

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Халмірзаєв Борис Сахібжонович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування вибору типу обладнання освітлювальних щитків,
перерізу провідників та захисту освітлювальної мережі виробничого цеху
деревобробного підприємства

(тема роботи)

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

Халмірзаєв Б.С.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Фомін Микола Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри вищої
та прикладної математики

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Халмірзаєв Б.С. Обґрунтування вибору типу щитків освітлення, перерізу проводників та захисту освітлювальної мережі виробничого цеху деревообробного підприємства. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Основною метою роботи є розробка системи освітлення виробничого цеху деревообробного підприємства.

Результатом роботи є розрахунок і вибір типу щитків освітлення, марки проводів і кабелів, спосіб їхньої прокладки; заміна малоефективних джерел на енергозберігаючі люмінесцентні; перерізу проводів і кабелів та захисних апаратів.

Ключові слова: щитки освітлення, переріз проводів, освітленість, що нормована захисні апарати, система освітлення, розжарювальні лампи.

ABSTRACT

Halmirzaev B.S. Justification of the choice of the type of lighting shields, cross-section of conductors and protection of the lighting network of the production shop of the woodworking enterprise. Qualifying work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polish National University, Zhytomyr, 2024.

The main goal of the work is the development of a lighting system for the production shop of a woodworking enterprise.

The result of the work is the calculation and selection of the type of lighting shields, the brand of wires and cables, the method of their laying; replacement of low-efficiency sources with energy-saving fluorescent ones; cross-section of wires and cables and protective devices.

Key words: lighting shields, cross-section of wires, lighting, standardized protective devices, lighting system, incandescent lamps.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СХЕМА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЦЕХУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА.	6
Висновки по розділу 1	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТИПУ ЩИТКІВ ОСВІТЛЕННЯ, ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ТА ЗАХИСТУ МЕРЕЖІ ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА	10
2.1. Визначення місць розташування, типу щитків освітлення щитків освітлення марки проводів і способів їхньої прокладки	10
2.2. Вибір перерізу проводів і кабелів	11
2.3. Робоче освітлення	23
2.4. Аварійне освітлення	25
Висновки по розділу 2	29
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	30
3.1. Загальні положення	30
3.2. Заходи щодо техніки безпеки при роботі на підприємстві	32
Висновки по розділу 3	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

ВСТУП

Актуальність роботи. На промислових підприємствах 5-10% і більше споживаної енергії витрачається на електричне освітлення. Правильне встановлення освітлювальних установок сприяє раціональному використанню електроенергії, поліпшенню якості вишуканої продукції, підвищенню продуктивності праці, зниженню втомлюваності робітників, зменшує кількість аварій і випадків травматизму.

Тому раціональне визначення місць розташування щитків освітлення, вибір типу щитків освітлення, марки та перерізу проводів і кабелів, забезпечення захисту освітлювальної мережі суттєво сприяє економії електроенергії.

Метою роботи є обґрунтування вибору типу обладнання освітлювальних щитків, перерізу провідників освітлювальної мережі виробничого цеху деревообробного підприємства.

Для досягнення мети у роботі вирішуються наступні задачі:

1. Дослідження споживачів електричної енергії типового цеху.
2. Розробка системи освітлення виробничого цеху деревообробного підприємства з раціональним визначенням місць розташування щитків освітлення, вибору типу щитків освітлення, марки та перерізу проводів і кабелів.

Об'єктом дослідження є аналіз промислових споживачів електричної енергії, структура та склад електрообладнання розглядаємого цеху щодо розробки системи освітлення.

Предметом дослідження є система освітлення виробничого цеху деревообробного підприємства з визначенням місць розташування щитків освітлення, типу щитків освітлення, марки та перерізу проводів і кабелів, забезпечення захисту освітлювальної мережі.

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

Практична значимість результатів роботи:

Здійснено обґрунтування вибору типу обладнання освітлювальних щитків, перерізу провідників освітлювальної мережі виробничого цеху деревообробного підприємства, що дозволяють ефективно вирішувати такі практичні завдання:

1. Обрати найбільш доцільний варіант обладнання освітлювальних щитків та перерізу провідників освітлювальної мережі в залежності від обсягу виробництва тощо.
2. У перспективі реалізувати можливість удосконалення системи освітлення при збільшенні виробництва.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Халмірзаєв Б.С. ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ЩИТКІВ ОСВІТЛЕННЯ ТА ТРАСИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

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 154-155.

Халмірзаєв Б.С., Мороз В.І. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

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 177-178.

Халмірзаєв Б.С., Мороз В.І. СВІЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК АВАРІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ

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 175-176.

РОЗДІЛ 1

СКЛАД СХЕМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЦЕХУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА.

Склад та розташування виробничого цеху деревообробного підприємства

Виробничий цех деревообробного підприємства [3] виготовляє продукцію для: логістичних центрів; спортивних споруд; торгівельно-офісних та розважальних комплексів; станцій технічного обслуговування тощо.

Підприємство займає площу близько 16 га, наступного складу:

- котельня;
- ділянка з ремонту;
- виробничий корпус;
- корпус адміністрації;
- склад;
- ділянка з ремонту.

Склад електрообладнання цеху

Досліджуване товариство використовує наступне електрообладнання для виготовлення продукції:

Найменування обладнання	Потужність, кВт
преси марки “И-1334”	30
преси марки “КД-2128”	8,3
гільйотини фірми “XRL”	45
гідравлічний прес “RONIM”	11
трёхмостові крани потужністю	75
свердлувальні верстати марки 2М55	13
свердлувальні верстати марки 2П53	11

Розміщення технологічного обладнання цеху, картограма електричних навантажень та розміщення основних елементів електропостачання цеху і схема електропостачання цеху наведені на рисунках 1.1, 1.2, 1.3.

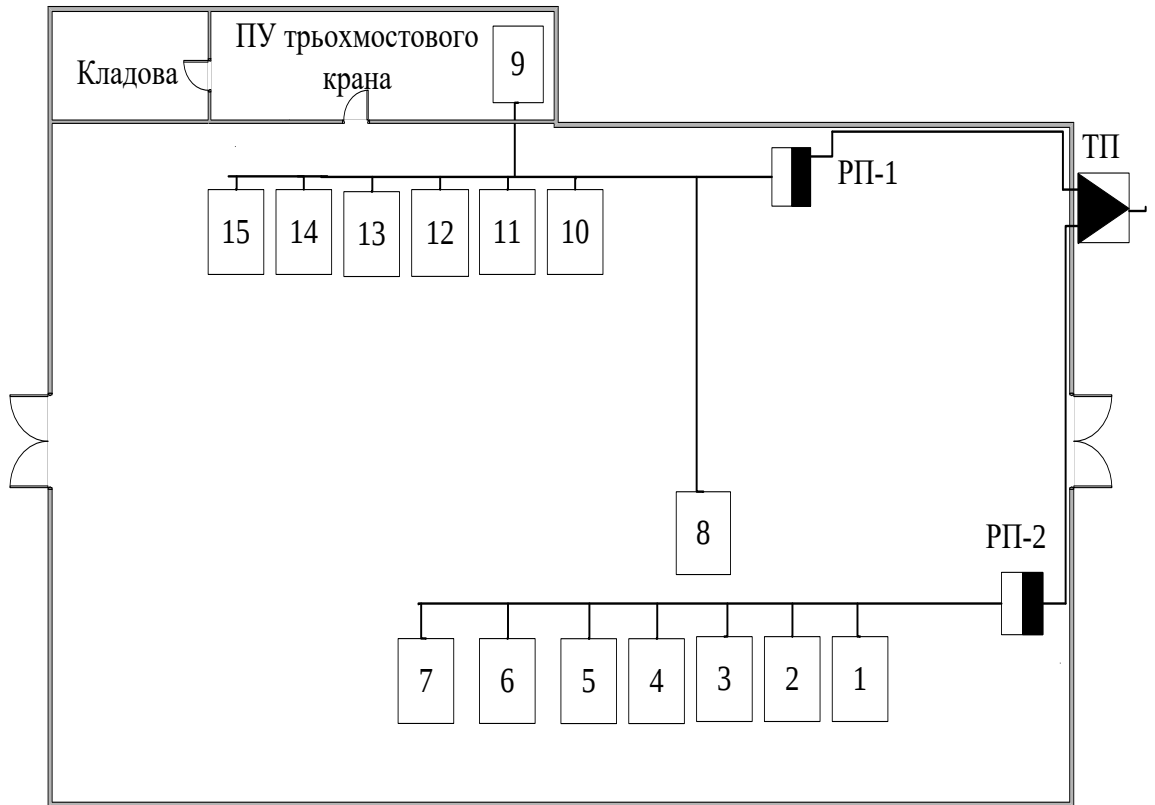


Рисунок 1.1 – Розташування цехового обладнання

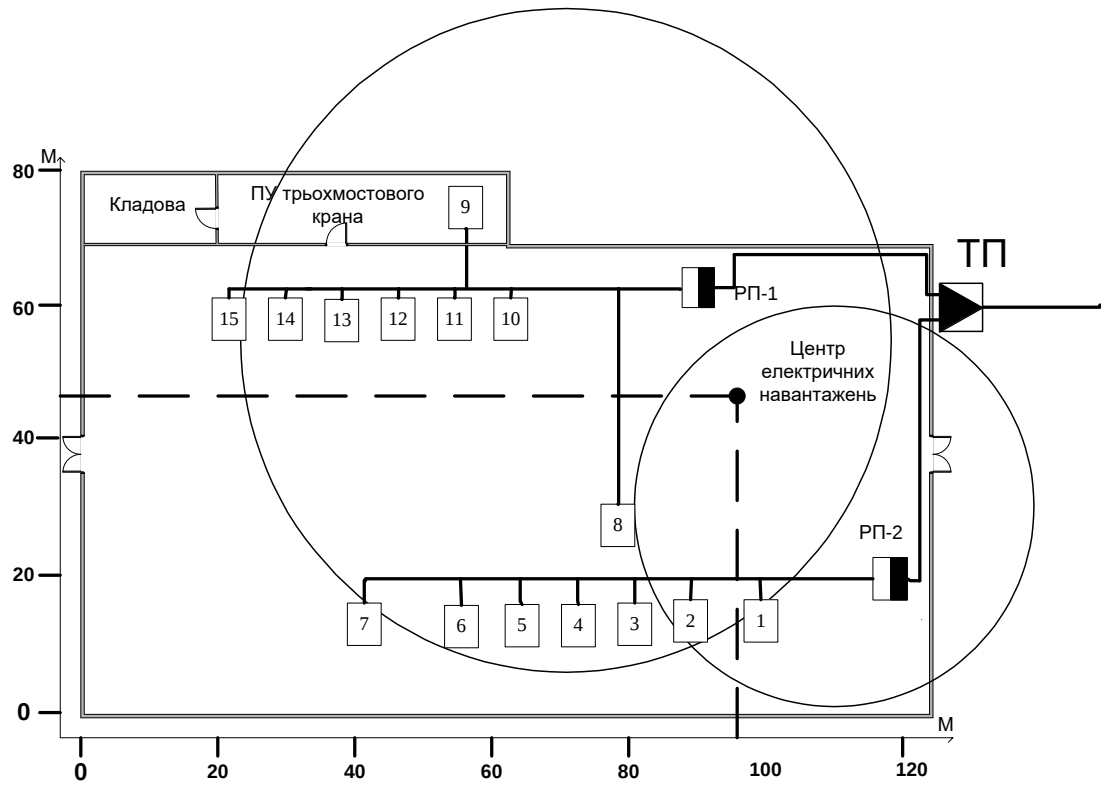


Рисунок 1.2 – Картограмма электрических нагрузок та розміщення основних елементів електропостачання цеху

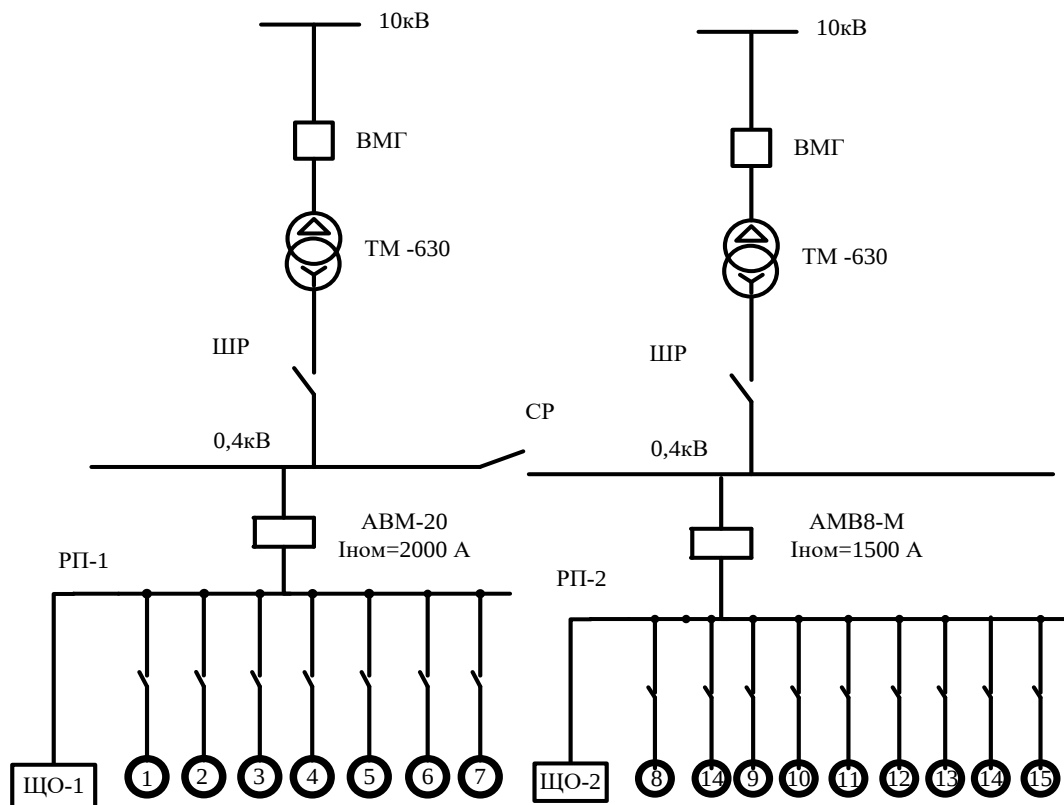


Рисунок 1.3 – Цехове електропостачання

Висновки по першому розділу

В даному розділі було наведено склад електрообладнання цеху, варіант розташування технологічного обладнання цеху, картограма електричних навантажень та розміщення основних елементів електропостачання цеху.

2 РОЗРАХУНОК ТИПУ ЩИТКІВ ОСВІТЛЕННЯ, ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ТА ЗАХИСТУ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Визначення місць розташування, типу щитків освітлення щитків освітлення марки проводів і способів їхньої прокладки

Щитки освітлення бажано розташовувати: за можливості ближче до центру електричних навантажень [4].

Освітлювальні мережі переважно виконуються кабелями і проводами, що мають алюмінієвими і мідні жили [5].

По можливості застосовуються кабелі [3]:

АВВГ, ВВГ, АВРГ, ВРГ. АНРГ, НРГ.

Візьмемо два типи щитків таких як ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31 і ПР11-3117 -21 УЗ. У них передбачена установка як трифазних так і однофазних автоматичних вимикачів. У щитку типу ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31 установлюються автоматичні вимикачі типу ВА 47-29. Дані щитки сучасного типу й у них використовується апаратура яка відповідає сьогоdnішнім вимогам.

В якості електричної проводки у всіх приміщеннях цеху візьмемо кабелі, мають алюмінієві жили, а ізоляцію подвійну.

В усіх приміщеннях застосовуємо кабель типу АВВГ. Прихований спосіб прокладки по стінах - під шаром штукатурки, по стелі (у порожнечах будівельних перекриттів).

Схема електропостачання цеху зображена на рисунку 1.3.

2.2. Вибір перерізу проводів і кабелів та розрахунок захисту освітлювальної мережі.

По механічній міцності розрахунок проводів і кабелів внутрішніх електричних мереж не виконується. У практиці проектування електричних

мереж дотримуються установлених в мінімальних перерізів жил проводів по механічній міцності [16].

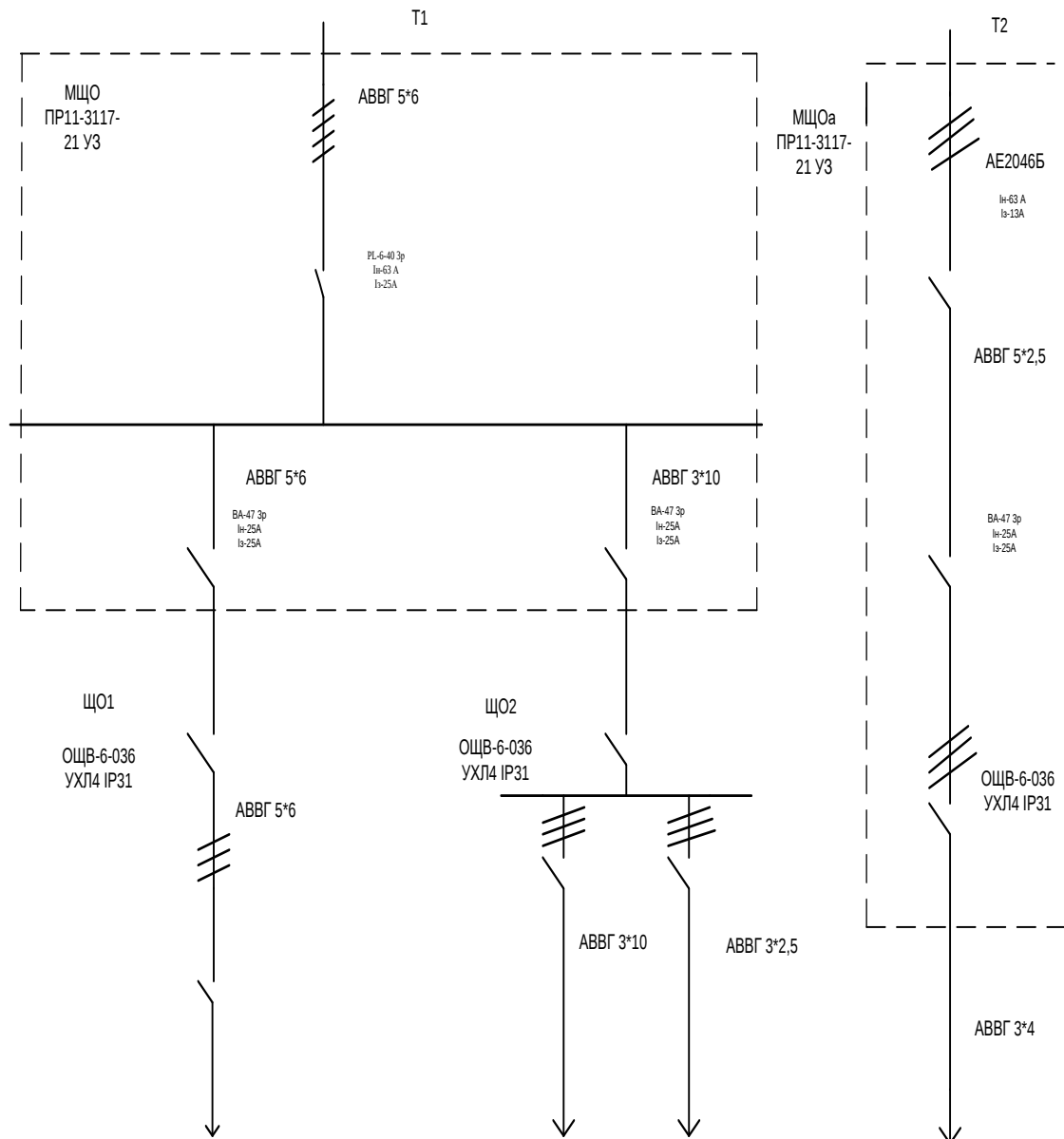


Рисунок 2.1 – Схема електромережі освітлення арматурного цеху деревообробного підприємства.

Оберемо жили кабелів з алюмінію, для них: $F_{min}=2,5 \text{ мм}^2$.

Переріз жил проводів і кабелів для мережі освітлення можна визначити за наступною умовою [2]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / (K_{\text{П}} K^I), \quad (2.1)$$

де $I_{\text{доп}}$ – припустимий струм стандартного перерізу проводу, А;

I_p – розрахунковий струм навантаження, А;

K_{π} – коефіцієнт, що поправляє [14] (при умовах прокладки що вважаються нормальними $K_{\pi} = 1$).

Понижуючі коефіцієнти $K'=(0,6 - 0,85)$ залежно від кількості прокладених поруч проводів.

Для вибору перерізів проводів і кабелів по припустимому нагріванню необхідно визначити розрахункові струмові навантаження ліній.

Максимальні струмові навантаження визначають:

$$I_p = P_p / U_{\phi} \cdot \cos \varphi ; \quad (\text{однофазна мережа}) \quad (2.2)$$

$$I_p = P / \sqrt{3} U_{\pi} \cos \varphi = P_p / 3 U_{\phi} \cos \varphi ; \quad (\text{трфазна мережа}) \quad (2.3)$$

$$I_p = P_p / 2 U_{\phi} \cos \varphi . \quad (\text{двофазна мережа}) \quad (2.4)$$

Виходячи зі сказаного вище:

Для приміщення №1 :

$$I_{p1} = \frac{P_{p1}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi} = \frac{10368}{230 \cdot 0,95} = 47,4 \text{ А}$$

Для приміщення №2 :

$$I_{p2} = \frac{P_{p2}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi} = \frac{2592}{230 \cdot 0,95} = 11,8 \text{ А}$$

Для приміщення №3 :

$$I_{p3} = \frac{P_{p3}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi} = \frac{1036}{230 \cdot 0,95} = 4,74 \text{ А}$$

Для лінії від Т1 до МЩО:

Знайдемо середньозважений $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = \frac{\cos\varphi_1 \cdot P_1 + \cos\varphi_2 \cdot P_2 + \dots + \cos\varphi_n \cdot P_n}{\sum_1^n P_{ni}} = 0,95$$

$$I_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{12,96}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 19,9 \text{ A}$$

Для лінії від МЩО до ЩО1:

Знайдемо середньозважений $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = 0,95$$

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{10,368}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,92} = 16,45 \text{ A}$$

Для лінії від МЩО до ЩО2:

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{2,592}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 3,98 \text{ A}$$

Для аварійного освітлення лінія №1 (приміщення №1):

$$I_{p1a} = \frac{P_{p1a}}{U_{\phi} \cdot \cos\varphi} = \frac{900}{230 \cdot 1} = 3,9 \text{ A}$$

Для аварійного освітлення лінія №2 (приміщення №2):

$$I_{p2a} = \frac{P_{p2a}}{U_{\phi} \cdot \cos\varphi} = \frac{450}{230 \cdot 1} = 1,95 \text{ A}$$

Для лінії живлення аварійного освітлення:

$$I_{pa} = \frac{P_a}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 1} = 1,88 \text{ А}$$

Результати вибору кабелів по припустимому нагріванню заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Вибір кабелів по припустимому нагріванню

№ примі- щення (лінії)	I _к , А	Марка кабелю	F _{ном} , мм ²	F _{мін} , мм ²	I _{доп} , А
Електрична мережа робочого освітлення					
ЩО1					
1	47,4	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
ЩО2					
2	11,8	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
3	4,74	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
МЦО					
ЩО1	16,45	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
ЩО2	3,98	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
Від КТП -Т1					
МЦО	19,9	АВВГ – 3*2,5	4	4	28
Електрична мережа аварійного освітлення					
ЩО1а					
Лінія №1	3,9	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
МЦОа					

ЩО1а	1,88	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28
Від Т2					
МЩОа	1,88	АВВГ – 3*2.5	2.5	2.5	28

Втрата напруги в трансформаторі:

$$: \Delta U_T = \beta \cdot \Delta U_T^* \quad (2.5)$$

де β - коефіцієнт завантаження трансформатора; ΔU_T^* - втрата напруги при $\beta=1$ з [10], що залежить від номінальної потужності трансформатора ($S_{ном}$) і від фактичного $\cos\phi$ трансформатора.

Щодо значення перерізу проводів втрати напруги будуть:

$$\Delta U = M / C \cdot S . \quad (2.6)$$

Найменша витрата провідникового матеріалу визначається:

$$S = (\Sigma M + \alpha \Sigma m) / C \Delta U_p, \quad (2.7)$$

де ΔU_p – розрахункові втрати напруги, %, припустимі від початку даної ділянки, що розраховується, до кінця мережі.

Згідно вищерозглянутого зробимо розрахунок електричних мереж освітлення по втраті напруги.

Виходячи з результатів розрахунку електричних мереж по втраті напруги, проведемо коректування обраних раніше кабелів.

Визначимо втрату напруги в трансформаторі по таблиці 2.1:

$$\Delta U_T = 3,91 \%$$

Знаходимо припустиму втрату напруги:

$$\Delta U_{доп} = 105 - U_{min} - \Delta U_T = 105 - 95 - 3,91 = 6,09 \%$$

Обчислюємо власні моменти ліній ГЩО1 .

Довжина лінії від ГЩО1 до першого світильника приміщення №1

$L_{11} = 28$ м, відстань між світильниками в ряді $l_{111}=31,5$ м, $l_{112}=34$ м, $l_{113}=37$ м, $l_{114}=40$ м, $l_{115}=43$ м, $l_{116}=46$ м, $l_{117}=49$ м, $l_{118}=52$ м, $l_{119}=55$ м, $l_{120}=58$ м, $l_{121}=61$ м, $l_{123}=64$ м, $l_{124}=67$ м, $l_{125}=70$ м, $l_{126}=73$ м, $l_{127}=76$ м, $l_{128}=79$ м, $l_{129}=82$ м, $l_{130}=85$ м, $l_{131}=88$ м, $l_{132}=91$ м, $l_{133}=94$ м, $l_{134}=97$ м, $l_{135}=100$ м, $l_{136}=104$ м, $l_{137}=105$ м, $l_{138}=108$ м, $l_{139}=109$ м, $l_{140}=112$ м, $l_{141}=115$ м, $l_{142}=117$ м. Активна потужність передана по груповій лінії $P_{p1}=10,3$ кВт.

$$M_{11} = P_{p1} \times \left(L_{11} + \frac{\sum l_n}{5} \right) = 3,5 \times \left(45 + \frac{\sum l_n}{42} \right) = 324,6 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Довжина лінії від ГЩО2 до першого світильника приміщення №2

$L_{21} = 6$ м, відстань між світильниками в ряді $l_{211}=9$ м, $l_{212}=12$ м, $l_{213}=15$ м, $l_{214}=18$ м, $l_{215}=21$ м, $l_{216}=24$ м, $l_{217}=27$ м, $l_{218}=30$ м, . Активна потужність передана по груповій лінії $P_{p5}=2,592$ кВт.

$$\begin{aligned} M_{21} &= P_{p2} \times \left(L_{21} + \frac{l_{211} + l_{212} + l_{213} + l_{214} + l_{215} + l_{216} + l_{217} + l_{218}}{9} \right) \\ &= 2,1 \times \left(18 + \frac{9 + 12 + 15 + 18 + 21 + 24 + 27 + 30}{8} \right) = \\ &= 85,2 \text{ кВт} \times \text{м} \end{aligned}$$

Довжина лінії від ГЩО2 до першого світильника приміщення №3 $L_{22} =$

3 м, відстань між світильниками в ряді $l_{221}=5,5$ м, $l_{222}=6,5$ м $l_{223}=10,5$ м.

Активна потужність передана по груповій лінії $P_{p3}=1,035$ кВт.

$$\begin{aligned} M_{23} &= P_{p3} \times \left(L_{23} + \frac{l_{221} + l_{222} + l_{223}}{4} \right) = 0,35 \times \left(3 + \frac{5,5 + 6,5 + 10,5}{3} \right) = \\ &= 3,675 \text{ кВт} \times \text{м} \end{aligned}$$

Для лінії l_0 довжиною 30 м, що живить МЦО момент дорівнює:

$$M_0 = l_0 \times P_0 = 20 \times 10,59 = 317,7 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Визначаємо наведений момент навантаження для живильної лінії l_0 .

Для цього додамо всі моменти п'ятипровідних ліній з моментами трьохпровідних ліній помноженими на коефіцієнт приведення $\alpha = 1,85$:

$$\begin{aligned} M_{\text{пр}} &= M_0 + M_1 + M_2 + M_3 \times 1,85 = 324 + 85,2 + 3,675 \times 1,85 \\ &= 763 \text{ кВт} \times \text{м} \end{aligned}$$

Визначимо площу поперечного перерізу жил кабелю живильної лінії:

$$S_0 = \frac{M_{\text{пр}}}{C \times \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{763}{48 \times 6,09} = 2,7 \text{ мм}^2$$

Приймаємо пятижильний кабель АВВГ 5х6 з $I_{\text{доп}} = 27 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований у пункті 2.2 і дорівнює $I_p = 19,9 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 27 \geq 19,9$$

Умова виконується.

Знайдемо втрату напруги в живильній лінії l_0 .

$$\Delta U_0 = \frac{M_{\text{пр}}}{C \times S_0} = \frac{211,8}{48 \times 6} = 0,73\%$$

Обчислюємо залишкову величину припустимої втрати напруги, по якій розраховуються лінії l_1 і l_2 .

$$\Delta U_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_0 = 6,09 - 0,73 = 5,35\%$$

Визначаємо наведений момент навантаження для лінії l_1 .

Для цього додамо момент п'ятипровідної лінії l_1 з моментами трьохпровідних ліній ГЩО1 помноженими на коефіцієнт приведення $\alpha=1,85$.

$$M_{\text{пр1}} = (M_{11}) \times 1,85 = 324 \times 1,85 = 599 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Визначимо площу поперечного перерізу жил кабелю лінії l_1 :

$$S_1 = \frac{M_{\text{пр1}}}{C \times \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{599}{48 \times 5,35} = 2,33 \text{ мм}^2$$

Приймаємо трьохжильний кабель АВВГ 3х10 з $I_{\text{доп}} = 59,2 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований у пункті 2.2 і дорівнює $I_p=47,4 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 59,2 \geq 47,4$$

Умова виконується.

Визначаємо наведений момент навантаження для лінії l_2 .

Для цього додамо момент п'ятипровідної лінії l_2 з моментами трьохпровідних ліній ГЩО2 помноженими на коефіцієнт приведення $\alpha=1,85$.

$$M_{\text{пр2}} = (M_{21} + M_{22}) \times 1,85 = (85,2 + 3,675) \times 1,85 = 164,4 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Визначимо площу поперечного перерізу жил кабелю лінії l_2 :

$$S_2 = \frac{M_{\text{пр2}}}{C \times \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{164,9}{48 \times 5,35} = 0,65 \text{ мм}^2$$

Приймаємо трьохжильний кабель АВВГ 3х2,5 з $I_{\text{доп}} = 28,9 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований у пункті 8.2 і дорівнює $I_p=15,9 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 28,9 \geq 15,9$$

Умова виконується.

Знайдемо втрату напруги в лініях $l_1 - l_2$:

$$\Delta U_1 = \frac{M_{\text{пр1}}}{C \times S_1} = \frac{599}{48 \times 6} = 2,07\%$$

$$\Delta U_2 = \frac{M_{\text{пр2}}}{C \times S_2} = \frac{164,9}{48 \times 2,5} = 1,4\%$$

Обчислюємо залишкову величину припустимої втрати напруги, по якій розраховуються групові лінії [4].

Для ЩО1:

$$\Delta U'_{\text{доп1}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_1 - \Delta U'_{\text{доп}} = 6,09 - 0,73 - 2,07 = 3,29\%$$

Для ЩО2:

$$\Delta U'_{\text{доп2}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_2 - \Delta U'_{\text{доп}} = 6,09 - 0,73 - 1,4 = 3,96\%$$

Визначаємо переріз групових ліній ГЩО1:

Приміщення №1

$$S_{11} = \frac{M_{11}}{C \times \Delta U'_{\text{доп1}}} = \frac{324,6}{8 \times 2,03} = 20 \text{ мм}^2$$

Приймаємо трьохжильний кабель АВВГ 3х2,5 з $I_{\text{доп}} = 60 \times 0,85 = 51 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований раніше і дорівнює $I_p = 47,4 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 51 \geq 47,4$$

Умова виконується.

Визначаємо переріз групових ліній ГЩО2:

Приміщення №2

$$S_{21} = \frac{M_{21}}{C \times \Delta U'_{\text{доп1}}} = \frac{11,8}{8 \times 2,03} = 0,68 \text{ мм}^2$$

Приймаємо трьохжильний кабель АВВГ 3х2,5 з $I_{\text{доп}}=19 \times 0,85=16,5 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований раніше і дорівнює $I_p=11,8 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 16,5 \geq 11,8$$

Умова виконується.

Приміщення №3

$$S_{22} = \frac{M_{22}}{C \times \Delta U_{\text{доп}2}} = \frac{3,675}{8 \times 3,96} = 0,11 \text{ мм}^2$$

Приймаємо трьохжильний кабель АВВГ 3х4 з $I_{\text{доп}}=28 \times 0,85=24 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований раніше і дорівнює $I_p=4,7 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 24 \geq 4,7$$

Умова виконується.

Розрахуємо моменти ліній аварійного освітлення.

Визначимо втрату напруги в трансформаторі Т2 по таблиці 2.1 з :

$$\Delta U_T = 3,91 \%$$

Знаходимо припустиму втрату напруги:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 105 - U_{\text{min}} - \Delta U_T = 105 - 95 - 3,91 = 6,09 \%$$

Довжина лінії від ЩО1а до першого світильника лінії $L_{11a} = 7 \text{ м}$, відстань між світильниками в ряді $l_{111a}=10 \text{ м}$, $l_{112a}=15 \text{ м}$, $l_{113a}=25,5 \text{ м}$, $l_{114a}=28,5 \text{ м}$, $l_{115a}=30 \text{ м}$, $l_{116a}=32 \text{ м}$, $l_{117a}=34 \text{ м}$, $l_{118a}=36 \text{ м}$, $l_{119a}=36 \text{ м}$, $l_{120a}=38 \text{ м}$, $l_{121a}=40 \text{ м}$, $l_{122a}=42 \text{ м}$, $l_{123a}=44 \text{ м}$, $l_{124a}=46 \text{ м}$, $l_{125a}=48 \text{ м}$, $l_{126a}=50 \text{ м}$. Активна потужність передана по груповій лінії $P_{p1a}=1,8 \text{ кВт}$.

$$M_{11a} = P_{p1a} \times \left(L_{11a} + \frac{\sum l_n}{4} \right) = 1,2 \times \left(7 + \frac{554}{18} \right) = 45,3 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Визначимо момент для живильної лінії аварійного освітлення.

$$M_{0a} = l_{0a} \times P_{0a} = 20 \times 1,5 = 30 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Визначимо наведений момент для живильної лінії аварійного освітлення.

Для цього додамо момент п'ятипровідної лінії l_{0a} з моментами трьохпровідних ліній ЩО1а помноженими на коефіцієнт приведення $\alpha=1,85$.

$$M_{пра} = 45,3 \times 1,85 = 83,8 \text{ кВт} \times \text{м}$$

Визначимо переріз живильної лінії аварійного освітлення:

$$S_{0a} = \frac{M_{пра}}{C \times \Delta U_{доп}} = \frac{83,8}{48 \times 6,09} = 0,75 \text{ мм}^2$$

Приймаємо п'ятижильний кабель АВВГ 5х2,5 з $I_{доп}=19 \times 0,92 \times 0,85=14,9 \text{ А}$ (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований раніше і дорівнює $I_p=1,8 \text{ А}$.

$$I_{доп} \geq I_p; \quad 14,9 \geq 2,06$$

Умова виконується.

Знайдемо втрату напруги в лініях l_{1a} :

$$\Delta U_1 = \frac{M_{пр1a}}{C \times S_1} = \frac{83,8}{48 \times 2,5} = 1,81\%$$

Для ЩО1а:

$$\Delta U'_{доп1a} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{0a} - \Delta U_1 = 6,09 - 1,81 - 0,75 = 3,52 \%$$

Визначаємо переріз групових ліній ЩО1а:

Лінія №1:

$$S_{1a} = \frac{M_{1a}}{C \times \Delta U'_{доп1a}} = \frac{83,8}{8 \times 3,52} = 2,96 \text{ мм}^2$$

Приймаємо трьохжильний кабель АВВГ 3х4 з $I_{\text{доп}}=28 \times 0,85=24$ А (з огляду на умови прокладки).

Розрахунковий струм лінії був розрахований раніше і дорівнює $I_p=1,8$ А.

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad 16,5 \geq 1,8$$

Умова виконується.

Результати вибору кабелів занесемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Підсумкові результати вибору кабелів

№ приміще- ння (лінії)	F _{ном} , мм ²			Підсумкова марка кабелю
	По мех. міцності	По доп. струму	По втраті напруги	
Електрична мережа робочого освітлення				
ЩО1				
1	2.5	2.5	16	АВВГ – 5*6
ЩО2				
2	2.5	2.5	4	АВВГ – 3*10
3	2.5	2.5	2.5	АВВГ – 3*2.5
МЩО				
ЩО1	2.5	2.5	4	АВВГ – 5*6
ЩО2	2.5	2.5	2,5	АВВГ – 3*10
Від Т1 до МЩО				
МЩО	2.5	2,5	6	АВВГ – 5*6
Електрична мережа аварійного освітлення				
ЩО1а				

Лінія №1	2.5	2.5	4	АВВГ – 3*4
Від Т2 до ЩО1а				
МЩОа	2,5	2,5	2,5	АВВГ – 5*2.5

2.3. Робоче освітлення

ЩО1 (ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31)

Маємо 1 триполюсне й 6 однополюсних приєднань. Конструкцією щитка передбачена установка триполюсного й однополюсних автоматичних вимикачів типу ВА 47-100, що має параметри:

- номінальний струм однополюсного вимикача $I_{\text{ном}}=57$ А;
- номінальний струм триполюсного вимикача $I_{\text{ном}}=63$ А;

Вибираємо номінальний струм розчеплювача однополюсного вимикача $I_3=60$ А.

Перевіримо обраний автоматичний вимикач. Для лінії №1 розрахунковий струм, що протікає через нього, дорівнює: $I_p=47,1$ А, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{\text{доп}}=51$ А. Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 51 \geq 47,1$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_3, \text{ тобто } 60 \geq 51$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

ЩО2 (ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31)

Маємо 1 триполюсне й 6 однополюсних приєднань. Конструкцією щитка передбачена установка триполюсного й однополюсних автоматичних вимикачів типу ВА 47-29, що має параметри:

- номінальний струм однополюсного вимикача $I_{\text{ном}}=10 \text{ A}$;
- номінальний струм триполюсного вимикача $I_{\text{ном}}=13 \text{ A}$;
- кратність струму зрушення вимикача (відсічки) $I_0=12I_{\text{ном}}=120 \text{ A}$;

Вибираємо номінальний струм розчеплювача однополюсного вимикача $I_3=10 \text{ A}$.

Перевіримо обраний автоматичний вимикач. Для лінії №2 розрахунковий струм, що протікає через нього, дорівнює: $I_p=11,8 \text{ A}$, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{\text{доп}}=59 \text{ A}$. Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 10 \geq 9,6$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_3, \text{ тобто } 59 \geq 11,8$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

Для лінії №3 розрахунковий струм, що протікає через нього, дорівнює: $I_p=4,74 \text{ A}$, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{\text{доп}}=16,5 \text{ A}$. Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 10 \geq 4,74$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_3, \text{ тобто } 16,5 \geq 10$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

МЩО (ПР11-3117 -21 УЗ)

Має 4 триполюсні приєднання. Конструкцією щитка передбачена установка триполюсного автоматичного вимикача типу PL-6-40, що має параметри:

- номінальний струм ввідного вимикача $I_{\text{ном}}=70 \text{ A}$; $I_3=50 \text{ A}$
- кратність струму зрушення вимикача (відсічки) $I_0=12I_{\text{ном}}=756 \text{ A}$;

Вибираємо номінальний струм розчеплювача групового вимикача для всіх ГЩО (ГЩО1 – ГЩО2) $I_3=13$ А. Встановлюємо автоматичні вимикачі РЛ-6-40. $I_{ном}=20$ А, $I_o=12I_{ном}=240$ А;

Перевіримо обрані автоматичні вимикачі.

Група ГЩО1 (розрахунковий струм: $I_p=16,45$ А, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{доп}=23$ А). Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 20 \geq 16,45$$

$$I_{доп} \geq I_3, \text{ тобто } 23 \geq 20$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

Група ГЩО2 (розрахунковий струм: $I_p=3,93$ А, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{доп}=14,9$ А). Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 13 \geq 3,93$$

$$I_{доп} \geq I_3, \text{ тобто } 14,91 \geq 13$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

Для ввідного вимикача розрахунковий струм, що протікає через нього, дорівнює: $I_p=16,2$ А, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{доп}=54,7$ А. Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 25 \geq 16,2$$

$$I_{доп} \geq I_3, \text{ тобто } 27 \geq 25$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

2.4. Аварійне освітлення.

ЩО1а (ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31)

Має 1 триполюсне й 6 однополюсних приєднань. Конструкцією щитка передбачена установка триполюсних і однополюсних автоматичних вимикачів типу ВА 47-29, що має параметри:

- номінальний струм ввідного вимикача $I_{\text{ном}}=10 \text{ А}$;
- номінальний струм групового вимикача $I_{\text{ном}}=10 \text{ А}$;

Вибираємо номінальний струм розчеплювача ввідного вимикача $I_3=10 \text{ А}$, номінальний струм розчеплювача групового вимикача $I_{\text{ном}}=6 \text{ А}$;

Перевіримо обрані автоматичні вимикачі.

Лінія аварійного освітлення (розрахунковий струм: $I_p=3,9 \text{ А}$, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{\text{доп}}=16,5 \text{ А}$). Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 6 \geq 3,9;$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_3, \text{ тобто } 16,5 \geq 6;$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

МЩОа (ПР11-3117 -21 УЗ)

Має 4 триполюсні приєднання. Конструкцією щитка передбачена установка триполюсного автоматичного вимикача типу АЕ2046Б, що має параметри:

- номінальний струм ввідного вимикача $I_{\text{ном}}=63 \text{ А}$; $I_3=13 \text{ А}$;
- кратність струму зрушення вимикача (відсічки) $I_o=12I_{\text{ном}}=756 \text{ А}$.

Для ввідного вимикача розрахунковий струм, що протікає через нього, дорівнює: $I_p=1,88 \text{ А}$, а найбільший припустимий струм обраного кабелю $I_{\text{доп}}=14,9 \text{ А}$. Тоді:

$$I_3 \geq I_p, \text{ тобто } 13 \geq 1,88$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_3, \text{ тобто } 14,9 \geq 13$$

Отже обраний автоматичний вимикач підходить.

Результати вибору апаратів захисту (автоматичних вимикачів) заносимо в таблицю. 2.3.

Таблиця 2.3 - Підсумкові результати вибору апаратів захисту

№ з/п Групи (лінії)	Струми , А			Марка автоматичного вимикача
	Номіналь ний вимк., I _{ном}	Розчеплю вача, I _з	Відсічки, I _о	
Електрична мережа робочого освітлення				
ЩО1 (ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31)				
1	57	57	300	ВА 47-100 1р
Ввід	60	60	300	ВА 47-100 3р
ЩО2 (ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31)				
2	10	10	120	ВА 47-29 1р
3	10	10	120	ВА 47-29 1р
Ввід	13	13	156	ВА 47-29 3р
МЩО (ПР 11-3117 -21 УЗ)				
ЩО1	13	13	156	ВА 47-29 3р
ЩО2	13	13	156	ВА 47-29 3р
Ввід	63	25	756	PL-6-40 3р
Електрична мережа аварійного освітлення				
ЩО1а (ОЩВ- 6-0 36 УХЛ4 ІР31)				

Лінія №1	10	6	120	BA 47-29 1p
Ввід	10	10	120	BA 47-29 3p
МЦОа (ПР11-1047-21У3)				
Ввід	63	13	756	AE2046Б

Висновки за другим розділом

В якості мережі живлення основного приміщення, як робочого, так і аварійного освітлення, а також для допоміжних приміщень цеху використовуємо однофазну систему (3-х провідну). Світильники підключаємо на фазну напругу.

Живлення групових щитків (ГЩО) робочого освітлення здійснюється через магістральний щиток (МЩО), безпосередньо від КТП через трансформатор Т1.

Живлення щитків аварійного освітлення (ЩОА) здійснюється окремо від живлення робочого освітлення, через магістральний щиток аварійного освітлення (МЩОа), безпосередньо від КТП через трансформатор Т2.

В освітлювальну мережу включаємо штепсельні розетки загального призначення (~220V), що підключаються в групи разом з освітлювальними установками. Їхня кількість залежить від призначення й розмірів приміщення.

У допоміжних приміщеннях встановлюємо вимикачі освітлення (~220V). Їхнє розташування й кількість є відповідною до призначення приміщення та кількості світильників. Зазвичай встановлюють 2 вимикачі (або один подвійний) на вході, всередині приміщення.

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

В даній роботі було наведено склад електрообладнання цеху, варіант розташування технологічного обладнання цеху, картограма електричних навантажень та розміщення основних елементів електропостачання цеху.

В якості мережі живлення основного приміщення, як робочого, так і аварійного освітлення, а також для допоміжних приміщень цеху використовуємо однофазну систему.

Живлення групових щитків робочого освітлення здійснюється через магістральний щиток, безпосередньо від КТП через трансформатор Т1.

Живлення щитків аварійного освітлення здійснюється окремо від живлення робочого освітлення, через магістральний щиток аварійного освітлення, безпосередньо від КТП через трансформатор Т2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улаштування електроустановок./ Наказ Міністерства енергетики 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.: Каменярь, 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