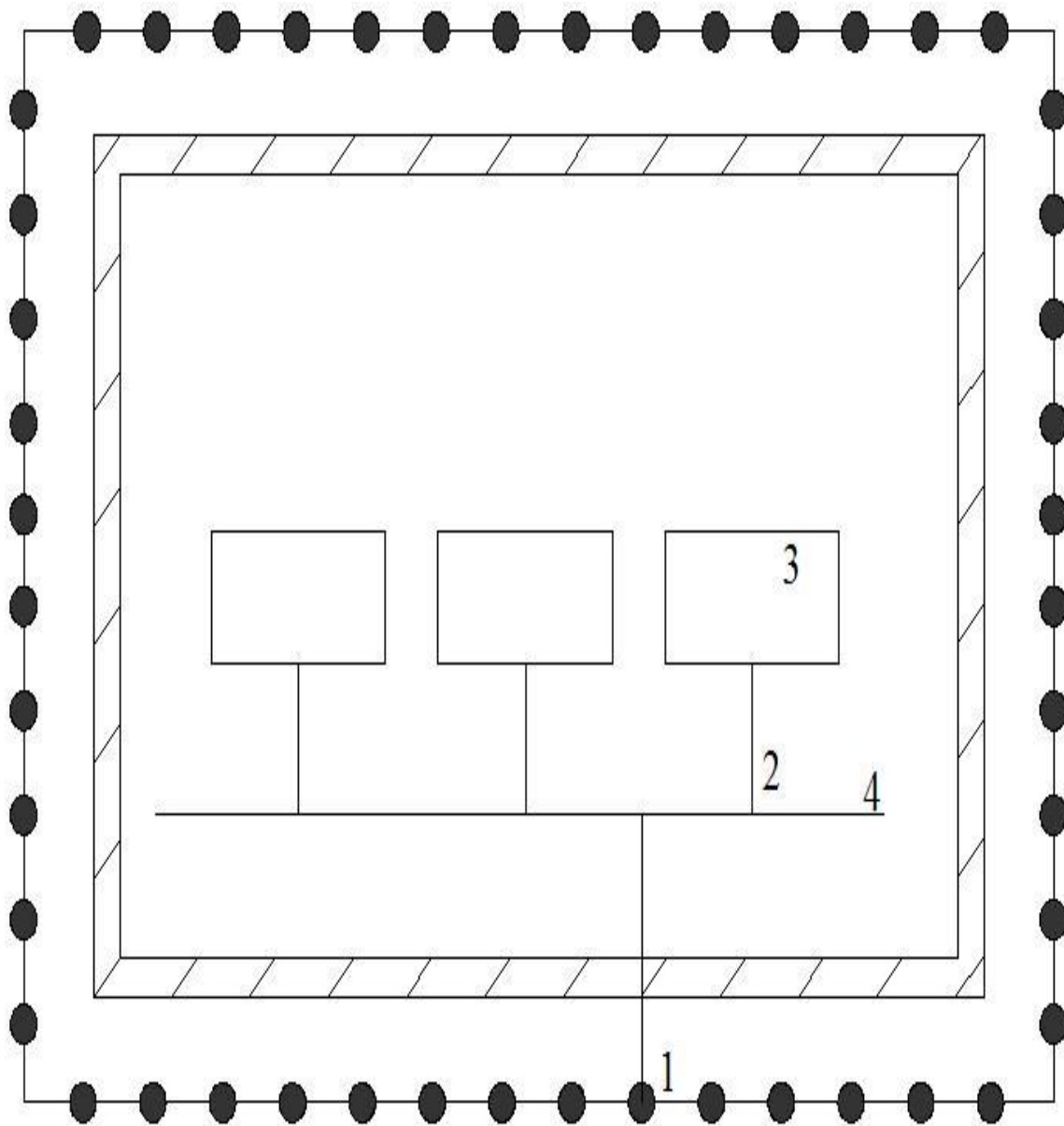


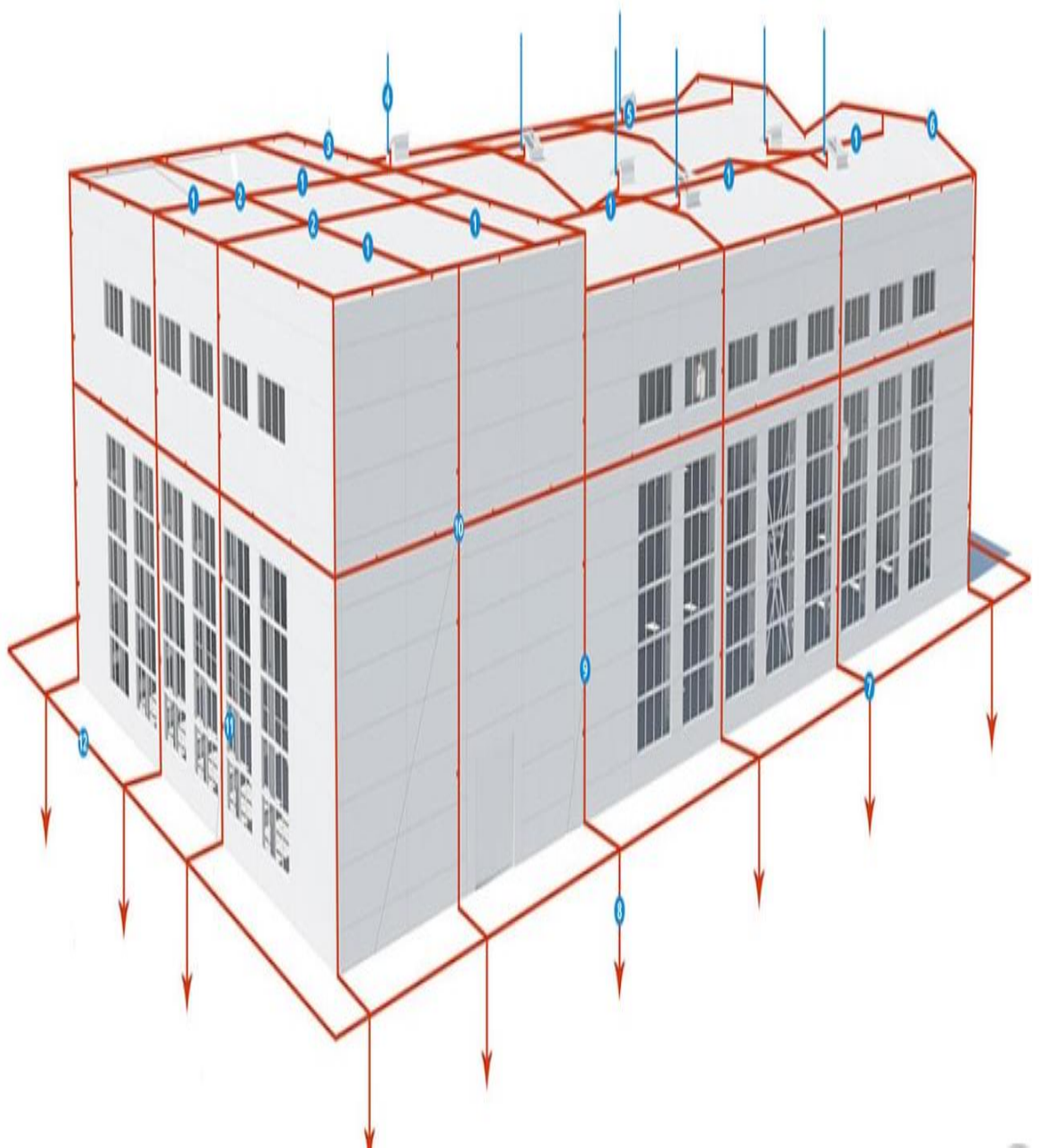
Рисунок 2.1– Схема захисного заземлення :

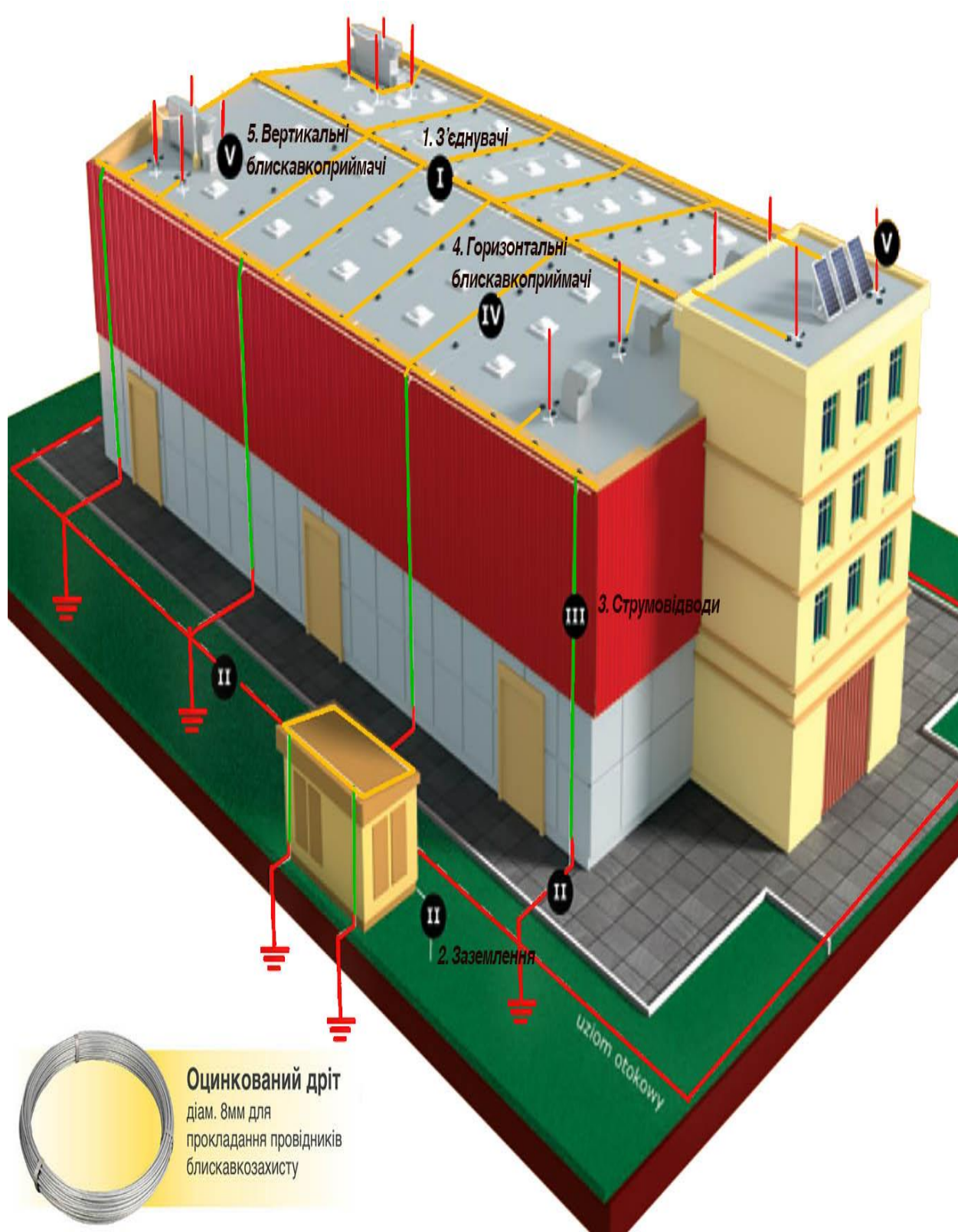
- 1 – заземлюючий пристрій; 2 – заземлюючі провідники;
3 – обладнання, що заземлюється; 4 – внутрішня магістраль заземлення.*

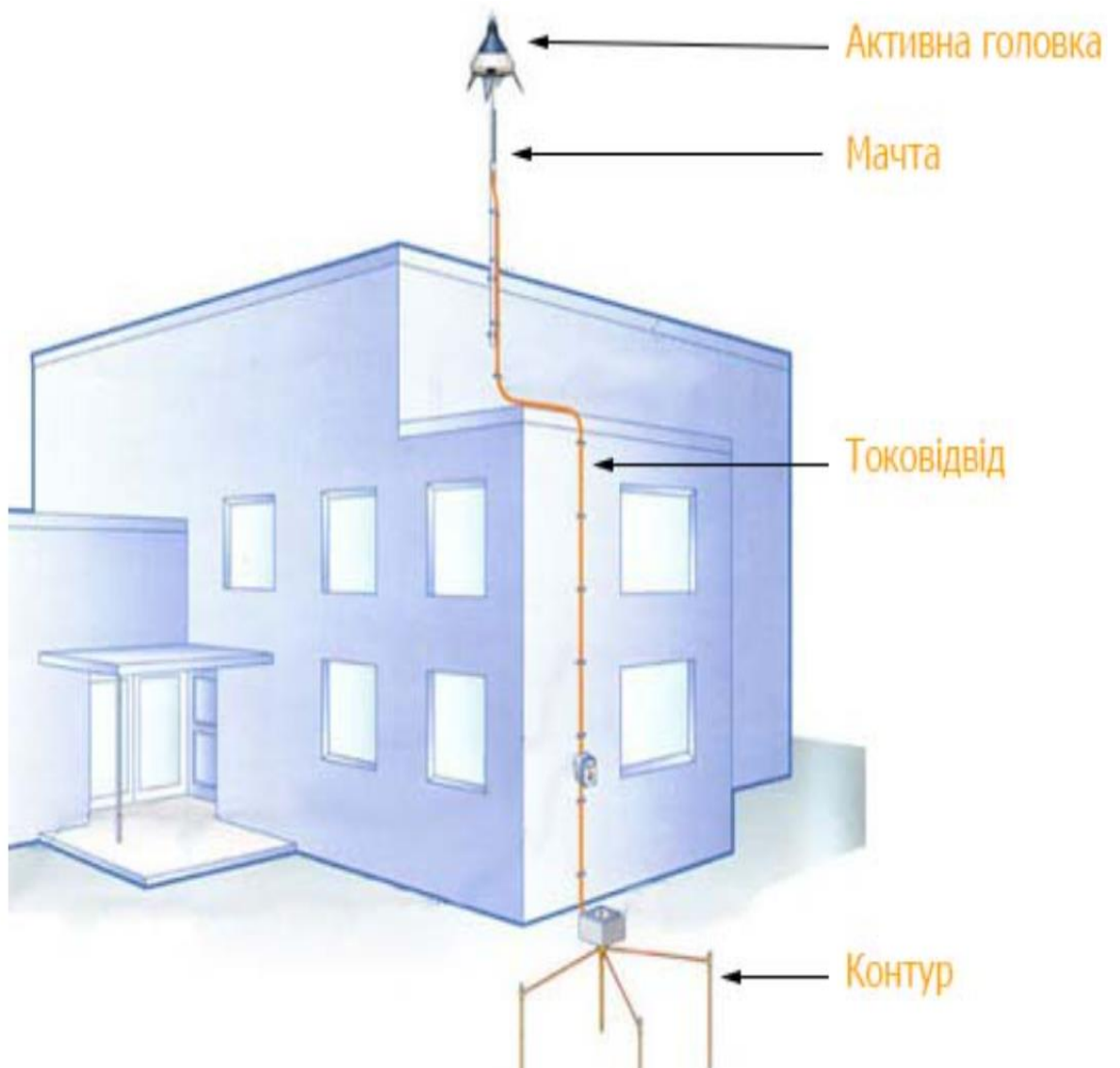
Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 48 вертикальних електродів довжиною 3 м та з'єднувальної стрічки, перетином 40×40 мм, що знаходяться в землі у землю на глибині 0,8 м.

2.2 Захист від блискавки

Одним з найважливіших умов безперебійної роботи підприємства є забезпечення надійної грозозахисту будівель, споруд та електроустаткування [1,4,14].







Проведемо розрахунок виробничого приміщення, яке має розміри: довжину $A=48$ м, ширину $B=30$ м і висоту $h=8$ м. Питомий опір ґрунту $\rho_{розр}=117 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Визначаємо очікувану кількість уражень блискавкою за рік[4]:

$$N = ((A + 6 \cdot H_m) \cdot (B + 6 \cdot H_m) - 7,7 \cdot H_m^2) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (2.14)$$

де B і A – відповідно ширина і довжина будівлі, що має в площі прямокутну форму, м;

H_m – найбільша висота будівлі (споруди), м;

n – середньорічна кількість ударів блискавки на 1 км^2 земної поверхні в місці розташування будівлі.

Таблиця 2.5 – Середньорічна грозова діяльність, K

Області	Середньорічна грозова діяльність, K
Республіка Крим	40 – 60
Закарпатська, Запорізька, Донецька	80 – 100
Інші області України	60 – 80

Таблиця 2.6 – Очікувана середньорічна кількість ударів блискавки в 1 км^2 земної поверхні

Інтенсивність грозової діяльності, K	Очікуване середньорічне число ударів блискавки, n
10 – 20	1
20 – 40	2
40 – 60	4
60 – 80	5,5
80 – 100	7,0
100 і більше	8,5

За таблицею 2.5 знаходимо середньорічну грозову діяльність, яка становить $K=60-80$ годин на рік.

За таблицею 2.6 визначаємо очікувану середньорічну кількість блискавкоударів в 1 км^2 земної поверхні, $n=5,5$.

$$N = ((48 + 6 \cdot 8) \cdot (30 + 6 \cdot 8) - 7,7 \cdot 8^2) \cdot 5,5 \cdot 10^{-6}.$$

Тоді $N=0,038$ рази.

Приміщення відноситься до I категорії захисту, зона А. Відношення $A/B=48/30=1,3<3$, тож доцільно застосувати два стрижневі блискавковідводи [3].

Приймаємо відстань від стрижневого блискавковідводу до споруди $S_{\epsilon}=4$ м (дивитися рисунок 2.2).

Визначаємо відстань між двома окремими блискавковідводами [5]:

$$L = 2 \cdot S_{\epsilon} + A, \quad (2.15)$$

$$L = 2 \cdot 4 + 48 = 56 \text{ м}.$$

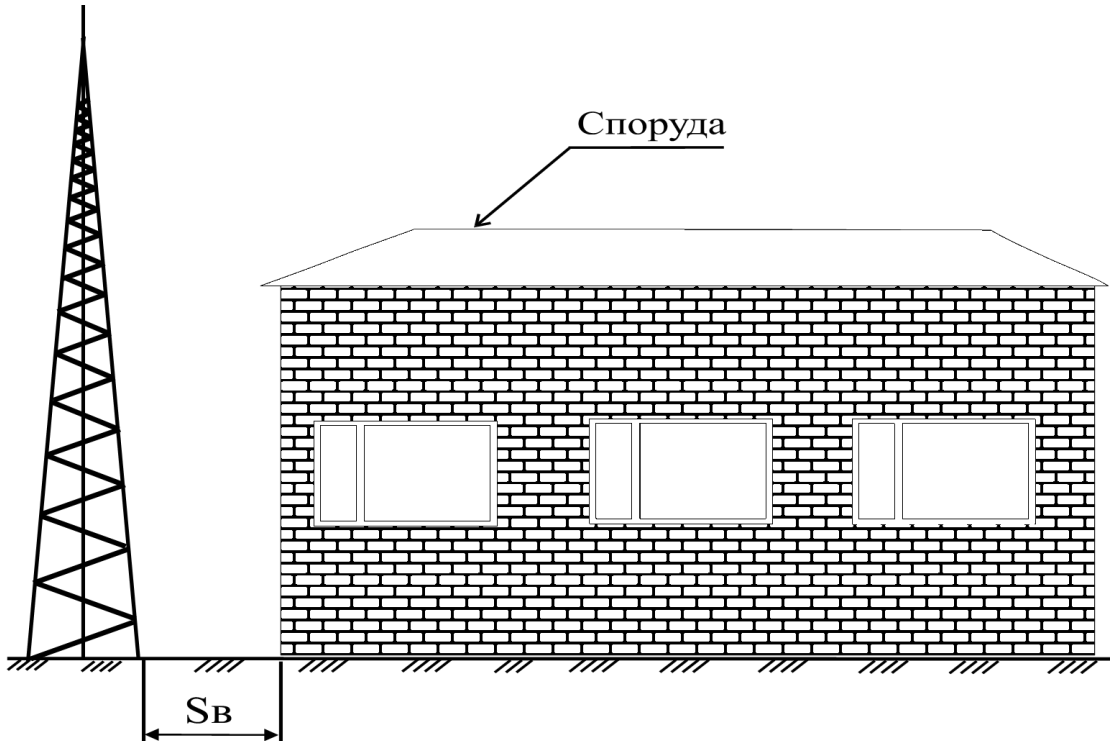


Рисунок 2.2. - Відстань S_B від стрижневого блискавковідводу до споруди

Для забезпечення потрібного блискавкозахисту необхідно, щоб будинок перекривався зонами захисту половини споруди на рівні його висоти,

утвореними кожним блискавковідводом. Тому приймаємо радіус захисту $R_x = 20$ м.

Визначимо висоту кожного блискавковідводу для зони А, приймаючи $H_x = h = 8$ м. і $R_x = 20$ м.

$$H = \frac{\epsilon - \sqrt{\epsilon^2 - 0,008 \cdot c}}{0,004}, \quad (2.16)$$

де $\epsilon = 1,1 + 0,00235 H_x$, $c = R_x + 1,294 H_x$;

$$\epsilon = 1,1188, \quad c = 30,352;$$

$$H = \frac{1,1188 - \sqrt{1,1188^2 - 0,008 \cdot 30,352}}{0,004} = \frac{1,1188 - 1,0044}{0,004} = 28,6 \text{ м},$$

В даному випадку $H < L < 2H$, тобто $28,6 < 56 < 57,2$.

Тоді H_c , R_{cx} і R_{co} обчислюються відповідно за формулами:

$$H_c = H_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot H) \cdot (L - H), \quad (2.17)$$

$$H_0 = 0,85 \cdot H, \quad (2.18)$$

$$H_c = 0,85 \cdot 28,6 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 28,6) \cdot (56 - 28,6) = 19,41 \text{ м},$$

$$R_{cx} = \frac{H_c - H_x}{H_c} \cdot R_0, \quad (2.19)$$

$$R_0 = R_c = (1,1 - 0,002 \cdot H) \cdot H, \quad (2.20)$$

$$R_0 = R_c = (1,1 - 0,002 \cdot 28,6) \cdot 28,6 = 29,82 \text{ м},$$

$$R_{cx} = \frac{19,41 - 8}{19,41} \cdot 29,82 = 17,53 \text{ м}.$$

Побудова границь зони захисту блискавковідводу [16].

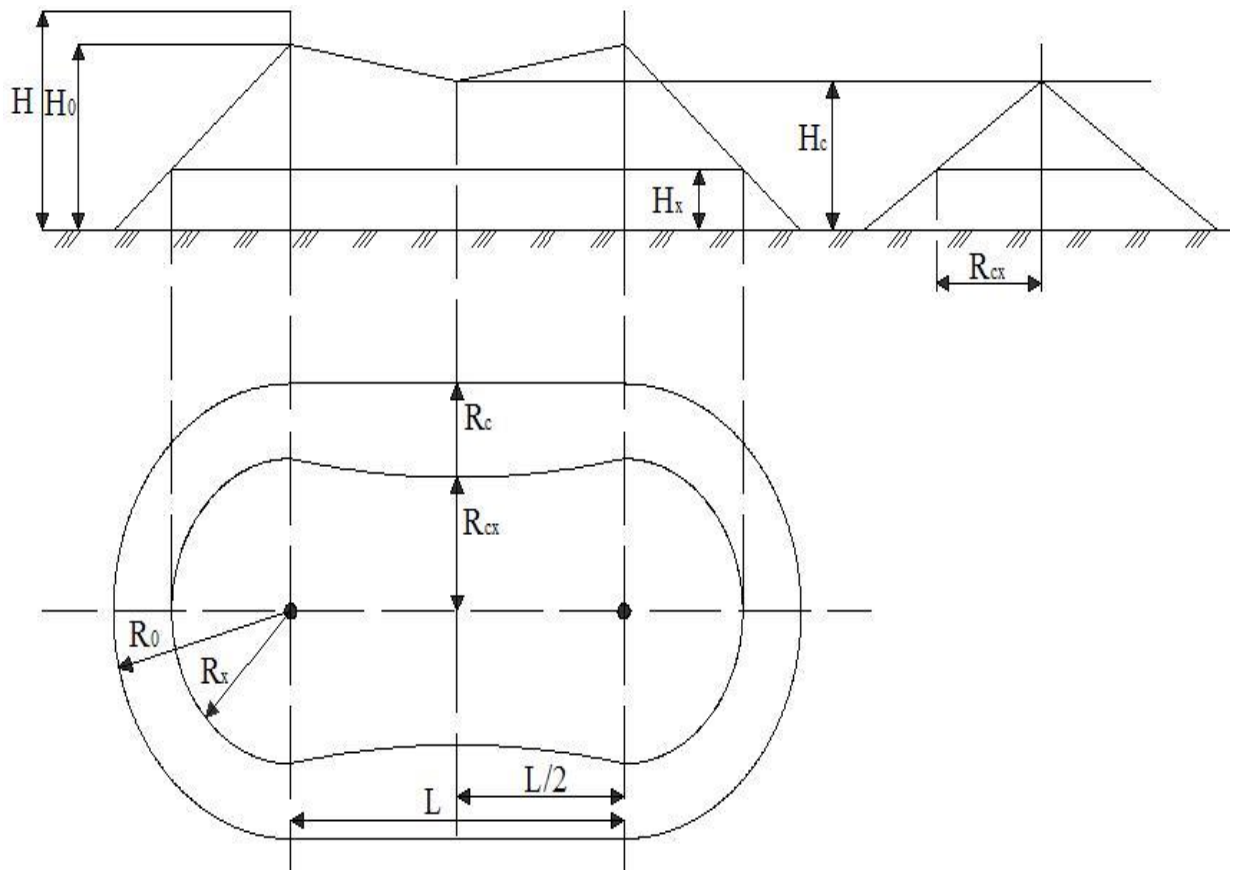


Рисунок 2.3 - Зона захисту подвійного стрижневого блискавковідводу

2.3. Розрахунок струмів короткого замикання

Проведемо розрахунок струмів трифазного КЗ [4].

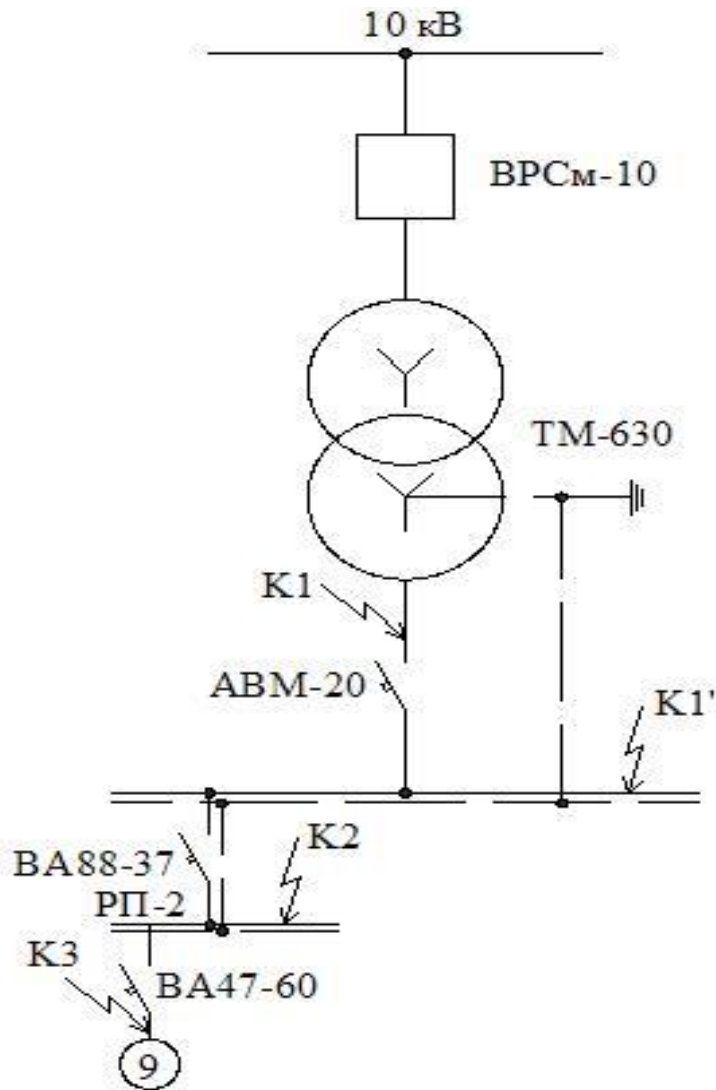


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для розрахунку струмів трифазного КЗ

Базисна напруга ступеня до 1 кВ розраховуються за формулами [4]:

$$U_{\phi} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.НН}} = 1,05 \cdot 380 = 400 \text{ В}, \quad (2.21)$$

$$U_{\phi} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.ВН}} = 1,05 \cdot 10000 = 10500 \text{ В}. \quad (2.22)$$

де $U_{\text{ном.НН}}$ – номінальна напруга мережі, яка приєднана до обмотки НН трансформатора, В;

Визначимо X_c [4]:

$$X_c = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном.вим.}} \cdot U_{\text{ном.сер.ВН}}}, \quad (2.23)$$

де $U_{\text{ном.сер.НН}}$ – середня номінальна напруга мережі, яка приєднана до обмотки НН трансформатора, В;

$I_{\text{ном.вим.}}$ – номінальний струм вимикання вимикача, який встановлено на стороні ВН знижувального трансформатора, кА;

$$X_c = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10500} = 0,44 \text{ мОм}.$$

Для кабельної лінії напругою 10 кВ питомі опори такі:

$$r_n = 1,95 \text{ мОм/м}, \quad x_n = 0,113 \text{ мОм/м}.$$

Активний та індуктивний опір [4]:

$$R_{\kappa\delta 1} = r_n \cdot l \cdot \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{U_{\text{ном.сер.ВН}}} = 1,95 \cdot 38 \cdot \frac{400}{10500} = 2,82 \text{ мОм}, \quad (2.24)$$

$$X_{\kappa\delta 1} = x_n \cdot l \cdot \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{U_{\text{ном.сер.ВН}}} = 0,113 \cdot 38 \cdot \frac{400}{10500} = 0,16 \text{ мОм}. \quad (2.25)$$

$$R_T = \frac{P_{\kappa\delta} \cdot U_{\text{ном.НН}}^2}{S_{\text{н.тр.}}^2} \cdot 10^6, \quad (2.26)$$

$$X_T = \sqrt{U_{\kappa 3}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\kappa 3}}{S_{н.тр.}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном.НН}^2}{S_{н.тр.}} \cdot 10^4, \quad (2.27)$$

де $P_{\kappa 3}$ – втрати КЗ в трансформаторі, кВт;

$U_{ном.НН}$ – номінальна напруга обмотки НН трансформатора, кВт;

$S_{н.тр.}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА; $S_{н.тр}$ –

номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{\kappa 3}$ - напруга КЗ, %;

$$R_T = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,06 \text{ мОм},$$

$$X_T = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,64 \text{ мОм}.$$

Визначимо діюче значення періодичної складової струму (рисунок 2.4) [4]:

$$\sum R_{K1} = R_{\kappa 01} + R_T = 2,82 + 3,06 = 5,88 \text{ мОм}, \quad (2.28)$$

$$\sum X_{K1} = X_{\kappa 01} + X_T + X_c = 0,16 + 13,64 + 0,44 = 14,24 \text{ мОм}.$$

$$\sum Z_{K1} = \sqrt{\sum R_{K1}^2 + \sum X_{K1}^2} = \sqrt{5,88^2 + 14,24^2} = 15,41 \text{ мОм}. \quad (2.30)$$

$$I_{K1(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot \sum Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 15,41} = 15 \text{ кА}. \quad (2.31)$$

Визначення струму трифазного КЗ в точці K_1' .

Для автомата АВМ-20 приймається

$$R_{a1} = 0,13 \text{ мОм}, \quad X_{a1} = 0,07 \text{ мОм}.$$

$$\sum R_{K1'} = \sum R_{K1} + R_{a1} = 5,88 + 0,13 = 6,01 \text{ мОм}, \quad (2.32)$$

$$\sum X_{K1'} = \sum X_{K1} + X_{a1} = 14,24 + 0,07 = 14,31 \text{ мОм}, \quad (2.33)$$

$$\sum Z_{K1'} = \sqrt{\sum R_{K1'}^2 + \sum X_{K1'}^2} = \sqrt{6,01^2 + 14,31^2} = 15,52 \text{ мОм}. \quad (2.34)$$

$$I_{K1'(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot \sum Z_{K1'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 15,52} = 14,89 \text{ кА}. \quad (2.35)$$

Вибраний вимикач АВМ-20 з $I_{н.відк} = 35 \text{ кА}$ задовольняє умову комутаційної здатності.

Визначення струму трифазного КЗ у точці K_2 .

Для ВА88-37 приймається $R_{a2} = 0,65 \text{ мОм}$, $X_{a2} = 0,17 \text{ мОм}$.

Для ділянки від ТП до РП-2 питомі опори: $r_n = 0,89 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,06 \text{ мОм/м}$, довжина кабелю 20 м.

$$R_{кб2} = 0,89 \cdot 20 = 17,8 \text{ мОм},$$

$$X_{кб2} = 0,06 \cdot 20 = 1,2 \text{ мОм}.$$

$$\sum R_{K2} = \sum R_{K1} + R_{a2} + R_{\kappa\delta 2} = 5,88 + 0,65 + 17,8 = 24,33 \text{ мОм} , \quad (2.36)$$

$$\sum X_{K2} = \sum X_{K1} + X_{a2} + X_{\kappa\delta 2} = 14,24 + 0,17 + 1,2 = 15,61 \text{ мОм} , \quad (2.37)$$

$$\sum Z_{K2} = \sqrt{\sum R_{K2} + \sum X_{K2}} = \sqrt{24,33^2 + 15,61^2} = 28,91 \text{ мОм} \quad (2.38)$$

$$I_{K2(0)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot \sum Z_{K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 28,91} = 7,99 \text{ кА} . \quad (2.39)$$

Вибраний вимикач ВА88-37 з $I_{н.в\dot{и}дк} = 35 \text{ кА}$ задовольняє умову комутаційної здатності.

Визначення струму трифазного КЗ у точці К₃.

Для ВА47-60 приймається

$$R_{a3} = 7 \text{ мОм} , \quad X_{a3} = 4,5 \text{ мОм} .$$

Для проводу який приєднано до електроприймача № 9 питомі опори: $r_n = 12,5 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,1 \text{ мОм/м}$, довжина проводу 4 м.

$$R_{np} = 12,5 \cdot 4 = 50 \text{ мОм} ,$$

$$X_{np} = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ мОм} .$$

$$\sum R_{K3} = \sum R_{K2} + R_{a3} + R_{np} = 24,33 + 7 + 50 = 81,33 \text{ мОм} , \quad (2.40)$$

$$\sum X_{K3} = \sum X_{K2} + X_{a3} + X_{np} = 15,61 + 4,5 + 0,4 = 20,51 \text{ мОм} \quad (2.41)$$

$$\sum Z_{K3} = \sqrt{\sum R_{K3} + \sum X_{K3}} = \sqrt{81,33^2 + 20,51^2} = 83,88 \text{ мОм} . \quad (2.42)$$

$$I_{K3(0)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot \sum Z_{K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 83,88} = 2,76 \text{ кА} . \quad (2.43)$$

Вибраний вимикач ВА47-60 з $I_{н.відк} = 6 \text{ кА}$ задовольняє умову комутаційної здатності.

Визначимо ударні струми у різних точках схеми.

$I_{y\delta}$ КЗ визначається за формулою [4]:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K(0)} , \quad (2.44)$$

де k_y – ударний коефіцієнт, який залежить від постійної часу T_a .

Зазвичай приймаються такі значення ударного коефіцієнта k_y : при потужності трансформатора 1000-250 кВА $k_y = 1,5-1,35$.

За формулою 2.44:

$$i_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 15 = 31,82 \text{ кА} .$$

Ударний струм у точці K_1' :

$$i_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 14,89 = 31,59 \text{ кА} .$$

Ударний струм у точці K_2 :

$$i_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,99 = 16,95 \text{ кА} .$$

Ударний струм у точці K_3 :

$$i_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,76 = 5,85 \text{ кА} .$$

Результати розрахунків занесені до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку струмів трифазного КЗ

Точка КЗ	Діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент $I_{\kappa(0)}$, кА	Ударний струм i_∂ , кА
K_1	15	31,82
K_1'	14,89	31,59
K_2	7,99	16,95
K_3	2,76	5,85

Висновки за розділом

У другому розділі було проведено розрахунок захисного заземлення та блискавкозахисту цеху промислового підприємства. Також побудовано схему захисту цеху від прямих ударів блискавки. Крім того, розраховані струми трифазного КЗ.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1. Загальні положення

Система заходів та засобів, які направлені на збереження працездатності, здоров'я та життя людини у процесі її праці – це те, що являє собою охорона праці [4].

У таблиці 3.1 наведені [16] гранично припустимі значення струмів залежно від часу протікання їх через тіло людини для шляхів «рука - рука», «рука - ноги».

Таблиця 3.1 – Гранично припустимі значення струмів частотою 50 Гц

t, c	0,01–0,08	0,01	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1
Для промислових електроустановок												
I, mA	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Для побутових електроустановок												
I, mA	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

З урахуванням зазначених вище факторів можливі такі види дії електричного струму на організм людини [4]:

- біологічна – ураження таких систем життєдіяльності, як нервова, серцева та дихання;
- теплова – опіки;
- механічна – розриви тканин тіла.

Згідно з класифікацією приміщень [1] даний виробничий цех відносимо до приміщення з підвищеною небезпекою, адже в цеху є можлива небезпека ураження струмом через струмопровідну металеву підлогу, а також дотику до гострих елементів станків, які обертаються.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що працівники які перебувають в тому чи іншому підприємстві, установі, повинні керуватися певними правилами, ці ж правила і закладені в документах [1] з охорони праці.

3.2. Заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху

3.2.1. Загальні вимоги безпеки

Згідно вимог, що встановлені в досліджуваному цеху [1]:

- допускаються до самостійної роботи особи віком не молодші вісімнадцяти років, які пройшли попередній медогляд, попереднє професійне навчання і контроль знань з питань охорони праці, пройшли вступний інструктаж та первинний інструктаж по охороні праці на робочому місці.

Виконання вимог безпеки передбачає виключення:

- дотикання до робочого інструменту верстата;
- виліт з верстата різального інструменту або його частин, а також заготовок і деталей, що обробляються;
- попадання у верстатника або інших осіб, що знаходяться поруч з верстатом, ошурків і зрізків матеріалу, що обробляється;
- травмування при встановленні і заміні різальних інструментів;
- доторкання до механізмів, що рухаються, електроприладів і інструменту, що обертаються.

3.2.2. Вимоги безпеки, щодо аварійних ситуацій.

У разі виникнення аварійних ситуацій [14]:

- при заклинюванні деталі, що оброблюється, треба спочатку вимкнути та знеструмити обладнання, а потім витягнути деталь;
- вимкнути верстат у випадку припинення подавання електроенергії або після його автоматичного вимикання запобіжним пристроєм;

- у всіх випадках аварії з обладнанням або отриманням робітником травми вимкнути верстат, травмованому робітнику надати першу допомогу, в разі потреби викликати лікаря. Зберегти обставини пригоди недоторканими і повідомити про випадок майстра.

Висновки по третьому розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто:

- загальні положення з охорони праці;
- заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху;
- пропозиції щодо безпеки перед початком роботи;
- пропозиції щодо безпеки в аварійних ситуаціях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Викваліфікаційній роботі риведено склад електрообладнання цеху, варіант розташування технологічного обладнання цеху, картограма електричних навантажень та розміщення основних елементів електропостачання цеху.

У роботі було проведено розрахунок захисного заземлення та блискавкозахисту цеху промислового підприємства. Також побудовано схему захисту цеху від прямих ударів блискавки. Крім того, розраховані струми трифазного КЗ.

Були також розглянуті:

- загальні положення з охорони праці;
- заходи щодо техніки безпеки при роботі в цеху;
- пропозиції щодо безпеки перед початком роботи;
- пропозиції щодо безпеки в аварійних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улаштування електроустановок./ Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476
2. Ю.Ф. Романюк. Електричні мережі та системи. Навчальний підручник. – Київ: “Знання”, 2007. – 292 с.
3. Лисяк В.Г. Оптимальні режими вузлів навантаження електропостачальних систем. Навчальний посібник, – Львів: “ННІ” 2007. – 251 с.
4. П.М. Монтік Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник – Львів: “Новий Світ”, 2011. – 487 с.
5. Електричні мережі та системи.: Навч. посібник для студ. електроенерг. спец. / М. С. Сегеда; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Л.: Каменяр, 1999. - 296 с. - Бібліогр.: с.292-296. - ISBN 5-7745-0766-1
6. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Проектування електричних систем": для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / Вінницький держ. технічний ун-т; уклад. Ж. І. Остапчук. - Вінниця: [б.в.], 1998. - 46 с.
7. Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика": Навч. посіб. для студ. спец. "Електричні мережі та системи"/О. Є. Рубаненко; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 1999. - 63 с.
8. Релейний захист та автоматика в електроенергетиці: Навч. посіб. для студ. спец. "Електрична частина електричних станцій", "Електричні мережі та системи", "Електротехнічні системи та системи електроспоживання" / В. М. Кутін [та ін]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 104 с.

9. Методичні вказівки до вибору схем розподільних пристроїв підстанцій напругою 35-750 кВ з курсу "Електричні системи та мережі" для студентів спеціальності "Електричні системи та мережі"/ Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т" ; уклад. В. П. Волков. - Х.: НТУ "ХПІ", 2001. - 19 с.

10. Конструкції повітряних ліній електропередачі. Курсове проектування: навч. посібник для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця : ВДТУ, 2001. - 107 с.: рис. - Бібліогр.: с. 106-107

11. Експлуатація повітряних ліній електропередачі: навч. посіб. для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 129 с.: рис. - Бібліогр.: с. 129

12. Електромонтажні роботи. Електричні мережі до 1000 В: Навч. посібник для студ. електротехн. спец. з дисципліни "Робоча професія" / О. Д. Демов [і др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 55 с.

13. Електричні системи та мережі [Текст] : методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спец. 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" денної та заоч. форм навчання / Національний ун-т харчових технологій ; уклад. С. Є. Вакуленко. - К.: НУХТ, 2002. - 51 с.: рис. - Бібліогр.: с. 51-52

14. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні: навч. посібник для студ. спец. 7.090601 - "Електричні станції, 7.090602 - "Електричні системи і мережі" / Ю. В. Лук'яненко [та др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 111 с.: рис. - Бібліогр.: с.111.

15. Денисюк А.Ю., Хливнюк М.Г., Шестак І.М. Комп'ютерна електроніка: Навч. Посіб. - Житомир: ЖВІ, 2017. - с. 33-44.

16. Електричні мережі систем електропостачання [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Г. Г. Півняк [та ін.]; ред. Г. Г. Півняк; Національний гірничий ун-т. - Д.: НГУ, 2003. - 316 с.: рис. - Бібліогр.: с. 311. - ISBN 966-8271-45-9