

ЖИТОМИРСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТУ ІМЕНІ С.П.КОРОЛЬОВА  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНЖЕНЕРІЇ



## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача вищої освіти ступеня «бакалавр» заочної форми навчання  
за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

Тема: «РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ  
ПІДПРИЄМСТВА ГРАНІТНИХ ВИРОБІВ»

Виконавець: Дмитро ВОЗНЮК

м. Житомир

2026

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота виконана на 58 сторінках, складається з 3 розділів та містить 4 ілюстрацій, 8 таблиць. При виконанні роботи було використано 8 джерел інформації.

В кваліфікаційній роботі було розроблено схему електропостачання цеху підприємства гранітних виробів з застосуванням засобів компенсації реактивної потужності.

Була розрахована потужність електричної установки цеху підприємства гранітних виробів та сумарне навантаження приймачів електричної енергії, підключених до однієї електричної підстанції.

За потужністю обрано вид кабелю, що живить установки електричною енергією.

Проведено вибір числа і потужності силових трансформаторів.

Дано коротку характеристику по охороні праці при експлуатації систем електропостачання каменеобробного і ремонтно-механічного обладнання цеху підприємства.

Ключові слова: *ЕЛЕКТРИЧНИЙ АПАРАТ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, ПРИСТРІЙ КОМПЕНСУВАННЯ, ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ, БЛИСКАВКОЗАХИСТ.*

|           |      |                  |        |      |                                                             |      |      |         |
|-----------|------|------------------|--------|------|-------------------------------------------------------------|------|------|---------|
|           |      |                  |        |      | Кваліфікаційна робота                                       |      |      |         |
|           |      |                  |        |      |                                                             |      |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.         | Підпис | Дата | Схема електропостачання цеху підприємства гранітних виробів | Літ. | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   |      | Вознюк Д.А.      |        |      |                                                             |      |      |         |
| Перевір.  |      | Свистунович І.В. |        |      |                                                             |      | 8    | 58      |
| Реценз.   |      |                  |        |      |                                                             |      |      |         |
| Н. Контр. |      |                  |        |      |                                                             |      |      |         |
| Затверд.  |      |                  |        |      |                                                             |      |      |         |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....                                                                                                                                              | 11 |
| ВСТУП.....                                                                                                                                                                              | 12 |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ<br>ПІДПРИЄМСТВА ГРАНІТНИХ ВИРОБІВ .....                                                                                                   | 13 |
| 1.1 Характеристика споживачів електричної енергії.....                                                                                                                                  | 13 |
| 1.2 Категорії споживачів електричної енергії.....                                                                                                                                       | 14 |
| 1.2.1 Споживачі населених міст.....                                                                                                                                                     | 14 |
| 1.2.2 Споживачі промислових підприємств.....                                                                                                                                            | 15 |
| 1.3 Задачі каменеобробного підприємства .....                                                                                                                                           | 16 |
| 1.3.1 Технічні характеристики електрообладнання.....                                                                                                                                    | 16 |
| 1.4 Вибір освітлення цеху.....                                                                                                                                                          | 17 |
| 1.5 Вибір величини напруги живлення.....                                                                                                                                                | 18 |
| 2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ<br>ПІДПРИЄМСТВА ГРАНІТНИХ ВИРОБІВ.....                                                                                                      | 23 |
| 2.1 Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі .....                                                                                                                        | 23 |
| 2.1.1 Розрахунок цехової мережі .....                                                                                                                                                   | 24 |
| 2.1.2 Розрахунок навантажень каменеобробного підприємства .....                                                                                                                         | 28 |
| 2.2 Побудова картограми і визначення центру електричних навантажень ....                                                                                                                | 31 |
| 3 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ,<br>КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ВИБІР ВИМИКАЧІВ І<br>ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ. ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА<br>БЛИСКАВКОЗАХИСТ..... | 35 |
| 3.1 Вибір числа і потужності силових трансформаторів .....                                                                                                                              | 35 |
| 3.2 Розрахунок компенсації реактивної потужності.....                                                                                                                                   | 39 |
| 3.3 Розрахунок заводського електропостачання, вибір вимикачів і перерізу<br>провідників .....                                                                                           | 40 |
| 3.4 Розрахунок заземлення.....                                                                                                                                                          | 47 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 3.5 Захист від блискавки.....     | 52 |
| ВИСНОВКИ .....                    | 57 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ..... | 58 |

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВР –автоматичне включення резерву

АТС – автоматична телефонна станція

ЕП – електроприймачі

СЕП – система електропостачання

ЦЕН – центр електричних навантажень

ТП – трансформаторні підстанції

РП – розподільний пункт

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## ВСТУП

Перше місце за кількістю споживаної електроенергії належить промисловості. За допомогою електричної енергії приводяться в рух мільйони станків і механізмів, освітлюються приміщення, здійснюється автоматичне управління виробничими процесами. Ця енергія надходить в систему електропостачання (СЕП) промислового підприємства від енергосистем, іноді від власної електростанції.

Більшість електроенергії, яка виробляється електричними станціями, споживається великими промисловими об'єктами, підприємствами. В кваліфікаційній роботі проекті потрібно забезпечити живленням каменеобробне підприємство, яке складається з цеху, який в свою чергу містить дві ділянки : каменеобробну і ремонтно-механічну.

На території каменеобробної ділянки цеху розміщене наступне електрообладнання: фреза 17, шліфувальні верстати 14-15, тельфер 18, кран типу „піонер” 16.

Ремонтно-механічна ділянка цеху вирішує задачі по ремонту та виготовленню окремих вузлів і деталей як для каменеобробного обладнання так і для обладнання інших цехів і має в своєму складі наступні електроприймачі: вертикально-фрезерний верстат 1, фрезерний верстат з ЧПУ 2, токарно-гвинторізний верстат 3, настільно-свердлильний верстат 4-5, різьбонарізний напівавтомат 6, заточувальний верстат 7-8, машина листовигинальна 9, точильно-шліфувальний верстат 10, плоскошліфувальний верстат 11, машина зварювальна 12, радіально-свердлильний верстат 13.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

# 1 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ ПІДПРИЄМСТВА ГРАНІТНИХ ВИРОБІВ

## 1.1 Характеристика споживачів електричної енергії

Для забезпечення необхідної ступені надійності при електропостачанні, промислові будівлі розрізняють на 3 категорії надійності.

Приєднання споживачів електроенергії до 1 категорії здійснюється до мереж і установок, що мають два незалежних один від одного джерела електропостачання або де включення резервного джерела здійснюється автоматично після відключення робочого живлення шляхом пристрою АВР (автоматичне включення резерву).

При знаходженні на підприємстві тільки одного джерела живлення, підключення споживачів 1 категорії здійснюється до резервних джерел електропостачання (акумуляторні батареї).

Для споживачів електроенергії 2 категорії рекомендується використовувати автоматичний або телемеханічний пристрій для вводу резерву, якщо їх використання не збільшує капітальні витрати на електропостачання об'єкта більше ніж на 15% або якщо збільшення цих витрат окупається в нормальні строки (8 років) за рахунок зниження чисельності обслуговуючого персоналу і втрат електроенергії в мережах. Допускається ручний ввід резерву для окремих споживачів 2 категорії шляхом часової перемички шланговим кабелем довжиною до 50 м від пристроїв, надійно забезпечених резервним живленням.

Для споживачів 3 категорії допускається пристрій резервування при технічно-економічному обґрунтуванні його доцільності.

Взагалі споживачів електричної енергії поділяють на два види:

- а) споживачі населених міст;
- б) споживачі промислових підприємств.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## 1.2 Категорії споживачів електричної енергії

### 1.2.1 Споживачі населених міст

Споживачі 1 категорії.

1. Аварійне освітлення в будівлях вище 16 поверхів; в столових і ресторанах з кількістю місць вище 500; в магазинах з торговими залами 1800 кв. м. і більше; в критих спорудах з кількістю місць на трибунах більше 800; в бібліотеках і читальних залах на 1000 і більше тисячі одиниць книжок; в готелях з кількістю місць більше 1000 при будь-якій кількості поверхів.

2. Аварійне освітлення відкритих спортивних споруд з кількістю місць 25000 і більше.

3. Аварійне освітлення операційних блоків, приміщень невідкладної медичної допомоги, анестезії, реанімації і родильних відділень.

4. Аварійне освітлення районних АТС, АТС закладів, що мають вихід абонентів в міську телефонну мережу, підсилюючих опорних станцій радіотрансляційної мережі, радіо і телецентрів, телеграфів.

5. Аварійне освітлення між квартальних і квартальних котельнях з паровими котлами і водонагрівальними котлами з температурою теплоносія більше 115 гр.

6. Аварійне освітлення насосних підвищувальних станцій господарського або протипожежного водопроводу, каналізаційних насосних станцій перекачки.

7. Аварійне освітлення міських транспортних пішохідних тунелів.

Споживачі 2 категорії.

1. Житлові будівлі висотою 6-16 поверхів; житлові будівлі, обладнанні електроплитами, гуртожитки, готелі, будівлі відпочинку до 1000 чоловік; столові, кафе, ресторани з кількістю місць до 500 чоловік включно; магазини з торговими залами від 220 до 1800 кв. м; лазні, ательє при кількості

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

працюючих більше 50, бібліотеки і читальні зали від 200 до 1000 одиниць книжок.

2. Автомобільні, тролейбусні і трамвайні парки; гаражі з кількістю машин більше 50.

3. Лікувальні, учбові і дитячі приміщення; аптеки з кількістю рецептів більше 150000 шт.

4. Адміністративні приміщення, музеї, виставки, АТС без виходу абонентів в міську мережу, поштові відділення, криті спортивні споруди з числом місць на трибунах менше 800; криті і відкриті басейни.

5. Котельні з водонагрівальними котлами з температурою теплоносія 115 гр.

6. Робоче освітлення жилих будівлях вище 16 поверхів; ресторанах і столових з кількістю місць більше 500; магазинах з торгівельними залами загальною площею 1800 кв. м і більше; критих спортивних споруд з кількістю місць на трибунах більше 800.

Споживачі 3 категорії.

- Будівлі, не відмічені в 1 і 2 категорії.

### **1.2.2 Споживачі промислових підприємств**

Споживачі 1 категорії.

- аварійне освітлення для продовження роботи і для евакуації людей з приміщень без природного освітлення.
- аварійне освітлення для продовження роботи в приміщеннях з природнім освітленням.

Споживачі 2 категорії.

- робоче і евакуаційне освітлення основних промислових приміщень з природним освітленням.

Споживачі 3 категорії.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

- робоче освітлення допоміжних приміщень з природним освітленням при кількості працюючих менше 50 чоловік (ремонтні майстерні склади).

### 1.3 Задачі підприємства гранітних виробів

Дане каменеобробне підприємство має в своєму складі один цех, який складається з двох ділянок:

- каменеобробна ділянка займається розпилюванням та шліфуванням каменю, виготовленням гранітних плит, тротуарних блоків тощо. Дана продукція використовується для будівництва.
- ремонтно механічна ділянка займається ремонтом устаткування каменеобробного цеху, виготовленням окремих вузлів та деталей для інших видів виробництва.

#### 1.3.1 Технічні характеристики електрообладнання

На території каменеобробної ділянки цеху розміщено:

1. Фреза;
2. Шліфувальний верстат;
3. Тельфер;
4. Кран типу „піонер”;
5. Вентилятор;
6. Насос.

На території ремонтно-механічної ділянки цеху розміщене наступне електрообладнання:

1. Вертикально фрезерний верстат;
2. Фрезерний верстат з ЧПУ;
3. Токарно-револьверний верстат;

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

4. Настільно-свердлильний верстат;
5. Різьбонарізний напівавтомат;
6. Заточувальний верстат;
7. Машина листовигинальна;
8. Точильно-шліфувальний верстат;
9. Радіально-свердлильний верстат;
10. Плоскошліфувальний верстат;
11. Машина зварювальна.

#### 1.4 Вибір освітлення цеху

Для цеху підприємства гранітних виробів система освітлення обирається з урахуванням характеру виробничого процесу, габаритів приміщення, умов експлуатації та вимог до безпеки праці. Оскільки в цеху виконуються роботи з обробки каменю, які супроводжуються утворенням пилу, підвищеним механічним навантаженням та потребують достатньої видимості робочих зон, доцільним є застосування загального рівномірного штучного освітлення. Основним критерієм вибору є забезпечення нормативного рівня освітленості на робочих поверхнях, рівномірного розподілу світлового потоку та економічності експлуатації освітлювальної системи.

Для виробничих приміщень із висотою до 6 м раціональним рішенням є використання люмінесцентних джерел світла, які характеризуються високою світловіддачею, тривалим терміном служби та нижчим енергоспоживанням порівняно з лампами розжарювання.

Для основних виробничих зон цеху, зокрема каменеобробної та ремонтно-механічної ділянок, прийнято загальне освітлення із застосуванням світильників, адаптованих до умов виробничого середовища, зі ступенем захисту від пилу та механічних впливів. Для допоміжних приміщень і проходів також передбачається відповідне освітлення зі зниженими нормативними

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 17   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

рівнями освітленості відповідно до їх функціонального призначення. Додатково передбачається аварійне (евакуаційне) освітлення, яке забезпечує безпечне пересування персоналу у випадку зникнення основного електроживлення. Такий підхід дозволяє забезпечити належні умови праці, підвищити безпеку персоналу та створити надійну й енергоефективну систему освітлення в межах загальної схеми електропостачання цеху.

### 1.5 Вибір величини напруги живлення

При проектуванні систем електропостачання промислових підприємств важливим питанням є вибір раціональних напруг для схеми, оскільки їхні значення визначають параметри ліній електропередачі і обраного електроустаткування підстанцій і мереж, а отже, розміри капіталовкладень, витрати кольорового металу, втрати електроенергії й експлуатаційні витрати.

Для отримання найбільш економічного варіанту електропостачання підприємства в цілому, напруга кожної ланки системи електропостачання повинна вибиратися перш за все з урахуванням напруг суміжних ланок. Вибір напруг ґрунтується на порівнянні техніко-економічних показників різних варіантів у випадках, коли:

1) від джерела живлення можна одержувати енергію при двох або більш напругах;

2) при проектуванні електропостачання підприємств доводиться розширювати існуючі підстанції і збільшувати потужність заводських електростанцій;

3) мережі заводських електростанцій пов'язувати з мережами енергосистем.

Перевагу при виборі варіантів слід віддавати варіанту з вищою напругою навіть при невеликих економічних перевагах (що не перевищують 10—25%) нижчої з порівнюваних напруг.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

Для живлення великих і особливо великих підприємств слід застосовувати напруги 110, 150, 220, 330 і 500 кВ. На перших ступенях розподілу енергії на таких великих підприємствах слід застосовувати напруги 110, 150 і 220 кВ.

Напругу 35 кВ в основному рекомендується використовувати для розподілу енергії на першому ступені середніх підприємств за відсутності значного числа електродвигунів напругою вище 1000 В, а також для часткового розподілу енергії на великих підприємствах, де основна напруга першого ступеня 110—220 кВ. Зокрема, напругу 35 кВ можна застосовувати для повного або часткового внутрішньозаводського розподілу електроенергії за наявності:

- а) потужних електроприймачів на 35 кВ (сталеплавильних печей, потужних ртутно-випрямних установок і ін.);
- б) електроприймачів підвищеної напруги, значно віддалених від джерел живлення;
- в) підстанцій малої і середньої потужності напругою 35/0,4 кВ, включених по схемі «глибокого вводу».

Напругу 20 кВ слід застосовувати для живлення:

- а) підприємств середньої потужності, що віддалені від джерел живлення і не мають своїх електростанцій;
- б) електроприймачів, віддалених від підстанцій крупних підприємств (кар'єрів, копалень і т. п.);
- в) невеликих підприємств, населених пунктів, залізничних вузлів і т.п., що підключаються до ТЕЦ найближчого підприємства. Доцільність застосування напруги 20 кВ повинна обґрунтовуватися техніко-економічними порівняннями з напругами 35 і 10 кВ з урахуванням перспективного розвитку підприємства.

Напругу 10 кВ необхідно використовувати для внутрішньозаводського розподілу енергії:

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

а) на підприємствах з потужними двигунами, що допускають безпосереднє приєднання до мережі 10 кВ;

б) на підприємствах невеликої і середньої потужності за відсутності або незначному числі двигунів на 6 кВ;

в) на підприємствах, що мають власну електростанцію з напругою генераторів 10кВ.

Напругу 6 кВ звичайно застосовують за наявності на підприємстві:

а) значної кількості електроприймачів на 6 кВ;

б) власної електростанції з напругою генераторів 6 кВ. Застосування напруги 6 кВ повинно обумовлюватися наявністю електроустаткування на 6 кВ і техніко-економічними показниками при виборі величини напруги.

При напрузі розподільної мережі 10 кВ двигунів середньої потужності (350—1000 кВт) слід застосовувати напругу 6 кВ з використанням в необхідних випадках схеми блоку «трансформатор — двигун» при невеликій кількості двигунів на 6 кВ .

Для живлення освітлювальних установок промислових, житлових і загальних будівель, в більшості випадків, застосовують трифазні чотирьох провідні мережі змінного струму 380\220В при заземленій нейтралі, і 220В при ізолюваній нейтралі або постійному струмі.

Для живлення спеціальних ламп і апаратів, що мають трифазні або двохфазні схеми включення, допускається використовувати 380В з дотриманням наступних умов:

1. Ввід в світильник або пускорегулюючий апарат повинен виконуватись мідними проводами з ізоляцією на напругу більше 500 В.

2. Фазні проводи, що вводяться в світильник, повинні мати одночасні включення.

3. В приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, на світильниках повинні бути нанесені добре видні знаки напруги, що використовується „380 В”.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

При установці світильників з люмінесцентними лампами у всіх приміщеннях, окрім приміщень без підвищеної небезпеки, проводи декількох фаз системи 380/220В, що вводяться в світильник, повинні мати одночасне включення всіх фаз.

При підвищених вимогах до електробезпеки використовуються трифазні трьох провідні мережі з ізолюваною нейтраллю 3х 220 В.

Зниження напруги в найбільш віддалених лампах в нормальному режимі лінії не повинно перевищувати:

1. В лампах робочого освітлення підприємств і загальних будівель, а також прожекторного освітлення в зовнішніх установках  $2.5\% U_{\text{ном}}$ ; [2]
2. В лампах освітлення житлових будівель, аварійного і зовнішнього освітлення, виконаного світильниками  $5\% U_{\text{ном}}$ .

Втрати напруги в живлячих і групових мережах діляться шляхом техніко-економічних розрахунків.

В мережах 12-42 В допускається втрата напруги до 10 %, рахуючи від виводів вищої напруги понижуючих трансформаторів. Найбільша напруга в лампах, не повинна бути більшою 105 % номінальної. Допускаються відхилення напруги до 1.5% в мережах з різко змінним характером навантаження при необмеженій їх частоті.

Максимальна напруга, допустима для ламп, визначається конструкцією світильників, типом джерела світла, системою освітлення, категорією приміщення за умовами електробезпеки, висотою підвісу і т.д.

В наш час існує тенденція: в приміщеннях з важкими умовами середовища при висоті установки світильників менше 2,5 м. приймати малу напругу, до 42 В загального освітлення при світильниках будь-якої конструкції.

При напрузі силових електроприймачів 380В живлення робочого освітлення повинно виконуватися від загального для силового і

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

освітлювального навантаження трифазних трансформаторів з заземленою нейтраллю. Інші рішення допускається використовувати:

а) для реконструювання об'єктів, коли потрібно зберегти існуючу систему живлення;

б) для об'єктів, по відношенню до джерел живлення яких діють спеціальні вимоги;

в) для особливих об'єктів в яких вибір джерела живлення і їх напруг пояснюється техніко-економічними розрахунками;

г) у випадках коли це необхідно для дотримання вимог.

При напрузі силових електроприймачів вище 380 В повинен проводитися вибір між використанням для освітлення самостійних трансформаторів, що живляться від мережі високої напруги або проміжних трансформаторів, що живляться через силові трансформатори.

Таким чином всі споживачі електричної енергії поділяються на два види: споживачі населених міст та споживачі промислових підприємств. Кожен вид містить в собі три категорії споживачів. Каменеобробне підприємство відноситься до споживачів промислових підприємств так як допускається ручний ввід резерву для окремих споживачів.

В даному підрозділі було приведено основну класифікацію споживачів електроенергії по ступені надійності електропостачання, що дає змогу встановити їх пріоритет у випадках виїзду ремонтних бригад при зникненні живлення того чи іншого підприємства.

Підсумовуючи можна сказати, що обране для розрахунків підприємство за надійністю електропостачання відноситься до третьої категорії.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## 2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ ПІДПРИЄМСТВА ГРАНІТНИХ ВИРОБІВ

### 2.1 Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі

В залежності від схеми цехові мережі поділяються на радіальні, магістральні і змішані.

Радіальними називають мережі, в яких для передачі електричної енергії до споживача використовується окрема лінія.

Магістральними називають мережі, в яких для передачі електроенергії до декількох споживачів використовується одна лінія електропередачі.

На основі аналізу розміщення технологічного обладнання обираємо змішану схему цехової мережі (рис. 2.1).

Передбачається використання комплектних розподільчих шинопроводів; кабелі від ТП до шинопроводів РП прокладені в землі у металевих трубах. Приєднання ЕП до шинопровода РП здійснюється проводом також прокладеним у трубах.

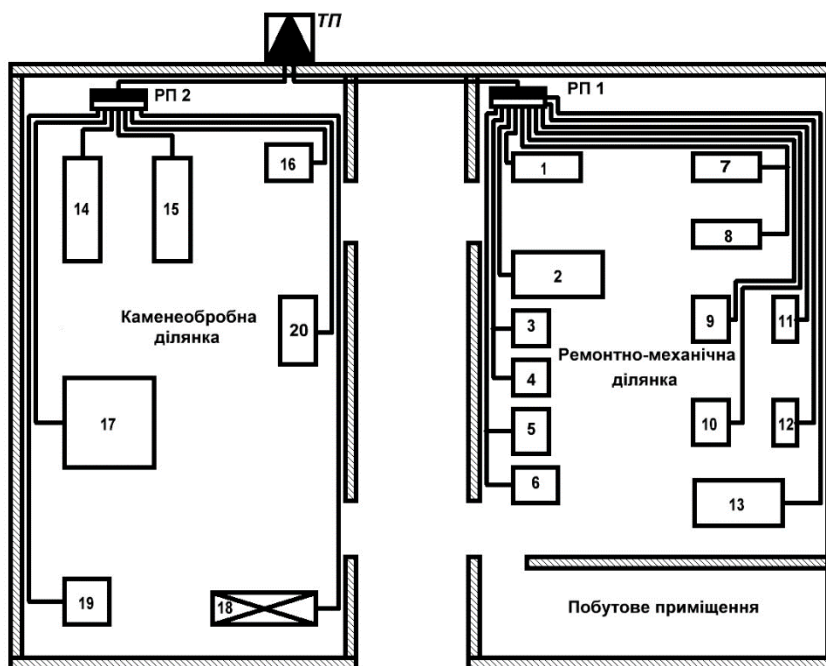


Рис. 2.1 – Розміщення технологічного обладнання.

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Кваліфікаційна робота

Арк.

23

### 2.1.1 Розрахунок цехової мережі

Данні для розрахунку каменеобробного підприємства розміщені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Данні для розрахунку

| Номер на<br>плані                                                | Найменування приймачів            | Кількість | Рн  | cosφ/tgφ | Кв   |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----|----------|------|
|                                                                  |                                   |           | кВт |          |      |
| Дані про елелктроустаткування ремонтно-механічного ділянки цеху: |                                   |           |     |          |      |
| 1                                                                | Вертикально-фрезерний<br>верстат  | 1         | 8   | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 2                                                                | Фрезерний верстат з ЧПУ           | 1         | 20  | 0,65/1,2 | 0,17 |
| 3                                                                | Токарно-револьверний верстат      | 1         | 6   | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 4-5                                                              | Настільно-свердлильний<br>верстат | 2         | 6   | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 6                                                                | Різьбонарізний напівавтомат       | 1         | 2,2 | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 7-8                                                              | Заточувальний верстат             | 2         | 5   | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 9                                                                | Машина листовигинальна            | 1         | 22  | 0,65/1,2 | 0,17 |
| 10                                                               | Точильно-шліфувальний<br>верстат  | 1         | 7   | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 11                                                               | Плоскошліфувальний верстат        | 1         | 19  | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 12                                                               | Машина зварювальна                | 1         | 9   | 0,6/1,6  | 0,25 |
| 13                                                               | Радіально-сверлильний<br>верстат  | 1         | 10  | 0,5/1,7  | 0,14 |
| Дані про електроустаткування каменеобробної ділянки цеху:        |                                   |           |     |          |      |
| 17                                                               | Фреза                             | 1         | 48  | 0,65/1,2 | 0,17 |
| 14-15                                                            | Шліфувальний верстат              | 2         | 10  | 0,5/1,7  | 0,14 |
| 18                                                               | Тельфер                           | 1         | 12  | 0,5/1,7  | 0,1  |
| 16                                                               | Кран типу „піонер”                | 1         | 8   | 0,5/1,7  | 0,1  |
| 19                                                               | Вентилятор                        | 1         | 7   | 0,8/0,75 | 0,6  |
| 20                                                               | Насос                             | 1         | 12  | 0,8/0,75 | 0,7  |

Проводимо розрахунки для розподільчих пунктів:

1. Розрахунок для РП-1:

а) визначаємо середню активну та реактивну потужності за найбільш завантажену зміну:

$$P_{см} = K_v \cdot P_n, \quad (2.1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

де  $K_v$  – коефіцієнт використання;  $P_{вст} = P_n$  – номінальна потужність для електроприймачів з тривалим режимом роботи;  $\text{tg}\varphi$  – коефіцієнт потужності.

$$\begin{aligned}
 P_{см} &= 0,14 \cdot 8 = 1,12 \text{ кВт}, & P_{см} &= 0,14 \cdot 10 = 1,4 \text{ кВт}, \\
 Q_{см} &= 1,12 \cdot 1,7 = 1,9 \text{ кВар}, & Q_{см} &= 1,4 \cdot 1,7 = 2,38 \text{ кВар}, \\
 P_{см} &= 0,17 \cdot 20 = 3,4 \text{ кВт}, & P_{см} &= 0,14 \cdot 22 = 3,08 \text{ кВт}, \\
 Q_{см} &= 3,4 \cdot 1,2 = 4,08 \text{ кВар}, & Q_{см} &= 3,08 \cdot 1,7 = 5,236 \text{ кВар}, \\
 P_{см} &= 0,14 \cdot 6 = 0,84 \text{ кВт}, & P_{см} &= 7 \cdot 0,14 = 0,98 \text{ кВт}, \\
 Q_{см} &= 0,84 \cdot 1,7 = 1,43 \text{ кВар}, & Q_{см} &= 0,98 \cdot 1,7 = 1,66 \text{ кВар}, \\
 P_{см} &= 12 \cdot 0,14 = 1,68 \text{ кВт}, & P_{см} &= 10 \cdot 0,14 = 1,4 \text{ кВт}, \\
 Q_{см} &= 1,68 \cdot 1,7 = 2,856 \text{ кВар}, & Q_{см} &= 1,4 \cdot 1,7 = 2,38 \text{ кВар}, \\
 P_{см} &= 0,14 \cdot 2,2 = 0,308 \text{ кВт}, & P_{см} &= 19 \cdot 0,14 = 2,66 \text{ кВт}, \\
 Q_{см} &= 0,308 \cdot 1,7 = 0,523 \text{ кВар}, & Q_{см} &= 2,66 \cdot 1,7 = 4,522 \text{ кВар}, \\
 P_{см} &= 9 \cdot 0,25 = 2,25 \text{ кВт}, \\
 Q_{см} &= 2,25 \cdot 1,6 = 3,375 \text{ кВар}.
 \end{aligned}$$

б) визначаємо  $K_v$  для групи електроприймачів:

$$K_{вст1} = \frac{\sum_1^n K_v \cdot P_{вст.i}}{\sum_1^n P_{вст.i}} \quad (2.3)$$

$$K_{в1} = (1,12 + 3,4 + 0,84 + 1,68 + 0,308 + 1,4 + 3,08 + 0,98 + 1,4 + 2,66 + 2,25) / 125,2 = 0,15$$

в) визначаємо коефіцієнт максимуму  $K_M$  активної потужності:

$$K_M = f(K_v, n_{эф}),$$

$$n_{эф} = \frac{(\sum_1^n P_{Hi})^2}{\sum_1^n P_{Hi}^2} \quad (2.4)$$

де  $n_{эф}$  – ефективне число ЕП.

$$n_{эфПП1} = \frac{125,2^2}{8^2 + 20^2 + 6^2 + 2 \cdot 6^2 + 2,2^2 + 2 \cdot 5^2 + 22^2 + 7^2 + 10^2 + 19^2 + 9^2} = 8,8 \approx 9$$

$$K_{M1} = 2,16$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

г) визначаємо розрахункове активне навантаження, тобто максимальне середнє навантаження за інтервал усереднення:

$$P_p = K_m \cdot \Sigma P_{cm}, \quad (2.5)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт максимуму;  $\Sigma P_{cm}$  – сумарне значення активної середньої потужності ЕП.

$$P_{p1} = 2,16 \cdot 19,1 = 41,3 \text{ кВт.}$$

д) знаходимо реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_p = Q_{cm}, \text{ якщо } n_{ef} \geq 10 \quad (2.6)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm}, \text{ якщо } n_{ef} < 10$$

В моєму випадку  $Q_p = 1,1 \cdot 30,3 = 33,3 \text{ кВар.}$

е) визначаємо повне розрахункове навантаження:

$$S_{p1} = (41,3^2 + 33,3^2)^{1/2} = 53 \text{ кВА.}$$

2. Розрахунок для РП-2:

а) визначаємо середню активну та реактивну потужності за найбільш завантажену зміну за формулами (2.1), (2.2):

$$P_{cm} = 0,17 \cdot 48 = 8,16 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cm} = 8,16 \cdot 1,2 = 9,8 \text{ кВар,}$$

$$P_{cm} = 20 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cm} = 2,8 \cdot 1,7 = 4,76 \text{ кВар,}$$

$$P_{cm} = 12 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cm} = 1,2 \cdot 1,7 = 2,04 \text{ кВар,}$$

$$P_{cm} = 8 \cdot 0,1 = 0,8 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cm} = 0,8 \cdot 1,7 = 3,6 \text{ кВар,}$$

$$P_{cm} = 7 \cdot 0,6 = 4,2 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cm} = 4,2 \cdot 0,75 = 3,15 \text{ кВар,}$$

$$P_{cm} = 12 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cm} = 7,2 \cdot 0,75 = 5,4 \text{ кВар.}$$

б) визначаємо  $K_v$  для групи електроприймачів за формулою (2.3):

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

$$K_{взр1} = \frac{\sum_1^n K_{в} \cdot P_{вст.i}}{\sum_1^n P_{вст.i}}$$

$$K_{в}=(8,16+2,8+1,2+0,8+4,2+7,2)/107=0,23.$$

в) визначаємо коефіцієнт максимуму  $K_{м}$  активної потужності за формулою (2.4):

$$n_{эфРП2} = \frac{107^2}{48^2 + 2 \cdot 10^2 + 12^2 + 8^2 + 7^2 + 12^2} = 4$$

$$K_{м2}=2,5.$$

г) визначаємо розрахункове активне навантаження, тобто максимальне середнє навантаження за інтервал усереднення з формули (2.5):

$$P_{р2}=2,5 \cdot 24,36=60,9 \text{ кВт.}$$

д) знаходимо реактивне розрахункове навантаження з системи (2.6):

$$\text{В моєму випадку } Q_{р} = 1,1 \cdot 28,75=31,6 .$$

е) визначаємо повне розрахункове навантаження:

$$S_{р1}=(60,9^2+31,6^2)^{1/2}=68,6 \text{ кВА.}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – результати розрахунків навантажень

| № РП<br>та<br>груп<br>ЕП | Кількість | Рвст.       |           | Кв   | cosφ/tgφ | Середня<br>потужність |              | n <sub>ед</sub> | Км   | Розрахункове<br>навантаження |             |            |
|--------------------------|-----------|-------------|-----------|------|----------|-----------------------|--------------|-----------------|------|------------------------------|-------------|------------|
|                          |           | Одн.<br>кВт | Σ,<br>кВт |      |          | Рсм,<br>кВт           | Qсм,<br>кВар |                 |      | Рр,<br>кВт                   | Qр,<br>кВар | Sp,<br>кВА |
| 1                        | 2         | 3           | 4         | 5    | 6        | 7                     | 8            | 9               | 10   | 11                           | 12          | 13         |
| РП-1                     |           |             |           |      |          |                       |              |                 |      |                              |             |            |
| 1                        | 1         | 8           | 8         | 0,14 | 0,5/1,7  | 1,12                  | 1,9          | 9               | 2,16 | 41,3                         | 33,3        | 53         |
| 2                        | 1         | 20          | 20        | 0,17 | 0,65/1,2 | 3,4                   | 4,08         |                 |      |                              |             |            |
| 3                        | 1         | 6           | 6         | 0,14 | 0,5/1,7  | 0,84                  | 1,43         |                 |      |                              |             |            |
| 4-5                      | 2         | 6           | 12        | 0,14 | 0,5/1,7  | 1,68                  | 2,856        |                 |      |                              |             |            |
| 6                        | 1         | 2,2         | 2,2       | 0,14 | 0,5/1,7  | 0,31                  | 0,523        |                 |      |                              |             |            |
| 7-8                      | 2         | 5           | 10        | 0,14 | 0,5/1,7  | 1,4                   | 2,38         |                 |      |                              |             |            |
| 9                        | 1         | 22          | 22        | 0,17 | 0,65/1,2 | 3,08                  | 5,236        |                 |      |                              |             |            |
| 10                       | 1         | 7           | 7         | 0,14 | 0,5/1,7  | 0,98                  | 1,66         |                 |      |                              |             |            |
| 11                       | 1         | 19          | 19        | 0,14 | 0,5/1,7  | 1,4                   | 2,38         |                 |      |                              |             |            |
| 12                       | 1         | 9           | 9         | 0,25 | 0,6/1,6  | 2,66                  | 4,522        |                 |      |                              |             |            |
| 13                       | 1         | 10          | 10        | 0,14 | 0,5/1,7  | 2,25                  | 3,375        |                 |      |                              |             |            |
| Разом                    |           |             | 125       | 0,15 |          | 19,1                  | 30,3         |                 |      |                              |             |            |

|      |      |          |        |      |                       |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|--|--|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота |  |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |  |  | 27   |

|       |   |    |     |      |          |      |       |   |     |      |      |      |
|-------|---|----|-----|------|----------|------|-------|---|-----|------|------|------|
| ПП-2  |   |    |     |      |          |      |       |   |     |      |      |      |
| 14-15 | 2 | 10 | 20  | 0,14 | 0,5/1,7  | 2,8  | 4,76  | 4 | 2,5 | 60,9 | 31,6 | 68,6 |
| 16    | 1 | 8  | 8   | 0,1  | 0,5/1,7  | 0,8  | 3,6   |   |     |      |      |      |
| 17    | 1 | 48 | 48  | 0,17 | 0,65/1,2 | 8,16 | 9,8   |   |     |      |      |      |
| 18    | 1 | 12 | 12  | 0,1  | 0,5/1,7  | 1,2  | 2,04  |   |     |      |      |      |
| 19    | 1 | 7  | 7   | 0,6  | 0,8/0,75 | 4,2  | 3,15  |   |     |      |      |      |
| 20    | 1 | 12 | 12  | 0,7  | 0,8/0,75 | 7,2  | 5,4   |   |     |      |      |      |
| Разом |   |    | 107 | 0,23 |          | 24,3 | 28,75 |   |     |      |      |      |

### 2.1.2 Розрахунок навантажень каменеобробного підприємства

Для побудови картограми активних навантажень каменеобробного підприємства методом коефіцієнта попиту визначаємо, розрахункові активні навантаження електроприймачів (ЕП) кожного розподільчого пункту :

$$P_p = K_p \cdot P_{вст}, \quad (2.7)$$

де  $P_p$  – розрахункова потужність електроприймачів, кВт;

$K_p$  - коефіцієнт попиту;

$P_{вст}$ .- встановлена потужність електроприймачів, кВт.

Розрахункове навантаження електричного освітлення визначаємо за питомою потужністю:

$$P_p^0 = P_{пит} \cdot K_n^0 \cdot S, \quad (2.8)$$

де  $P_p^0$  - розрахункова потужність, необхідна для освітлення цеху, кВт;

$P_{пит}$  - питома норма освітленості цеху, кВт/м<sup>2</sup>, яка дорівнює:

$$P_{пит} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/м}^2;$$

$K_n^0$  - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження.

Обираю  $K_n^0 = 1,5$  для люмінесцентних ламп.

Повна розрахункова потужність цеху визначається по формулі, кВА:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \cdot K_{pm}, \quad (2.9)$$

де  $P_{p\Sigma}$  – сумарна активна розрахункова потужність цеху, кВт, яка визначається за формулою:

$$P_{p\Sigma} = \sum P_{pi} + P_p^0, \quad (2.10)$$

|      |      |          |        |      |                       |  |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|--|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       |  | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |  |      |

де  $Q_{p\Sigma}$  реактивна розрахункова потужність цеху, кВар, яка визначається за формулою:

$$Q_{p\Sigma} = P_{p\Sigma} \cdot \tan \varphi_{cp}, \quad (2.11)$$

де  $\tan \varphi_{cp}$  - середньовзвільшене значення для даної групи ЕП;

$K_{pm}$  - коефіцієнт сумісності розрахункових максимумів окремих груп ЕП цеху;

$$K_{pm} = (0,8-1,0).$$

#### 1. Розрахунок для РП-1:

а) розраховуємо активну потужність електроприймачів за формулою (2.7):

$$P_{p1} = 0,16 \cdot 8 = 1,28 \text{ кВт},$$

$$P_{p2} = 0,25 \cdot 20 = 5 \text{ кВт},$$

$$P_{p3} = 0,16 \cdot 6 = 0,96 \text{ кВт},$$

$$P_{p11} = 0,16 \cdot 10 = 1,6 \text{ кВт},$$

$$\sum P_{pi} = 27,77 \text{ кВт}.$$

б) визначаємо розрахункове навантаження електричного освітлення за (формулою 2.8):

$$P_p^o = P_{пит} \cdot K_{п}^o \cdot S = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 300 = 4,5 \text{ кВт}.$$

в) знаходимо сумарну активну розрахункову потужність групи ЕП:

$$P_{p\Sigma} = 27,77 + 4,5 = 32,27 \text{ кВт}.$$

г) визначаємо реактивну розрахункову потужність групи ЕП:

$$Q_{p\Sigma} = P_{p\Sigma} \cdot \tan \varphi_{cp} = 32,27 \cdot 1,6 = 51,6 \text{ кВар}.$$

д) знаходимо повну розрахункову потужність групи ЕП:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \cdot K_{pm} = \sqrt{32,27^2 + 51,6^2} \cdot 1,0 = 60,9 \text{ кВА}.$$

#### 2. Розрахунок для РП-2:

а) розраховуємо активну потужність електроприймачів за формулою (2.7):

$$P_{p1} = 0,25 \cdot 48 = 12 \text{ кВт},$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 29   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$P_{p2} = 0,16 \cdot 20 = 3,2 \text{ кВт},$$

$$P_{p3} = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ кВт},$$

$$P_{p6} = 0,8 \cdot 12 = 9,6 \text{ кВт},$$

$$\sum P_{pi} = 33,7 \text{ кВт}.$$

б) визначаємо розрахункове навантаження електричного освітлення:

$$P_p^o = P_{\text{пит}} \cdot K_{\text{п}}^o \cdot S = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 300 = 4,5 \text{ кВт}.$$

в) знаходимо сумарну активну розрахункову потужність групи ЕП:

$$P_{p\Sigma} = \sum P_p + P_p^o = 33,7 + 4,5 = 38,2 \text{ кВт}.$$

г) визначаємо реактивну розрахункову потужність групи ЕП:

$$Q_{p\Sigma} = P_{p\Sigma} \cdot \tan \varphi_{cp} = 38,2 \cdot 1,3 = 49,7 \text{ кВар}.$$

д) знаходимо повну розрахункову потужність групи ЕП:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \cdot K_{\text{рм}} = \sqrt{38,2^2 + 49,7^2} \cdot 1,0 = 62,7 \text{ кВА}.$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків загального навантаження

| Вузли живлення групи ЕП        | $P_{\text{н}},$<br>кВт | Сума<br>$P_{\text{н}},$<br>кВт | $K_{\text{п}}$ | $P_{pi},$<br>кВт | $P_{pi}^o,$<br>кВт | $P_{p\Sigma},$<br>кВт | $Q_{p\Sigma},$<br>квар | $S_p,$<br>кВА |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|---------------|
| 1                              | 2                      | 3                              | 4              | 5                | 6                  | 7                     | 8                      | 9             |
| РП-1                           |                        |                                |                |                  |                    |                       |                        |               |
| Вертикально-фрезерний верстат  | 8                      | 8                              | 0,16           | 1,28             | 4,5                | 32,27                 | 51,6                   | 60,9          |
| Фрезерний верстат з ЧПУ        | 20                     | 20                             | 0,25           | 5                |                    |                       |                        |               |
| Токарно-револьверний верстат   | 6                      | 6                              | 0,16           | 0,96             |                    |                       |                        |               |
| Настільно-свердлильний верстат | 6                      | 12                             | 0,16           | 1,92             |                    |                       |                        |               |
| Різьбонарізний напівавтомат    | 2,2                    | 2,2                            | 0,16           | 0,35             |                    |                       |                        |               |
| Заточувальний верстат          | 5                      | 10                             | 0,16           | 1,6              |                    |                       |                        |               |
| Машина листовигинальна         | 22                     | 22                             | 0,25           | 5,5              |                    |                       |                        |               |
| Точильно-шлішувальний верстат  | 7                      | 7                              | 0,16           | 1,12             |                    |                       |                        |               |
| Плоскошліфувальний верстат     | 19                     | 19                             | 0,16           | 3,04             |                    |                       |                        |               |
| Машина зварювальна             | 9                      | 9                              | 0,6            | 5,4              |                    |                       |                        |               |

|      |      |          |        |      |                       |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|--|--|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота |  |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |  |  | 30   |

|                                |    |    |      |       |     |       |       |       |
|--------------------------------|----|----|------|-------|-----|-------|-------|-------|
| Радіально-свердлильний верстат | 10 | 10 | 0,16 | 1,6   |     |       |       |       |
| Разом                          |    |    |      | 27,77 |     |       |       |       |
| РП-2                           |    |    |      |       |     |       |       |       |
| Фреза                          | 48 | 48 | 0,25 | 12    | 4,5 | 38,2  | 49,7  | 62,7  |
| Шліфувальний верстат           | 10 | 20 | 0,16 | 3,2   |     |       |       |       |
| Тельфер                        | 12 | 12 | 0,2  | 2,4   |     |       |       |       |
| Кран типу „піонер”             | 8  | 8  | 0,2  | 1,6   |     |       |       |       |
| Вентилятор                     | 7  | 7  | 0,7  | 4,9   |     |       |       |       |
| Насос                          | 12 | 12 | 0,8  | 9,6   |     |       |       |       |
| Разом                          |    |    |      | 33,7  |     |       |       |       |
| Всього по цеху:                |    |    |      | 61,47 | 9   | 70,47 | 101,3 | 123,6 |

## 2.2 Побудова картограми і визначення центру електричних навантажень

Для вибору місця розташування підстанції побудуємо картограму навантажень цеха. Картограму навантажень будуємо на плані цеху каменеобробного підприємства.

Вибираємо масштаб побудови картограми навантажень. Прийmemo радіус круга навантаження цеху  $r = 8$  м. Тоді масштаб картограми навантажень:

$$m_p = \frac{P_{p\Sigma}}{\Pi \cdot r^2} = \frac{70,47}{3,14 \cdot 8^2} = 0,35 (\text{кВт} / \text{м}^2) \quad (2.12)$$

Визначаємо радіус круга навантаження для кожної ділянки цеха:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma i}}{\Pi \cdot m_p}}, \quad (2.13)$$

де  $P_{p\Sigma i}$  – сумарна активна розрахункова потужність групи електроприймачів, кВт;

$m_p$  – масштаб.

Розраховуємо радіуси круга навантаження для кожної ділянки цеха за формулою (2.13):

а) розрахунок ділянки РП-1:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma 1}}{\Pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{32,27}{3,14 \cdot 0,35}} = 5,4(м).$$

б) розрахунок ділянки РП-2:

$$r_2 = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma 2}}{\Pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{38,2}{3,14 \cdot 0,35}} = 5,9(м).$$

Центр електричних навантажень знаходиться за формулами:

$$X_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma}}, \quad (2.14)$$

$$Y_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma}}, \quad (2.15)$$

де  $\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma i}$  - сумарна активна розрахункова потужність групи електроприймачів, кВт;  $\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma}$  - сумарна активна розрахункова потужність цеха, кВт;  $X_i, Y_i$  - координати  $i$ -тої ділянки відповідно по  $x$  і  $y$  [2].

Розраховуємо координати центра електричних навантажень (ЦЕН) ділянок цеху за формулами (2.14), (2.15):

Для РП-1:

$$X_{РП-1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma}} = \frac{66,4 + 158 + 46,8 + 93,6 + 17,16 + 103 + 220 + 84 + 193 + 108 + 120}{125} = 21(м),$$

$$Y_{РП-1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma}} = \frac{44 + 90 + 24 + 37,2 + 4,4 + 47 + 70,4 + 21,7 + 53,2 + 25,2 + 21}{125} = 13(м).$$

Для РП-2:

$$X_{РП-2} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p\Sigma}} = \frac{56 + 20 + 81,6 + 48 + 49 + 48}{107} = 5(м),$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$y_{PP-2} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma}} = \frac{106 + 31,2 + 115,2 + 12 + 28 + 75,6}{107} = 11,5(м).$$

Для цеху:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma}} = \frac{9,6 \cdot 125 + 107 \cdot 3}{232} = 13(м),$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma}} = \frac{3,5 \cdot 125 + 107 \cdot 3,5}{232} = 12(м).$$

Дані розрахунків заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Координати ділянок

| № ділянки | 1   | 2    |
|-----------|-----|------|
| $x$       | 21  | 5    |
| $y$       | 13  | 11,5 |
| $r$       | 5,4 | 5,9  |

Після розрахунку позначимо ЦЕН і радіуси кругів навантаження для кожної ділянки цеха на рис. 2.2

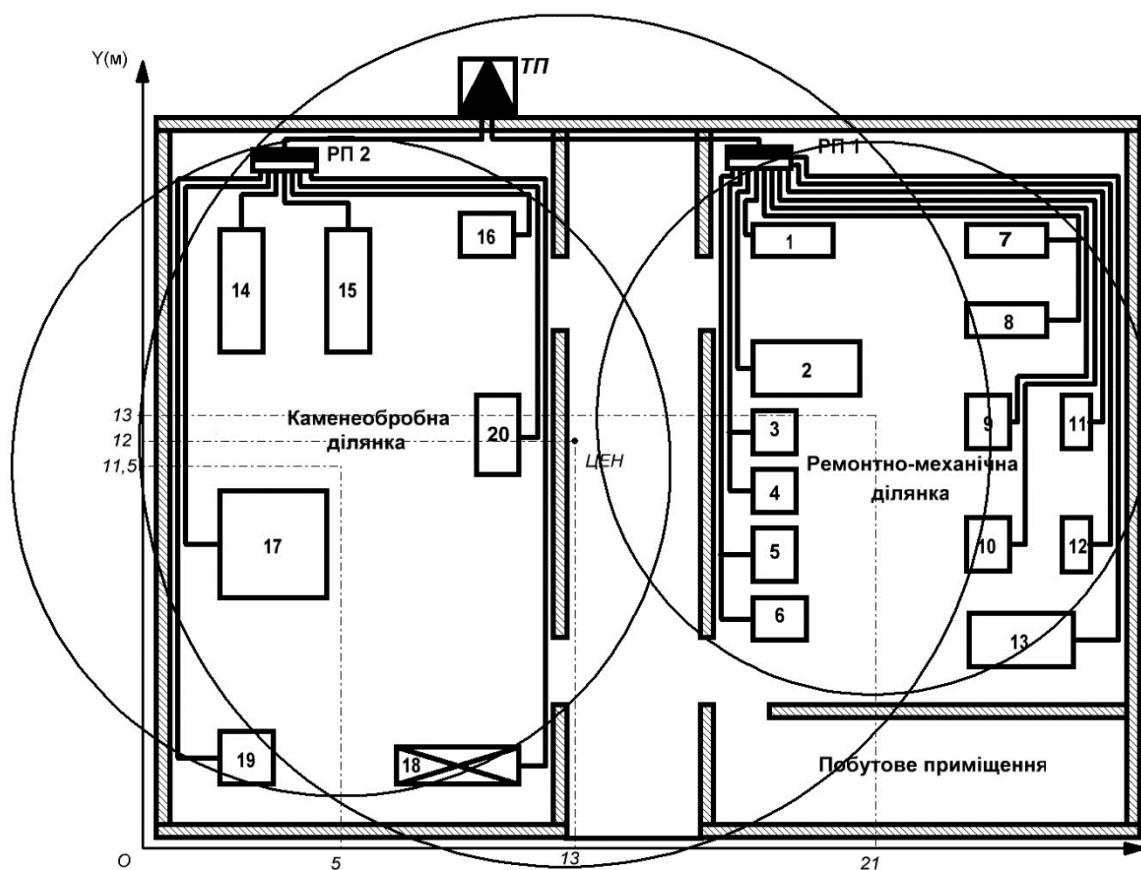


Рис. 2.2 – Картограма навантажень цеха

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Кваліфікаційна робота

Арк.

34

# З ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ВИБІР ВИМИКАЧІВ І ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ. ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТ

## 3.1 Вибір числа і потужності силових трансформаторів

При виборі числа і потужності силових трансформаторів важливими критеріями є надійність електропостачання, використання і витрати кольорового металу та використовувана трансформаторна потужність.

Число трансформаторів визначається вимогами надійності електропостачання. Припустимо, що ми маємо дві схеми з одним та двома трансформаторами. Задача в тому щоб з двох схем обрати одну з найкращими показниками. Оптимальний варіант обирається на основі порівняння приведених річних витрат за кожним варіантом:

$$Z_i = C_{e,i} + k_{н.е} \cdot K_i + Y_s, \quad (3.1)$$

де  $C_{e,i}$ - експлуатаційні витрати і-го варіанта;

$K_i$ - капітальні затрати і-го варіанта;

$Y_s$ - збитки споживача енергії від перерв електропостачання.

За схемою з одним трансформатором настає повна перерва живлення, а за схемою з двома трансформаторами, трансформатор що залишився з перевантаженням забезпечує живлення всіх споживачів.

Правильний вибір числа і потужності трансформаторів на підстанціях промислових підприємств є одним із основних питань раціональної побудови СЕП. Як правило трансформаторів на підстанціях повинно бути не більше двох. Найбільш економічні однозмінні трансформаторні підстанції, які при централізованому резерві або зв'язкам по вторинній напрузі можуть

забезпечити надійне живлення споживачів 2 і 3 категорій. При проектуванні СЕП встановлення однозмінних трансформаторних підстанцій рекомендується при повному резервуванні ЕП 1 і 2 категорій по мережам низької напруги і для живлення ЕП 3 категорії, коли за умовами під'їзних доріг, а також за потужністю і масою можлива заміна пошкодженого трансформатора впродовж однієї доби і при наявності централізованого резерву.

Вибір потужності трансформаторів відбувається виходячи з розрахункового навантаження об'єкта електропостачання, числа годин використання максимуму навантаження  $T_{\text{макс}}$ , темпів збільшення навантаження, вартість електроенергії, допустимого перенавантаження трансформаторів і їх економічного завантаження. Для вибору потужності цехових ТП необхідно знати середню розрахункову потужність за максимально завантаженою зміну.

Сукупність допустимих навантажень, систематичних і аварійних перевантажень визначає навантажувальну властивість трансформаторів, в основу розрахунку якої покладене теплове порушення ізоляції трансформатора. Якщо не враховувати навантажуючу властивість трансформаторів, то можна необачно збільшити обрану встановлену потужність, що економічно не доцільно.

Якщо відома розрахункова потужність об'єкта  $S_p$  і коефіцієнт допустимого перевантаження  $\beta_{\text{т.доп}}$ , то номінальна потужність трансформатора, кВА, дорівнює:

$$S_{\text{т.ном}} = \frac{S_p}{\beta_{\text{т.доп}}}, \quad (3.2)$$

Навантаження трансформаторів потужністю вище номінальної допускається тільки при робочій і повністю вмикненій системі охолодження трансформатора.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Допускається при проектуванні СЕП промислових підприємств обирати потужність трансформаторів по умовам аварійних перевантажень, які визначені для попереднього навантаження трансформаторів, не перевищуючий  $0,9 S_{\text{Т.НОМ}}$ .

На ТП звичайно встановлюються два однакових трансформатори такої потужності, щоб при виході з ладу одного з них другий трансформатор забезпечив роботу основних споживачів на період відновлення пошкодженого. Даний цех відноситься до 3 категорії, ця ж 3-тя категорія – приймачі, які не підходять під визначення 1-ї та 2-ї категорії. Вони, як правило, можуть мати одне джерело живлення. До них відносяться допоміжні цехи. Вони допускають перерву в електропостачанні на час, який необхідний для ремонту або заміни пошкоджених елементів, але не більше ніж на одну добу.

Таким чином, врахувавши всі критерії вибору трансформаторів, встановлюємо на ТП один трифазний трансформатор з номінальною потужністю  $S_{\text{НОМ}}=160$  кВА і вищою напругою 10кВ.

Вибираємо трансформатор та заносимо довідникові дані до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Характеристика трансформатора

| Тип трансформатора | $S_{\text{НОМ}}$ , кВА | Напруга, кВ |          | Втрати, кВт     |                 | $i_{\text{ХХ}}$ , % | $U_{\text{КЗ}}$ , % |
|--------------------|------------------------|-------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
|                    |                        | ВН          | НН       | $P_{\text{ХХ}}$ | $P_{\text{КЗ}}$ |                     |                     |
| ТМ                 | 160                    | 10          | 0,4/0,23 | 0,46            | 2,65            | 2,4                 | 5,5                 |

Розрахунок втрати потужності в трансформаторі цехової ТП:

$$\Delta P_{\text{тп}} = n(\Delta P_{\text{ХХ}} + k_e \cdot 0,01 \cdot I_{\text{ХХ}} \cdot S_{\text{нтр}}) + \frac{\Delta P_{\text{КЗ}} + k_e \cdot 0,01 \cdot U_{\text{КЗ}} \cdot S_{\text{нтр}}}{n} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{\text{нтр}}} \right)^2, \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_{\text{тп}} = n \cdot 0,01 \cdot I_{\text{ХХ}} \cdot S_{\text{нтр}} + \frac{U_{\text{КЗ}} \cdot S_p^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{нтр}}}, \quad (3.4)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 37   |

де  $\Delta P_{mp}$  і  $\Delta Q_{mp}$  - втрати активної і реактивної потужності в трансформаторах, кВт, кВар.;  $n$  - кількість трансформаторів, шт.;  $\Delta P_{кз}$  і  $\Delta P_{хх}$  - втрати холостого ходу і короткого замикання, кВт;  $S_p$  і  $S_{нmp}$  - розрахункове навантаження і номінальна потужність трансформатора, кВа;  $U_{кз}$  і  $I_{хх}$  - напруга короткого замикання і струм холостого ходу в відсотках від номінальних значень;  $k_e$  - економічний еквівалент реактивної потужності, кВт/кВар. Для трансформаторів напругою 6-10 кВ  $k_e = 0,12$ .

$$\Delta P_{mp} = (0,46 + 0,12 \cdot 0,01 \cdot 2,4 \cdot 160) + \frac{2,65 + 0,12 \cdot 0,01 \cdot 5,5 \cdot 160}{1} \cdot \left( \frac{123}{160} \right)^2 = 3,1 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{mp} = 0,01 \cdot 2,4 \cdot 160 + \frac{5,5 \cdot 123^2}{100 \cdot 160} = 9,04 \text{ кВар.}$$

Навантаження з врахуванням втрат буде становити:

$$P^* = P_p \Sigma + \Delta P_{тр}, \quad (3.5)$$

$$P^* = 70,47 + 3,1 = 73,57 \text{ кВт,}$$

$$Q^* = Q_p \Sigma + \Delta Q_{тр}, \quad (3.6)$$

$$Q^* = 101,3 + 9,04 = 110,34 \text{ кВар.}$$

Знаходимо повну потужність з врахуванням втрат:

$$S^* = \sqrt{P^{*2} + Q^{*2}}, \quad (3.7)$$

$$S^* = \sqrt{73,57^2 + 110,34^2} = 132,6 \text{ кВа.}$$

Таким чином враховуючи розрахунки встановлюємо на ТП один трифазний трансформатор з звичайним маслом охолодженням, потужністю 100 кВа і вищою напругою 10 кВ,

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

### 3.2 Розрахунок компенсації реактивної потужності

Оскільки в більшості випадків  $S_{н.т} \geq S_{н.т.р}$ , то через вибрані трансформатори 6-10/0,4 кВ доцільно передавати реактивну потужність від її джерел 6-10 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження  $\beta_m$ . Ця реактивна потужність визначається як:

$$Q_m = \sqrt{(n \cdot \beta_m \cdot S_{н.т})^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.8)$$

Через те що ЕП належать до 3-ї категорії надійності приймається коефіцієнт завантаження трансформатора  $\beta_t = 0,9$ .

Перевіряємо мінімально необхідне число трансформаторів в цеху:

$$n_o = \frac{P_{p\Sigma}}{\beta_{н.т.р} \cdot S_{н.т.р}}, \quad (3.9)$$

$$n_o = \frac{70,47}{0,9 \cdot 160} = 0,49.$$

Приймаємо  $n_o = 1$ .

$$Q_m = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 160)^2 - 70,47^2} = 76,5 \text{ кВАр}.$$

Перевіряємо значення коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$ :

$$\cos\varphi = \frac{P_{p\Sigma}}{S_1}, \quad (3.10)$$

$$\cos\varphi = \frac{70,47}{\sqrt{70,47^2 + 76,5^2}} \approx 0,68.$$

При такому значенні коефіцієнта потужності можливі втрати. Потрібно встановити конденсаторні батареї для компенсації реактивної потужності. Знаходимо різницю реактивних потужностей, яку необхідно компенсувати:

$$Q_{\text{ок}} = (Q_{p\Sigma} - Q_m), \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{ок}} = 101,3 - 76,5 = 24,8 \text{ кВАр}.$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Вибираємо тип конденсаторної установки для мережі  $U = 380 \text{ В}$ , найближчу по потужності до 24,8 кВАр: УКРП - 0,4-25-5УЗ.

### 3.3 Розрахунок заводського електропостачання вибір вимикачів і перерізу провідників

На основі аналізу розміщення технологічного обладнання вибираємо змішану схему цехової мережі. Передбачається використання комплектних розподільних шинопроводів; кабелі від ТП до шинопроводів і РП прокладені в землі у сталевих трубах. Приєднання ЕП до шинопровода (РП) здійснюється проводом, прокладеним в трубах.

Для захисту ліній живлення електроприймачів передбачаємо використання селективних вимикачів.

Лінія ТП-РП1:

Розрахунковий максимальний струм:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{53 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 80,5 \text{ А},$$

де  $S_{\text{м}} = 53 \text{ кВА}$  (табл. 2.2) - розрахункова максимальна потужність.

Найбільший пусковий струм:

$$I_{\text{п.макс}} = 5I_{\text{н.макс}} = 5 \cdot 58 = 290 \text{ А},$$

де  $I_{\text{н.макс}}$  - номінальний струм ЕП, пусковий струм якого найбільший.

Піковий струм лінії ТП-РП1:

$$I_{\text{п}} \approx I_{\text{м}} + I_{\text{п.макс}} = 80,5 + 290 = 375,5 \text{ А}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА04-31 з номінальним струмом  $I_{\text{ном.в}}=100 \text{ А}$ , номінальним струмом теплового розчеплювача  $I_{\text{ном.т.р}}=80 \text{ А}$ , уставкой спрацювання електромагнітного розчеплювача  $10I_{\text{ном}}$ , вимикаюча гранична здатність 15 кА.

Вибираємо кабель типу АВВГ 4×70.

ТП-РП2:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{68,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 104 \text{ А},$$

$$I_{п.макс} = 5 \cdot I_{н.макс} = 5 \cdot 126 = 631 \text{ А},$$

$$I_{п} \approx I_M + I_{п.макс} = 104 + 631 = 735 \text{ А}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА04-35 з номінальним струмом  $I_{ном.в} = 160 \text{ А}$ , номінальним струмом теплового розчеплювача  $I_{ном.т.р} = 160 \text{ А}$ , уставкой спрацювання електромагнітного розчеплювача  $10I_{ном}$ , вимикаюча гранична здатність 25 кА.

Вибираємо кабель типу АВВГ 4×95.

Високовольтні вимикачі вибирають за умовами:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.мережі}$$

$$I_{ном.в} \geq I_{мах},$$

$$I_{мах} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.тр.1}} = \frac{160}{1,73 \cdot 10} = 9,2 \text{ А}.$$

де:

Вибираю вимикач типу ВМП-10 з даними:

$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ ;  $I_{ном} = 600 \text{ А}$ ;  $I_{н.відкл.} = 20 \text{ кА}$ .

Для вибору захисту на стороні низької напруги розрахуємо вторинний струм трансформатора за формулою:

$$I_{н.тр.2} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.тр.2}}, \quad (3.12)$$

$$I_{н.тр.2} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 243,4 \text{ А}.$$

Сума пікових струмів:

$$\Sigma I_n = 419 + 450,5 = 869,5 \text{ А}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА8837 з номінальним струмом  $I_{ном.в} = 400 \text{ А}$ , номінальним струмом теплового розчеплювача  $I_{ном.т.р} = 250 \text{ А}$ ,

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

установкою спрацювання електромагнітного розчеплювача  $10I_{\text{ном}}$ , вимикаюча гранична здатність 35 кА.

Дані розрахунків заносимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Характеристика вимикачів і перерізу провідників лінії ТП-РП

| Лінія  | $I_m$ , А | $I_n$ , А | Тип захисного апарата | $I_{\text{ном.в}}$ , А | Ус-ка спрац е.м.р. | $I_{\text{н.відк}}$ , кА | Тип провідника | Спосіб прокладання     | $S$ , мм <sup>2</sup> | $I_{\text{доп}}$ А |
|--------|-----------|-----------|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| ТП-РП1 | 80,5      | 375,5     | ВА04-31               | 100                    | $10I_{\text{ном}}$ | 15                       | АВВГ           | КРП. ЗА ДОПОМОГОЮ СКОБ | 4x70                  | 101,2              |
| ТП-РП2 | 104       | 735       | ВА04-35               | 160                    | $10I_{\text{ном}}$ | 25                       | АВВГ           |                        | 4x95                  | 128,8              |

Вибір вимикачів і перерізу провідників від РП до ЕП.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №1 за формулою:

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{P_{\text{ном.д}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном.д}} \eta_{\text{ном.д}}}, \quad (3.13)$$

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 24,3 \text{ А},$$

$$I_n = 5 \cdot 24,3 = 121,7 \text{ А}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4x10,  $I_{\text{доп}}=38 \text{ А}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 32А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №2 за формулою (3.13):

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 1} = 46,8 \text{ А},$$

$$I_n = 5 \cdot 46,8 = 234 \text{ А}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4x25,  $I_{\text{доп}}=65 \text{ А}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 50А х-ка С.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 42   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Знайдемо номінальний струм для електроприймачів №3 та №4 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{6 + 6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 36,5 \text{ A},$$

$$I_n = 5 \cdot 6 = 30 \text{ A}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х16,  $I_{дон}=55 \text{ A}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 40А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймачів №5 та №6 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{6 + 2,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,57 \cdot 1} = 21,9 \text{ A},$$

$$I_n = 5 \cdot 21,9 = 109,4 \text{ A}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{дон}=38 \text{ A}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА47-29 3Р 25А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймачів №7 та №8 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{5 + 5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 30,4 \text{ A},$$

$$I_n = 5 \cdot 30,4 = 152,1 \text{ A}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{дон}=38 \text{ A}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 32А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №9 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 1} = 51,5 \text{ A},$$

$$I_n = 5 \cdot 51,5 = 257,5 \text{ A}.$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Вибираю кабель типу АВВГ 4х25,  $I_{\text{доп}}=65\text{А}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 63А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №10 за формулою (3.13):

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 21,3 \text{ А},$$

$$I_n = 5 \cdot 21,3 = 106,5 \text{ А}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{\text{доп}}=38\text{А}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 25А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №11 за формулою (3.13):

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{19}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 57,8 \text{ А},$$

$$I_n = 5 \cdot 57,8 = 289 \text{ А}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х35,  $I_{\text{доп}}=75\text{А}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 63А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №12 за формулою (3.13):

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{9}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 1} = 22,8 \text{ А},$$

$$I_n = 5 \cdot 22,8 = 114 \text{ А}.$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{\text{доп}}=38\text{А}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 25А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №13 за формулою (3.13):

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 30,4 \text{ А},$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$I_n = 5 \cdot 30,4 = 152 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{don}=38A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 32А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №14 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 1} = 23,4 \text{ A,}$$

$$I_n = 5 \cdot 23,4 = 117 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{don}=38A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 32А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №15 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,35 \cdot 1} = 43,5 \text{ A,}$$

$$I_n = 5 \cdot 43,5 = 217 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х16,  $I_{don}=55 \text{ A}$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 63А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №16 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 24,3 \text{ A,}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{don}=38A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 32А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №17 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{48}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 1} = 112,3 \text{ A,}$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$I_n = 5 \cdot 112,3 = 561,6 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х70,  $I_{don}=135A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА8833 з номінальним струмом  $I_{ном.в} = 160 \text{ A}$ , номінальним струмом теплового розчеплювача  $I_{ном.т.р}=125 \text{ A}$ , уставкой спрацювання електромагнітного розчеплювача  $10I_{ном}$ , вимикаюча гранична здатність 35 кА.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №18 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1} = 36,5 \text{ A,}$$

$$I_n = 5 \cdot 36,5 = 182,5 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х16,  $I_{don}=55A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 40А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №19 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 1} = 13,3 \text{ A,}$$

$$I_n = 5 \cdot 13,3 = 66,6 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х6,  $I_{don}=26A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 20А х-ка С.

Знайдемо номінальний струм для електроприймача №20 за формулою (3.13):

$$I_{ном.д} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 1} = 22,8 \text{ A,}$$

$$I_n = 5 \cdot 22,8 = 114 \text{ A.}$$

Вибираю кабель типу АВВГ 4х10,  $I_{don}=38A$  (ПУЕ табл. 1.3.5) та автоматичний вимикач ВА4729 3Р 25А х-ка С.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Структурну схему електропостачання цеху з розрахованими елементами захисту та вибраними провідниками зображено на рис. 3.1.

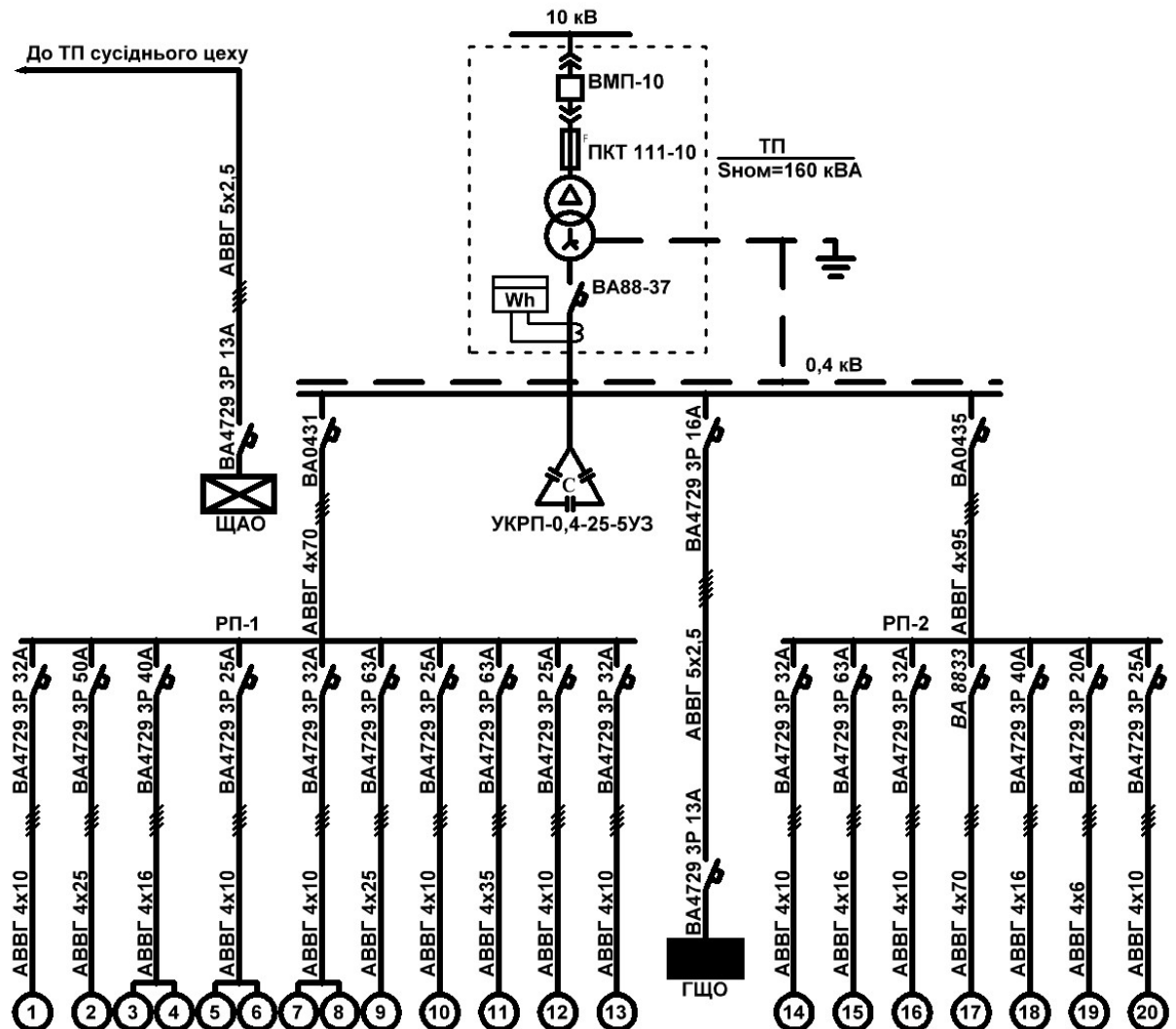


Рис. 3.1 – Схема електропостачання цеху підприємства гранітних виробів

### 3.4 Розрахунок заземлення

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення- кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення проводиться для випадку розташування заземлювача в однорідній землі.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення  $R$  захисного заземлення визначається в наступному порядку:

1. Визначення необхідного опору заземлюючого пристрою  $R_3$ :

Згідно ПУЕ найбільш припустимі значення  $R_3$ , складають:

Для установок до 1000 В:

а) 10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВа;

б) 4 Ом у всіх інших випадках.

2. Визначення необхідного опору штучного заземлювача  $R_{ш}$ :

$$R_{ш} = \frac{R_E \cdot R_3}{R_E - R_3}, \quad (3.14)$$

де  $R_E$  - опір розтікання природного заземлювача, Ом;

$R_3$  – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

3. Визначається довжина горизонтальних та кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a}, \quad (3.15)$$

де  $n$ - кількість вертикальних електродів, шт.;

$S$ - площа цеху, м<sup>2</sup>;

$a$ - задана відстань між електродами, м.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$l_{\Gamma} = 2a' + 2b', \quad (3.16)$$

де  $l_{\Gamma}$  – сумарна довжина горизонтальних електродів, м;

$a'$  – ширина сторони цеху, м;

$b'$  – довжина сторони цеху, м.

4. Розраховуються опори розтікання вертикального  $R_B$  та горизонтального  $R_{\Gamma}$  електродів:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{расч.В}}}{2\pi l_B} \left( \ln \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right), \quad (3.17)$$

де  $\rho_{\text{расч.В}}$  – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

$l_B$  – довжина вертикальних стрижневих електродів, м.

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{расч.Г}}}{2\pi l_{\Gamma}} \cdot \ln \frac{2l_{\Gamma}}{0,5bt}, \quad (3.18)$$

де  $\rho_{\text{расч.Г}}$  – розрахунковий питомий опір землі для горизонтального електрода, Ом·м;

$l_{\Gamma}$  – сумарна довжина горизонтальних електродів, м;

$b$  – товщина горизонтального електрода, м.

5. З таблиць (3.3) та (3.4) обираються коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів  $\eta_B$  та  $\eta_{\Gamma}$ :

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти використання вертикальних  $\eta_B$  електродів групового заземлення без урахування впливу смуги зв'язку

| Відношення відстаней між вертикальними електродами до їх довжини $a/l$ | Число заземлювачів |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                        | 2                  | 4    | 6    | 10   | 20   | 40   | 60   | 100  |
| Електроди розміщені по контуру                                         |                    |      |      |      |      |      |      |      |
| 1                                                                      | -                  | 0,69 | 0,61 | 0,56 | 0,47 | 0,41 | 0,39 | 0,36 |
| 2                                                                      | -                  | 0,78 | 0,73 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,55 | 0,52 |
| 3                                                                      | -                  | 0,85 | 0,80 | 0,76 | 0,71 | 0,66 | 0,64 | 0,62 |

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти використання горизонтальних η<sub>г</sub> електродів  
смугового електрода, з'єднуючого вертикальні електроди групового  
заземлення

| Відношення<br>відстаней між<br>вертикальними<br>електродами до їх<br>довжини а/l | Число заземлювачів |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                  | 2                  | 4    | 6    | 10   | 20   | 40   | 60   | 100  |
| Вертикальні електроди розміщені по контуру                                       |                    |      |      |      |      |      |      |      |
| 1                                                                                | -                  | 0,45 | 0,40 | 0,34 | 0,27 | 0,22 | 0,20 | 0,19 |
| 2                                                                                | -                  | 0,55 | 0,48 | 0,40 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,23 |
| 3                                                                                | -                  | 0,70 | 0,64 | 0,56 | 0,45 | 0,39 | 0,36 | 0,33 |

6. Обчислюють розрахунковий опір заземлювача R за виразом:

$$R = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_\Gamma + R_\Gamma \cdot \eta_B \cdot n}, \quad (3.19)$$

де R<sub>в</sub>, R<sub>г</sub> - розрахункові опори розтікання вертикального (горизонтального) електродів;

η<sub>в</sub>, η<sub>г</sub> - коефіцієнти використання вертикальних та горизонтальних електродів (згідно таблиці 3.3, 3.4);

n- кількість електродів, шт..

Розрахунок заземлювача в однорідній землі методом коефіцієнтів використання при допустимому опорі.

Вихідні дані:

Ремонтно-механічний цех площею S= 600 м<sup>2</sup> з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною l<sub>в</sub> = 5 м, діаметром d=12 мм і відстанню між ними а=5 м та горизонтальних електродів (сталеві смуга перетином 4×40 мм) на глибині t<sub>о</sub> = 0,8 м. Розрахункові питомі опори землі: для вертикального електрода ρ<sub>в</sub> = 120 Ом·м, горизонтального ρ<sub>г</sub> =176 Ом·м. У якості природного заземлювача буде використана металева технологічна конструкція з опором розтікання природного заземлювача R<sub>е</sub> =15 Ом.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

1. Згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою  $R_3$ , складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом.}$$

2. Визначення необхідного опору штучного заземлювача  $R_{ш}$  за формулою (3.14):

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом.}$$

3. Визначаємо довжину горизонтальних та кількість вертикальних електродів за формулами (3.15), (3.16) :

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{600}}{5} = 20 \text{ шт.},$$

$$l_{г} = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 30 = 100 \text{ м.}$$

4. Розраховуємо опори розтікання вертикального  $R_v$  та горизонтального  $R_{г}$  електродів за формулами (3.17), (3.18):

$$R_v = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 27,1 \text{ Ом.},$$

$$R_{г} = \frac{176}{2 \cdot 3,14 \cdot 100} \cdot \ln \frac{2 \cdot 100}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 2,64 \text{ Ом.}$$

5. З таблиць (3.3) та (3.4) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів  $\eta_v = 0,47$  та  $\eta_{г} = 0,27$ .

6. Обчислюємо розрахунковий опір заземлювача  $R$  за формулою (3.19):

$$R = \frac{27,1 \cdot 2,64}{27,1 \cdot 0,27 + 2,64 \cdot 0,27 \cdot 20} = 3 \text{ Ом.}$$

Таким чином, проектований заземлювач – контурний, складається з 20 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у виді сталевий смуги довжиною 100 м, перетином 4×40 мм, занурених у землю на 0,8 м.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

### 3.5 Захист від блискавки

Захист від блискавки будинків і споруджень.

Всі будинки й спорудження поділяються на три категорії:

I - виробничі будинки й спорудження з вибухонебезпечними приміщеннями класів В-1 і В-П по ПУЕ; будинків електростанцій і підстанцій;

II - інші будинки й спорудження з вибухонебезпечними приміщеннями, які

невідносяться до I категорії;

III - всі інші будинки й спорудження, у тому числі й вибухонебезпечні приміщення.

Захист від блискавки будинків і споруджень I категорії виконується:

а) від прямих ударів блискавок в окремо-стоячих стрижневих й тросових блискавковідводів, що забезпечують необхідну зону захисту;

б) від електростатичної індукції - заземленням всіх металевих корпусів, устаткування й апаратів, установлених у захищаючих будівлях, що через спеціальні заземлювачі з опором розтіканню струму не більше 10 Ом;

в) від електромагнітної індукції - для протяжних металевих предметів (трубопроводів, оболонок кабелів, каркасів споруджень). У місцях зближення із джерелом індукції й через 20 м довжини на паралельних трасах кабелів і трубопроводів ставлять металеві перемички, що дозволяють уникнути появи розімкнутих металевих контурів.

Захист від блискавки будинків і споруджень II категорії від прямих ударів блискавки виконується одним з наступних способів:

а) окремо стоячими або встановленими на будинках неізольованими стрижневими або тросовими блискавковідводами, що забезпечують захисну зону;

б) блискавко прийомною (молниеприемной) заземленою сіткою розміром 6х6 м, що накладає на неметалічну покрівлю;

в) заземленням металевої покрівлі. Захист від електростатичної й електромагнітної індукцій виконується аналогічно захисту споруджень I категорії.

Захист від блискавки будинків III категорії виконується, як і для II категорії, але при цьому блискавко-приймальна сітка має розмір осередків (ячеек) 12 x 12 або 6 x 24 м, а величина опору заземлювача від прямих ударів блискавки підвищується до 20 Ом.

У відповідності з вищевказаними вимогами захист будівель і споруджень на об'єктах електропостачання виконується в такий спосіб.

При розрахунку блискавковідводів враховується необхідність одержання певної зони захисту, що являє собою простір, що захищає від прямих ударів блискавок.

Для одиночного стрижневого блискавковідводу при висоті блискавковідводу менш 60 м, радіус захисту:

$$r_x = 1,6h(h-h_x)/(h+h_x), \quad (3.20)$$

де  $h-h_x = h_a$  – різниця висот блискавковідводу та захищеного об'єкта, чи активна висота;

$h$  – висота блискавковідводу;

$h_x$  – висота захищеного об'єкта.

Із (2.13) слідує що найбільший радіус захисту виходить на поверхні землі.

де  $r_x = 1,5h$ , при куті захисту **Помилка! Об'єкт не може бути створений з кодів полей редагування.**  $=400$ .

При струмі блискавки  $I_m > 150$  кА приймають  $\omega L = R_L$ , тоді амплітудна імпульсна напруга:

$$U_{\max} = (I_m/2) \cdot (R_{\text{зн}} + \sqrt{R_{\text{зн}}^2 + R_L^2}), \quad (3.20)$$

В цьому випадку найменша відстань по повітрю та в землі при  $E_v = 500$  кВ/м,  $E_z = 300$  кВ/м складе (м):

$$S_{\text{мин.з}} = I_m R_{\text{зн}}, \quad (3.21)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$$S_{\text{мин.в}} = U_{\text{max}}/E_{\text{в}}; \quad (3.22)$$

На рис. 3.2 показано розміщення захищеної будівлі і блискавковідводів.

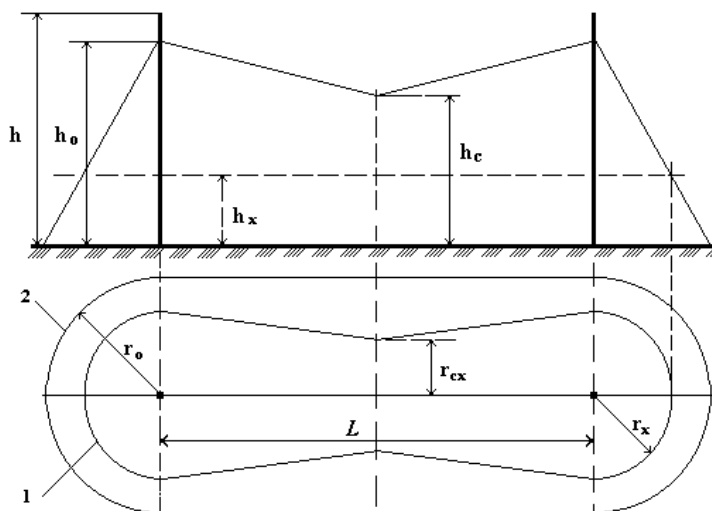


Рис. 3.2 – Розміщення захищеної будівлі і блискавковідводів

Знаходимо висоту блискавковідводу:

Якщо  $I_m = 150$  кА, то нормований опір заземлюючого пристрою  $R_{\text{зн}} = 4$  Ом.

Висота захищеного спорудження  $h_x = 6$  м,  $a \times b$  - розміри спорудження  $20 \times 30$  м<sup>2</sup>.

За формулою (3.20) знаходимо:

$$U_{\text{max}} = (I_m/2) \cdot (R_{\text{зн}} + \sqrt{R_{\text{зн}}^2 + R_L}) = (150/2) \cdot (4 + \sqrt{4 + 100}) = 1064 \text{ кВ.}$$

Знаходимо відстань по повітрю за формулою:

$$S_{\text{мин.в}} = U_{\text{max}}/E_{\text{в}},$$

$$S_{\text{мин.з}} = I_m R_{\text{зн}},$$

$$S_{\text{мин.в}} = 1064/500 = 3 \text{ м.}$$

Знаходимо відстань в землі:

$$S_{\text{мин.з}} = 150 \cdot 4/300 = 2 \text{ м.}$$

Виходячи з цих даних про відстань, не відбудеться пробою між блискавковідводом і захищеною будівлею. Висота блискавковідводу повинна бути вибрана такою, щоб захищена будівля знаходилась в захищеній зоні блискавковідводу. Для цього при одиночним блискавковідводі необхідно, щоб:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | Кваліфікаційна робота | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 54   |

$$r_x \geq S_B + a, \quad (3.23)$$

$$r_x \geq S_B + a = 3 + 20 = 23 \text{ м.}$$

Довжина блискавководу вираховується по формулі:

$$h = \frac{1.6h_x + r_x}{3.2} + \sqrt{\left(\frac{1.6h_x + r_x}{3.2}\right)^2 + \frac{h_x + r_x}{1.6}} = 24 \text{ м} \quad (3.24)$$

Прийнявши  $r_x = 23$  м,  $h_x = 6$  м знаходимо висоту блискавководу  $h = 24$  м.

Розрахунок захисного заземлення та системи блискавкозахисту є важливими складовими забезпечення електробезпеки на підприємстві, однак безпечна експлуатація електроустановок потребує комплексного підходу. Окрім технічних засобів захисту, необхідно враховувати вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів, вимоги до безпечного обслуговування електрообладнання, а також організаційні заходи, спрямовані на збереження життя і здоров'я працівників. У зв'язку з цим доцільно розглянути загальні питання охорони праці на підприємстві гранітних виробів.

До основних ризиків належать робота з електротехнічним обладнанням, наявність рухомих механізмів, підвищений рівень шуму та вібрації, значне запилення повітря внаслідок механічної обробки каменю, а також можливість ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції або порушенні правил експлуатації обладнання. Додатковими негативними чинниками є фізичне навантаження на працівників, монотонність окремих виробничих операцій та несприятливі параметри мікроклімату в робочих приміщеннях. У зв'язку з цим організація безпечних умов праці повинна передбачати комплекс технічних, організаційних і профілактичних заходів.

Особливе значення має дотримання вимог безпеки під час експлуатації електрообладнання, зокрема силових трансформаторів, електродвигунів та розподільчих пристроїв. Обслуговування такого обладнання повинно виконуватися лише підготовленим персоналом із відповідною групою допуску

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

з електробезпеки. Під час проведення оглядів, технічного обслуговування або ремонтних робіт обов'язковим є відключення обладнання від мережі, перевірка відсутності напруги, застосування переносного заземлення, використання попереджувальних плакатів і блокувальних пристроїв, що унеможливають випадкове подання напруги. Для захисту персоналу необхідно використовувати індивідуальні електрозахисні засоби, зокрема діелектричні рукавички, ізолюючий інструмент, захисне взуття та інші засоби відповідно до характеру виконуваних робіт.

На підприємствах камінеобробної галузі також важливим елементом охорони праці є готовність до дій у надзвичайних ситуаціях. До потенційних загроз належать пожежі, аварійні відключення електроживлення, пошкодження електрообладнання, технологічні аварії та інші події, що можуть створити небезпеку для персоналу. Для мінімізації наслідків таких ситуацій необхідно передбачити систему оповіщення працівників, порядок евакуації, наявність засобів пожежогасіння, аварійного освітлення та чітко визначених інструкцій щодо дій персоналу. Реалізація комплексу заходів з охорони праці дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок, знизити ризик виробничого травматизму та створити належні умови праці на підприємстві.

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 56   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено схему електропостачання цеху підприємства гранітних виробів. Проведено аналіз технологічного процесу та складу електрообладнання каменеобробної і ремонтно-механічної ділянок, визначено їх електричні навантаження та особливості електроспоживання.

У процесі виконання роботи здійснено розрахунок електричних навантажень цеху, за результатами якого визначено сумарну повну потужність споживачів, що становить 123,6 кВА. На основі отриманих даних обрано силовий трансформатор, визначено місце розташування трансформаторної підстанції та розроблено схему розподілу електроенергії між споживачами.

Виконано вибір комутаційної апаратури, кабельних ліній та засобів захисту відповідно до розрахункових режимів роботи мережі. Проведено розрахунок захисного заземлення та блискавкозахисту, що забезпечують необхідний рівень електробезпеки під час експлуатації електроустановок.

Також розглянуто основні питання охорони праці та безпечної експлуатації електрообладнання на підприємстві. Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне, безпечне та економічно доцільне електропостачання цеху і можуть бути використані при проєктуванні або модернізації аналогічних виробничих об'єктів.

Роботу виконав:

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. - Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. - 280 с.
3. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. та ін. **Електробезпека** : підручник. Харків : Український державний університет залізничного транспорту, 2018. 295 с.
4. Войтюк, Ю. П. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд : навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 94 с.
5. Основи безпечної експлуатації електроустановок: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с., рис. 3, табл. 5.
6. Бондаренко, Є. А. Охорона праці в електроенергетиці : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Бондаренко Є. А. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 138 с.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06>
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>

|      |      |          |        |      |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>Кваліфікаційна робота</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                              | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              |      |