

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Підвищення енергоефективності виробництва з переробки  
декоративного каменю ПрАТ «ТНК «Граніт»»**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕЕмз-61  
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

	<hr/> <small>(підпис)</small>	<hr/> <b>Декет І. М.</b> <hr/> <small>(прізвище та ініціали)</small>
Керівник	<hr/> <small>(підпис)</small>	<hr/> <b>Беякова І. В.</b> <hr/> <small>(прізвище та ініціали)</small>
Нормоконтроль	<hr/> <small>(підпис)</small>	<hr/> <b>Вакулєнко О. О.</b> <hr/> <small>(прізвище та ініціали)</small>
Завідувач кафедри	<hr/> <small>(підпис)</small>	<hr/> <b>Тарасенко М. Г.</b> <hr/> <small>(прізвище та ініціали)</small>
Рецензент	<hr/> <small>(підпис)</small>	<hr/> <small>(прізвище та ініціали)</small>

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 07 » вересня 2020 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Декету Івану Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності виробництва з переробки декоративного каменю ПрАТ «ТНК «Граніт»»

Керівник роботи Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» вересня 2020 року № 4/7-619

2. Термін подання студентом завершеної роботи 14 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи План основного виробництва в існуючих осях виробничого корпусу підприємства; характеристика та перелік наявних потужностей основного виробництва; електроживлення основного виробництва здійснити від існуючих потужностей КТП; однолінійна схема електропостачання підприємства; існуючі схеми живлення електроприймачів; графік роботи – двозмінний.

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Схема електричних з'єднань силової мережі каменеоброб. виробництва 1л. ф – А1

2. Схема однолінійна електричних з'єднань ВРП 1л. ф – А1

3. Схема однолінійна електричних з'єднань РП1 та РП2 1л. ф – А1

4. Схема однолінійна електричних з'єднань освітлювальної мережі 1л. ф – А1

5. Схемо-технічні рішення підвищення енергоефективності СЕ підприємства 1л. ф – А1

6. Модель енергоефективності СЕ з використанням інформаційних технологій 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В. М., старший викладач		
Нормоконтроль	Вакуленко О.О., старший викладач		

7. Дата видачі завдання 11 вересня 2020 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	18.09.2020	
2	Аналітичний розділ	28.09.2020	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	12.10.2020	
4	Проектно-конструкторський розділ	02.11.2020	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.11.2020	
6	Висновки	23.11.2020	
7	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2020	
8	Оформлення графічної частини	11.12.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Декет І. М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Белякова І. В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Декет І. М.** Підвищення енергоефективності виробництва з переробки декоративного каменю ПрАТ «ТНК «Граніт»». 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕмз–61. - Тернопіль : ТНТУ, 2020.

Стор. - 80; рис. - 6; табл. - 13; креслень - 6; джерел - 30; додатків - .

В кваліфікаційній роботі модернізована система електропостачання підприємства з оброблення декоративних порід каменю для підвищення енергоефективності виробництва та надійності електропостачання споживачів.

Встановлено, що на промисловому підприємстві, використовуючи систему АСКОЕ можна здійснювати оперативний контроль за споживанням енергоресурсів, зменшуючи чи оптимізуючи їх витрати.

Досліджено, що відслідковування і врахування в АСКОЕ динаміки електричної мережі в розрахунковій моделі дозволяє здійснювати вплив на значення втрат електроенергії в електромережі.

Розраховані електричні навантаження силової та освітлювальної електромережі, режими роботи та вибрані комутаційні апарати електромережі виробництва, струми к. з., а також схема живлення двотрансформаторної підстанції.

Проведена компенсація реактивної потужності та вибране відповідне схемо–технічне рішення для силової мережі підприємства

**Ключові слова:** ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, СХЕМО–ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	10
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВ .....	10
1.1 Втрати електроенергії в розподільних мережах та розрахункові методи .....	11
1.2 Обчислення втрат електроенергії з визначенням характеристик навантаження .....	13
1.3 Визначення втрат в електричних мережах 0,4 кВ .....	14
1.4 Оцінювання втрат напруги в лініях 0,4 кВ за втратами потужності в них .....	16
1.5 Оцінювання похибки розрахунку змінних втрат електроенергії та спостережності електричної мережі .....	17
1.6 Технологічний процес оброблення декоративних порід каменю в ПрАТ «ТНК «Граніт»» .....	18
1.7 Потужності каменеоброблювального виробництва і заходи з охорони праці .....	20
1.8 Оцінка категорій навантажень .....	21
1.9 Загальна характеристика електроспоживання виробництва з оброблення каменю .....	22
1.10 Висновки до розділу .....	22
2 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....	24
2.1 Характеристика навантажень .....	24
2.2 Схема електромережі підприємства .....	26
2.3 Електричні навантаження виробництва .....	26
2.4 Визначення центральних пунктів навантажень виробництва .....	28
2.5 Розрахункові навантаження електрообладнання виробництва ....	31
2.6 Розрахунок електричного освітлення виробничих ділянок .....	33
2.7 Розрахунок навантаження щитків освітлення .....	36

2.8 Розрахунок потужності розподільних пристроїв .....	37
2.9 Навантаження трансформатора електромережі .....	37
2.10 Розрахунок січення кабельно-провідникової продукції .....	38
2.11 Перелік кабелів і проводів .....	39
2.12 Додаткові втрати потужності та напруги як об'єкт енергоефективних досліджень електромережі промислового підприємства .....	40
2.13 Висновки до розділу .....	48
<b>3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>49</b>
3.1 Струми кіл навантаження максимальні трансформатора живлення електромережі .....	49
3.2 Вибір установок для компенсування реактивної потужності .....	54
3.3 Апаратура захисту мережі підприємства .....	56
3.4 Марка та переріз високовольтних струмоводів електромережі ...	59
3.5 Проектне рішення .....	60
3.6 Підстанційне основне електрообладнання і низьковольтна електромережа .....	61
3.7 Перевірка на термостійкість робочих частин струмоводів .....	65
3.8 Релейний захист трансформаторів підстанції .....	66
3.9 Висновки до розділу .....	66
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>68</b>
4.1 Аналіз і заходи з усунення шкідливих факторів виробництва з оброблення будівельних порід каменю .....	68
4.2 Вплив шуму на організм людини та розробка заходів щодо зниження рівня шуму на виробництві з оброблення каменю .....	71
4.3 Підвищення стійкості системи електрозабезпечення виробництва у надзвичайних ситуаціях .....	73
4.4 Єдина державна система цивільного захисту в умовах реалізації завдань децентралізації влади .....	74
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>76</b>



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Визначальним фактором економіки є ощадливе використання енергоносіїв. Недопустимими є транспортні втрати електроенергії та при розподілі.

В роботах [3, 5, 10] авторів: О. А. Буславця, В. В. Кулика, П. Д. Лежнюка, Ю. Л. Красовського досліджено, що в системах електропостачання широко використовуються електроустановки, які несприятливо впливають на показники якості електроенергії, що призводить до виникнення її втрат. При цьому, з урахуванням того, що ці втрати є, по суті, «технологічними втратами при транспортуванні», можна говорити тільки про зниження так званих «додаткових втрат», які зумовлені реактивним характером, нестационарністю, нелінійністю і несиметрією споживачів.

Як встановлено в роботах: Я. С. Бедерака, Ю. В. Владімірова, П. Д. Лежнюка, О. М. Нанаки сучасні електричні мережі в нашій країні характеризуються низкою негативних показників [2, 6, 11]: високою проектною густиною струму, що в 2 рази перевищує таку величину в енергетично розвинених країнах Заходу; неоднорідністю розподільних електромереж; низьким рівнем (в 3 рази) компенсації реактивної потужності; неефективним регулюванням мережевої напруги трансформаторами.

У підсумку, при транспортуванні та розподіленні втрати електроенергії сягають величини (15 ...16)% [5, 11].

Згідно досліджень О. А. Буславця, В. В. Кулика, П. Д. Лежнюка, Ю. Л. Красовського, А. В. Пашенка, система АСКОЕ активно впроваджується в практику функціонування електричних мереж [5, 10, 20].

Відомо, що значну частину електроенергії споживають промислові підприємства. Відповідно, проведення аналізу залежності втрат електроенергії від конфігурації промислових електромереж залишається актуальною тематикою.

**Мета і завдання дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності підприємства з оброблення каменю шляхом модернізації схеми електропостачання, а також впровадження ефективного методу компенсування реактивної потужності, який дасть змогу знизити втрати



електроенергії.

Поставлена в кваліфікаційній роботі мета вимагає вирішення таких задач:

- аналіз математичних моделей, які описують втрати електроенергії для певних конфігурацій електричних мереж;
- аналіз ефективності схем компенсування реактивної потужності, які зменшують втрати електроенергії в електромережах промислових підприємств;
- розрахунок навантажень силової та освітлювальної мережі, перерізу кабелів і проводів, максимальних струмів коротких замикань;
- вибір схеми електромережі підприємства, номінальної потужності трансформаторів та низьковольтного й високовольтного електрообладнання.

**Об'єкт дослідження** - процес підвищення енергоефективності виробництва з переробки декоративного каменю заходами, що зменшують втрати електроенергії в електромережі підприємства.

**Предмет дослідження** - техніко-економічні показники ефективності заходів, що компенсують реактивну потужність в електромережі підприємства і, таким чином, зменшують втрати електроенергії.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- Дістало подальший розвиток дослідження методів, які зменшують втрати електроенергії за допомогою схем компенсування реактивної потужності.
- Запропонована модель схеми компенсування реактивної потужності для підвищення самоокупності електромережі промислового підприємства.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Дворівнева компенсація реактивної потужності в електромережі промислового підприємства зумовить суттєве зниження втрат електроенергії та покращення її якості.

**Апробація.** Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на IX-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [3].

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (30 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 80 стор., 13 табл., 6 рис.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВ

Згідно визначення **фактичні (звітні) втрати електроенергії** - це різниця між електроенергією, що надійшла в електромережу, і електроенергією, відпущеною з мережі, яка визначається за даними системи обліку електроенергії.

При цьому, *система обліку електроенергії* - це сукупність вимірювальних комплексів, що забезпечують вимір надходження і відпуску електроенергії з мережі і включають в себе вимірювальні трансформатори струму (ТС), напруги (ТН), електричні лічильники, з'єднувальні проводи та кабелі. Вимірювальні комплекси можуть бути об'єднані в автоматизовану систему обліку електроенергії по типу АСКОЕ.

**Технологічні втрати електроенергії** - це сума технологічних втрат при транспортуванні і при реалізації електроенергії. Технологічні втрати при транспортуванні електроенергії мають дві складі:

- втрати в лініях і устаткуванні електричних мереж, зумовлених фізичними процесами, що відбуваються при передачі електроенергії відповідно до технічних характеристик і режимів роботи ліній й устаткування (технічні втрати);
- витрати електроенергії на власні потреби підстанцій.

**Втрати при реалізації електроенергії** - це сума втрат, зумовлених похибками системи обліку електроенергії, і втрат, зумовлених розкраданнями електроенергії, винуватці яких не встановлені.

При цьому, втрати, зумовлені розкраданнями електроенергії, не є технічною характеристикою електричної мережі та системи обліку електроенергії.

**Технічні втрати** - це сума трьох складових втрат в лініях і устаткуванні електричних мереж:

- втрат, що залежать від навантаження електричної мережі (навантажувальні втрати);
- втрат, що залежать від складу і типу електрообладнання (умовно-постійні втрати);

- втрат, що залежать від погодних умов.

**Витрати електроенергії на власні потреби підстанцій** - це витрати електроенергії, необхідні для забезпечення роботи технологічного обладнання підстанцій та життєдіяльності обслуговуючого персоналу.

**Втрати електроенергії, зумовлені похибками системи обліку** - це сумарний небаланс електроенергії, зумовлений технічними характеристиками і режимами роботи всіх вимірювальних комплексів надходження і відпуску електроенергії.

**Норматив технологічних втрат електроенергії** - це технологічні втрати електроенергії (в абсолютних одиницях або у відсотках від встановленого показника), розраховані при певних режимах роботи електромережі, технічні параметри ліній, обладнання мереж і системи обліку електроенергії в аналізованому періоді.

**Нормативний метод розрахунку навантажувальних втрат електроенергії** - це метод, який використовує при розрахунку втрат весь обсяг наявної інформації про схеми і навантаження мереж даної напруги. При збільшенні оснащення електромереж засобами вимірювання і оперативного контролю режимів рекомендується застосування більш точних методів.

## **1.1 Втрати електроенергії в розподільних мережах та розрахункові методи**

Методи розрахунку втрат електроенергії  $\Delta W_n$  залежать від інформації про елементи електричної мережі (ЕМ) та про їх навантаження за розрахунковий період. Вони підрозділяються на такі **методи** [10]:

1. **Поелементні розрахунки** у відповідності з виразом:

$$\Delta W_n = 3 \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k R_i \cdot \sum_{j=1}^n I_{ij}^2, \quad (1.1)$$

де  $\Delta t$  - інтервал часу між замірами для інформації про втрати навантаження;

$i$  - елементи електромережі;

$n = \frac{T}{\Delta t}$  - к-сть інтервалів заміру за звітний період часу  $T$ ;

$I_{ij}$  – струм в  $i$ -му елементі середн. з опором  $R_i$  на  $j$ -му інтерв. часу.

2. **Характерні режими** у відповідності з виразом:

$$\Delta W_n = \sum_{j=1}^l \Delta P_j \cdot t_j, \quad (1.2)$$

де  $\Delta P_j$  – втрати потужн. навантаж. в  $j$ -му режимі протягом  $t_j$  год.;

$l$  – к-сть режимів.

3. **Характерні доби** у відповідності з виразом:

$$\Delta W_n = \sum_{i=1}^m \Delta W_{ni}^m \cdot D_{екв.i}, \quad (1.3)$$

де  $i$  – к-сть характерних діб, для яких за відомими графіками  $\Delta W_{ni}^m$  обчислені у вузлах мережі втрати електроенергії;

$D_{екв.i}$  – тривалість екв. за рік  $i$ -го характерн. графіка (к-сть діб).

4. **Тривалість найбільших втрат**  $\tau$ :

$$\Delta W_n = \Delta P_{макс} \cdot \tau, \quad (1.4)$$

де  $\Delta P_{макс}$  – режим макс. навантажень мережі.

5. **Середні навантаження** у відповідності з виразом:

$$\Delta W_n = \Delta P_{cp} \cdot k_{\phi}^2 \cdot T, \quad (1.5)$$

де  $\Delta P_{cp}$  – мережеві втрати потужн. при середн. навантаж. вузлів трив-стю  $T$ ;

$k_{\phi}^2$  – коеф. форми графіка потужн. чи струму.

6. **Методи статистики** на основі регресійних залежностей втрат електроенергії в середн. режимах ел. мереж.

Електричні розрахунки мережі проводять при **методах 1-5**; вони - схемотехнічні.

**Методи статистики** використовують, за твердженням Красовського Ю. Л. при обчисленні залежності втрат в електромережі 0,4 кВ від її таких параметрів як сумарне навантаження, сумарна довжина лінії, кількість підстанцій тощо [10].

**1.2 Обчислення втрат електроенергії з визначенням характеристик навантаження**

Розрахунок втрат електроенергії при застосуванні *методів 1–5* проводиться з використанням прийомів числового оброблення даних.

Дискретна обробка даних неперервного графіка навантаження здійснюється інтегруванням. Наприклад, для середньоквадратичного значення струму використовують таку формулу:

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}. \quad (1.6)$$

Форма графіка навантаження характеризується величинами  $\tau$  і  $k_\phi$ , що використані в (1.4) та (1.5) [10].

Тривалість найбільших втрат  $\tau$  визначають з виразу:

$$\tau = k_3^2 \cdot k_\phi^2 \cdot T. \quad (1.7)$$

$$k_3 = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{макс}}}, \quad (1.8)$$

де  $k_3$  - коеф. заповнення графіка навантажень;

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T} - \text{середня потужність за час } T;$$

$W$  – відпущена споживачам електроенергія за час  $T$ ;

$P_{\text{макс}}$  – макс. навантаження мережі.

Як правило, визначення коефіцієнта форми у графіку навантажень  $k_\phi$  є первинним

За результатами досліджень авторів: Красовського Ю. Л., Кулика В. В., Лежнюка П. Д. [10], найбільш ефективні для розрахунку втрат в електромережах 10–0,4 кВ такі вирази:

$$\text{якщо } \lambda \leq 1, \text{ то } k_\phi^2 = \left( \frac{0,124}{k_3} + 0,876 \right);$$

$$\text{якщо } \lambda \geq 1, \text{ то } k_\phi^2 = 1 + \frac{(1 - k_3) \cdot (k_3 - k_{\text{мін}})^2}{(1 + k_3 - 2 \cdot k_{\text{мін}}) \cdot k_3^2},$$

$$\text{де } \lambda = \frac{k_3 - k_{\text{мін}}}{1 - k_3}; \quad k_{\text{мін}} = \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}}.$$

Таким чином, інформація про мін. та макс. навантаження електромережі для визначення втрат електроенергії у звітному періоді  $T$  як і к-сть відпущеної

(спожитої) електроенергії є необхідною для вирішення таких задач.

### 1.3 Визначення втрат в електричних мережах 0,4 кВ

Згідно досліджень Пашенка А. В., при відсутності даних про навантаження вузлів схеми електропостачання та відомому значенню струму головної ділянки мережі, втрати електроенергії визначають з виразу [20]:

$$\Delta W_n = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_{екв} \cdot T, \quad (1.9)$$

де  $I_2$  – струм на головній ділянці мережі;

$R_{екв}$  – сумарний опір еквівалентний електромережі».

Відомий вираз для втрат електроенергії розгалуженою мережею, де присутня сума втрат окремих ділянок:

$$\Delta W_n = 3 \cdot T \cdot \sum_{i=1}^k I_i^2 \cdot R_i. \quad (1.10)$$

Тоді з (1.9) і (1.10) опір мережі еквівалентний розраховується з виразу:

$$R_{екв} = \frac{\sum_{i=1}^k I_i^2 \cdot R_i}{I_2^2}. \quad (1.11)$$

Також обчислюють еквівалентний опір згідно звітів попереднього кварталу:

$$R_{екв} = \frac{\Delta W_n}{W_{відн.м}^2} \cdot U_{cp}^2 \cdot T, \quad (1.12)$$

де  $W_{відн.м}$  - відпущена в мережу електроенергія;

$U_{cp}$  - напруга на шинах розподільчих пристроїв.

Згідно досліджень автора Пашенка А. В. в [20] оцінювати втрати електроенергії в електромережах 0,4 кВ можна відповідно до сумарної довжини лінії. Тоді опір екв. лінії  $R_{екв}$  без відгалужень визначають з виразу:

$$R_{екв} = r_0 \cdot L \cdot k_L, \quad (1.13)$$

де  $r_0$  - опір провідника питомий, Ом/км;

$L$  - лінійна довжина, км;

$k_L$  - коефіцієнт типу навантажень ( $k_L = 1$  для сконцентрованого в кінці лінії навантаження;  $k_L = 0,37$  для розподіленого).

Для перерізу алюмінієвого проводу (35 ... 120) мм<sup>2</sup> - вираз  $r_0 \approx \frac{32,25}{F}$ , де  $F$  - січення провідника, мм<sup>2</sup>.

Якщо наявні відгалуження - вводять понижувальний коефіцієнт з врахуванням сумарної довжини лінії з відгалуженнями  $L_\Sigma$  та довжини відгалужень  $L_g$ :  $k_g = 1 - 0,95 \cdot \frac{L_g}{L_\Sigma}$ .

Тоді еквівалентний опір для лінії 0,4 кВ визначатиметься з виразу:

$$R_{екв} = 32,25 \cdot k_L \cdot k_g \cdot \frac{L_\Sigma}{F}. \quad (1.14)$$

Також в [20] автор Пашенко А. В. встановив, що при наявності несиметрії навантаження і відмінностях густин струму на головних ділянках різних ліній з довжиною магістральних ліній  $L_i$  та перерізом  $F_i$  ( $L_i$  в км,  $F_i$  в мм<sup>2</sup>), числом груп ліній  $N$ , які живляться від даного РП та сумарного перерізу головних ділянок ліній  $F_\Sigma$ , мм<sup>2</sup> еквівалентний опір електромережі визначатиметься з виразу:

$$R_{екв} = 32,25 \cdot k_L \cdot k_g \cdot k_N \cdot k_n \cdot \frac{\sum_{i=1}^N F_i \cdot L_i}{F_\Sigma^2}, \quad (1.15)$$

де  $k_L = 1 - 0,63 \cdot d_p$  - коеф. врахування типу навантажень ( $d_p = 0$  для сконцентрованого в кінці лінії;  $d_p = 1$  для розподіленого рівномірно);

$k_n = 1,05 + 0,3 \cdot d_p$  - коеф. збільш. втрат в несиметричній лінії;

$k_g = 1 - 0,95 \cdot \frac{L_g}{L_\Sigma}$  - понижув. коеф. для врахування суттєво менших втрат у

відгалуженні;

$k_N = 1,1 \pm 0,06$  - коеф. відмінностей густин струмів на головн. ділянках ліній.

#### **1.4 Оцінювання втрат напруги в лініях 0,4 кВ за втратами потужності в них**

Автор Красовський Ю. Л. в [10] показав, що відносні втрати потужності і відносні втрати напруги в електромережах 0,4 кВ відносяться як відношення

питомих індуктивного і активного опорів лінії  $\xi = \frac{x_0}{r_0}$  згідно виразу:

$$k_{n/n} = \frac{\Delta P(\%) }{\Delta U(\%) } = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (1.16)$$

Оскільки повітряні лінії мають опори:  $x_0 \approx 0,4 \text{ Ом/км}$  і  $r_0 = \frac{32,25}{F} \text{ Ом/км}$ ,

будемо мати:  $\xi \approx 0,0125 \cdot F$ .

Для електромереж, які мають розподілене навантаження:

$$k_{n/n} = (1 - 0,25 \cdot d_p) \cdot \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (1.17)$$

Кінцеві ділянки повітряних ліній у формулі (1.17) -  $\xi \approx 0,01 \cdot F$ ; кабельні лінії  $x_0 \approx 0$  і  $\xi \approx 0$ .

В режимі з найбільшими навантаженнями втрати напруги у відповідності з [10]:

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta P_{\max}}{k_{n/n} \cdot P_{\max}} \cdot 100, \quad (1.18)$$

де  $P_{\max} = \frac{W}{T \cdot k_3}$  - макс. відоме або розраховане навантаження електромережі

при відомих об'ємах відпуску електроенергії  $W$  за час  $T$ ;

$P_{\max}$  - втрати потужності впродовж режиму макс. навантажень;

$k_3 = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}}$  - коефіцієнт заповнення графіка, який характеризує відносну

кількість годин використання максимального навантаження.

З використанням виразу (1.18) оцінюють втрати потужності:

$$\Delta P_{\max} = \frac{\Delta U(\%) }{100} \cdot k_{n/n} \cdot P_{\max}, \quad (1.19)$$

а втрати електроенергії -  $\Delta W = \Delta P_{\max} \cdot \tau$ .

## 1.5 Оцінювання похибки розрахунку змінних втрат електроенергії та спостережності електричної мережі

Середньоквадратичну похибку  $\Delta_{II}$  за розрахованими межами інтервалу



невизначеності змінних втрат електроенергії, що відповідає заданій ймовірності знаходження реальних втрат  $\Delta W_p$  у межах даного інтервалу, можна визначити за допомогою виразу [5]:

$$\Delta_{\Pi} = \frac{\Delta W_p - \Delta W_{p_{\min}}}{3 \cdot \Delta W_p}. \quad (1.20)$$

Для виразу (1.20) застосовано припущення щодо *нормальності розподілу* стохастичної похибки при визначенні навантажувальних втрат, тобто однаковість ймовірності їх зміни як в бік  $\Delta W_{p_{\min}}$ , так і в бік  $\Delta W_{p_{\max}}$ .

Як стверджують автори Буславець О. А., Кулик В. В., Лежнюк П. Д. в [5]: «... Використовуючи розраховані значення  $\Delta_{\Pi}$ , можливо оцінити ймовірність розрахункових втрат електроенергії із заданою точністю  $\Delta_{\Pi_{\text{зад}}}$  (наприклад,

$\Delta_{\Pi_{\text{зад}}} = 5\%$ ). Тоді визначають величину параметра  $t_p = \frac{\Delta_{\Pi_{\text{зад}}}}{\Delta_{\Pi}}$ , яка відповідає

кількості інтервалів  $\Delta_{\Pi}$  у заданому інтервалі  $\Delta_{\Pi_{\text{зад}}}$ .» За значеннями  $t_p$  та

табличними значеннями *інтегралу Лапласа* розраховується *ймовірність*  $p_i$ , за допомогою якої оцінюють втрати електроенергії при заданій точності  $\Delta_{\Pi_{\text{зад}}}$ .

Якщо ж при дослідженні отриманих результатів навантажувальних втрат електроенергії виявиться хибним припущення про *нормальний розподіл* стохастичної похибки визначення навантажувальних втрат, то згідно [5] ймовірність  $p_i$  розрахунку втрат електроенергії із заданою похибкою  $\Delta_{\Pi_{\text{зад}}}$  може бути визначена з використанням поліному  $p'$ ятого порядку параметру  $t_p$ :

$$p_i = 2 \cdot (0,0001 + 0,3953 \cdot t_p + 0,0201 \cdot t_p^2 - 0,1073 \cdot t_p^3 + 0,037 \cdot t_p^4 - 0,004 \cdot t_p^5). \quad (1.21)$$

До того ж, спосіб обчислення ймовірності  $p_i$  може бути використаний при дослідженні *багаторежимності* розподільної мережі з величиною  $m$  - кількості характерних режимів досліджуваної розподільної мережі і оцінюванні її міри спостережності за допомогою показника:

$$\chi_{\Delta W} = \prod_{i=1}^m p_i. \quad (1.22)$$

Міра спостережності  $\chi_{\Delta W}$  враховує можливість впровадження системи АСКОЕ для оцінювання втрат електроенергії в умовах різнотипного

навантаження в електромережах 10(6) кВ.

## **1.6 Технологічний процес оброблення декоративних порід каменю в ПрАТ «ТНК «Граніт»»**

Абразивна обробка каменю - застосовується для приведення виробів з природного каменю в необхідну форму, розміри, фактуру, де здійснює основні операції абразивний інструмент.

Щодо граніту, то найбільш поширеним способом його обробки є шліфування [7]. Це метод обробки, при якому поверхня гранітного виробу або покриття обробляють за допомогою спеціальних заточувальних абразивів, завдяки чому камінь стає блискучим і рівномірним. Метою процедури шліфування мармуру є вирівнювання поверхні каменю та досягнення її однорідності та гладкості. Для цього застосовуються різні абразиви і алмазні насадки. Після закінчення процесу шліфування поверхня каменю стає матовою і абсолютно рівною.

Однак, для додання мармуру більш привабливого зовнішнього вигляду, необхідно піддати його процедурі полірування. Тільки так можна зробити поверхню каменю гладкою і сяючою. У процесі полірування проявляється малюнок каменю, а його поверхня стає рівною, гладкою і блискучою [13].

Мармур і граніт застосовувалися в будівництві великих будівель з давніх часів. Проте в даний час, люди більше зацікавлені у використанні цих каменів для житлового будівництва. Мармур і граніт сьогодні отримали широке застосування в будівництві і декоруванні інтер'єру.

Свердління - механічна обробка матеріалів різанням із застосуванням спеціального обертового інструменту (свердла). Свердління застосовують для отримання отворів різного діаметру і глибини або багатогранних отворів різного січення і глибини [7,17].

Охолодження при свердлінні. Великою проблемою при свердлінні є сильне розігрівання свердла і оброблюваного матеріалу через тертя. У місці свердління температура може досягати декількох сотень градусів Цельсія [28].

Для боротьби з розігріванням застосовують охолодження за допомогою

охлаждающих жидкостей или смазывающе-охлаждающих жидкостей. При сверлении на верстате обычно организуют подачу жидкости непосредственно в место сверления. При сверлении ручным инструментом сверления время от времени прерывают и погружают сверло в емкость с жидкостью.

## **1.7 Потужності каменеоброблювального виробництва і заходи з охорони праці**

На листі «*Схема розміщення потужностей. Заземлення*» подана схема розміщення потужностей виробництва у складі:

- ділянки нарізання заготовок;
- ділянки шліфування та полірування.

На ділянці нарізання заготовок розміщені такі верстати й установки:

- поз. 1.1: верстат для різання каменю гідравлічний колонковий типу DZQ–1600–D8 (35 кВт);
- поз. 1.2, 1.3, 1.4: верстат для різання каменю гідравлічний колонковий типу DZQ–1600–D12 (3x55 кВт);
- поз. 1.5: верстат обрізний для заготування каменю типу HSXB–1200 (25 кВт);
- поз. 1.6, 1.7, 1.8: верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний типу DNWQ–400 (3x15 кВт);
- поз. 1.9, 1.10: верстат обрізний типу MS–350 B/800 “Feida” (2x20 кВт);
- поз. 1.11: прес розколювальний для каменю типу SY–S 240 (45 кВт);
- поз. 1.12: лінія автоматична для шліфування та полірування гранітних плит (16 головок) типу ZDMC 16 C/1.2 (160 кВт);
- поз. 1.13: пристрій приточно–витяжний типу W4E370–CP06–31 (3x2,5 кВт);
- поз. 1.14, 1.16: верстат плосконарізний типу SPK–250 (2x10 кВт);
- поз. 1.15: верстат алмазно–канатний для розпилювання криволінійних заготовок типу DZQ–1600–D8 (45 кВт).

На ділянці шліфування та полірування розміщені такі верстати:

- поз. 2.1: верстат для оброблювання каменю з ЧПУ типу SLY–200 (45 кВт);

- поз. 2.2, 2.3, 2.4: верстат шліфувальний мостовий (6 головок) типу QSM–300 (3x30 кВт);
- поз. 2.5, 2.6: верстат для виготовлення профілів з каменю типу HBJB (2x15 кВт);
- поз. 2.7: пристрій приточно–витяжний типу W4E370–CP06–31 (3x2,5 кВт);
- поз. 2.8: верстат подрібнювальний щоківий типу PE–430/600 (35 кВт);
- поз. 2.9: верстат для гідроабразивного свердління та розкрою складних форм каменю типу 2030с Mach 2с (55 кВт);
- поз. 2.10, 2.11: верстат гравірувальний на каменю типу BX 120/240 (2x10 кВт).

Для підтримання заходів з охорони праці на робочих місцях з шкідливими викидами встановлені місцеві витяжні вводи, об'єднані в єдину витяжну систему з приточно-витяжним пристроєм типу W4E350-CP06-31 та кнопками управління - постами кнопковими ПКЕ 222-2У2.

Всі одиниці обладнання, які потребують місцевого освітлення, оснащені світильниками освітлення робочого місця типу НКП 03–60.

Заземлення підведене до всіх одиниць виробничого обладнання.

## **1.8 Оцінка категорій навантажень**

Механічне оброблювання камінних заготовок способом плоского та фасонного розпилювання, свердління, шліфування та полірування вимагає стабільності і безперервності технологічного процесу, а тому виробниче обладнання слід віднести до 2-ї категорії споживачів електроенергії [21].

Для каменеоброблювального виробництва, де переважно встановлені споживачі II-ї категорії надійності електропостачання, категорія виробничих процесів щодо пожежо - вибухонебезпечності віднесена до класу «Д».

Попередньо вибираємо змішану схему силової мережі із застосуванням двох кабельних введень від двох трансформаторів підстанції до розподільних пристроїв, де встановлені автоматичні вимикачі на вході і на відхідних лініях. Таким чином, розподілення електроенергії на рівні 0,4 кВ у приміщенні каменеоброблювального виробництва передбачається здійснювати від

розподільних пристроїв окремими лініями за найкоротшими трасами до кожного окремого електроприймача.

## **1.9 Загальна характеристика електропостачання виробництва з оброблення каменю**

Основними споживачами електричної енергії є електродвигуни виробничого устаткування, насосів, вентиляторів, електричне освітлення ділянок виробництва.

Електропостачання обладнання виробництва здійснюється двома силовими кабелями від двох закритих двотрансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ потужністю 800 *кВ·А* та 1260 *кВ·А* (ЗТП–232 та ЗТП–233), розташованих поблизу території ДП «Головинський кар'єр». Джерелом електропостачання підприємства є дві комплектні підстанції: ПС 35/10 кВ «Черняхівська» потужністю 4000 *кВ·А* та ПС 35/10 кВ «Радомишльська» потужністю 8000 *кВ·А*. Загальна встановлена потужність електроприймачів основного й допоміжного обладнання виробництва з оброблення будівельних та декоративних порід каменю становить 850 *кВт*.

Обслуговування електроприймачів та електрообладнання системи електропостачання виробництва здійснюється енергетичною службою підприємства. Керівником служби є інженер–енергетик, в підпорядкуванні якого знаходяться: майстер електродільниці, два електромонтери, електрослюсар КВПіА.

## **1.10 Висновки до розділу**

1. Встановлено, що інформація щодо мінімального та максимального навантаження електромережі, а також кількості відпущеної електроенергії, найбільш актуальна при визначенні втрат електроенергії за деякий період.

2. Проаналізована ефективність методу оцінювання втрат електроенергії в розподільних електромережах 0,4 кВ за сумарною довжиною ліній методом обчислення еквівалентного опору лінії як без відгалужень, так і при їх наявності. Зменшення втрат електроенергії можливе збільшенням сечення провідників

магістральних ліній.

3. Проаналізована функціональна залежність вірогідності деякого стану показників електромережі з похибкою при визначенні втрат електроенергії елемента мережі.

4. Проаналізована ефективність трирівневої системи АСКОЕ промислового підприємства як найбільш ефективного оперативного засобу при обліку і керуванні питомими витратами електроенергії.

5. Поданий перелік потужностей каменеоброблювального виробництва на ділянках нарізання заготовок та шліфування й полірування.

6. Проведена оцінка категорій навантажень основного виробництва, а також загальна характеристика електропостачання виробництва з оброблення декоративних порід каменю.

## 2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Характеристика навантажень

Вихідні дані для проектування системи електропостачання наведені в розділі 1. Згідно з цими даними підприємство з оброблення будівельних та декоративних порід каменю ПрАТ «ТНК «Граніт»» має основне та допоміжне виробництво. Основне виробництво складається з таких дільниць:

- дільниця нарізання заготовок;
- дільниця шліфування та полірування.

В таблиці 2.1 наведений перелік потужностей основного виробництва з величинами номінальної встановленої потужності кожного електроприймача та його  $\cos\phi$ .

Таблиця 2.1 - Перелік потужностей основного виробництва

№ з/п	Тип виробу або позначення	Назва	Потужність, кВт	$\cos\phi$
<b>Дільниця нарізання заготовок</b>				
1.1	DZQ-1600-D8	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	35,0	0,6
1.2	DZQ-1600-D12	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55,0	0,8
1.3	DZQ-1600-D12	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55,0	0,8
1.4	DZQ-1600-D12	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55,0	0,8
1.5	HSXB-1200	Верстат обрізний для заготування каменю	25,0	0,7
1.6	DNWQ-400	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15,0	0,8
1.7	DNWQ-400	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15,0	0,8
1.8	DNWQ-400	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15,0	0,8
1.9	MS-350B/800 Feida	Верстат обрізний	20,0	0,8
1.10	MS-350B/800 Feida	Верстат обрізний	20,0	0,8
1.11	SY-S 240	Прес розколювальний для каменю	45,0	0,7
1.12	ZDMC 16C/1.2	Лінія автоматична для шліфування та полірування гранітних плит (16 головок)	160,0	0,6
1.13	W4E370-CP06-31	Пристрій приточно-витяжний	7,5	0,8

## Продовження таблиці 2.1

№ з/п	Тип виробу або позначення	Назва	Потужність, кВт	cosφ
1.14	SPK-250	Верстат плитонарізний	10,0	0,8
1.15	HSJ-350	Верстат алмазно-канатний для розпилювання криволінійних заготовок	45,0	0,7
1.16	SPK-250	Верстат плитонарізний	10,0	0,8
Всього по дільниці:			532,5	–
<b>Дільниця шліфування та полірування</b>				
2.1	SLY-200	Верстат для оброблювання каменю з ЧПУ	45,0	0,8
2.2	QSM-300	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30,0	0,6
2.3	QSM-300	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30,0	0,6
2.4	QSM-300	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30,0	0,6
2.5	HBJB-40	Верстат для виготовлення профілів з каменю	15,0	0,7
2.6	HBJB-40	Верстат для виготовлення профілів з каменю	15,0	0,7
2.7	W4E370-CP06-31	Пристрій приточно-витяжний	7,5	0,8
2.8	PE-430/600	Верстат подрібнювальний	35,0	0,7
2.9	2030 с Mach 2c	Верстат для гідроабразивного свердління та розкрою складних форм каменю	55,0	0,8
2.10	BX 120/240	Верстат гравірувальний по каменю	10,0	0,8
2.11	BX 120/240	Верстат гравірувальний по каменю	10,0	0,8
Всього по дільниці:			290,0	–
Всього :			822,5	–

Основні споживачі електроенергії на виробництві представлені електроприводами технологічного обладнання, розетками та освітлювальними приладами. На дільницях основного виробництва є 26 од. обладнання нерегульованого електроприводу асинхронних двигунів з активною номінальною потужністю - 822,5 кВт. Реактивна потужність двигунів електроприводу буде розрахована нижче.

В балансі системи електроспоживання передбачена витрата електроенергії активної потужності на освітлення дільниць підприємства, яка буде розрахована у відповідності із схемою розміщення цих потужностей.

## 2.2 Схема електромережі підприємства



На плані основного каменеоброблювального виробництва (див. відповідний лист) відмічаємо місця розташування обладнання. Електричне живлення основного виробництва буде здійснюватись кабелями, прокладеними від ЗТП–232 10/0,4 кВ підприємства, заживленої від ПС 4000–35/10 кВ «Головинський кар’єр», до розподільних пристроїв (РП) дільниць в землі, а в заводському корпусі - кабельні полиці. Живлення електроприймачів дільниць виробництва буде здійснене від відповідних розподільних пристроїв (РП1 та РП2) проводами, прокладеними у трубах. Окремим кабелем електроживлення подано на ввідний розподільний пристрій (ВРП), з якого електроенергія буде поступати до електроспоживачів допоміжного виробництва та щитки освітлення (ЩО1, ЩО2), один з яких буде заживлювати освітлювальні прилади обох дільниць основного виробництва, а інший – зовнішнє освітлення території підприємства.

### 2.3 Електричні навантаження виробництва

Основні розрахункові дані навантажень електроприймачів основного виробництва подані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахунок навантажень основного виробництва

№ на плані	Назва	Встановл. потужн. $P_{н}, кВт$	Кількість один., $n$	Сумарн. потужн., $P_{сум}, кВт$	Коеф. вико- рист., $k_B$	$\cos\varphi$ облад- нання	$tg\varphi$ облад- нання	Сума квадратів встановл. потужн., $кВт^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	35	1	35	0,75	0,6	1,33	1225
1.2, 1.3, 1.4	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55	3	165	0,60	0,8	0,75	9075
1.5	Верстат обрізний для заготування каменю	25	1	25	0,75	0,7	1,02	625
1.6 1.7 1.8	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15	3	45	0,60	0,8	0,75	675

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.9 1.10	Верстат обрізний	20	2	40	0,60	0,8	0,75	800
1.11	Прес розколювальний для каменю	45	1	45	0,60	0,7	1,02	2025
1.12	Лінія автоматична для шліфування та полірування гранітних плит (16 головок)	160	1	160	0,75	0,6	1,33	25600
1.13	Пристрій приточно-втяжний	7,5	1	7,5	0,60	0,6	1,33	56,25
1.14	Верстат плитонарізний	10	1	10	0,75	0,8	0,75	100
1.15	Верстат алмазно-канатний для розпилювання криволінійних заготовок	45	1	45	0,60	0,7	1,02	2025
1.16	Верстат плитонарізний	10	1	10	0,60	0,8	0,75	100
2.1	Верстат для оброблювання каменю з ЧПУ	45	1	45	0,75	0,8	0,75	2025
2.2 2.3 2.4	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30	3	90	0,75	0,6	1,33	2700
2.5 2.6	Верстат для виготовлення профілів з каменю	15	2	30	0,75	0,7	1,02	450
2.7	Пристрій приточно-втяжний	7,5	1	7,5	0,60	0,6	1,33	56,25
2.8	Верстат подрібнювальний	35	1	35	0,70	0,7	1,02	1225
2.9	Верстат для гідроабразивного свердління та розкрою складних форм каменю	55	1	55	0,75	0,8	0,75	3025
2.10	Верстат гравірувальний по каменю	10	1	10	0,60	0,8	0,75	100
2.11	Верстат гравірувальний по каменю	10	1	10	0,75	0,8	0,75	100
–	Всього:	–	–	877,5	–	–	–	52156,25

Кількість електроприймачів еквівалентна:

$$n_e = \frac{\left( \sum_i P_{Hi} \cdot n_i \right)^2}{\sum_i P_{Hi}^2 \cdot n_i}; \quad n_e = \frac{(877,5)^2}{52156,25} = 14,76 \approx 15.$$

Потужність електроприймачів ефективна:

$$P_e = \frac{\sum_i P_{Hi} \cdot n_i}{n_e}; \quad P_e = \frac{877,5}{15} = 58,5 \text{ [кВт]}.$$

Коефіцієнт використання  $k_B$  :

$$k_B = \frac{p_e}{p_n} = \frac{\sum_i p_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi}}{\sum_i p_{Hi} \cdot n_i};$$

$$k_B = \frac{601,25}{877,5} = 0,685 \approx 0,69.$$

Середн. коеф. реакт. потужності  $tg\varphi_c$ :

$$tg\varphi_c = \frac{\sum_i p_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi} \cdot tg\varphi_i}{\sum_i p_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi}};$$

$$tg\varphi_c = 1,506.$$

Коефіцієнт максимуму у відповідності з впорядкованими діаграмами  $k_M=f(n_e; k_e)$  [12]:  $k_M = 1,12$ .

Розрах. активне навантаження:

$$P_P = k_M \cdot p_e = k_M \cdot \sum_{i=1}^{27} p_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi}; \quad P_P = 1,12 \cdot 601,25 = 673,4 [\text{кВт}].$$

Розрах. реактивне навантаження:

$$Q_P = k_M \cdot \sum_{i=1}^{27} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{Bi} \cdot tg\varphi_i; \quad Q_P = 1,12 \cdot 673,4 \cdot 1,506 = 1014,2 [\text{кВ} \cdot \text{А}].$$

Розрах. повна потужн. виробн. обладнання осн. виробництва:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}; \quad S_P = \sqrt{673,4^2 + 1014,2^2} = 1217,40 [\text{кВ} \cdot \text{А}].$$

Розрах. повний струм осн. виробництва:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad I_P = \frac{1217,40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1849,65 [\text{А}]$$

## 2.4 Визначення центральних пунктів навантажень виробництва

При проведенні реконструкції системи електропостачання основного виробництва враховуємо, що розподільчими пунктами, які розташовуються в центрі електричних навантажень  $(x_0; y_0)$ , є встановлювані нові пристрої, звідки згідно радіальної схеми будуть заживлені електроприймачі на обох ділянках виробництва.

Для розрахунку використовуємо таблицю 2.3, в якій подано місцезнаходження згідно плану розміщення потужностей основного виробництва

в координатах  $x$ – $y$ . Точка з координатою  $x=0$ ;  $y=0$  знаходиться в лівому куті приміщення дільниці шліфування та полірування.

Таблиця 2.3 - Розташування потужностей основного виробництва

№з/п на плані	Назва	Встановл. потужн. $P_{Нi}$ , кВт	Координата $x_i$ , м	Координата $y_i$ , м	$P_{Нi} \cdot x_i$	$P_{Нi} \cdot y_i$
Розподільний пристрій 1 (РП 1)						
1.1	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	35,0	5,0	25,2	175	882
1.2	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55,0	6,8	32,6	374	1793
1.3	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55,0	19,0	32,6	1045	1793
1.4	Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий	55,0	18,4	25,2	1012	1386
1.5	Верстат обрізний для заготування каменю	25,0	30,8	25,2	770	630
1.6	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15,0	27,6	32,6	414	489
1.7	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15,0	33,6	32,6	504	489
1.8	Верстат обрізний мостовий автоматичний інфрачервоний	15,0	39,2	32,6	588	489
1.9	Верстат обрізний	20,0	45,6	32,6	912	652
1.10	Верстат обрізний	20,0	51,2	32,6	1024	652
1.11	Прес розколювальний для каменю	45,0	57,2	32,6	2574	1467
1.12	Лінія автоматична для шліфування та полірування гранітних плит (16 головок)	160,0	42,4	25,2	6784	4032
1.14	Верстат плитонарізний	10,0	64,6	32,6	646	326
1.15	Верстат алмазно–канатний для розпилювання криволінійних заготовок	45,0	54,6	25,2	7187	1134
1.16	Верстат плитонарізний	10,0	65,0	25,2	650	252
–	Всього:	580	–	–	24659	16466
Розподільний пристрій 2 (РП 2)						
2.1	Верстат для оброблювання каменю з ЧПУ	45,0	6,0	12,0	270	540
2.2	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30,0	19,2	12,0	576	360
2.3	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30,0	31,4	12,0	942	360
2.4	Верстат шліфувальний мостовий (6 головок)	30,0	43,0	12,0	1290	360

Продовження таблиці 2.3

2.5	Верстат для виготовлення профілів з каменю	15,0	55,2	12,0	828	180
2.6	Верстат для виготовлення профілів з каменю	15,0	6,8	5,4	102	81
2.8	Верстат подрібнювальний	35,0	19,2	5,4	672	189
2.9	Верстат для гідроабразивного свердління та розкрою складних форм каменю	55,0	31,4	5,4	1727	297
2.10	Верстат гравірувальний по каменю	10,0	43,2	5,4	432	54
2.11	Верстат гравірувальний по каменю	10,0	55,6	5,4	556	54
–	Всього:	275	–	–	7395	2475

$$РП1: \quad x_0 = \frac{\sum_{i=1}^{15} p_{Hi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{15} p_{Hi}}; \quad x_0 = \frac{24659}{580} = 42,5 [м];$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{15} p_{Hi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{15} p_{Hi}}; \quad y_0 = \frac{16466}{580} = 28,4 [м].$$

$$РП2: \quad x_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi}}; \quad x_0 = \frac{7395}{275} = 26,9 [м];$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi}}; \quad y_0 = \frac{2475}{275} = 9,0 [м].$$

Отримані координати центрів навантажень ( $x_0; y_0$ ) розподільчих пунктів *РП1* та *РП2* з врахуванням масштабу переносимо на креслення. Оскільки розраховані координати центрів навантажень виявились розміщеними посеред відповідних ділянок з технологічним устаткуванням, для зручності установки розподільчих пристроїв зміщаємо їх до стін. Тоді координати розподільчих пристроїв будуть такі: *РП1* -  $x_{РП1} = 42,5$  м;  $y_{РП1} = 35,6$  м, а *РП2* -  $x_{РП2} = 26,9$  м;  $y_{РП2} = 0,4$  м.

Ввідний розподільчий пристрій (*ВРП*) розміщуємо біля вводу силового кабеля від *КТП* на територію основного виробництва з координатами  $x_{ВРП} = 70$  м;  $y_{ВРП} = 30$  м.

Оскільки щитки освітлення (*ЩО1* та *ЩО2*) заживлюються від *ВРП*, вони будуть розміщені як поблизу до *ВРП*, так і до входних дверей:  $x_{ЩО} = 70$  м;  $y_{ЩО} = 23$  м.

## 2.5 Розрахункові навантаження електрообладнання виробництва

### Дільниця нарізання заготовок.

На дільниці розташовано 16 одиниць виробничого обладнання, які на листі креслення позначені цифрами 1.1 ... 1.16.

Приклад розрахунку навантажень деяких електроприймачів (ЕП).

Електроприймач ЕП 1.1 *Верстат для різання каменю гідравлічний колонковий типу DZQ–1600–D8 (380 В; 50 Гц; 35,0 кВт)*:

Активна розрахункова потужність:

$$P_{P1.1} = k_{Bi} \cdot P_{H1.1} = 0,75 \cdot 35,0 = 26,3 \text{ кВт},$$

де  $k_{Bi} = 0,75$  (див. табл. 2.2).

Реактивна розрахункова потужність ( $\cos\varphi_{1.1} = 0,6$ ):

$$Q_{P1.1} = P_{P1.1} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{1.1} = 26,3 \cdot 1,33 = 35,0 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_{P1.1} = \sqrt{P_{P1.1}^2 + Q_{P1.1}^2} = \sqrt{26,3^2 + 35,0^2} = 43,78 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Розрахунковий струм:

$$I_{P1.1} = \frac{S_{P1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.1}} = \frac{43,78}{\sqrt{3} \cdot 380} = 66,52 \text{ А}.$$

Номинальний струм:

$$I_{H1.1} = \frac{P_{H1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.1} \cdot \cos\varphi_{1.1}} = \frac{35,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 88,63 \text{ А}.$$

Результати визначення розрахункових навантажень інших одиниць електрообладнання дільниці заносимо в табл. 2.4.

### Дільниця шліфування та полірування.

Технологічне обладнання в кількості 11 одиниць розташовано на дільниці шліфування та полірування, а на листі креслення позначені цифрами 2.1 ... 2.11. Розрахунок навантажень електрообладнання дільниці проводимо аналогічним

ЧИНОМ.

Таблиця 2.4 - Навантаження розрахункові основного виробництва

№з/п пози- ції	Назва електро- приймача	Нап- руга, В	По- туж- ність, кВт	cosφ	tgφ	Розрахункові навантаження				
						P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВ·Ар	S <sub>p</sub> , кВ·А	I <sub>p</sub> , А	I <sub>n</sub> , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Дільниця нарізання заготовок (РПІ)</b>										
1.1	Верстат для різання каменю	380	35	0,6	1,33	26,3	35,0	43,78	66,52	88,63
1.2	Верстат для різання каменю	380	55	0,8	0,75	41,3	31,0	51,64	78,46	104,46
1.3	Верстат для різання каменю	380	55	0,8	0,75	41,3	31,0	51,64	78,46	104,46
1.4	Верстат для різання каменю	380	55	0,8	0,75	41,3	31,0	51,64	78,46	104,46
1.5	Верстат обрізний для заготування каменю	380	25	0,7	1,02	18,8	19,2	26,87	40,83	54,26
1.6	Верстат обрізний мостовий автоматичний	380	15	0,8	0,75	11,3	8,5	14,14	21,48	28,49
1.7	Верстат обрізний мостовий автоматичний	380	15	0,8	0,75	11,3	8,5	14,14	21,48	28,49
1.8	Верстат обрізний мостовий автоматичний	380	15	0,8	0,75	11,3	8,5	14,14	21,48	28,49
1.9	Верстат обрізний	380	20	0,8	0,75	15,0	11,3	18,78	28,53	37,98
1.10	Верстат обрізний	380	20	0,8	0,75	15,0	11,3	18,78	28,53	37,98
1.11	Прес розколювальний для каменю	380	45	0,7	1,02	33,8	34,5	48,3	73,38	97,67
1.12	Лінія автоматична для шліфування та полірування	380	160	0,6	1,33	120	159,6	199,6 8	303,3 8	405,16
1.13	Верстат плитонарізний	380	7,5	0,6	1,33	5,6	7,5	9,36	14,22	18,99
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.14	Верстат алмазно-канатний для розпилювання	380	10,0	0,8	0,75	7,5	5,6	9,36	14,22	18,99
1.15	Верстат плитонарізний	380	45	0,7	1,02	33,8	34,5	48,3	73,38	97,67
1.16	Верстат обрізний мостовий автоматичний	380	10,0	0,8	0,75	7,8	5,9	9,78	14,86	19,0
Всього:		–	532,5	–	–	399,8	402,5	572,3	869,4 3	1158,51

Продовження таблиці 2.4

Дільниця шліфування та полірування (РП2)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2.1	Верстат для оброблювання каменю з ЧПУ	380	45	0,8	0,75	35,1	26,3	43,86	66,64	85,46
2.2	Верстат шліфувальний мостовий	380	30	0,6	1,33	23,4	31,1	38,92	59,13	75,97
2.3	Верстат шліфувальний мостовий	380	30	0,6	1,33	23,4	31,1	38,92	59,13	75,97
2.4	Верстат шліфувальний мостовий	380	30	0,6	1,33	23,4	31,1	38,92	59,13	75,97
2.5	Верстат для виготовлення профілів з каменю	380	15	0,7	1,02	11,7	11,93	16,71	25,39	32,56
2.6	Верстат для виготовлення профілів з каменю	380	15	0,7	1,02	11,7	11,93	16,71	25,39	32,56
2.7	Верстат подрібнювальний	380	15	0,7	1,02	11,7	11,93	16,71	25,39	32,56
2.8	Верстат для гідроабразивного свердління ю	380	35	0,7	1,02	27,3	27,9	39,04	59,32	75,97
2.9	Верстат гравірувальний по каменю	380	55	0,8	0,75	42,9	32,2	53,64	81,5	104,46
2.10	Верстат гравірувальний по каменю	380	10,0	0,8	0,75	7,8	5,9	9,78	14,86	19,0
2.11	Верстат для оброблювання каменю з ЧПУ	380	10,0	0,8	0,75	7,8	5,9	9,78	14,86	19,0
<b>Всього:</b>		–	290,0	–	–	226,2	227,2 9	322,9 9	490,7 4	629,48

## 2.6 Розрахунок електричного освітлення виробничих дільниць

Для освітлення дільниць виробництва з оброблення будівельних порід каменю використовуємо стельові світильники типу ГСП 04В–400–512 (IP 34) з лампами високого тиску ДРІ–400–6.

Розміри виробничих приміщень для розташування світильників:

– дільниця нарізання заготовок:

$H = 7,0$  м – висота приміщення;

$b_1 = 12$  м;  $l_1 = 72$  м – розміри дільниці;

$h_C = 1,0$  м – відстань світильника від перекриття;

$h_{II} = 6,0$  м – відстань світильника над підлогою;



$h_P = 1,0 \text{ м}$  – висота розрахункової поверхні над підлогою;

$h = h_{II} - h_P = 5,0 \text{ м}$  – розрахункова висота від світильника до розрахункової поверхні.

– діляниця шліфування та полірування:

$H = 7,0 \text{ м}$  – висота приміщення;

$b_2 = 12 \text{ м}; l_2 = 72 \text{ м}$  – розміри діляниці;

$h_C = 1,0 \text{ м}$  – відстань світильника від перекриття;

$h_{II} = 6,0 \text{ м}$  – відстань світильника над підлогою;

$h_P = 1,0 \text{ м}$  – висота поверхні над підлогою;

$h = h_{II} - h_P = 5,0 \text{ м}$  – висота від світильника до поверхні.

Згідно таблиці 4.4 [27] приймаємо таку освітленість діляниць виробництва:

$$E_1 = E_2 = 150 \text{ лк.}$$

Коефіцієнт запасу:  $K_3 = 1,5$  (вибираємо його з ряду (1,3 ... 1,8)).

Визначаємо індекси діляниць:

$$i_1 = \frac{b_1 \cdot l_1}{h(b_1 + l_1)}; \quad i_1 = \frac{12 \cdot 72}{5,0(12 + 72)} = 2,05;$$

$$i_2 = \frac{b_2 \cdot l_2}{h(b_2 + l_2)}; \quad i_2 = \frac{12 \cdot 72}{5,0(12 + 72)} = 2,05.$$

Стіни приміщень пофарбовані; підлога бетонна, конструктивне виконання світильників – з відбивачами. Коефіцієнти відбивання поверхонь приміщення [27]:  $\rho_C = 90\%$  – для стелі;  $\rho_{CT} = 30\%$  – для стін;  $\rho_{II} = 10\%$  – для підлоги. Таким чином, згідно таблиці 5.10 [27] коефіцієнт використання світильника  $\eta_1 = \eta_2 = 0,65$ .

Визначаємо необхідний світловий потік ламп для даного приміщення за формулою:

$$\Phi_1 = \frac{E_1 \cdot K_3 \cdot S_1 \cdot z}{\eta_1}; \quad \Phi_1 = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 864 \cdot 1,15}{0,65} = 343940 [\text{Лм}],$$

$$\Phi_2 = \frac{E_2 \cdot K_3 \cdot S_2 \cdot z}{\eta_2}; \quad \Phi_2 = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 864 \cdot 1,15}{0,65} = 343940 [\text{Лм}],$$

де  $S_1$  та  $S_2$  – площі діляниць, м;

$z$  – поправка на мінімальну освітленість; приймаємо  $z = 1,15$ .

З таблиці 2.15 [27] вибираємо лампи високого тиску типу ДРІ-400-6 з

паспортними характеристиками:  $P_{Л} = 400 \text{ Вт}$ ;  $U_{Н} = 220 \text{ В}$ ;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $\text{tg}\varphi = 0,62$ ;  $\Phi_{Л} = 33000 \text{ Лм}$ ;  $K_B = 0,75$ ; строк служби – 10000 год.

При встановленні на ділянках  $N_1 = 12 \text{ шт.}$  та  $N_2 = 12 \text{ шт.}$  світильників, відповідно, їх загальний потік буде рівний:

$$\Phi_{C1} = 12 \cdot 33000 = 396000 \text{ Лм}; \quad \Phi_{C2} = 12 \cdot 33000 = 396000 \text{ Лм.}$$

Згідно нормативу запас світлового потоку може знаходитись у межах  $\delta = (-10 \dots +20)\%$ . Для вибраної кількості світильників

$$\delta_1 = \frac{\Phi_{C1} - \Phi_1}{\Phi_{C1}}; \quad \delta_1 = \frac{396000 - 343940}{396000} \cdot 100\% = +13,2\%;$$

$$\delta_2 = \frac{\Phi_{C2} - \Phi_2}{\Phi_{C2}}; \quad \delta_2 = \frac{396000 - 343940}{396000} \cdot 100\% = +13,2\%;$$

Таким чином, ділянки основного виробництва освітлюватимуть 24 шт. світильників типу ГСП 04В–400–512 (ступінь захищеності - IP34) з лампами ДРІ–400–6.

Для зовнішнього освітлення території підприємства вибираємо світильники пило–вологозахищені типу РКУ 13–125–002–У1 (ступінь захищеності - IP23) з лампами ДРЛ–125 (5900 лм) в кількості 19 шт.

Номинальна потужність ламп світильників на кожній з ділянок:

$$P_{Н1-2} = N_{1-2} \cdot P_{Л} = (12+12) \cdot 0,4 = 9,6 [\text{кВт}];$$

$$P_{Н3} = N_3 \cdot P_{Л} = 19 \cdot 0,125 = 2,4 [\text{кВт}],$$

де  $P_{Л}$  - потужність відповідних ламп.

Активна розрахункова потужність:

$$P_{P1-2} = k_B \cdot P_{Н1-2} = 0,75 \cdot 9,6 = 7,20 \text{ кВт};$$

$$P_{P3} = k_B \cdot P_{Н3} = 0,75 \cdot 2,4 = 1,80 \text{ кВт},$$

де  $k_B = 0,75$ .

Реактивна розрахункова потужність ( $\cos\varphi = 0,70$ ):

$$Q_{P1-2} = P_{P1-2} \cdot \text{tg}\varphi = 7,20 \cdot 1,02 = 7,34 \text{ кВ}\cdot\text{Ар};$$

$$Q_{P3} = P_{P3} \cdot \text{tg}\varphi = 1,80 \cdot 1,02 = 1,84 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_{P1-2} = \sqrt{P_{P1-2}^2 + Q_{P1-2}^2}; \quad S_{P1-2} = \sqrt{7,20^2 + 7,34^2} = 10,28 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{P3} = \sqrt{P_{P3}^2 + Q_{P3}^2}; \quad S_{P3} = \sqrt{1,80^2 + 1,84^2} = 2,57 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Струм розрахунковий:

$$I_{P1-2} = \frac{S_{P1-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1}}; \quad I_{P1-2} = \frac{10,28}{\sqrt{3} \cdot 220} = 26,98 \text{ A};$$

$$I_{P3} = \frac{S_{P3}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2}}; \quad I_{P3} = \frac{2,57}{\sqrt{3} \cdot 220} = 6,75 \text{ A}.$$

Струм номінальний:

$$I_{H1-2} = \frac{P_{H1-2}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1} \cdot \cos \varphi_1}; \quad I_{H1-2} = \frac{9,6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,70} = 36,0 \text{ A};$$

$$I_{H3} = \frac{P_{H3}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2} \cdot \cos \varphi_2}; \quad I_{H3} = \frac{2,4}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,70} = 9,0 \text{ A}.$$

Для керування освітленням на виробничих ділянках і на території підприємства біля входу у приміщення встановлюємо два щитки освітлення (ЩО1 і ЩО2, відповідно) (див. лист креслення).

## 2.7 Розрахунок навантаження щитків освітлення

Сумарна активна потужність освітлення виробництва:

$$P_{O\Sigma} = 4,8 + 4,8 = 9,60 \text{ кВт}.$$

Сумарна активна потужність освітлення території:

$$P_{P\Sigma} = 19 \cdot 0,125 = 2,40 \text{ кВт}.$$

Загальна активна потужність освітлення:

$$P_{\Sigma} = 9,60 + 2,40 = 12,0 \text{ кВт}.$$

Розподіляємо активну потужність між трьома фазами:

– фаза "А" (ЕП (осв): ділянка заготовок):  $P_A = 4,80 \text{ кВт}$ ;

– фаза "В" (ЕП (осв): ділянка шліфування):  $P_B = 4,80 \text{ кВт}$ ;

– фаза "С" (ЕП (осв): територія):  $P_C = 2,40 \text{ кВт}$ .

Оскільки фаза "А" («В») є найбільш навантаженою, розраховуємо навантаження з освітлення саме для цієї фази:

$$P_{OP} = 4,80 \cdot 3 = 14,4 \text{ кВт} \approx 15,0 \text{ кВт}.$$

## 2.8 Розрахунок потужності розподільних пристроїв

Розраховані потужності електроприймачів розподільних пристроїв та світильників зводимо у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Розрахункові навантаження розподільних пристроїв

№з/п пози- ції	Назва електро- приймача	Нап- руга, В	Потуж- ність, кВт	cosφ	tgφ	Розрахункові навантаження				
						P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВ·Ар	S <sub>p</sub> , кВ·А	I <sub>p</sub> , А	I <sub>n</sub> , А
РП1	Розподільний пристрій 1	380	532,5	–	–	399,8	402,5	572,3	869,43	1158,51
РП2	Розподільний пристрій 2	380	290,0	–	–	226,2	227,29	322,99	490,74	629,48
ЩО1 (о)	Щиток освітлення (світильники)	220	9,60	–	–	7,20	7,34	10,28	26,98	36,0
ЩО2 (о)	Щиток освітлення (світильники)	220	2,40	–	–	1,80	1,84	2,57	6,75	9,0
РУ– 0,4	Розподільний пристрій КТП	380	829,3	–	–	631,28	634,38	902,31	2280,9	1813,14

## 2.9 Навантаження трансформатора електромережі

Оскільки обладнання виробництва з оброблення будівельних порід каменю належить до II-ї категорії з електроспоживання, передбачаємо двотрансформаторну схему електроживлення (див. лист креслення).

Розрахуємо потужність намічених комірок РУ 0,4кВ двох трансформаторів з врахуванням потужності повної розрахункової електроприймачів, а також освітлювального навантаження.

Розрахункова активна потужність електроприймачів та освітлення:

$$P_{P_{\Sigma}} = P_{P_E} + P_{P_{O1-2}} + P_{P_{O3}}; \quad P_{P_{\Sigma}} = 399,8 + 226,2 + 3,60 + 1,80 = 631,28 [\text{кВт}].$$

Розрахункова реактивна потужність електроприймачів та освітлення:

$$Q_{R_{\Sigma}} = Q_{R_E} + Q_{R_{O1-2}} + Q_{R_{O3}}; \quad Q_{R_{\Sigma}} = 402,5 + 227,29 + 3,67 + 1,12 = 634,38 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

Розрахункова повна потужність основного виробництва:

$$S_P = \sqrt{P_{R_{\Sigma}}^2 + Q_{R_{\Sigma}}^2}; \quad S_P = \sqrt{631,28^2 + 634,38^2} = 902,31 \approx 910 [\text{кВ} \cdot \text{А}].$$

На ЗТП–232: 1260–10/0,4 кВ та ЗТП–233: 800–10/0,4 кВ з трансформаторами типу ТМЗ 2х630 та 2х400 кВ·А, заживлених від ПС 4000–35/10 кВ «Головинський кар'єр», виділяємо по одній комірці для електропостачання виробництва з

оброблення каменю ПрАТ «ГНК «Граніт»» потужністю:

$$S_{ЗТП1к} = 1,2 \cdot S_{РП1}; \quad S_{ЗТП1к} = 1,2 \cdot 580 = 696 \approx 700 [кВ \cdot А];$$

$$S_{ЗТП2к} = 1,2 \cdot S_{РП2}; \quad S_{ЗТП2к} = 1,2 \cdot 330 = 396 \approx 400 [кВ \cdot А].$$

та струмовою пропускною здатністю

$$I_{ЗТП1к} = 1,2 \cdot I_{РП1}; \quad I_{ЗТП1к} = 1,2 \cdot 1158,51 = 1390,2 \approx 1400 [А];$$

$$I_{ЗТП2к} = 1,2 \cdot I_{РП2}; \quad I_{ЗТП2к} = 1,2 \cdot 629,48 = 759,4 \approx 760 [А].$$

## 2.10 Розрахунок січення кабельно-провідникової продукції

Для січення провідників враховуємо рекомендації ПУЕ [23] щодо коефіцієнта зменшення номінального струму  $k_H = 0,8$  для врахуванням доп. нагріву провідників, що прокладені у металічних трубах. Таким чином, переріз проводів та кабелів, їх марка, а також довжина подані у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Вибір кабельно–провідникової продукції

№ з/п електро-приймача	Ном. струм $I_{ном}, А$	Доп. струм $I_{доп}, А$	Січення провідника $S, мм^2$	Довжина лінії $L, м$	Марка кабелю, проводу
ЕП1.1	88,63	92	35	18	ПсВГ 3х35+1×16
ЕП1.2 – 1.3 – 1.4	104,46	120	50	12	ПсВГ 3х50+1×25
ЕП1.5	54,26	60	16,0	16	ПсВГ 3х16+1×10
ЕП1.6 – 1.7 – 1.8	28,5	32	6,0	10	ПВ 3–6,0–0,66
ЕП1.9 – 1.10	38,0	40	10,0	16	ПВ 3–10,0–0,66

Продовження таблиці 2.6

ЕП1.11	97,7	92	35	10	<i>ПсВГ 3x35+1x16</i>
ЕП1.12	405,2	416	95	25	<i>ПсВГ 3x95+1x35</i>
ЕП1.13 – 1.14	19,0	20	2,5	24	<i>ПВ 3–2,5–0,66</i>
ЕП1.15	97,7	92	35	18	<i>ПсВГ 3x35+1x16</i>
ЕП 1.16	19,0	20	2,5	20	<i>ПВ 3–2,5–0,66</i>
РУ 0,4 (КТП1) – РП1 (ЕП1.1...ЕП1.16)	1158,5	1120	500	115	<i>АВБбШв3x500+1x120</i>
ЕП2.1	85,5	92	35	18	<i>ПсВГ 3x35+1x16</i>
ЕП2.2 – 2.3 – 2.4	76,0	72	25	14	<i>ПсВГ 3x25+1x16</i>
ЕП2.5 – 2.6 – 2.7	32,6	40	10	14	<i>ПВ 3–10,0–0,66</i>
ЕП2.8	76,0	72	25	20	<i>ПсВГ 3x25+1x16</i>
ЕП2.9	104,5	120	50	22	<i>ПсВГ 3x50+1x25</i>
ЕП2.10 – 2.11	19,0	20	2,5	20	<i>ПВ 3–2,5–0,66</i>
РУ 0,4 (КТП2) РП2 (ЕП2.1...ЕП2.11)	629,5	604	185	65	<i>АВБбШв3x185+1x50</i>
ЕПс1 (св-ки вн. уст-ки - 12+12)	9,0 7,5	12,8	1,0	200 150	<i>ПВ 3–1,0–0,66</i>
ЕПс2 (св-ки зовн. уст-ки - 19)	7,4	12,8	1,0	130	<i>ПВ 3–1,0–0,66</i>
ВРП – ЩО (ЕПс1 - ЕПс2)	9,0+7,5+1, 2+7,4=25,2	32	6,0	12	<i>ПВ 3–6,0–0,66</i>
РУ 0,4 (КТП1) ВРП - ЩО	120	120	50	50	<i>АВБбШв 3x50+1x25</i>

## 2.11 Перелік кабелів і проводів

Провід з мідною жилою в ПВХ–оболонці, підвищеної гнучкості марки ПВЗ–1,0–0,66 ГОСТ 6323–79 – 440 м.

Те ж марки ПВЗ–1,5–0,66 ГОСТ 6323–79 – 120 м.

Те ж марки ПВЗ–2,5–0,66 ГОСТ 6323–79 – 90 м.

Те ж марки ПВЗ–4,0–0,66 ГОСТ 6323–79 – 210 м.

Те ж марки ПВЗ–6,0–0,66 ГОСТ 6323–79 – 80 м.

Те ж марки ПВЗ–10,0–0,66 ГОСТ 6323–79 – 180 м.

Кабель з ПВХ–самозатухаючою ізоляцією та ПВХ–оболонкою, без захисної броні марки ПсВГ3x16+1x10 ГОСТ 16442–80 – 50 м.

Те ж марки ПсВГ3x25+1x16 ГОСТ 16442–80 – 70 м.

Те ж марки ПсВГ3x35+1x16 ГОСТ 16442–80 – 30 м.

Те ж марки ПсВГ3x50+1x25 ГОСТ 16442–80 – 60 м.

Те ж марки ПсВГ3х70+1х25 ГОСТ 16442–80 – 30 м.

Те ж марки ПсВГ3х95+1х35 ГОСТ 16442–80 – 70 м.

Кабель силовий броньований з ПВХ–ізоляцією та шлангом марки АВБбШв3х50+1х25 ГОСТ 16442–80 – 80 м.

Те ж марки АВБбШв3х185+1х50 ГОСТ 16442–80 – 165 м.

Те ж марки АВБбШв3х500+1х120 ГОСТ 16442–80 – 115 м.

## **2.12 Додаткові втрати потужності та напруги як об'єкт енергоефективних досліджень електромережі промислового підприємства**

Найбільш перспективним засобом зменшення додаткових втрат потужності та напруги в електромережах промислових підприємств є компенсація реактивної потужності (КРП) активно-індуктивних навантажень за допомогою косинусних конденсаторів та конденсаторних установок (КУ).

Згідно досліджень автора Бедерака Я. С. в [2]: «... Для кожного конкретного підприємства зі своїм режимом роботи, заданим значенням економічного еквівалента реактивної потужності (ЕЕРП), своєю конфігурацією і протяжністю кабельної мережі, своїм значенням коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$ , наявністю місця для встановлення КУ і резервних джерел КРП місце установки, потужність і комплектація пристроїв КРП вибираються на підставі техніко-економічного розрахунку».

### **2.12.1 Дослідження схемо-технічного рішення під'єднання установки КРП на стороні напруги 6 кВ головної понижувальної підстанції.**

Досліджується схема однолінійна електричних з'єднань мережі підприємства згідно рис. 2.1 з установкою компенсації реактивної потужності, під'єднаною на стороні середньої напруги 6 кВ головної понижувальної підстанції (ГПП).

У представленій мережі навантаженням є трифазні асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором, у яких порівняно низький коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$  ( $\cos\varphi = 0,7$  або  $tg\varphi = 1$ ). Для спрощення розрахунку

прийmemo, що навантаження кожної з 8-и ліній однакові і рівні  $S = P + jQ = 200 + j200 [кВ \cdot А]$ . В розрахунку втрати потужності і напруги у короткій лінії від трансформаторів ТП-3, ..., ТП-10 до щитка регульовального РЩ-1 не враховуються. Номінальну напругу в розподільчій мережі приймаємо рівною  $U_{ном} = 6 кВ$ . Графік навантаження неперервний.

Сумарні втрати активної і реактивної потужності  $\Delta P_{сум}$  і  $\Delta Q_{сум}$  в мережі рівні:

$$\Delta P_{сум} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \text{ та } \Delta Q_{сум} = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i,$$

де  $\Delta P_i$  і  $\Delta Q_i$ - втрати активної та реактивної потужності відповідно на  $i$ -й ділянці мережі (у лінії або трансформаторі).

Сумарні втрати напруги на радіальній ділянці мережі  $\Delta U_{сум}$  рівні:

$$\Delta U_{сум} = \sum_{i=1}^n \Delta U_i,$$

де  $\Delta U_i$ - втрати напруги на  $i$ -й ділянці мережі.

В електромережі на рис. 2.1 КУ потужністю  $1600 кВ \cdot Ар$  під'єднана до 1-ї секції шин (1 с. ш.) 6 кВ ГПП1.

Втрати потужності і напруги у силовому трансформаторі ТМ-1000/6 розраховуються згідно формул, наведених нижче. Для трансформатора кожної з 8-и ліній з постійним незмінним графіком навантаження та з коефіцієнтом завантаження  $K_3$  трансформатора маємо:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{ном}}; K_3 = \frac{\sqrt{200^2 + 200^2}}{1000} = 0,28;$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{к.з.}; \Delta P_1 = 2,44 + 0,28^2 \cdot 12,2 = 3,4 [кВт];$$

$$\Delta Q_1 = S_{ном} \cdot \frac{I_{xx}}{100} + S_{ном} \cdot \frac{U_{кз}}{100} K_3^2;$$

$$\Delta Q_1 = 1000 \cdot \frac{1,4}{100} + 1000 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot 0,28^2 = 18,3 [кВ \cdot Ар].$$



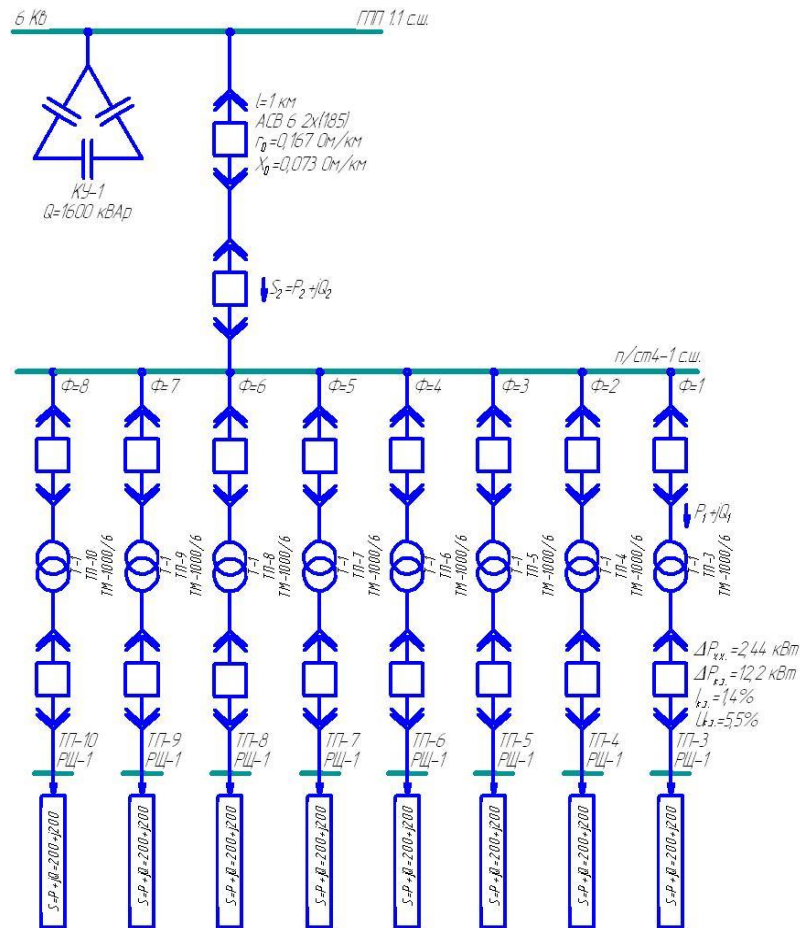


Рисунок 2.1 - Схема однолінійна електричної мережі з конденсаторною установкою на шині 6 кВ ГПП

Тоді для 8-и трансформаторів маємо:

$$\Delta P_{8Tr} = 8 \cdot 3,4 = 27,2 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_{8Tr} = 8 \cdot 18,3 = 146,5 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

В кінці ділянки ПС 4–Т-1 навантаження  $S_1$  складає:

$$\dot{S}_1 = \dot{S} + \Delta P_1 + j\Delta Q_1;$$

$$\dot{S}_1 = 200 + j200 + 3,4 + j18,3 = 203,4 + j218,3 \text{ [кВ} \cdot \text{А]}.$$

Втрати потужності на ділянці мережі ПС 4–Т-1 складуть:

$$\Delta P_{ПС4-Т-1} = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{ном}^2} \cdot R; \quad R = r_0 \cdot l,$$

де  $r_0$  - активний опір 1 км кабелю, Ом/км;

$l$  - довжина ділянки, км.

$$\Delta Q_{ПС4-Т-1} = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{ном}^2} \cdot X; \quad X = x_0 \cdot l,$$

де  $x_0$  - реактивний опір 1 км кабелю, Ом/км;

$l$  - довжина ділянки, км;

$$\Delta P_{ПС4-Т-1} = \frac{203,4^2}{6^2} \cdot 0,167 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{ПС4-Т-1} = \frac{203,4^2 + 218,3^2}{6^2} \cdot 0,073 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Для 8-и ліній навантажень втрати у лініях складуть:

$$\Delta P_8 = 8 \cdot 0,2 = 1,6 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_8 = 8 \cdot 0,09 = 0,72 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Тоді в кінці ділянки лінії мережі ГПП1-ПС4 навантаження  $\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2$  складатиме:

$$\dot{S}_2 = 8(200 + j200) + 27,2 + j146,5 + 1,6 + j0,72 = 1628,8 + j1747,2 \text{ [кВ} \cdot \text{А]}.$$

Втрати у лінії ГПП1-ПС4 рівні:

$$\Delta P = \frac{1628,8^2 + 1747,2^2}{6^2} \cdot 0,17 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 13,47 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = \frac{1628,8^2 + 1747,2^2}{6^2} \cdot 0,073 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 5,78 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Сумарні втрати потужності у мережі даної конфігурації складають:

$$\Delta P_{\text{сум}} = 27,2 + 1,6 + 13,47 = 42,27 \text{ кВт} \text{ або } 2,6\% \text{ від } P_2;$$

$$\Delta Q_{\text{сум}} = 146,5 + 0,72 + 5,78 = 153 \text{ кВ} \cdot \text{Ар} \text{ або } 8,76\% \text{ від } Q_2.$$

Визначимо втрати напруги у мережі згідно рис. 2.1.

Втрати напруги у трансформаторі ТМ-1000/6 складають:

$$\Delta U_{1Tp} = \frac{P \cdot R_{Tp} + Q \cdot X_{Tp}}{U_{ном}}; \quad R_{Tp} = \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} \cdot \Delta P_{к.з.}; \quad X_{Tp} = \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} \cdot \sqrt{\frac{U_{к.з.}^2}{1000} - \frac{\Delta P_{к.з.}^2}{S_{ном}^2}};$$

$$\Delta U_{1Tp} = 200 \cdot (6/1000)^2 \cdot 12,2 + 200 \cdot (6/1000)^2 \cdot \sqrt{\frac{5,5^2}{1000^2} - \frac{12,2^2}{1000^2}} = 0,088 \text{ В}.$$

Втрата напруги на ділянці ПС4-Т-1 складає:

$$\Delta U = \frac{203,4 \cdot 0,167 \cdot 0,5 + 218,3 \cdot 0,073 \cdot 0,5}{6} = 4,1 \text{ В}.$$

Втрата напруги від ГПП1 (1 с.ш.) до ПС4 (1 с.ш.) складає:

$$\Delta U = \frac{1628,8 \cdot 0,167 \cdot 0,5 + 1747,2 \cdot 0,073 \cdot 0,5}{6} = 33,7 \text{ В}.$$

Сумарні втрати напруги від ГПП1 (1с.ш.) до РЩ1 складуть

$\Delta U_{\text{сум}} = 0,088 + 4,15 + 33,7 = 37,88 \text{ В}$  або 0,63% від номінальної напруги 6 кВ.

**Висновки щодо результатів досліджень.** При установці батареї конденсаторів КРП на стороні напруги 6 кВ ГПП сумарні втрати активної й реактивної потужності та напруги складають менше 3%, 9% й 1%, відповідно.

### **2.12.2 Дослідження схемо-технічного рішення під'єднання установок КРП на стороні низької напруги 0,4 кВ розподільчої мережі.**

Досліджується схема однолінійна електричних з'єднань електромережі підприємства згідно рис. 2.2 з установками КРП, під'єднаними на стороні низької напруги 0,4 кВ розподільчої мережі (РЩ-1).

Проведемо розрахунок втрат потужності і напруги у випадку, якщо у мережі встановлені конденсаторні установки КРП на шинах РЩ-1 понижувальних трансформаторів споживачів ТП-3 ... ТП-10 потужністю по 200 кВ·Ар кожна.

Реактивна потужність, яка протікає через трансформатори згідно схеми на рис. 2.2 рівна нулю. Прийmemo, що навантаження незмінне в часі.

Втрати потужності в одному трансформаторі типу ТМ-1000/6 з врахуванням його коефіцієнта завантаження  $K_s = 200 / 1000 = 0,2$  складуть:

$$\Delta P_{1Tp} = 2,44 \cdot 0,2^2 \cdot 12,2 = 2,93 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{1Tp} = 1000 \cdot 1,4 / 100 + 1000 \cdot 5,5 / 100 \cdot 0,2^2 = 16,2 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Тоді для 8-ми трансформаторів матимемо:

$$\Delta P_{8Tp} = 8 \cdot 2,93 = 23,44 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_{8Tp} = 8 \cdot 16,2 = 129,6 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

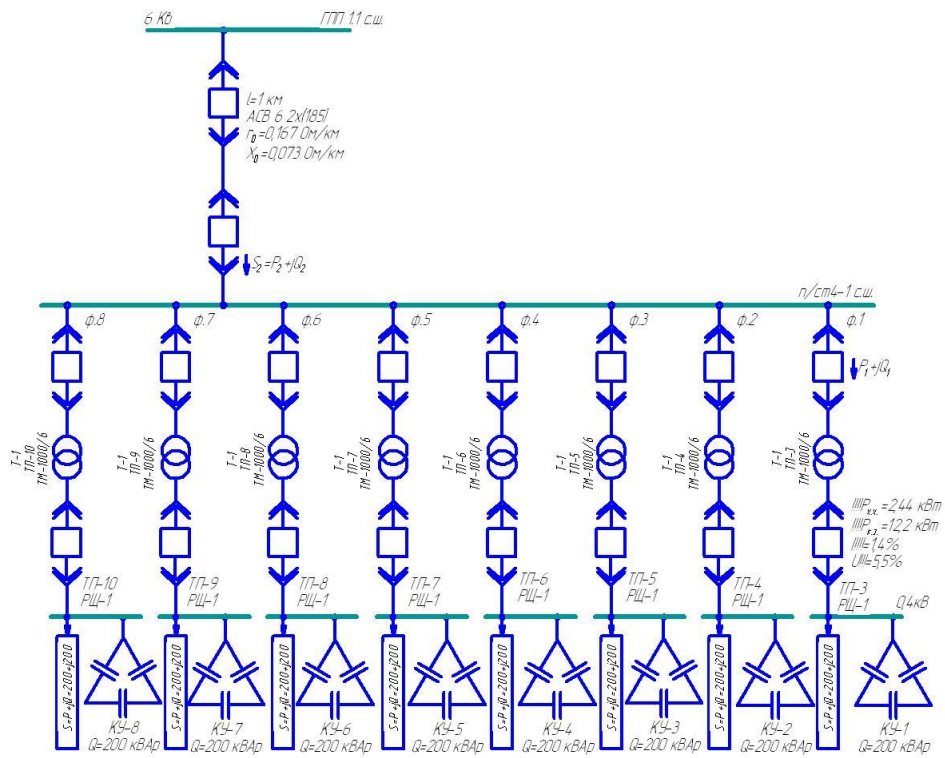


Рисунок 2.2 - Схема однолінійна електричної мережі з конденсаторними установками на розподільчих шинах споживачів (РЦ-1)

Навантаження на кінці ділянки лінії мережі ПС4-Тр-1  $\dot{S}_1 = P_1 + jQ_1$  складатиме:

$$\dot{S}_1 = 200 + 2,93 + j16,2 = 202,93 + j16,2 \text{ [кВ} \cdot \text{А]}.$$

Тоді

$$\Delta P_{ПС4-Тр-1} = \frac{202,93^2 + 16,2^2}{6^2} \cdot 0,017 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{ПС4-Тр-1} = \frac{202,93^2 + 16,2^2}{6^2} \cdot 0,073 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,042 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Для 8-ми ліній:

$$\Delta P_8 = 8 \cdot 0,09 = 0,72 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_8 = 8 \cdot 0,042 = 0,34 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Навантаження у кінці ділянки ГПП1-ПС4  $\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2$  складатиме:

$$P_2 = 1600 + 23,44 + 0,72 = 1624,161 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 0 + 129,6 + 0,34 = 129,94 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Втрати на ділянці ГПП1-ПС4 складатимуть:

$$\Delta P = \frac{1624,2^2 + 129,94^2}{6^2} \cdot 0,17 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 6,27 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = \frac{1624,2^2 + 129,94^2}{6^2} \cdot 0,073 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2,69 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Сумарні втрати потужності в електромережі підприємства згідно рис. 2.2 складатимуть:

$$\Delta P_{\text{сум}} = 23,44 + 0,72 + 6,27 = 30,43 \text{ кВт} \text{ або } 1,87\% \text{ від значення } P_2$$

та

$\Delta Q_{\text{сум}} = 129,6 + 0,34 + 2,69 = 132,63 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}$  або 2,1 % від значення  $(\Delta Q_{\text{сум}} - Q_2)$ , тобто сумарні втрати реактивної потужності визначаються переважно втратами в трансформаторах.

Різниця сумарних втрат потужності у мережі, представлений на рис. 2.1, де реактивна потужність не скомпенсована в розподільчій мережі, і в мережі, представлений на рис. 2.2, де реактивна потужність скомпенсована в розподільчій мережі, буде рівна таким додатковим втратам активної та реактивної потужності:

$$\Delta P_{\text{дод}} = (\Delta P_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.1} - \Delta P_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.2}).$$

Тоді

$$\Delta P_{\text{дод}} = 42,27 - 30,49 = 11,78 \text{ кВт} \text{ або } 27,8\% \text{ від } \Delta P_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.1,}$$

$$\text{або } 38,6\% \text{ від } \Delta P_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.2,}$$

або 0,72% від потужності  $P_2$  згідно рис. 2.2;

$$\Delta Q_{\text{дод}} = (\Delta Q_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.1} - \Delta Q_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.2}).$$

Тоді

$$\Delta Q_{\text{дод}} = 153 - 132,63 = 20,37 \text{ кВ} \cdot \text{Ар} \text{ або } 13,3\% \text{ від } \Delta Q_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.1,}$$

$$\text{або } 15,3\% \text{ від } \Delta Q_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.2,}$$

або 9,1% від потужності  $Q_2$  згідно рис. 2.2.

Визначимо втрати напруги у мережі згідно рис. 2.2.

Втрата напруги в одному трансформаторі ТМ-1000/6:

$$\Delta U_{\text{тп}} = 200 \cdot \left( \frac{6}{1000} \right)^2 \cdot 12,2 = 0,015 \text{ В}.$$

Втрата напруги на ділянці мережі ПС4-Тр-1:

$$\Delta U_{ПС4-Тр-1} = \frac{202,93 \cdot 0,167 \cdot 0,5 + 16,2 \cdot 0,071 \cdot 0,5}{6} = 2,92 \text{ В}.$$

Втрата напруги на ділянці мережі ГПП–ПС4:

$$\Delta U_{ГПП-ПС4} = \frac{1624,22 \cdot 0,167 \cdot 0,5 + 129,94 \cdot 0,073 \cdot 0,5}{6} = 23,39 \text{ В}.$$

Сумарна втрата напруги від шини 1 с.ш. ГПП до РЩ1 складає:  
 $\Delta U_{\text{сум}} = 23,39 + 0,05 + 2,92 = 26,33 \text{ В}$  або 0,44% від номінальної напруги 6 кВ.

Додаткові втрати напруги, зумовлені передачею електромережею підприємства реактивної потужності, складуть:

$$\Delta U_{\text{доп}} = (\Delta U_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.1} - \Delta U_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.2}).$$

Тоді

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{доп}} &= 37,94 - 26,33 = 11,61 \text{ В} \text{ або } 30,6\% \text{ від } \Delta U_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.1,} \\ &\text{або } 44,0\% \text{ від } \Delta U_{\text{сум}} \text{ згідно рис. 2.2,} \\ &\text{або } 0,19\% \text{ від } \Delta U_{\text{ном}}. \end{aligned}$$

**Висновки щодо результатів досліджень.** При установці батарей конденсаторів КРП на стороні напруги 0,4 кВ понижувальних трансформаторів з повною компенсацією індуктивних реактивних навантажень сумарні втрати активної й реактивної потужності та втрати напруги внаслідок передачі реактивної потужності електромережею підприємства складають не більше 2%, 3% й 0,5%, відповідно.

### 2.13 Висновки до розділу

1. Визначені розрахункові навантаження виробничого обладнання та проведений розрахунок потужності розподільних пристроїв і силового трансформатора.

2. Проведений розрахунок січення кабельно-провідникової продукції та сформований кабельний журнал.

3. Проведений розрахунок світильників для виробництва та території підприємства. При виборі світильників внутрішньої установки врахований їх клас

захисту, зважаючи на запиленість виробничої атмосфери.

4. Проведений аналіз схем електропостачання підприємства з установками КРП на сторонах високої та низької напруги розподільчої мережі з повною компенсацією реактивних навантажень споживачів.

5. Проведені розрахунки схеми з компенсацією реактивної потужності на низькій напрузі показують, що сума додаткових втрат потужності та напруги менша, ніж на високій напрузі.

6. Досліджено, що некомпенсована реактивна потужність від роботи трансформаторів у недовантаженому режимі повинна бути скомпенсована високовольтною конденсаторною установкою на стороні напруги 6(10) кВ.

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Струми кіл навантаження максимальні трансформатора живлення електромережі

Розрахунок в іменованих од. для струмів короткого замикання (к. з.) в мережі вищої напруги ( $U_n = 10 \text{ кВ}$ ).

Розрахункова схема електромережі підприємства (див. рис. 3.1):

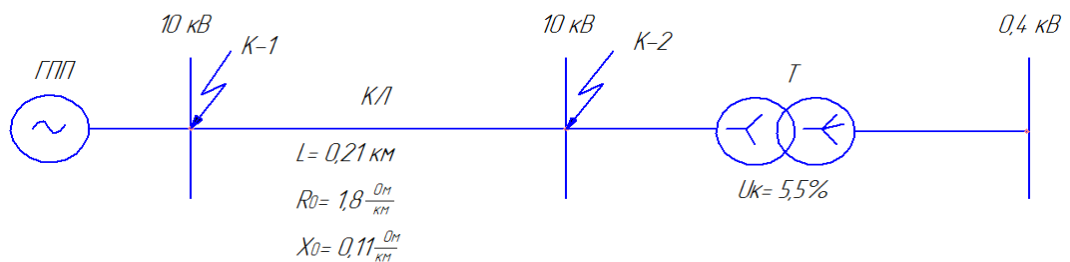


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема електромережі напругою 10 кВ

Схема заміщення електромережі (див. рис. 3.2):

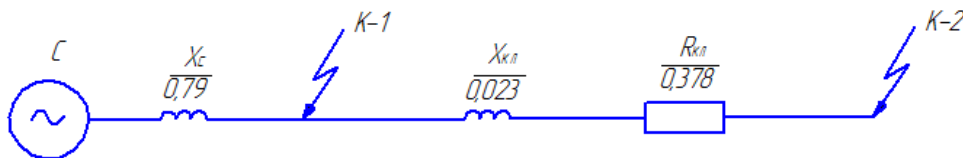


Рисунок 3.2 - Схема заміщення електромережі напругою 10 кВ

Потужність джерела живлення:

$$S_c = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_\infty \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (3.1)$$

де  $U_n = 10 \text{ кВ}$  - ном. напруга електромережі;

$I_\infty = 8,1 \text{ кА}$  - струм трифазного к.з. на шинах головної понижувальної підстанції (ГПП).

Отримаємо:

$$S_c = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 8,1 = 140,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Опір на стороні ПС 10 кВ:

$$x_c = \frac{U_{cp}^2}{S_c} = \frac{10,5^2}{140,1} = 0,79 \text{ Ом}.$$



Для схеми заміщення опори елементів:

$$r_{кл} = r_0 \cdot l [Ом];$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot l [Ом],$$

де  $r_0, x_0$  - величина пит. активних та індуктивних опорів кабельної лінії довжиною  $l = 0,21$  км.

Маємо:

$$r_{кл} = 1,8 \cdot 0,21 = 0,378 \text{ Ом};$$

$$x_{кл} = 0,11 \cdot 0,21 = 0,023 \text{ Ом}.$$

Оскільки струм к. з. в точці К-1 рівний:  $I_{\infty 1} = 8,1 \text{ кА}$ , то перехідний струм к.з. також рівний:  $I_1'' = I_{\infty 1} = 8,1 \text{ кА}$ .

Потужність струму к. з. в точці К-1:

$$S_{кз1} = S_c = 140,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Значення ударного струму к.з. в точці К-1:

$$i_{y1} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_1''; \quad i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 8,1 = 22,3 \text{ кА},$$

де  $K_y = f\left(\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}\right)$  – ударний коефіцієнт, визначається за рис. 5-10 [9].

Розрахунок для струму короткого замикання в точці К-2.

Опір сумарний до розрахункової точки к.з.:

$$r_{\Sigma 2} = r_{кл} = 0,378 \text{ Ом};$$

$$x_{\Sigma 2} = x_c + x_{кл}; \quad x_{\Sigma 2} = 0,79 + 0,023 = 0,813 \text{ Ом};$$

$$z_{\Sigma 2} = \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2}; \quad z_{\Sigma 2} = \sqrt{0,378^2 + 0,813^2} = 0,9 \text{ Ом}.$$

Величина струму трифазного к.з. в розрахунковій точці:

$$I_{\infty 2} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_{\infty 2}}; \quad I_{\infty 2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,9} = 6,42 \text{ кА};$$

$$I_2'' = I_{\infty 2} = 6,42 \text{ кА};$$

$$i_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_2''; \quad i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,42 = 16,2 \text{ кА}.$$

Потужність струму к. з. в точці К-2:

$$S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\infty 2}; \quad S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 6,42 = 111 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Визначаємо розрахункові струми к. з. в електромережі 0,4 кВ підприємства.

Складаємо розрахункову схему електромережі підприємства (див. рис. 3.3) та схему заміщення електромережі (див. рис. 3.4).

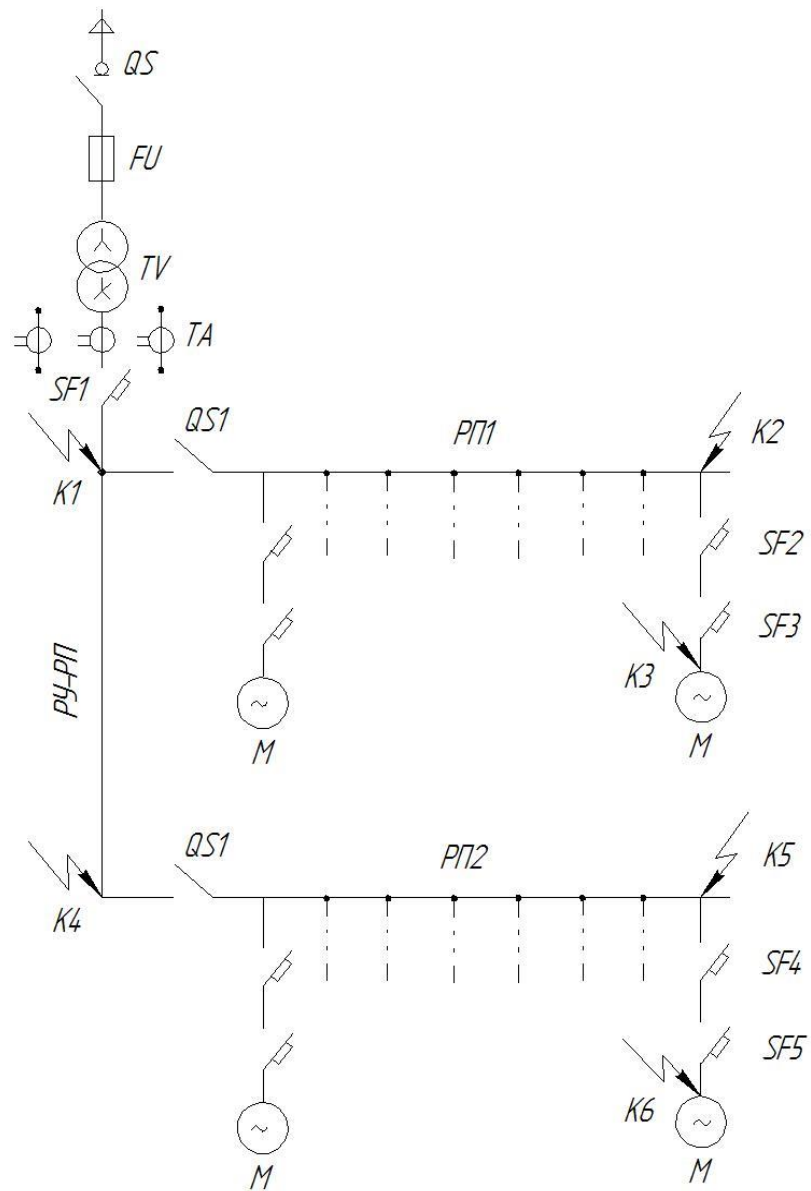


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема струмів к.з. електромережі 0,4 кВ

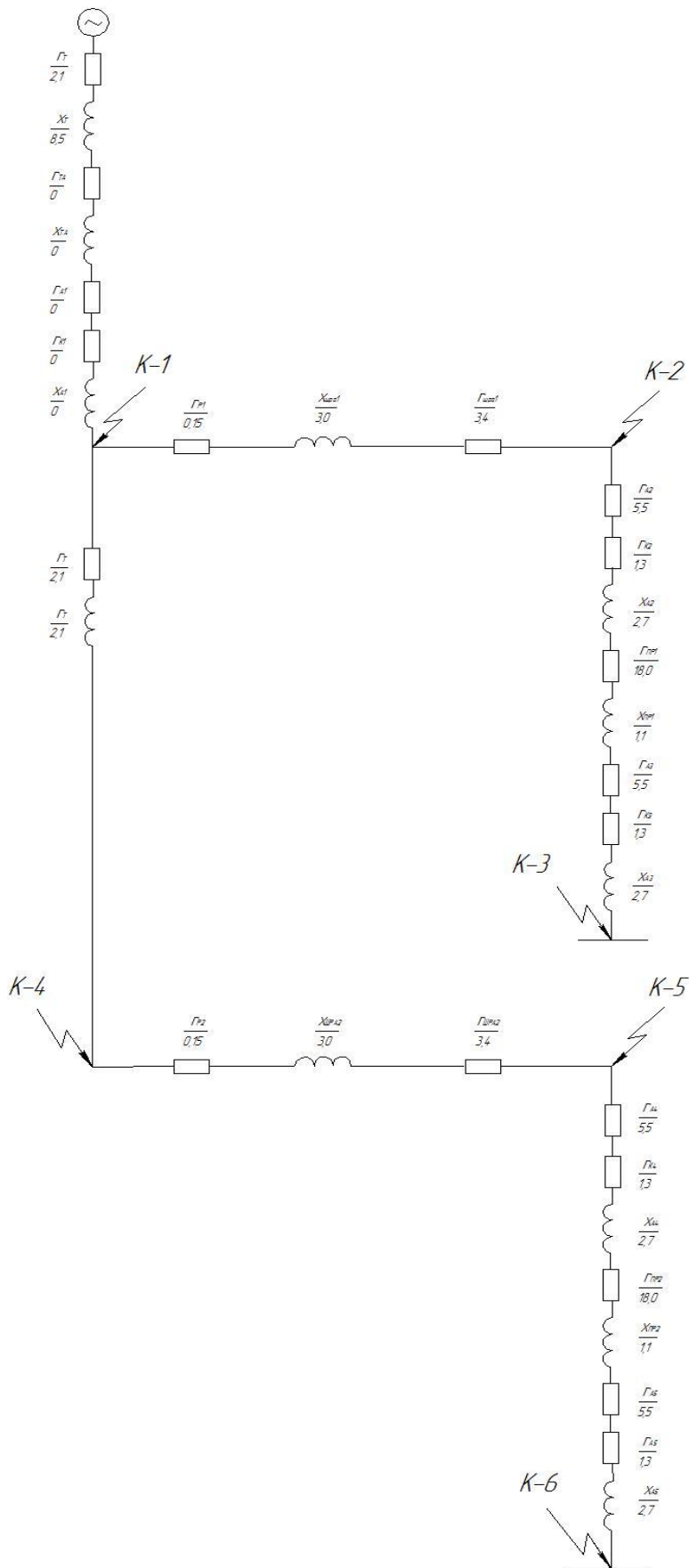


Рисунок 3.4 - Схема заміщення для розрахунку струмів к.з. в електромережі 0,4 кВ

Знаходимо опори елементів схеми заміщення:

$$r_T = 2,1 \text{ мОм};$$

$$r_{A2} = 5,5 \text{ мОм};$$

$$X_{A4} = 2,7 \text{ мОм};$$

$$\begin{array}{lll}
x_T = 8,5 \text{ мОм}; & r_{K2} = 1,3 \text{ мОм}; & r_{A5} = 5,5 \text{ мОм}; \\
r_{TA} = 0 \text{ мОм}; & x_{A2} = 2,7 \text{ мОм}; & r_{K5} = 1,3 \text{ мОм}; \\
x_{TA} = 0 \text{ мОм}; & r_{K3} = 1,3 \text{ мОм}; & x_{A5} = 2,7 \text{ мОм}; \\
r_{A1} = 0 \text{ мОм}; & x_{A3} = 2,7 \text{ мОм}; & \\
r_{K1} = 0 \text{ мОм}; & r_{P2} = 0,15 \text{ мОм}; & \\
x_{A1} = 0 \text{ мОм}; & r_{A4} = 5,5 \text{ мОм}; & \\
r_{P1} = 0,15 \text{ мОм}; & r_{K4} = 1,3 \text{ мОм}; &
\end{array}$$

Опори вище приведених елементів схеми заміщення вибрані з табл. 9.1 [12].

Опори ліній:

$$\begin{array}{l}
r_{PI1} = r_o \cdot l; \quad r_{PI1} = 0,085 \cdot 40 = 3,4 \text{ мОм}; \\
x_{PI1} = x_o \cdot l; \quad x_{PI1} = 0,075 \cdot 40 = 3,0 \text{ мОм}; \\
r_{PI2} = r_o \cdot l; \quad r_{PI2} = 0,085 \cdot 40 = 3,4 \text{ мОм}; \\
x_{PI2} = x_o \cdot l; \quad x_{PI2} = 0,075 \cdot 40 = 3,0 \text{ мОм}; \\
r_{PY-PI} = r_o \cdot l; \quad r_{PY-PI} = 0,031 \cdot 40 = 1,24 \text{ мОм}; \\
x_{PY-PI} = x_o \cdot l; \quad x_{PY-PI} = 0,017 \cdot 40 = 0,68 \text{ мОм}; \\
r_{np1} = r_o \cdot l; \quad r_{np1} = 1,8 \cdot 10 = 18 \text{ мОм}; \\
x_{np1} = x_o \cdot l; \quad x_{np1} = 0,11 \cdot 10 = 1,1 \text{ мОм}; \\
r_{np2} = r_o \cdot l; \quad r_{np2} = 1,8 \cdot 10 = 18 \text{ мОм}; \\
x_{np2} = x_o \cdot l; \quad x_{np2} = 0,11 \cdot 10 = 1,1 \text{ мОм},
\end{array}$$

де  $x_o, r_o$  - питомі індуктивності та активні опори лінії,  $\text{Ом/км}$  (табл. 7.3, 7.4, 7.7 [12]);

$l$  - довжина лінії,  $\text{км}$ .

Знаходимо значення сумарних опорів до точок к.з.  $r_\Sigma, x_\Sigma, z_\Sigma$ .

Знаходимо значення трифазного струму к.з. у точках, відмічених на схемі заміщення:

$$I_\infty^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_\Sigma} [\text{кА}]; \dots I'' = I_\infty^{(3)}, \quad (3.2)$$

де  $U_H = 380 \text{ В}$  - номінальна напруга мережі.

Знаходимо значення ударного струму короткого замикання:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I'' \text{ [кА]}. \quad (3.3)$$

Знаходимо потужність короткого замикання:

$$S_{к.з.} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\infty}^{(3)} \text{ МВ} \cdot \text{А}. \quad (3.4)$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.1

Таблиця 3.1 - Струми к. з. у вибраних точках електромережі 0,4 кВ

Точка к.з.	Опір схеми, мОм			$\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}$	$K_y$	$I_{\infty}^{(3)}$ , кА	$I''$ , кА	$i_y$ , кА	$S_{кз}$ , МВ·А
	$r_{\Sigma}$	$x_{\Sigma}$	$z_{\Sigma}$						
К- 1	2,1	8,5	8,76	$\infty$	1,95	25,1	25,1	68,9	16,6
К- 2	5,65	11,5	12,8	2,0	1,22	17,1	17,1	29,4	11,7
К- 3	37,25	15,2	40,2	0,4	1	5,46	5,46	7,7	3,6
К- 4	3,34	9,18	9,77	2,7	1,3	22,5	28,5	41,2	14,8
К- 5	6,89	12,18	14	1,8	1,2	15,7	15,7	26,6	10,4
К- 6	38,44	18,68	42,7	0,5	1,02	5,1	5,1	7,3	3,4

### 3.2 Вибір установок для компенсування реактивної потужності

Розрахунок орієнтовної потужності компенсуючих пристроїв в електромережі даного виробництва:

$$Q_{КБН} = P_P \cdot (tg\varphi_{\Phi} - tg\varphi_H), \text{кВ} \cdot \text{Ар}, \quad (3.5)$$

де  $tg\varphi_H = 0,329$  – нормативне значення для енергосистеми (відповідає значенню  $\cos\varphi=0,95$ );

$tg\varphi_{\Phi} = tg\varphi_C = 1,506$  – фактичне розрахункове значення коефіцієнта реактивної потужності даного виробництва;

$P_P = 631,3 \text{ кВт}$  – розрахункова активна потужність електроприймачів.

З (3.5) маємо:

$$Q_{КБН} = 631,3 \cdot (1,506 - 0,329) = 743,0 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

Визначаємо доцільну для даного виробництва оптимальну величину реактивної потужності низьковольтних конденсаторів:

$$Q_{KH_{opt}} = \frac{Q_P}{2} - \frac{M}{r_{E_T} \cdot (1 + \lambda)}, \text{кВ} \cdot \text{Ар}, \quad (3.6)$$

де  $r_{E_T} = 0,0022 \text{ Ом}$  - опір трансформатора підстанції, приведений до сторони нижчої напруги (0,38 кВ) [12];

$\lambda = 0,6$  – коефіцієнт, який враховує опір низьковольтної мережі виробництва [12];

$$M = U_H^2 \cdot \left( \frac{112,5 \cdot K_{DK_H}}{C_{O_E} \cdot T_B} + 0,5 \right), \text{кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Ом}, \quad (3.7)$$

де  $K_{DK_H} = 6,0 \frac{\text{грн}}{\text{кВ} \cdot \text{Ар}}$  - питома вартість різниці генерації 1 кВ·А реактивної

потужності низьковольтними і високовольтними конденсаторами;

$T_B = 8760 \text{ год.}$  – тривалість роботи конденсаторних батарей у ввімкненому стані;

$C_{O_E} = \frac{A}{T_{\text{макс}}} + B \cdot 10^{-3}$  - вартість 1 кВт·год. електроенергії, втраченої в

конденсаторних установках;

$$\left. \begin{aligned} A &= 437 \frac{\text{грн}}{\text{кВт}}, \\ B &= 77 \frac{\text{коп}}{10 \text{ кВт} \cdot \text{год}} \end{aligned} \right\} \text{— складові двоставкового тарифу на електроенергію;}$$

$T_{\text{макс}} = 4239 \text{ год.}$  – тривалість максимальних навантажень на рік згідно графіка;

$$C_{O_E} = \frac{431}{4239} + 77 \cdot 10^{-3} = 0,18 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}$$

$$M = 0,38^2 \cdot \left( \frac{112,5 \cdot 6,0}{0,18 \cdot 8760} + 0,5 \right) = 0,134 [\text{кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Ом}].$$

Тоді з (3.6) отримаємо:

$$Q_{KH_{opt}} = \frac{631,28}{2} - \frac{0,134}{0,0022 \cdot (1 + 0,6)} = 277,57 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

За довідниковими даними вибираємо на кожен трансформатор по одній стандартній низьковольтній конденсаторній установці типу УК-0,38-110-Н УЗ в кількості 2 шт. потужністю 110 кВ·Ар кожна.

Нескомпенсована реактивна потужність буде скомпенсована за допомогою високовольтної конденсаторної установки, потужністю:

$$Q_{KB_B} = Q_{KB_H} - Q_{K_{KY}}; \quad Q_{KB_B} = 277,6 - 220 = 57,6 [кВ \cdot Ар].$$

Для компенсації на стороні 10 кВ вибрана стандартна високовольтна конденсаторна установка типу *УКРМ 10,5–150–50* в кількості 1 шт. зі ступінчасто регульованою потужністю  $(150+50) кВ \cdot Ар$  на ном. напругу 10,5 кВ.

Утворений запас з компенсації реактивної потужності в кількості  $7,6 кВ \cdot Ар$  може бути реалізований при розрахунках компенсації інших виробництв, приєднаних до даного трансформатора КТП.

### 3.3 Апаратура захисту мережі підприємства

#### 3.3.1 Вибір запобіжників.

Запобіжники електроприймачів вибираємо, виходячи з умов їх увімкнення згідно таких виразів:

$$I_{П.У} \geq \frac{I_{ПК}}{\alpha}, \quad (3.8)$$

де  $I_{П.У}$  – струм плавкої уставки запобіжника, А;

$I_{ПК}$  – піковий струм при увімкненні електроприймача, А;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує умови увімкнення електроприймача ( $\alpha = 2,5$  при легкому увімкненні та  $\alpha = 2,0$  або  $\alpha = 1,6$  при середньому або важкому увімкненні);

$$I_{ПК} = k_{П} \cdot I_{Н}, \quad (3.9)$$

де  $k_{П}$  – кратність струму пускового моменту ( $k_{П} = 5$  - для електродвигунів,  $k_{П} = 3$  – для електропечей та  $k_{П} = 2$  – для освітлення);

$I_{Н}$  – номінальний струм електроприймача, А.

Таким чином, після необхідних обчислень згідно (3.8) та (3.9) типи запобіжників та їх плавкі уставки матимуть такі значення як подано у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Вибір запобіжників та плавких уставок

№ з/п електро-приймача	Ном. струм $I_{ном}$ , А	Пік. струм $I_{пик}$ , А	Струм плавкої уст-ки $I_{пл.уст.}$ , А	Тип запобіжника (плавка уст-ка)
ВРП: ЩО1	36	72	28,8	ППНИ-33-0

				(32 A).
ВРП: ЩО2	9	18	7,2	ППНІ-33-0 (8 A).

### 3.3.2 Вибір автоматичних вимикачів.

Номінал автоматичного вимикача будемо вибирати з умови:

$$I_{НОМ} \geq (1,1 \dots 1,3) \cdot I_H, \quad (3.10)$$

де  $I_{НОМ}$  - ном. струм автоматичного вимикача, А;

$I_H$  – ном. струм електроприймача, А.

Струм спрацювання відсічки електромагнітного роз'єднувача перевіряємо згідно максимального пікового струму  $I_{ПІК}$  електроприймача з умови:

$$I_{ВДС} \geq (1,25 \dots 1,35) \cdot I_{ПІК}, \quad (3.11)$$

Вставка теплова розчіплювача буде вибрана з умови:

$$I_T \geq (1,1 \dots 1,2) \cdot I_H, \quad (3.12)$$

Таким чином, після розрахунків згідно (3.10)–(3.12) типи автоматичних вимикачів та їх роз'єднувачі матимуть такі значення як подано у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Вибір автоматичних вимикачів, габаритів та роз'єднувачів

№ з/п електро-приймача	Ном. струм ел. приймача $I_H, A$	Пік. струм $I_{пик}, A$	Ном. струм авт. вимикача $I_{ном}, A$	Струм відсічки $I_{відс}, A$	Струм теплового розчіпл. $I_m, A$	Тип авт. вимикача (габарит і розчіпл., А)
1	2	3	4	5	6	7
РП1: ЕП1.1	88,6	265,9	115,2	332,0	106,4	ВА 88-40 (800; 400)
ЕП1.2 – 1.3 – 1.4	104,5	313,4	135,8	391,7	125,4	ВА 88-40 (800; 400)
ЕП1.5	54,3	162,8	70,5	203,5	65,1	ВА 88-35 (250; 200)
ЕП1.6 – 1.7 – 1.8	28,5	85,5	37,0	106,8	34,2	ВА 88-33 (160; 100)
ЕП1.9 – 1.10	38,0	113,9	49,4	142,4	45,6	ВА 88-35 (250; 160)
ЕП1.11	97,7	393,0	197,0	366,3	117,2	ВА 88-40 (800; 400)
ЕП1.12	405,2	1215,5	526,7	1519,4	486,2	ВА 88-43 (1600; 1600)
ЕП1.13 – 1.14	19,0	57,0	24,7	71,2	22,8	ВА 88-33 (160; 80)
ЕП 15	97,7	393,0	197,0	366,3	117,2	ВА 88-40



						(800; 400)
ЕП 16	19,0	57,0	24,7	71,2	22,8	ВА 88–33 (160; 80)
РУ 0,4 (КТП1): РП1	1158,5	1158,5	1506,1	1448,1	1390,2	ВА 88–43 (1600; 1600)
РП2: ЕП2.1	85,5	256,4	111,1	320,5	102,6	ВА 88–37 (400; 315)
ЕП2.2 – 2.3 – 2.4	76,0	227,9	98,8	284,9	91,2	ВА 88–37 (400; 315)
ЕП2.5 – 2.6 – 2.7	32,6	97,7	42,3	122,1	39,1	ВА 88–35 (250; 125)
ЕП2.8	76,0	227,9	98,8	284,9	91,2	ВА 88–37 (400; 315)
ЕП2.9	104,5	313,4	135,8	391,7	125,4	ВА 88–40 (800; 400)
ЕП2.10 – 2.11	19,0	57,0	24,7	71,2	22,8	ВА 88–33 (160; 80)
РУ 0,4 (КТП2): РП2	629,5	629,5	818,3	786,9	755,4	ВА 88–40 (800; 800)
ЩО: ЕП (вн. осв. 12+12 шт.)	9,0 9,0	18,0 18,0	11,7 11,7	24,3 24,3	10,8 10,8	2xС60L 1P С (63; 16)
ЕП (зовн. осв. 19 шт.)	7,4	22,3	9,6	30,0	8,9	С60L 2P С (63; 10)
ВРП: ЩО	24,6	48,4	32,0	65,3	29,5	ВА 88–32 (125; 32)

### 3.4 Марка та переріз високовольтних струмоводів електромережі

Для живлення двотрансформаторної підстанції приймаємо дві високовольтні кабельні лінії напругою 10 кВ (кабелі прокладаємо в земляних траншеях).

Визначаємо розрахунковий струм навантаження на кабелі:

$$I_P = \frac{\sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{KH})^2}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} [A], \quad (3.13)$$

де  $Q_{KH}$  - вибрана потужність низьковольтних конденсаторних установок,  $кВ \cdot А \cdot р$ ;

$n = 2$  - кількість кабельних ліній;

$U_H = 10$  кВ – номінальна напруга ліній.

Отримаємо:

$$I_P = \frac{\sqrt{631^2 + (634 - 220)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 22,197 \text{ А.}$$

Розраховуємо переріз жил кабелів за економічною густиною струму:

$$S_{EK} = \frac{I_P}{j_{EK}} [мм^2], \quad (3.14)$$

де  $j_{EK} = 1,4 \text{ А} \cdot \text{мм}^{-2}$  - економічна густина струму для кабелів з алюмінієвими жилами.

Тоді отримаємо:

$$S_{EK} = \frac{22,197}{1,4} = 15,86 \text{ мм}^2.$$

З врахуванням інших споживачів, які живляться від даної трансформаторної підстанції, приймаємо кабель марки ААШнг 3х16+1х10.

Перевіряємо вибраний переріз кабелю на допустимий струм нагріву в робочому режимі. Повинна виконуватись умова [12]:

$$I_P \leq K_{ПР} \cdot I_{ДОП} [А], \quad (3.15)$$

де  $I_{ДОП} = 75 \text{ А}$  - допустимий струм вибраного перерізу і марки кабелю при прокладанні його в траншеї [12];

$K_{ПР}$  - коефіцієнт прокладання кабелю (приймають  $K_{ПР} = 0,95$ ).

Умова виконується, оскільки:

$$I_P = 22,2 \leq 0,95 \cdot I_{ДОП} = 0,95 \cdot 75 = 71,25 [А]$$

Перевіряємо вибраний переріз кабелю на допустимий струм нагріву в післяаварійному режимі, тобто при відключенні одного кабелю:

$$1,4 \cdot I_P \leq 1,3 \cdot I_{ДОП} \cdot K_{ПР} [А], \quad (3.16)$$

де 1,4 - коефіцієнт, який враховує збільшення робочого струму в післяаварійному режимі з врахуванням можливості відключення споживачів III-ї категорії даного виробництва;

1,3 - допустимий коефіцієнт перенавантаження кабельної лінії в післяаварійному режимі.

Отримаємо:

$$1,4 \cdot 22,2 = 31,08 \leq 1,3 \cdot 75 \cdot 0,95 = 92,62 [А].$$

Отже, умова перевірки виконується.

### 3.5 Проектне рішення

Проведені розрахунки дають змогу прийняти таке проектне рішення:

– розподільні пристрої РП1 та РП2 під'єднати окремо до обох трансформаторів типу ТМЗ 1000–10/0,4 кВ КТП, використовуючи автоматичні вимикачі типу ВА 88–40 (габарит – 800 А; розчіплювач – 800 А) та ВА 88–43 (габарит – 1600 А; розчіплювач – 1600 А);

- на щитках освітлювальних встановити : по *одному* триполюсному вхідному автоматичному вимикачу типу *ВА 88–32* (габарит – 125 А; розчіплювач – 32 А); по *три* однополюсних для світильників на ділянках (один – в резерві), а також по *одному* двополюсному для розеток з розчіплювачем струму для нульового проводу й фази типу *C60L 2P 10A C* (габарит – 63 А; розчіплювач – 10 А);

- проводка буде проведена проводом марки *ПВЗ–1,0–0,66* в кількості 180 м та сталевими трубами марки *ст. 15* всередині приміщень ділянок; в якості коробок протяжних вибрані тип *У 994М*; під'єднуємо проводом *ПВ 3–1,5–0,66* в кількості 45 м до щитків освітлювальних;

- виробничі ділянки освітлюємо світильниками. типу *ГСП 04В–400–512* (лампи типу *ДРІ–400–6*) в кількості 12 шт.

- для зовнішнього освітлення території встановити світильники в кількості 19 шт. типу *РКУ 13–125–002–У1* з лампами високого тиску типу *ДРЛ–125*;

- передбачити захист ВРП від струмів к.з. зі сторони щитків освітлювальних - запобіжниками *ППНИ–33–0* (плавкі уставки – 32 А та 8 А) – 6 шт.;

- заживлені ВРП та розподільні пристрої РП1, РП2 від двох трансформаторів КТП кабелями силовими типів *АВБШв 3×50+1×25*, *АВБШв 3×500+1×120* та *АВБШв 3×185+1×50* методом зовнішньої проводки довжиною 120 м, 160 м та 75 м, відповідно.

– дві комірки трансформаторів КТП з'єднані для живлення на два розподільні пристрої РП1, РП2, від яких заживлене виробничк обладнання підприємства потужністю 700 кВ·А та 400 кВ·А, пропускна здатність по струму яких - 1400 А та 760 А, відповідно.

### **3.6 Підстанційне основне електрообладнання і низьковольтна електромережа**

Проводимо вибір високовольного вимикача, який встановлений на ЗРП ГПП 10кВ, для відімкнення високовольної лінії, що живить підстанцію.

Таблиця 3.4 для результатів розрахунків подана нижче.

Таблиця 3.4 - Вибір високовольного вимикача ЗРП ГПП 10 кВ

Параметр для вибору та перевірки	Показники після розрахунку	Показники вимикача згідно довідкових даних
1	2	3
1. Ном. напруга, кВ $U_{HB} \geq U_{HY}$	10	10
2. Струм довготривалий, А $I_{HB} \geq I_{PY}$	36,5	630
3. Струм відмикаючий, кА $I_{Відм} \geq I_{\infty}$	8,1	15
4. Потужність відмикаюча, МВ·А $S_{відм} \geq S_{Кз}$	140,1	150
5. Струм ударн. к.з., кА $i_{У.В} \geq i_{У}$	22,3	26
6. Струм термостійкості, кА $I_{Н.Т.С.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{П}}{t_{НТС}}}$	4,1	12

де  $U_{HB}$  - ном. напруга на вимикачі;

$U_{HY}$  - ном. напруга на уставці;

$I_{HB}$  - ном. струм через вимикач;

$I_{PY}$  - розрах. струм через уставку;

$I_{\infty}$  - струм встановлений к.з. у місці розміщення автовимикача;

$S_{відм}$  - відмикаюча потужність автовимикача;

$S_{Кз}$  - потужність струму к.з. у місці розміщення автовимикача;

$i_{У.В}$  - струм ударн. доп. автовимикача;

$i_{У}$  - струм ударн. к.з.;

$I_{Н.Т.С.}$  - струм ном. термостійкості автовимикача;

$t_{II}$  - тривалість дії струму к.з привед.;

$t_{HTC}$  - тривалість дії струму к.з ном.

Вимикач високовольтний типу ВМН-10 якнайближче відповідає розрахунковим даним [9].

Вибираємо вимикач навантаження і запобіжник на високій стороні двотрансформаторної підстанції.

Таблиця 3.5 для результатів розрахунків подана нижче.

Таблиця 3.5 - Вибір вимикача навантаження і запобіжника

№	Параметр для вибору та перевірки	Показники після розрахунку	Показники вимикача згідно довідкових даних
1	Ном. напруга, кВ $U_{HB} \geq U_{HV}$	10	10
2	Струм довготриваючий вимикача, А $I_{HB} \geq I_P$	36,5	40
3	Струм довготриваючий запобіжника, А $I_{HB} \geq I_P$	36,5	40
4	Струм відмикаючий запобіжника, кА $I_{Відм} \geq I_{\infty}$	6,42	12
5	Потужність відмикаюча запобіжника, МВ·А $S_{відм} \geq S_{Кз}$	111,0	150
6	Струм ударний к. з., кА $i_{У.В} \geq i_{У}$	16,2	26

Згідно [9] - вимикач автомат. типу ВМП-17УЗ і запобіжник типу ПК-101.40.

Вибираємо трансформатори струму на низькій напрузі двотрансформаторної підстанції.

Таблиця 3.6 для результатів розрахунків подана нижче.

Таблиця 3.6 - Вибір струмових трансформаторів

№	Параметр для вибору та перевірки	Показники після розрахунку	Показники вимикача згідно довідкових даних
1	2	3	4

1	Номинальна напруга, кВ $U_{HB} \geq U_{HV}$	0,38	0,66
2	Струм первинної обмотки, А $I_{HB} \geq I_{PV}$	1001,1	1500

Продовження таблиці 3.6

3	Навантаження на вторинну обмотку, $\kappa A$ $S_{2н} \geq S_2$	4,85	20
4	Кратність доп. струму електродинамічної стійкості $K_{дин} \geq \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{HT}}$	32,6	40
5	Кратність струму термостійкості, $\kappa A$ $I_{H.T.C.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{II}}{t_{HTC}}}$	4,18	20

Згідно [9] - струмові трансформатори типу ТНШЛ-0,66.

Потужність допустима у вторинному колі струмового трансформатора, в якій врахована споживана потужність  $S_p = 1 B \cdot A$  реле і вимірювальних приладів, струм ном.  $I_{H2} = 5 A$  у вторинній обвитці трансформатора струму, провідність провідників  $j = 32 A \cdot мм^{-2}$ , переріз з'єднувальних провідників  $S_{пров} = 2,5 мм^2$  та опір контактів  $R_K = 0,1 Ом$ , визначаємо з виразу:

$$S_2 = S_p + I_{H2}^2 \left( \frac{\sqrt{3} \cdot 1}{j \cdot S_{пров}} + R_K \right) B \cdot A. \quad (3.17)$$

Отримаємо:

$$S_2 = 1 + 5^2 \left( \frac{\sqrt{3}}{32 \cdot 2,5} + 0,1 \right) = 4,85 B \cdot A.$$

Вибираємо автоматичний вимикача на стороні напруги 0,4 кВ в ЗРП підстанції.

Таблиця 3.7 для результатів розрахунків подана нижче.

Таблиця 3.7 - Параметри вибору та перевірки автоматичного вимикача

№	Параметр для вибору та перевірки	Показники після розрахунку	Показники вимикача згідно довідкових даних
1	2	3	4
1	Номинальна напруга, кВ $U_{HA} \geq U_{HV}$	0,38	0,66
2	Довготривалий струм, А $I_{HA} \geq I_P$	1001,1	1500
3	Струм відмикання, кА $I_{відм} \geq I_\infty$	25,1	30

Вибір автоматичного вимикача згідно [9] такий: тип АВМ-10 (аналог ВА88-43 з габаритом – 1600 А та розчіплювачем - 1000 А).

### 3.7 Перевірка на термостійкість робочих частин струмоводів

Перевіряємо кабельну лінію на термостійкість.

Критерій для перевірки вибраного перерізу  $S_n$ , мм<sup>2</sup> кабелю з врахуванням усталеного струму к. з.  $I_\infty$ , А на початку лінії, що перевіряється, приведенного часу  $t_n$  дії струму к. з., с та коефіцієнта  $C = 85$  для кабелів алюмінієвих:

$$S_{\min} \leq S_n \text{ мм}^2, \quad (3.18)$$

$$S_{\min} = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_n}}{C} \text{ мм}^2, \quad (3.19)$$

Отримаємо:

$$S_{\min} = \frac{25100 \cdot \sqrt{0,25}}{85} = 147,6 \text{ мм}^2.$$

Висновок: оскільки  $S_{\min} = 147,6 \text{ мм}^2 \leq S_n = 185 \text{ мм}^2$ , то кабелі живлення (кабелі силові типів АВБШв 3×500+1×120 та АВБШв 3×185+1×50) вибрані вірно.

### 3.8 Релейний захист трансформаторів підстанції

Захист від струмів коротких замикань і перевантажень зі сторони напруги 10 кВ двотрансформаторної підстанції здійснюється автоматичними вимикачами



типу ВНП-17 УЗ і запобіжниками типу ПК-101.40.

Газові реле типу ПГЗ-22 захищатимуть трансформатори від внутрішніх пошкоджень і будуть діяти від сигналу й спрацювання вимикача навантаження.

### **3.9 Висновки до розділу**

1. Проведені розрахунки струмів к. з. на стороні напруги 10 кВ та струмів максимальних навантажувальних кіл трансформатора живлення електромережі 0,4 кВ. Внаслідок проведеного аналізу розрахунків підтверджений правильний вибір типів автоматичних вимикачів щодо дії ударних струмів к. з. в електромережі.

2. Проведений техніко-економічний розрахунок та вибрані установки компенсувальні реактивної потужності. Дві установки на стороні 0,4 кВ скомпенсують основну кількість реактивної потужності. Залишок реактивної потужності перенесений для компенсації на сторону 10 кВ з вибором відповідної високовольтної установки.

У Розрахунково-дослідницькому розділі на прикладі різної конфігурації електромережі з компенсувальними установками доведено, що саме дворівнева компенсація є найбільш ефективною.

3. Комутаційна апаратура електромережі живлення електроприймачів виробництва, а також високовольтні кабелі електромережі живлення двотрансформаторної підстанції вибрані внаслідок проведених розрахунків режимів їх роботи.

4. Високовольтне й низьковольтне електрообладнання на ПС 4000–35/10 кВ «Головинський кар'єр» та ЗТП–232 1260–10/0,4 кВ вибрані внаслідок проведених розрахунків. Дві кабельні лінії, якими заживлені електроустановки виробничого комплексу, перевірені на термічну стійкість до двотрансформаторної підстанції.

5. На базі проведених у Розрахунково-дослідницькому розділі розрахунків прийняте проектне рішення щодо встановлення новітнього електрообладнання з метою модернізації системи електропостачання виробничого устаткування ПрАТ «ТНК «Граніт»».

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах [25]:

- пріоритету життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці з урахуванням напрямків економічної та соціальної політики, досягнень в галузі науки та техніки, охорони навколишнього середовища;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, що потерпіли від нещасних випадків на виробництві чи професійних захворювань;
- встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності та видів їх діяльності.

### **4.1 Аналіз і заходи з усунення шкідливих факторів виробництва з оброблення будівельних порід каменю**

Виробничі процеси оброблення порід каменю різної направленості щодо умов праці пов'язані з шкідливими умовами, які мають несприятливий вплив на організм працівників цієї галузі господарства і можуть бути причиною професійних захворювань.

Для цього виробництва характерна, головним чином, друга група умов праці щодо професійної шкідливості згідно нормативу ДСН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» (Наказ МОЗ України №248 від 08.04.2014 р.). До неї відносяться шкідливості, що

зумовлюються неправильною організацією і технічною недосконалістю виробничих процесів. Причиною виникнення цього виду шкідливості є фізичні, хімічні та біологічні фактори.

Серед безлічі шкідливих впливів на виробництві з оброблення каменю можна виділити такі найбільш важливі фактори, що впливають на життя і здоров'я людини [1]:

1) несприятливі метеорологічні умови (підвищена або знижена температура і вологість повітря, надмірне теплове випромінювання, несприятливе поєднання температури, вологості, теплового випромінювання та руху повітря);

2) загазованість різними газами (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> та ін.), що виділяються у ході технологічної переробки сировини;

3) запиленість повітряного середовища, що виникає при технологічних операціях і транспортуванні практично всіх порід каменю;

4) виробничі шум і вібрація при роботі технологічного обладнання, машин і апаратів виробництва з оброблення каменю.

У даному виробництві зустрічаються також і окремі шкідливості першої групи: інтенсифікація трудового процесу, незручне положення тіла та ін.

Основну масу сировинних матеріалів виробництва з оброблення будівельних порід каменю переробляють у відповідних цехах. На цьому етапі виробництва найбільшу загрозу для життя і здоров'я людини представляє запиленість приміщення, яка призводить не тільки до погіршення здоров'я людини, а й до зниження ресурсу обладнання [1].

Крім запиленості, небезпеку становлять рухомі частини транспортерів та елеваторів, обертові лопаті витяжних вентиляторів, заслінки змішувачів, відкриті люки бункерів. Необережність при їх обслуговуванні може призвести до важких каліцтв і загибелі людей.

Застосування механізмів з електроприводом (вентиляторів, змішувачів) також є небезпечним фактором. Дія електричного струму з напругою 380 В надзвичайно небезпечна для життя людини.

Процес підготування дрібнодисперсних фракцій в сушильні проводиться при температурі близько 100<sup>0</sup>С. Це призводить до нагрівання корпусних деталей. Дотик до таких поверхонь може призвести до легких опіків.

Крім того, небезпечним фактором є потреба обслуговування обладнання на позначках більше 20 метрів від рівня землі. Непрофесійна робота на такій висоті може призвести до втрат інструментів, деталей, а також падінь і травм людей.

Необхідно відзначити, що приміщення виробництва з оброблення каменю належить до числа найбільш небезпечних приміщень з точки зору електричної безпеки, тому що в атмосфері цеху знаходиться пил, що роз'їдає ізоляцію електроприводів. Це, у свою чергу, призводить до можливого шкідливого і небезпечного впливу електричного струму на обслуговуючий персонал, короткого замикання, загоряння ізоляції електропроводок і виходу з ладу апаратури. Тому, з метою підвищення безпеки даного виробництва електропроводку прокладають у трубах, щоб захистити електричні проводи від попадання на них роз'їдаючих матеріалів [21].

Експлуатація електроприладів системи автоматизації технологічного процесу несе з собою можливість електроураження персоналу, короткого замикання з наступним горінням. Для захисту від цього застосовуються ряд конструктивних і організаційних заходів.

Всі прилади, щити, пульти мають захисне заземлення. Значна частина системи заживлюється постійним електричним струмом з напругою 24 В, що значно зменшує загрозу електроураження.

Для запобігання загорянню силового трансформатора низьковольтної частини системи електропостачання в ланцюг вторинної обвитки увімкнений окремий автоматичний вимикач.

Приміщення апаратної і операторної обладнуються датчиками пожежної сигналізації. При виявленні загоряння проводиться подача попереджувального сигналу на пульт пожежної охорони підприємства [18].

На цілий ряд факторів технічно важко або неможливо розробити автоматичний захист. До їх числа відносяться: шум і вібрація від працюючих насосів і вентиляторів, наявність нагрітих поверхонь, необхідність роботи персоналу на значній висоті. Наявність цих факторів пояснюється особливостями технологічного процесу виробництва. Устаткування необхідним захисним обладнанням і забезпечення захисту від них повинно здійснюватися проектувальниками апаратів, машин і механізмів, що застосовуються в цій галузі

промисловості.

## **4.2 Вплив шуму на організм людини та розробка заходів щодо зниження рівня шуму на виробництві з оброблення каменю**

Джерелами шуму на виробництві є коливання, що виникають при зіткненні, терті, ковзанні твердих тіл, витіканні рідин і газів, при роботі верстатів, ручних інструментів, електричних машин.

Інтенсивний шумовий вплив зумовлює в звуковому аналізаторі людини зміни у вигляді ефекту адаптації, який виражається в часовому зсуві (підвищенні) порогів слухової чутливості, що проявляється в розвитку професійного захворювання - глухуватість (погіршення слуху) [1].

Відомо, що збільшення виробничого шуму на 10 дБ відображається в підвищенні рівня захворюваності працюючих в (1,2 ... 1,3) рази. З цього виходить, що несприятливий вплив шуму на організм людини має істотні як фізіологічні, так і економічні наслідки.

На території сучасної України діючим є норматив гігієнічного нормування шуму ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Основними джерелами шуму на підприємстві з оброблення каменю є рухомі частини верстатів і машин, місця технологічного зіткнення абразивних матеріалів, каменеподріблювальні установки та ін. Технічні засоби захисту від шкідливої дії шуму передбачають: а) усунення причин виникнення шуму або зниження його рівня в джерелі; б) ослаблення шуму на шляху його поширення; в) індивідуальний захист працюючих.

Найбільш ефективним шляхом зниження шуму є заміна гучних технологічних операцій на малошумні. Так як реалізація таких методів захисту не завжди технологічно реальна та доцільна з економічної точки зору, то застосовують зниження шуму в джерелі: застосування в механізмах матеріалів із звуковбирними властивостями, своєчасне проведення профілактики й планово-попереджувальних ремонтів.

Одним з найбільш простих рішень щодо зниження шуму на шляху його

поширення є застосування звукоізолюючих кожухів - звуковідбиваючих або звукопоглинаючих. Звуковідбиваючі кожухи забезпечують зниження рівня звуку за рахунок високого коефіцієнта відбиття. Такі кожухи можуть знизити рівень звукового тиску на (20 ... 25) дБ. Звукопоглинаючі кожухи забезпечують зменшення звуку за рахунок перетворення кінетичної енергії звукових хвиль у теплову. Такі кожухи можуть знизити рівень звукового тиску на (20 ... 30) дБ.

Ослаблення аеродинамічного шуму, створюваного дробильними агрегатами, компресорами, системами пневмотранспорту здійснюють глушителями різних типів. Значний ефект зниження шуму від устаткування дає застосування акустичних екранів, які обгороджують джерело шуму від робочого місця або зони обслуговування [18].

Одним з розповсюджених заходів зниження шуму є акустична обробка приміщень, що дозволяє знизити шум у результаті дії механізму поглинання. Ефективність захисту в цьому разі також залежить від співвідношення розміру пор в облицювальному матеріалі й довжини звукової хвилі  $\lambda$ , природно, характеризується найбільшим коефіцієнтом на високих і середніх частотах.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму застосовують спеціальні вкладиші у вушну раковину - вставки (беруші) до гучності 100 дБ, шумозахисні навушники типу «ВЦНІИ ОТ 1-7» для гучності від 100 дБ до 120 дБ, а також шоломи з навушниками при шумі більше 120 дБ. Такими засобами забезпечуються робітники та ІТП, що піддаються безпосередній дії шуму (оператори машин і обладнання, наладчики, майстри, контролери).

#### **4.3 Підвищення стійкості системи електрозабезпечення виробництва у надзвичайних ситуаціях**

Під стійкістю роботи об'єкта промисловості розуміють його здатність в умовах надзвичайних ситуацій випускати продукцію в запланованому об'ємі, а при отриманні слабких і середніх руйнувань, при пожежах, повенях, зараженні місцевості, а також, при порушенні зв'язків по кооперації і постачанню відновлювати виробництво в мінімальні терміни [15].

Для надійного електрозабезпечення в умовах надзвичайних ситуації при

його проектуванні і будівництві повинні бути враховані основні вимоги, які впливають із завдань цивільного захисту.

Електрозабезпечення повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі електростанції потрібно розташовувати одну від одної і від великих міст на відстані, не меншій двох радіусів зон можливих зруйнувань. Районні понижувальні електростанції, диспетчерські пункти енергосистем і мережі електропередачі належить розташовувати за межами зон можливих сильних зруйнувань

Постачання електроенергією великих міст і об'єктів, які не перестають працювати в надзвичайних умовах, необхідно передбачати від двох незалежних джерел. При електропостачанні об'єкту від одного джерела повинно бути не менше двох вводів з різних напрямів. Трансформаторні підстанції необхідно надійно захищати, їх стійкість повинна бути не нижчою від стійкості самого об'єкту. Електроенергію на ділянки виробництва належить подавати електрокабелями, прокладеними в землі на глибині (0,8 ... 1,2) м. Крім цього, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання [8].

Система енергопостачання повинна мати захист від впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) ядерного вибуху. Для цього проводиться аналіз і оцінка стійкості всіх видів апаратури електропостачання, електричних систем, радіотехнічних засобів і засобів зв'язку, які є на об'єкті. Стійкість апаратури до дії ЕМІ у значній мірі залежить також від правильної експлуатації ліній і ретельного контролю справності засобів захисту.

Таким чином, підвищення стійкості роботи об'єктів промисловості в умовах надзвичайних ситуацій досягається завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних і організаційних заходів, спрямованих на максимальне зниження впливу уражаючих чинників і створення умов для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

#### **4.4 Єдина державна система цивільного захисту в умовах реалізації завдань децентралізації влади**

Стабільному соціальному розвитку суспільства, підвищенню рівня безпеки життєдіяльності населення сприяє функціонування єдиної державної системи цивільного захисту, зокрема її територіальних підсистем.

Значна кількість питань подальшого реформування національної системи цивільного захисту, вдосконалення державного управління у цій сфері вирішується в контексті подальшої реалізації адміністративної реформи, зокрема із урахуванням змін в територіальній організації влади, удосконалення місцевого самоврядування та децентралізації влади. Уточнюються як на центральному так і на регіональному рівнях розподіл повноважень під час виконання заходів цивільного захисту населення і територій, питання взаємодії функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту в умовах виникнення надзвичайних ситуацій тощо [4].

Виконання цих заходів розпочато ще в 2016 році в рамках реалізації пілотних проектів у Вінницькій, Донецькій, Дніпропетровській, Львівській, Полтавській та Тернопільській областях. Всі громадяни проживають в територіальних громадах (міських, селищних, сільських) і тому саме на рівні територіальних громад повинні організовуватись базові заходи захисту населення і територій. Насамперед це питання пожежної охорони громади, зокрема утворення місцевих пожежних команд в об'єднаних територіальних громадах, оповіщення і інформування, евакуації (прийому постраждалого населення з інших територій) або укриття в захисних спорудах тощо.

Заслуговує на увагу та поширення досвід створення Центрів безпеки громад в об'єднаних територіальних громадах Донецької області, де розміщуються пожежно-рятувальний підрозділ, пункт дільничного поліцейського та пункт медичної допомоги. Саме їх функціонування робить більш доступними публічні послуги, що надаються населенню об'єднаних територіальних громад., перш за все з питань забезпечення захисту населення і територій від пожеж та надзвичайних ситуацій.

Важливим залишається питання організації навчання населення діям при загрозі та виникненні надзвичайних ситуацій на території громади. Це – формування культури безпеки життєдіяльності населення, його обізнаності у сфері цивільного захисту та готовності до свідомих практичних дій в умовах



надзвичайних ситуацій. Важлива роль на цьому напрямку належить навчально-методичним центрам сфери цивільного захисту та безпеки життєдіяльності, які функціонують в усіх регіонах України [4].

Саме тому подальша розбудова сучасної та потужної системи цивільного захисту в Україні, удосконалення державного управління у цій сфері потребують вжиття додаткових організаційних та практичних заходів з розв'язання наявних проблемних питань. Зокрема передбачаються заходи делегування додаткових повноважень у сфері цивільного захисту на територіальний рівень, вдосконалення взаємодії органів місцевого самоврядування та органів державної влади, врегулювання цих та інших питань шляхом внесення змін до чинного законодавства тощо.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі модернізована система електропостачання підприємства з оброблення декоративних порід каменю ПрАТ «ТНК «Граніт»», що забезпечить безперебійність та надійність електропостачання з мінімальними втратами електроенергії.

Отримані такі результати:

1. Досліджено, що втрати електроенергії можна знизити, вирішивши дві задачі: обґрунтувати допустиме значення втрат електроенергії та проаналізувати втрати і розробити заходи щодо їх зменшення.

2. Встановлено, що при використанні АСКОЕ на промисловому підприємстві можна оптимізувати витрати на енергоресурси внаслідок точного і швидкого контролю за їх споживанням.

3. Встановлено обчисленням еквівалентного опору, що втрати електроенергії можна зменшити для ділянки електромережі з відгалуженнями, якщо збільшити переріз магістральних ліній.

4. Досліджено, що відслідковуванням і врахуванням в розрахунковій моделі АСКОЕ динаміки зміни параметрів електричної мережі можна оцінити зміну втрат електроенергії.

5. Досліджено, що нестационарні графіки навантажень промислових споживачів додатково збільшують (до 20%) втрати в електричних мережах.

6. Розрахунками доведено, що для схем електропостачання підприємства з установками компенсації реактивної потужності на напрузі 0,4 кВ втрати активної й реактивної потужності та напруги зменшуються у порівнянні зі схемою з компенсацією на стороні високої напруги.

7. Доведено, що за допомогою ефективної дворівневої схеми компенсації реактивної потужності можна скомпенсувати на стороні високої напруги додаткову кількість реактивної потужності недовантажених трансформаторів.

8. Проведені розрахунки доводять, що можливе схемне вирішення проблеми компенсації реактивної потужності електромережі підприємства регульованими установками такого номіналу, при якому енергопостачальна компанія фактично не нараховує плати за перетік реактивної електроенергії, зменшуючи її втрати.

9. Проведений вибір схеми електропостачання розподільних пристроїв, комутуючої електроапаратури електромережі підприємства, а також кабельно-провідникових елементів, що під'єднують трансформаторну підстанцію.

10. Проведений розрахунок освітлення виробництва та території підприємства. При виборі світильників для внутрішньої установки врахована запиленість виробництва.

11. Установка компенсації реактивної потужності на стороні 0,4 кВ вибрана із застосуванням техніко–економічного розрахунку. При цьому залишок реактивної потужності перенесений для компенсації на сторону 10 кВ.

12. Проведені розрахунки струмів короткого замикання в електромережі 10 кВ та визначені максимальні струми кіл навантаження трансформатора в електромережі 0,4 кВ. Аналіз параметрів автоматичних вимикачів вибраного типу підтвердив стійкість електромережі до дії ударних струмів к. з.

Модернізована система електропостачання виробництва з оброблення каменю декоративних порід ПрАТ «ТНК «Граніт»» відповідає нормативним вимогам щодо енергоефективності, надійності електропостачання та забезпечення безпеки персоналу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009, 360 с.
2. Бедерак Я. С. Об эффективности компенсации реактивной мощности и поддержания оптимальных уровней напряжения 6(10) и 0,4 кВ в электрических сетях промышленных предприятий // Промэлектро. - 2005. - №3. - С. 29–35.
3. Беякова І. В. Енергоефективність у промисловості як фактор зменшення собівартості продукції / І. В. Беякова, О. О. Вакуленко, І. М. Декет // Матеріали ІХ МНТК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (25–26 листопада 2020 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т. 2. – Тернопіль, 2020. – С. 90–91.
4. Бойко О. А. Єдина державна система цивільного захисту в умовах реалізації завдань децентралізації влади // Матеріали 20-ї ВВПК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (9–10 жовтня 2018 р., м. Київ) : Зб. тез доп. – К., 2018. – С. 49–51.
5. Буславець О. А. Інформаційне забезпечення для ефективного планування заходів зі зменшення втрат електроенергії у розподільних електричних мережах / О. А. Буславець, В. В. Кулик, П. Д. Лежнюк // Наукові праці ДонНТУ: Електротехніка і енергетика. – 2015. – №1 (17). – С. 104–110.
6. Владимиров Ю. В. О концепции компенсации реактивной мощности // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №3. – С. 35–40.
7. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : підручник / Л. Й. Дворкін, С. Д. Лаповська. - Рівне : НУВГП, 2016. - 448 с.
8. Євдін О.М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека. Посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.
9. Князевский Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. А. Князевский, Б. Ю. Липкин. – М. : Высшая школа, 1979. – 340 с.
10. Красовський Ю. Л. Керування втратами електроенергії в розподільних мережах з використанням засобів АСКОВЕ / Ю. Л. Красовський, В. В. Кулик, П. Д. Лежнюк // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільск. госп-ва. – 2003. –

Вип. 19, т. 1. – С. 99–107.

11. Лежнюк П. Д. Формування умов оптимальності КРП в електричних мережах споживачів і енергопостачальних компаній : монографія / П.Д. Лежнюк, О. М. Нанака. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 148 с.
12. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. - М. : Высшая школа, 1975. – 320 с.
13. Матеріалознавство (для архітекторів та дизайнерів) : підручник / К. К. Пушкарьова, М. О. Кочевих та ін. ; за ред. К. К. Пушкарьової. – К. : Вид-во «Ліра-К», 2012. – 592 с. : іл. – Бібліогр.: с. 511-514 (58 назв).
14. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами / Затв. наказом Мін. палива та енергетики України за №19 від 17.01.2002 р.) // Офіційний вісник України. – 2002. – № 48. – 147 с.
15. Ниник Л. Р. Стійкість роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях. – Рівне : Вид-во УДАВГ, 1998. – 162 с.
16. Овчаренко Т. І. Оцінка ефективності статичних компенсуючих пристроїв на промислових підприємствах // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2013. – №8. – С. 25–30.
17. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів : підручник / Р. Ф. Рунова, Л. О. Шейнич та ін. – К. : КНУБА, 2001. – 354с.
18. Охорона праці в галузі. Метод. вказівки / Укл. І. Г. Ткаченко. – Тернопіль, ТДТУ, 2001. – 32 с.
19. Пантелеев Е. Г. Монтаж и ремонт кабельных линий. Справочник электромонтажника / Под ред. А. Д. Смирнова и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с. : ил.
20. Пашенко А. В. Формування бази даних в АСКОЕ для визначення втрат електроенергії в розподільних мережах // Вісник ВНТУ. – 2005. – № 6. – С. 160–165.
21. Півняк Г. Г. Електропостачання гірничих підприємств. Довідк. посібн. / Г. Г. Півняк, М. М. Білий, Г. М. Бажін. – Донецьк : Нац. гірнич. ун-т, 2008.– 550 с.
22. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок: ДНАОП 0.00-1.32-01. – К.: Київпромелектропроект, 2001.– 80 с.

23. Правила улаштування електроустановок. - Вид. 3-є, перероб. і доп. - Х. : Форт, 2010. - 732 с.
24. Проектирование кабельных сетей и проводок / Под ред. Г. Е. Хромченко. – М. : Энергия, 1980.– 230 с.
25. Русаловський А. В. Правові та організаційні питання охорони праці : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. - Вид. 6-е, допов. та переробл. - К. : Університет «Україна», 2013. - 283 с.
26. Русаловський А. В. Цивільна оборона : навч. посіб. для дистанц. навч. / А. В. Русаловський, В. М. Заплатинський. - К. : Університет «Україна», 2007. – 227 с.
27. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Энергоатомиздат. Санкт–Петербург. отд., 1992. – 448 с. : ил.
28. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції : довідник / За ред. К. К. Пушкарьової. - К. : Асоціація «ВСВБМВ», 2012. - 664 с.
29. Федоров А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. Учеб. пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с., ил.
30. Электробезопасность на промышленных предприятиях. Справочник / Р. В. Сабарно, А. Г. Степанов, А. В. Слонченко, Г. Д. Харламов. – К. : Техніка, 1985. – 288с., : ил.