МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти бакалаверський
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Розробка схеми електропостачання групи цехів металургійного комбінату»

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1412-с
Уткін Євген Вікторович
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

Керівник Прихно В.Л.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти бакалаверський
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

Спеціалізація -
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Коваленко В.Л.
" 27 " 12 20 25 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
«БАКАЛАВР»
Уткін Євген Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Розробка схеми електропостачання групи цехів металургійного комбінату»
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Прихно Валерія Леонідовна, старший викладач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від " 27 " 12 20 25 року № 2029 - с
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи бакалавра 08.06.2025р.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра: план розміщення цехів металургійного комбінату, їх геометричні розміри та установлені потужності. Зовнішнє джерело живлення – підстанція 150-10 кВ. Зміст розрахункової пояснювальної записки.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, описання технолошічного процесу, розрахунок електричного

навантаження виробництва, вибір трансформаторів цехових КТП з урахування компенсуючих пристроїв, визначення напруги живлення об'єкта і центра електричних навантажень, вибір схеми живлення підприємства на основі техніко-економічного порівняння двох варіантів, розроблення заходів для зменшення втрат електроенергії в системі електропостачання металургійного комбінату, особливості електропостачання прокатних станів, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу план цехів, схема живлення РП1 та 2, резерви економії електроенергії в СЕП груп металургійного комбінату, підвищення енергоефективності СЕП, особливості прокатних станів, вибір типу лампи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1 - 8	Прихно В. Л, старший викладач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем	27.12.2025

7. Дата видачі завдання 12.05.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів каліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	Коротка характеристика об'єкту проєктування	01.01 – 20.01	Виконано
2	Розрахунок електричних навантажень	21.01 – 09.02	Виконано
3	Вибір кількості і потужності трансформаторів КТП	10.02 – 01.03	Виконано
4	Формування внутрішнь-цехової заводьскої мережі на основі технікоекономічного порівняння	02.03 – 21.03	Виконано
5	Вибір основних елементів схеми	22.03 – 10.04	Виконано
6	Заходи з підвищення енергоефективності	11.04 – 30.04	Виконано
7	Особливості роботи прокатних станів	01.05 – 20.05	Виконано
8	Охорона праці	21.05– 08.06	Виконано

Здобувач вищої освіти Уткін Є.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Прихно В.Л.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Нормоконтроль здійснив Башлій С. В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

РЕФЕРАТ

Уткін Євген Віктрович. Розробка схеми електропостачання групи цехів металургійного комбінату. Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник Прихно В. Л. Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2025.

Кваліфікаційна робота містить 70 сторінок; 12 рисунків; 15 таблиць; 27 джерел посилань.

У роботі розглянуто систему електропостачання групи цехів металургійного комбінату. Проведено аналіз технологічного процесу виробництва, визначено категорії надійності електропостачання, виконано розрахунок електричних навантажень цехів, обрано типи трансформаторів з урахуванням компенсуючих пристроїв.

Здійснено визначення напруги живлення об’єкта та координат центра електричних навантажень. Проведено техніко-економічне порівняння двох схем живлення підприємства. Запропоновано заходи для зменшення втрат електроенергії, зокрема: оптимізація перерізів провідників, впровадження систем компенсації реактивної потужності та вибір доцільного джерела живлення.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення енергоефективності електропостачання промислових підприємств та зменшення експлуатаційних витрат.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, КОМПЕНСАЦІЯ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОР, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, КОМБІНАТ, ЖИВЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.……...……7

1 ОПИСАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ…….....8

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА…10

3 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ КТП З УРАХУВАННЯМ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.....14

4 ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ОБ'ЄКТА І ЦЕНТРА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....16

5 ВИБІР СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ПОРІВНЯННЯ ДВОХ ВАРІАНТІВ.....18

6 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ.....39

7 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНІВ.....43

8 ОХОРОНА ПРАЦІ.....48

8.1 Розрахунок системи штучного освітлення.....48

8.2 Визначення світлового потоку лампи.....48

8.3 Вибір типу лампи для механічного цеху.....51

8.4 Вимога техніки безпеки до експлуатації електрообладнення ……...52

8.5 Заходи з пожежної безпеки.....54

8.6 Санітарно-гігієнічні заходи.....55

8.7 Естетика виробництва.....56

ВИСНОВКИ.....60

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....61

ДОДАТКИ.....63

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КТП — комплектна трансформаторна підстанція;
СД — синхронний двигун;
$P_{вст}$ — встановлена активна потужність;
Pp — розрахункова активна потужність;
Qp — розрахункова реактивна потужність;
tgφ — тангенс кута зсуву фаз;
cosφ — коефіцієнт потужності;
ПГВ — підстанція глибокого введення;
РП — розподільчий пункт;
НКУ — низьковольтний комплектний пристрій;
ЕН — електричне навантаження;
$\Delta P_{тр}$, $\Delta Q_{тр}$ — втрати активної та реактивної потужності у трансформаторі;
S — площа приміщення, м²;
U — напруга;
$I_р$ — робочий струм;
$I_{рПАР}$ — струм після апарату автоматичного резервування.

ВСТУП

Постійне функціонування та розвиток металургійної галузі, постійне збільшення виробничих потужностей та високий рівень зношеності обладнання зумовили необхідність реконструкції та модернізації існуючих мереж, будівництва нових, більш надійних мереж, заміни застарілого обладнання та впровадження більш економічно ефективних технологій.

Основними завданнями данної роботи є проектування надійної і економічної схем мережі, вибір оптимальної кількості і потужності цехових трансформаторів і визначення необхідної компенсації реактивної потужності. Проектування мережі електропостачання визначається необхідністю зниження витрат на провідникові матеріали.

Розглядаються наступні основні питання, пов'язані з електропостачанням. А саме: розрахунок електричних навантажень в силових та освітлювальних мережах, вибір номінальної потужності трансформаторів, компенсація реактивної потужності, визначення перерізів провідників в електричних мережах, формування схем електричних мереж та вибір пристроїв захисту. Вирішення цих завдань базується на технічних вимогах до елементів системи електропостачання. Насамкінець в роботі проведено аналіз ефективності системи електропостачання з точки зору енергоспоживання в наступному порядку: розрахунок втрат потужності в кожному елементі системи та в системі в цілому; аналіз втрат потужності на кожній ділянці електричної мережі; надання рекомендацій щодо зменшення втрат потужності в системі електропостачання; оцінка техніко-економічних показників роботи електромережі при впровадженні кожного заходу з енергозбереження, запропонованого для системи електропостачання; зазначення технічних вимог до кожного елементу системи електропостачання.

1 ОПИСАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Металургійний комбінат складається з основних та допоміжних цехів, які забезпечують повний цикл виробництва металоконструкцій, деталей і механізмів.

Металургійний завод займається переробкою металобрухту для виготовлення заготовок, які використовуються в подальших технологічних процесах. Ковальський цех виробляє металоконструкції (кутники, швелери, сляби, колеса). Процес включає нагрівання, кування та обробку заготовок за допомогою печей, пресів, металообробних верстатів. Ливарний завод виготовляє литі заготовки та деталі, використовуючи різні плавильні печі (включаючи печі опору для дрібних деталей). Формування деталей здійснюється у спеціально підготовлених формах. Охолодження забезпечують повітряні насоси.

Прокатний цех один із ключових підрозділів металургійного комбінату, де заготовки металу (злитки, сляби, блюми) піддаються пластичній деформації шляхом прокатки. У цьому цеху метал проходить через прокатні стани, де його товщина зменшується, а довжина збільшується. В результаті отримують листовий, сортовий або фасонний прокат. Процес супроводжується високими температурами, тому часто використовується гаряча прокатка. Прокатний цех забезпечує продукцію для будівництва, машинобудування, трубного виробництва та інших галузей.

Механічний цех займається виробництвом і ремонтом вузлів та механізмів, що використовуються на заводах. Тут відновлюють зношені деталі, що економічно вигідніше, ніж виготовлення нових. Обладнання: металообробні верстати, зварювальні агрегати.

Завод виливниць виробляє металеві виливниці, піддони та інші компоненти для лиття металів. Основне обладнання: ливарні машини, складальні механізми, підйомне обладнання.

Допоміжні служби: Енергетичний цех відповідає за обслуговування

електрообладнання, ремонт верстатів, пресів, вентиляторів. Компресорні станції забезпечують стисненим повітрям виробничі цехи. Використовують компресори потужністю 630 кВт з напругою 10 кВ, що транспортують повітря по трубопроводах із регулюванням тиску. Насосні станції підтримують тиск води у водопроводі для виробничих потреб і пожежогасіння. Основне обладнання – насоси потужністю 400 кВт, 10 кВ.

Категорії надійності електропостачання: I категорія (критично важливі об'єкти): ливарний завод, насосні станції. II категорія (виробничі об'єкти): металургійний, ковальський, механічний заводи, компресорні станції. III категорія (допоміжне обладнання): енергетичний цех. Чисельні значення навантаження наведенні у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для проектування

№	Перелік цехів	Ном. потужнт. у кВт	Коеф. потужн.	Категорія з над. електр.	Площа у $м^2$
1	Ливарний цех	990	0,65	2	40100
2	Прокатний цех	1010	0,65	2	40100
3	Ковальський цех	1050	0,7	2	50960
4	Цех виливниць	950	0,6	2	1520
5	Механічний цех	3750	0,7	2	2600
6	Фасовочно цех	1550	0,75	1	40000
7	Енергоцех	500	0,7	2	6500
8	Помпова	160	0,85	1	15100
9	СД помпової 10 кВ	400х4	0,89	1	-
10	Компресорна	200	0,85	1	11500
11	СД компресорна	630 х 4	0,89	1	-
12	Адміністративно - службове приміщення	180	0,75	3	6500
13	Склади	140	0,7	3	1500

2 ВИЗНАЧЕЕНЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Електричні навантаження були розраховані методом питомих площ та методом коефіцієнта попиту. На промислових підприємствах близько 10% споживаної електроенергії витрачається на електричне освітлення. Освітлювальні мережі живляться від цехових ТП з вторинною напругою 0,38/0,22 кВ (чотирипровідні мережі з глухозаземленою нейтраллю). Методом коефіцієнта попиту також можна визначити розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху. Вихідними даними для цього розрахунку є встановлена потужність і коефіцієнт потужності робочого місця відповідно до характеру роботи, а також площа робочого місця, як показано в таблиці 2.1.

Для освітлювальної мережі номінальну потужність розраховуємо за формуло:

$$P_{осв\ вст} = P_{пит} \cdot S, \quad (2.1)$$

де $P_{пит}$ – питома потужність Вт/м^2.

Розрахункове навантаження:

$$P_{осв\ р} = K_{п} \cdot K_{пра} \cdot P_{осв\ вст}, \quad (2.2)$$

$$Q_{осв\ р} = P_{осв\ р} \cdot tg\varphi, \quad (2.3)$$

де $K_{п}$ - коефіцієнт попиту

$K_{пра}$ - коефіцієнт пускорегулюючій апаратурі

$tg\varphi$ - коефіцієнт реактивної потужності.

Результати розрахунків для інших цехів наведені в таблиці 2.1.

Розрахункове навантаження силової мережі цехів методом коефіцієнта попиту визначається за відповідними формулами:

$$P_{сил\ р} = К_п \cdot P_{уст}, \quad (2.4)$$

$$Q_{сил\ р} = P_р \cdot tg\varphi \quad (2.5)$$

Таблиця 2.1 – Результати визначення розрахункового навантаження освітлення

№	Перелік цехів	S,м^2	Тип лампи	$P_{пит}$, Вт/м^2	$P_{устосв}$, кВт	$К_п$ / $К_{пра}$,	tgφ	$P_{осв\ р}$, кВт	$Q_{осв\ р}$, кВАр
1	ЛЦ	40100	ДРЛ	15	590	0,9/1,12	1,33	495	660
2	ПЦ	40100	ДРЛ	15	590	0,9/1,12	1,33	495	660
3	КЦ	50960	ДРЛ	15	750	0,9/1,12	1,33	630	840
4	ВЦ	1520	ДРЛ	15	250	0,9/1,12	1,33	190	250
5	МЦ	2600	ЛЛ	8	500	0,85/1,12	1,73	50	87
6	ФЦ	40000	ДРЛ	15	580	0,9/1,12	1,33	450	600
7	ЕЦ	6500	ДРЛ	15	700	0,9/1,12	1,33	95	125
8	П	15100	ЛЛ	7	100	0,95/1,3	1,73	95	150
9	К	-	ЛЛ	7	75	0,95/1,3	1,73	70	120
10	АСК	11500	ЛЛ	7	45	0,85/1,3	1,73	35	60
11	С	-	ДРЛ	6,5	25	0,9/1,12	1,33	30	45

Визначення розрахункового навантаження силової мережі проводится методом коефіцієнта попиту:

$$P_{сил\ р} = К_п \cdot P_{уст}, \quad (2.6)$$

$$Q_{сил\ р} = P_{сил\ р} \cdot tg\varphi \quad (2.7)$$

Загальне розрахункове навантаження визначаємо як алгебраїчну суму навантажень силової та освітлювальної мережі.

Таблиця 2.2 – Розрахункове навантаження силової мережі

№	Назва цехів	Рвст, кВт	Кп, відн.од	cos φ, відн.од.	gφ, відн.од.	$Pp_{сил}$, кВт	$Qp_{сил}$, кВАр
1	ЛЦ	990	0,7	0,65	1,2	693	810,2
2	ПЦ	101	0,7	0,65	1,2	707	827
3	КЦ	1050	0,65	0,7	1	676	690
4	ВЦ	950	0,75	0,6	1,3	675	900
5	МЦ	4645	-	0,7	1	2051,6	1907,24
6	ФЦ	1550	0,75	0,75	0,9	1125	844
7	ЕЦ	500	0,6	0,7	1	270	316
8	П	160	0,8	0,85	0,6	120	745
9	СДП	400х4	0,8	0,89	0,5	1280	620
10	К	170	0,8	0,85	0,6	136	102
11	СДК	630 х 4	0,8	0,89	0,5	2016	977
12	АСК	160	0,5	0,75	0,9	80	82
13	С	140	0,55	0,7	1	83	110

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку загального навантаження

Рр, кВт	1187	1201,3	1304,2	862	2080	1580	362	213	1280	264	2016	113,4	107,5
Qр, кВАр	1469,3	1486	1527	1150	1945	1450	438	235	620	224	977	139	143

Визначимо сумарне навантаження групи цехів за активною потужністю (приймаємо, що коефіцієнт різночасності максимумі дорівнює - 1), а реактивну потужність оцінимо з урахуванням генерації синхронними двигунами 10 кВ (СД-10 кВ) насосної та компресорної (тобто зі знаком «-»).

Реактивна потужність, яка генерується СД-10 кВ, визначається за формулою:

$$Q_{minСД} = n \cdot \beta \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi_{ном}, \quad (2.8)$$

Де n – кількість робочих СД, що працюють одночасно, шт., приймається - 4;

В - коефіцієнт завантаження СД активною потужністю, відн.од., приймається – 0,8;

$P_{ном}$ - номінальна активна потужність СД, кВт;

$tg\varphi_{ном}$ – відповідає значенню номінального коефіцієнта потужності СД - cos φ ном, який є випереджальним й приймається для всіх типів СД – 0,9.

Враховуючи величину цієї потужності, а також втрат активної і реактивної потужності в трансформаторах КТП остаточно приймаємо для всього об’єкту:

$$P_р = 12575 \text{ кВт};$$

$$Q_р = 9235 \text{ кВАр}.$$

3 ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ КТП

Потужність трансформаторів КТП обирається за активною потужністю з одночасним встановленням компенсуючих пристроїв на боці 0,4 кВ (НКП). Кількість встановлюваних трансформаторів перш за все залежить від категорії ЕП за надійністю. Визначимо розрахункову потужність трансформатора та занесемо дані у таблицю 3.1:

$$S_{ртр} = \frac{P_р}{n \cdot K_з} \quad (3.1)$$

де $P_р$ – розрахункова активна потужність конкретної КТП;

n – кількість трансформаторів в даній КТП;

$K_з$ – коефіцієнт завантаження, який має значення від 0,7 до 0,9 в залежності від кількості трансформаторів КТП та категорій об’єкту за надійності електропостачання.

Втрати реактивної (ΔQт, кВАр) потужності у трансформаторах визначаються за формулою:

$$\Delta Q_{тр} = \frac{I_к \cdot S_{ном.т}}{100} + K_з^2 \cdot \frac{U_к \cdot S_{ном.т}}{100} \quad (3.2)$$

Пропускну здатність трансформатора за реактивною потужністю визначаємо за формулою:

$$Q_{тр} = \sqrt{(K_з \cdot n_т \cdot S_{ном.т})^2 - P_{расч}^2} \quad (3.3)$$

Мінімальна розрахункова потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{тр} = Q_{розр} + \Delta Q_{тр} - Q_{тр} \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1 – Номінальної потужності трансформаторів КТП та компенсуючиих пристроїв

№ КТП на плані	P_p, кВт	$S_{ртр}$, кВА	Тип трансформатора	Тип НКП секції РУ - 0,38 кВ	Ip, А	$Ip_{ПАР}$, А
1	1187	848	ТМ3-1000/10	УКЛН-0,38-450-150УЗ	39	78
2	1201	858	ТМ3-1000/10	УКЛН-0,38-450-150УЗ	39	79
3	1304	931	ТМ3-1600/10	-	60	121
4	862	616	ТМ3-630/10	УКБН-0,38-300-200-50УЗ	25	51
5	2080	1486	ТМ3-1600/10	УКЛН-0,38-300-150УЗ	65	130
6	1579	1128	ТМ3-1600/10	-	64	129
7	212	151	ТМ3-250/10	-	9	19
8	788	563	ТМ3-630/10	УКЛН-0,38-450-150УЗ	25	51

4 ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ОБ'ЄКТА І ЦЕНТРА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Напруга живлення для всього об'єкту проєктування може бути визначенна за формулою:

$$U_ж = 4{,}34 \cdot \sqrt{L + 0{,}016 \cdot P_p} \quad (4.1)$$

де = l – довжина живлячої лінії, км;

$P_р$ - розрахункове електричне навантаження за активною потужністю для всього комбінату.

Об'єкт що проєктується може отримувати живлення від підстанції 150/10 кВ розташованій на відстані 2 км:

$$U = 4{,}34 \cdot \sqrt{2 + 0{,}016 \cdot 12573{,}5} = 62 \text{ кВ}$$

ПГВ-150/10 розміщується якумога ближче до центру електричних навантажень, координати якого визначається за формулами:

$$x_{ПГВ} = \sum_i^n (Pp_i \cdot x_i) / \sum_i^n Pp_i;$$
$$y_{ПГВ} = \sum_i^n (Pp_i \cdot y_i) / \sum_i^n Pp_i \quad (4.2)$$

де Pp_i - розрахункове навантаження кожної КТП та СД-10 кВ.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку місця розташування ПГВ 150/10 кВ

Номери КТП та СД	x_i, м	y_i, м	$Pp_i \cdot x_i$, кВт·м	$Pp_i \cdot y_i$, кВт·м
1	*2*	3	4	5
1	635	771	759248	924303

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
2	635	650	764031	797250
3	360	210	468362	288223
4	940	500	810942	477025
5	1400	380	2874907	804974
6	1200	380	1748757	612065
7	500	490	106351	106351
8	1160	720	916112	567117
ДП1	450	380	176000	154000
ДП2	450	400	176000	165000
ДП3	450	420	176000	176000
ДП4	450	440	176000	187000
ДК1	1150	500	693000	311850
ДК2	1150	520	693000	329175
ДК3	1150	540	693000	346500
ДК4	1150	560	693000	363825
Разом			11924714	6610659

$$\begin{cases} x_{ПГВ} = 895\ м \\ y_{ПГВ} = 495\ м \end{cases}$$

5 ВИБІР СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНОГО ПОРІВНЯННЯ ДВОХ ВАРІАНТІВ

Розглянуто два варіанти живлення об’єкта.

1-й варіант (рисунок 5.1) – живлення від ПГВ, що потребує значних витрат на закупівлю, монтаж і будівельні роботи, а також на лінію ПЛ-150 кВ. Додатково виникають втрати електроенергії при трансформації (холостого ходу та короткого замикання у трансформаторов 150/10.

2-й варіант (рисунок 5.2) – живлення без трансформації від ГПП 150/10 (2×63000), розташованої за 2 км. Для зниження втрат передбачено два розподільчі пункти (РП1 і РП2) біля насосної та компресорної, що зменшує струмове навантаження та довжину мережі 10 кВ. Обидва варіанти мають свої переваги та недоліки з точки зору витрат та енергозбереження, забезпечуючи однакову надійність завдяки радіальній схемі живлення та застосуванню АВР на всіх рівнях.

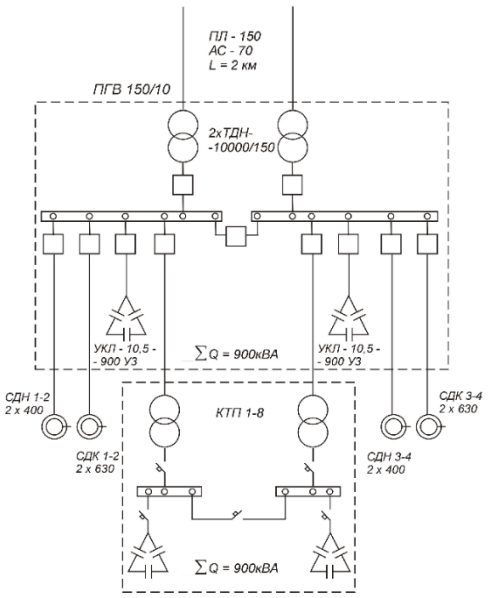


Рисунок 5.1 – 1 варіант схеми живлення

Внутрішньозаводський розподіл електроенергії при 10 кВ може виконуватися за радіальною, магістральною або змішаною схемами, залежно від вимог об’єкта. Сучасна практика передбачає ступеневий принцип побудови

схем (одноступеневих або двоступеневих для спрощення комутації, захисту та зменшення втрат).

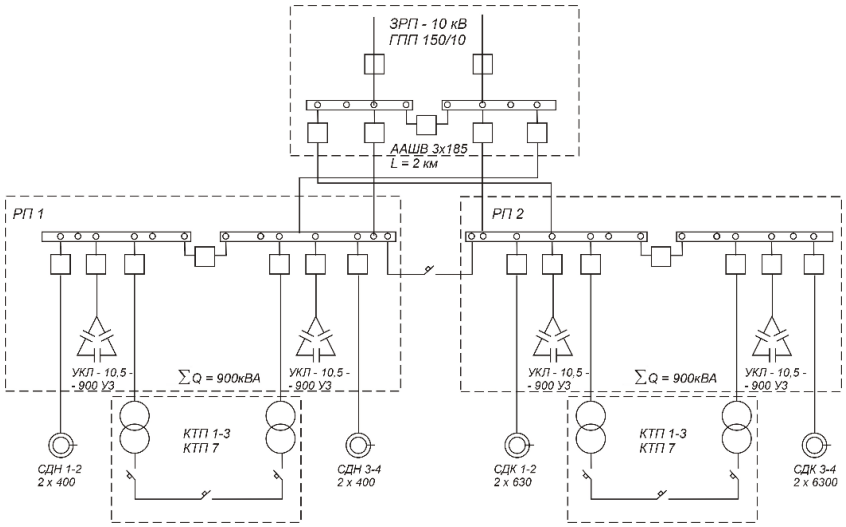


Рисунок 5.2 – 2 варіант схеми живлення

Для групи цехів обрано одноступеневу радіальну схему, що забезпечує високу надійність. Живлення від ПГВ 150/10 кВ подається окремими лініями до цехових КТП і СД-10 кВ, при цьому КТП взаємно резервуються через різні секції ПГВ.

Таблиці 5.1 та 5.2 містять розподіл КТП і СД-10 кВ по секціях ПГВ із зазначенням активної та реактивної потужностей, струмових навантажень у нормальному й аварійному режимах.

Усі значення враховують компенсуючі пристрої на високій напрузі (ЗРУ-10 кВ ПГВ). Аналогічні розрахунки наведено для другого варіанту (РП1 та РП2).

Таблиця 5.1 – Розподіл навантаження мережі для першого варіанту

№ секції підстанції	№ КТП (СД)	$P_{роз}$, кВт	$Q_{роз}$, кВАр	$I_{роз}$, А	$I_{роз\ ПАР}$, А
1	2	3	4	5	6
1	1	1201	641	39	79
	2	1208	659	40	80

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
	3	1313	1635	61	121
	4	867	206	26	56
	5	2091	864	65	139
	6	1590	1568	65	129
	7	215	255	10	19
	8	793	399	26	52
	ДП1	400	-194	26	26
	ДП2	400	-194	26	26
	СК1	630	-305	41	41
	СК2	630	-305	41	41
Разом 1 секція		6288	1417	374	746
2	1	1200	641	39	79
	2	1208	659	40	80
	3	1313	1635	61	121
	4	868	206	26	52
	5	2091	864	65	130
	6	1590	1568	65	129
	7	215	255	910	19
	8	793	399	26	51
	ДП1	400	-194	26	26
	ДП2	400	-194	26	26
	СК1	630	-305	41	41
	СК2	630	-305	41	41
Разом 2 секція		6287	1416	374	747

Таблиця 5.2 – Розподіл навантаження мережі для пдругого варіанту

№ секції	№ КТП (СД)	$P_{роз}$, кВт	$Q_{роз}$, кВАр	$I_{роз}$, А	$I_{роз\ ПАР}$, А
РП1-1	1	1200	641	39	79
	2	1208	659	40	80
	3	1313	1635	61	121
	7	215	255	10	19
	ДП1	400	-194	26	26
	ДП2	400	-1934	26	26
РП1-2	1	1200	641	39	79
	2	1208	659	40	80
	3	1313	1635	61	121
	7	215	255	10	19
	ДП1	400	-194	26	26
	ДП2	400	-194	26	26
РП2-1	4	867	206	26	52
	5	2091	864	65	131
	6	1590	1568	66	129
	8	793	399	26	51
	ДК1	630	-305	41	41
	ДК2	630	-305	41	41
РП2-2	4	867	201	26	52
	5	2091	864	65	131
	6	1590	1568	65	130
	8	793	399	26	51
	ДК3	630	-305	41	41
	ДК4	630	-305	41	41

Розрахуємо загальні втрати потужності для кожної секції, а також для кожного РП. Оскільки всі КТП розподілені рівномірно, сумарні втрати по секціях будуть однаковими.

Сумарні втрати для двох варіантів:

$$\Delta P_{т1(2)} = 31 \text{ кВт}; \Delta Q_{т1(2)} = 313 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{тПГВ} = 62 \text{ кВт}; \Delta Q_{тПГВ} = 626 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{т1(2)} = 16 \text{ кВт}; \Delta Q_{т1(2)} = 137 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{тРП1} = 31 \text{ кВт}; \Delta Q_{тРП1} = 273 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{т1(2)} = 15 \text{ кВт}; \Delta Q_{т1(2)} = 176 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{тРП2} = 30 \text{ кВт}; \Delta Q_{тРП2} = 358 \text{ кВАр};$$

Розрахункове навантаження на секції ПГВ та РП, з урахуванням потужностей НКП і втрат у трансформаторах, визначається підсумовуванням відповідних вузлів. Оскільки трансформатори КТП і СД-10 кВ розподілені рівномірно, навантаження на кожну секцію буде однаковим.

$$P'р_{1(2)} = 6287 \text{ кВт}, Q'р_{1(2)} = 2315 \text{ кВАр};$$

$$P'р_{ПГВ} = 12573 \text{ кВт}, Q'р_{ПГВ} = 4630 \text{ кВАр};$$

$$P'р_{1(2)} = 2608 \text{ кВт}, Q'р_{1(2)} = 1285 \text{ кВАр};$$

$$P'р_{РП1} = 5216 \text{ кВт}, Q'р_{РП1} = 2570 \text{ кВАр};$$

$$P'р_{1(2)} = 3679 \text{ кВт}, Q'р_{1(2)} = 1030 \text{ кВАр};$$

$$P'р_{РП2} = 7357 \text{ кВт}, Q'р_{РП2} = 2060 \text{ кВАр}.$$

У цьому розділі розраховано потужність компенсуючі пристрої на боці напруги 10 кВ. Вибір їхньої потужності здійснено з урахуванням КП на низькій напрузі КТП, номінальна потужність яких визначена раніше.

Таким чином:

$$Q_{рвкп} = Q'_{рвкп} - Q'_{ек} \quad (5.1)$$

Q'р – це сумарне розрахункове навантаження ПГВ 150/10 кВ або двох розподільчих пунктів і визначається за відповідною формулою:

$$Q'_{рвкп} = Q_р + \sum\Delta Q_т - \sum Q_{нкп} \quad (5.2)$$

Qек – оптимальна реактивна потужність від енергосистеми.

$$Q_{ек} = 0{,}25 \cdot P`_Р \quad (5.3)$$

До першої і другої секції підключається пристрій УКЛ-10,5-900У3, тоді за рахунок небалансу реактивної потужності може збільшитися або знизитись реактивна потужність від енергосистеми.

$$S' = \sqrt{P'^2_р + Q'^2_{ек}} \quad (5.4)$$

$$S' = \sqrt{12573{,}4^2 + 2830{,}1^2} = 12888 \text{ кА}$$

$$I_р = 373 \text{ А};$$

$$I_{рПАР} = 745 \text{ А}.$$

Для іншого варіанту розрахунки зведемо у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати вибору КП 10кВ

№ Вар.	Рр', кВт	Qр', кВАр	$Q_{ек}$, кВАр	$Q_{рвкп}$, кВАр	$Q_{рвкп}$, кВАр	тип ВКП	ΔQ, кВАр	Q'ек, кВАр
ПГВ 150/10	12574	4630	3143	1487	743	УКЛ-10,5-900У3	-313	2830
РП1	5216	2570	1304	1266	633	УКЛ-10,5-900У3	-534	770
РП2	7357	2060	839	1211	611	УКЛ-10,5-900У	-579	260

Таким чином потужність компенсуючих пристроїв на боці 10 кВ становить 1800 кВАр та 3600 кВАр для першого і другого варіантів відповідно.

Завдяки небалансу та використанню синхроних двигунів зменшується споживання реативної потужності. Це дозволяє замість Qек споживати Q'ек, що знижує річні витрати на реактивну електроенергію.

При виборі всіх елементів мережі 10 кВ спочатку необхідно розрахувати струми короткого замикання (к.з.), оскільки перевірка елементів мережі на їх здатність витримувати к.з. є важливою умовою вибору.

Розрахункова схема та схема заміщення для визначення струмів короткого замикання показані на рисунках:

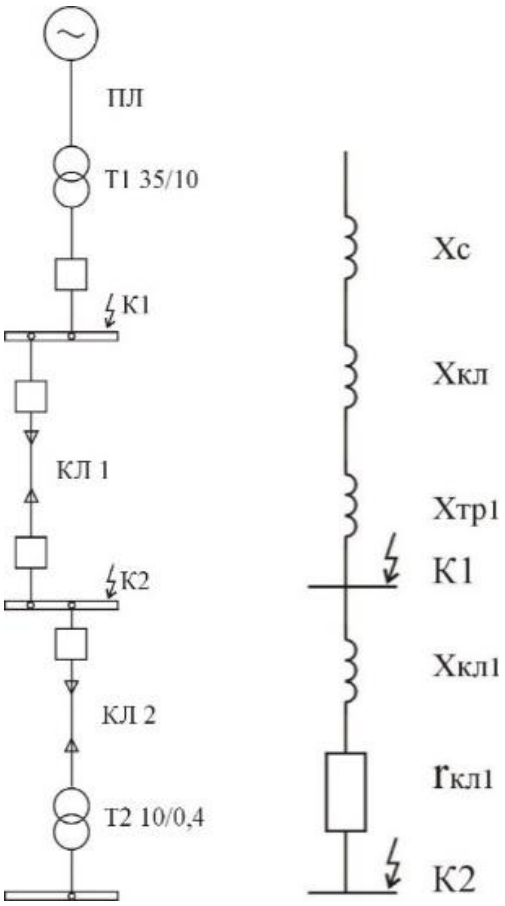


Рисунок 5.3 – Вихідні схеми для розрахунку струмів к.з

Діюче значення струму короткого замикання визначається за формулою:

$$I`` = I_{\infty} = \frac{U_{кз}}{\sqrt{3} \cdot Z_{кз}} \quad (5.5)$$

де $U_{кз}$ – середнє значення напруги у точці к.з., кВ;

$Z_{кз}$ – еквівалентний опір до точки КЗ.

Цей опір складається з опорів повітряної лінії 150 кВ і трансформаторі ПГВ.

$$x_{пл} = x_o \cdot l, \quad (5.6)$$

$$x_{тр} = \frac{U_k \cdot U_{ном}}{100 \cdot S_{ном}} \quad (5.7)$$

де x_o – питомий реактивний опір повітряної лінії 150 кВ, ом/км;

l – довжина повітряної лінії;

$U_{кз}$ – напруга кз трансформаторів ПГВ, %;

$S_{ном}$ – номінальна потужність трансформаторів ПГВ;

$U_{ном}$ – номінальна напруга.

Розрахунок опорів: $x_л$ = 0,8 Ом, $x_{тр}$ = 236 Ом

Сумарний опір к.з. до точці к.з. К1 складе:

$$Z_{кз} = X_{екв} / k^2 \quad (5.8)$$

$$Zкз = 0,95 \text{ Ом}.$$

Значення струмів к.з. у точці К1:

$$I`` = I_\infty = \frac{U_{кз}}{\sqrt{3} \cdot z_{кз}} \quad (5.9)$$

$$I`` = I_\infty = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,948} = 6,4 \text{ кА}$$

Ударний струм на шинах ЗРП-10 кВ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I'', \quad (5.10)$$

де $k_{уд}$ – ударний коефіцієнт, значення якого можна прийняти 1,8;

I'' діюче значення періодичної складової струму короткого замикання/

При $K_{уд}$ =1,8 й I'' = 6,4 ударний струм складе:

$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,4 = 16$ кА.

Враховуємо підживлення від синхроних двигуні напругою 10 кВ:

$$I''_{СД} = 5{,}5 \cdot I_{\sum СД}; \quad (5.11)$$

$$i_{удСД} = \sqrt{2} \cdot К_{уд} \cdot I'' \quad (5.12)$$

де $К_{уд} = 1{,}82$

$I_{\sum СД}$ – сумарний номінальний струм двигунів 10 кВ.

Для першого варіанту:

$$I_{\sum СД} = 2 \cdot 25{,}7 + 2 \cdot 40{,}5 = 132 \text{ А};$$

Для другого варіанту (РП1):

$$I_{\sum СД} = 2 \cdot 25{,}7 = 51 \text{ А};$$

Для другого варіанту (РП2):

$$I_{\sum СД} = 2 \cdot 40{,}5 = 81 \text{ А},$$

тоді:

$$I''_{СД} = 0{,}73 \text{ кА},$$

$$i_{удСД} = 7 \text{ кА (1, К1)};$$

$$I''_{СД} = 0{,}28 \text{ кА},$$

$$i_{удСД} = 0{,}714 \text{ кА (2 (РП1), К1)};$$

$$I''_{СД} = 0{,}45 \text{ кА},$$

$$i_{удСД} = 1{,}2 \text{ кА (2 (РП2), К1)}$$

Таким чином I" = 7,1 кА; $i_{уд} = 18{,}3$ кА.

Для другого варіанту:

$$I`` = I_{\infty} = \frac{10{,}5}{\sqrt{3} \cdot 0{,}3} = 20 \text{ кА}$$

Струм короткого замикання в точці $К_2$ (з'являється додатковий опір кабельної лінії):

$$x_{кл} = x_o \cdot l, \quad (5.13)$$

$$r_{кл} = r_o \cdot l, \quad (5.14)$$

$$Z_{кз} = \sqrt{(x_{пл} + x_{тр} + x_{кл})^2 + r_{кл}^2} \quad (5.15)$$

де x_o – питомий реактивний опір кабельної лінії$

r_o - питомий активний опір кабельної лінії

l – довжина кабельної лінії, км.

Для РП1:

$x_{кл}$ 0,16 Ом; $r_{кл}$ = 0,35 Ом;

$Z_{кз}$ = 0,6 Ом; I'' = 11 кА;

$i_{уд}$ = 11кА.

Проводимо аналогічні розрахунки для варіанту 2:

I'' = 11 кА;

$i_{уд}$ = 13 кА.

Для розподілу електричної енергії змінного струму напругою 10 кВ в системі з ізольованою нейтраллю використовують комірки з викатним елементом серії КУ - 10Ц. Вони укомплектовані вакуумними вимикачами типу ВР. Також в цих комірках знаходятся трансформатори струму з дебільше для підключення кіл релейного захисту. Також в комірках знаходятся трансформатори напруги, розрядники, обмежувачі перенапруги, силові запобіжники. Параметри шафи занесемо у таблицю 5.4.

Таблица 5.4 – Характеристика шафи

Робочі параметри	Номінальні значення
Номінальна напруга, кВ	6; 10
Номінальний струм головних кіл, А	630;1000;1600;2000; 3150
Номінальний струм збірних шин, А	1000; 1600; 2000; 3150
Номінальний струм вимикання, кА	20; 31,5; 40
Максимальне амплітудне значення струму електродинамічної стійкості, кА	51; 81
Струм термічної стійкості	20; 31,5

Для ПГВ та РП-10 кВ на кожну секцію встановлюються трансформатори власних потреб. Трансформатор напруги використовують для включення котушок вимірювальних приладів і захисту, а також для відділення вимірювальних ланцюгів від високої напруги.

Розподільний пристрій 10 кВ для підстанції 150/10 складається з двох секцій, що включають ввідні (2 шт.), відходящі (24 шт.) комірки, трансформатори напруги (2 шт.) і секційну (1 шт.). У другому варіанті для РП1 і РП2 розподільчий пристрій складається з двох секцій з ввідними, відходящими комірками, трансформаторами напруги, та межсекційною коміркою.

Основним елементом кожної шафи (комірки) є високовольтний вимикач, який одночасно є комутаційним апаратом і апаратом захисту.

Вибір високовольтного вимикача відбувається за наступними умовами:

- за номінальною напругою;

- за номінальним струмом (розрахунковий струм повинен бути менше номінального струму вимикача);

- за комутаційною здатністю (найбільший струм короткого замикання повинен бути меншим за комутаційну здатність вимикача);

- за динамічною стійкістю до струмів короткого замикання (ударний струм короткого замикання повинен бути меншим масимального миттєвого значення струму електродинамічної стійкості);

- за термічною стійкістю до струмів короткого замикання (перевірка виконується за умовою $I^2\tau> = B_к$, де Iτ - струм термічної стійкості протягом 3 секунд, $B_к = I^2_\infty \cdot t$, I∞ розрахований струм короткого замикання, реальний час вимикання короткого замикання).

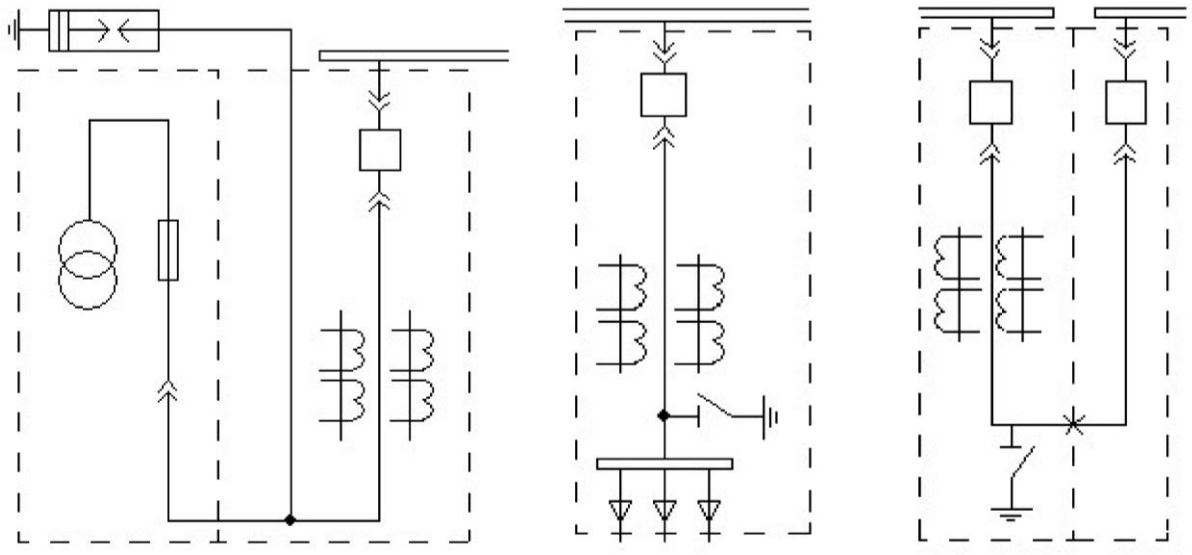


Рисунок 5.4 – Схематичне зображення комірок КУ – 10 Ц

В даній схемі обираємо комірки для вводу, для живлячих ліній та межсекційну з наступними параметрами:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А},$$

$$I_{вим\ макс} = 20 \text{ кА},$$

$$i_{дин} = 51 \text{ кА},$$

$$I_{\tau} = 20 \text{ кА}.$$

Вимірювальні трансформатори струму обирають заномінальною напругою, номінальним струмом, за класом точності, за електродинамічною і термічною стійкостью до струмів короткого замикання.

Номінальний первинний струм обирають, враховуючи параметри основного обладнання та його перевантажувальну здатність, щоб уникнути перевантаження трансформаторів.

В якості трансформаторів струму використовуются пристрої з номінальним вториним струмом 5А. Клас точності трансформаторів струму залежить від їх призначення.

Трансформатори напруги вибираються за номінальною напругою первинної обмотки, класом точності та схемою з'єднання обмоток.

Клас точності перевіряється, порівнюючи фактичне навантаження вторинного ланцюга з номінальною потужністю вторинної обмотки.

Для вибору перерізу провідників кабельних ліній 10 кВ беруть до уваги технічні умови, зокрема допустимий нагрів, економічну доцільність перерізу та термічну стійкість до короткого замикання.

Також враховуються умови прокладання кабелю — у ґрунті, кабельних лотках або тунелях, оскільки це впливає на допустимий струм навантаження. При визначенні економічно доцільного перерізу враховуються втрати електроенергії та строк окупності додаткових витрат на більший переріз.

Перевірка термічної стійкості провідників виконується для умов короткочасних перевантажень та коротких замикань, відповідно до нормативних документів. Для забезпечення надійності роботи мережі також проводиться перевірка напруги в контрольних точках з урахуванням падіння напруги на ділянках лінії.

Додатково, для забезпечення нормального режиму роботи, передбачається вибір апаратури захисту — запобіжників, автоматичних вимикачів та реле — які повинні забезпечувати швидке відключення аварійних ділянок.

Під час проєктування мереж також аналізується можливість резервного живлення для забезпечення безперебійної роботи критичних споживачів.

Для живлення секцій РП 10 кВ, а також трансформаторів КТП використовуються найбільш поширенні для таких цілей кабелі ААШв (ці кабелі мають алюміневи жили і алюміневи оболонки). Розражнок перерізу кабелю відбуається за трьома параметрами:

- економічно вигідний переріз кабелів визначається за формулою:

$$S_{ек} = \frac{I_{норм}}{J_{ек}}, \text{ мм}^2 \qquad (5.16)$$

де $I_{норм}$ – струм нормального робочого режиму в А;

$J_{ек}$ – економічно вигідна густина струму в $\frac{А}{мм^2}$, яка залежить від

типу марки кабелю, а також числа годин використання максимуму навантаження (приводится в ПУЕ).

- перевірка перерізу кабеля за нагрівом у максимальному режимі. Допустимий для даного кабелю струм з урахуванням умови прокладки та умов навколишного середовища, допустимого перевантаження порівнюють зі струмом його форсованого режиму з урахуванням резервування.

$$К_{пер}\, I`_{доп} \geq I_{ф} = К_{рез}\, I_{норм},\ А \qquad (5.17)$$

Допустимий тривалий струм для кабелів напругою 10 кВ з урахуванням умов прокладки та впливу навколишнього середовища визначається за формулою:

$$I`_{доп} = К_{сер}\, К_{пр}\, I_{доп},\ А \qquad (5.18)$$

де - $К_{сер}$ - поправковий коєфіцієнт на температуру навколишнього средовища;

$К_{пр}$ – поправковий коєфіцієнт на кількість кабелів, що лежать поручь у землі;

$I_{доп}$ – допустимий тривалий струм кабеля стандартного перерізу для стандартних умов.

- за термічною здатністю до струмів короткого замикання:

$$S_{mim} = \frac{\sqrt{B_к}}{C} = \frac{I_к\sqrt{t}}{C},\ мм^2 \qquad (5.19)$$

де $B_к$ – тепловий імпульс струму короткого замикання, $А^2 \cdot с$;

С – температурний коєфіцієнт, який характеризує обмеження допустимої температурі кабелю, $\frac{А\cdot\sqrt{с}}{мм^2}$;

$I_к$ – початкове значення періодичної складової струму трифазного котроткого замикання в Амперах;

t – дійсний час вимикання короткого замикання в секундах.

Результат розрахунку перерізів кабельних ліній за трьома умовами зведені в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Переріз кабельних ліній

Ділянка ел. мережі, що живить вузел	Ел. навантаження за струмом		Вихідні дані та результати вибору перерізів при різних технічних вимогах							Перетин кабвльної лінії	
			Параметр 1			Параметр 2		Параметр 3			
	I, А	$I_р$, А	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$S_{ст}$, мм^2	$S_{ек}$, мм^2	$S_{ст}$, мм^2	$S_т$, мм^2	n, шт	S, мм^2	n, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
КТП1	39	79	75	84	16	28	35	50	1	50	1
КТП2	40	80	75	84	16	28	35	50	1	50	1
КТП3	61	121	115	129	35	43	50	50	1	50	1
КТП4	26	56	75	84	16	18	25	50	1	50	1
КТП5	65	131	140	158	50	47	50	50	1	50	1
КТП6	66	129	115	129	35	47	50	50	1	50	1
КТП7	10	19	75	84	16	7	16	50	1	50	1
КТП8	26	51	75	84	16	18	25	50	1	50	1
СДН	26	26	75	75	16	18	25	50	1	50	1
СДК	41	41	75	75	16	29	35	50	1	50	1
ВКП1	52	52	75	75	16	37	50	50	1	50	1
КТП1	39	79	75	84	16	18	25	95	1	95	1
КТП2	40	80	140	156	50	47	50	95	1	95	1
КТП3	61	121	115	129	35	46	50	95	1	95	1
КТП7	10	19	75	84	16	18	25	95	1	95	1
СДН	28	26	75	75	16	18	16	95	1	95	1
ВКП1	52	52	75	75	16	37	50	95	1	95	1
РП1	153	305	275	309	150	109	120	150	1	95	1
КТП4	26	52	75	84	16	18	25	95	1	95	1
КТП5	65	131	140	158	50	47	50	95	1	95	1
КТП6	65	129	115	129	35	46	50	95	1	95	1
КТП8	256	51	75	84	16	18	25	95	1	95	1
СДК	41	41	75	75	16	29	35	95	1	95	1
ВКП2	52	52	75	75	16	37	50	95	1	95	1
РП2	213	4256	410	461	95	152	185	95	2	95	2

Розглядаються два варіанти схеми живлення металургійного комбінату, що забезпечує основне виробництво виготовлення металургійних продукції:

1) Встановлення всласної підстанції 150/10 кВ, розташованої на території підприємства в центрі електричних навантажень. Підстанція включає розподільчий пристрій 10 кВ, від якого живляться всі цехові КТП.
2) Встановлення на території підприємства двох розподільчих пристроїв 10 кВ, від яких живляться цехові КТП.

Ці варіанти відрізняються параметрами мережі, зокрема втратами електроенергії. У першому варіанті застосування високої напруги 150 кВ знижує втрати активної потужності порівняно з другим варіантом, але втрати в самих трансформаторах підстанції 150/10 є значними.

Оскільки в двох варіантах встановленні компенсуючи пристрої напругою 10 кВ різної потужності призведе до різної плати за реактивну потужніть.

Використання СД-10 кВ на насосній та компресорній знижує споживання реактивної потужності, а застосування ВКП створює небаланс реактивної потужності, що впливає на величину споживаної реактивної потужності (Q'ек) замість Qек від енергопостачальної організації.

Небаланс реактивної потужності може бути визначений за формулою:

$$\Delta Q = Q_р - (Q_{ек} + Q_{нкп}) \qquad (5.20)$$

Таким чином, величина реактивної потужності що передається від енергосистеми ($Q'_{ек}$) може змінюватися:

$$Q'_{ек} = Q_{ек} \pm \Delta Q \qquad (5.21)$$

Так з розрахунків режиму споживання реактивної електроенергії для першого варіанту небаланс реактивної потужності складе:

$$\Delta Q\ 150/10 = -\ 313\ кВАр,\ Q'ек150/10 = 2830\ кВАр.$$

Для другого варіанту:

$$\Delta Q_{РП1} = -534 \text{ кВАр}, \; Q'_{екРП1} = 770 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{РП2} = 579 \text{ кВАр}, \; Q'_{екРП2} = 260 \text{ кВАр};$$

Ціна за перетікання реактивної потужності у електричних мережах може бути визначеной за формулою:

$$П_Q = W_Q \cdot D_Q \cdot T = Q'_{ек} \, T_{ма} \cdot D \cdot T, \qquad (5.22)$$

де W_Q – реактивна енергія, що передається від енергосистеми, кВАр·год;

D_Q – економічний еквівалент реактивної потужності, що надається енергосистемою, кВт/кВАр;

$t_{ма}$ – число годин використання максимуму, в годинах;

Т – тариф за електричну електроенергію, грн/кВт год.

Враховуючи дані указані вище: $П_{Q1}$ = 4050,3 тис. грн/рік, $П_{Q2}$ =1473,4 тис. грн/рік.

Втрати активної потужності в режимі максимального навантаження мережі, кВт:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot R_0 \, L \cdot 10^{-3} \qquad (5.23)$$

де Ір – розрахунковий струм, А

R_0 - питомий опір мережі, який залежить від перерізу і матеріалу кабелів, а також їх кількості, Ом;

L - довжина ділянки мережі, м;

Втрати електричної енергії за рік визначаються за формулою:

$$\Delta W_e = \sum \Delta P \cdot \tau_м \qquad (5.24)$$

τм – число годин максимуму втрат електричної енергії:

$$\tau_м = \left(0{,}124 + \frac{t_{ма}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 \qquad (5.25)$$

де $t_{ма}$ – число годин використання максимуму;

Втрати електричної енергії в компенсуючих пристроях напругою 10 кВ:

$$\Delta W_{вкп} = q\ Q_{вкп} \cdot t_{ма} \qquad (5.26)$$

де q – питомі втрати активної потужності, 0,002 кВт/кВАр.

Втрати електричної енергії в трансформаторах напругою 150/10.

$$\Delta W_{тр} = n \cdot Pxx \cdot T_B + n \cdot Pк \cdot Kз^2 \cdot \tau_{ма}, \qquad (5.27)$$

де n – кількість трансформаторів, шт;

$P_{хх}$ – втрати холостого ходу, кВт;

$T_В$ – число годин включення трансформаторів;

$P_к$ – втрати котороткого замикання, кВт;

$К_з$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Загальні витрати на передачу електричної енергії по елементам системи визначається за формулою:

$$С_в = \sum W \cdot T \cdot 10^{-3} \qquad (5.28)$$

Критерій визначення біль оптимального варіанту – мінімум річних зведених витрат:

$$З = Е_н \cdot К + С_{а,\ о} + С_в + П_Q \qquad (5.29)$$

де Ен - нормативний коефіцієнт ефективності, рівний 0,12;

К - капіталовкладення у систему електропостачання, тис. грн;

Са, о - річні витрати на амортизацію та експлуатацію елементів системи, тис. грн/рік;

$С_в$ - витрати на втрати активної електроенергії при передачі її по системі електропостачання, тис. грн/рік.

На основі результатів розрахунку втрат електричної енергії по окремих елементах і системи в цілому виконаємо аналіз ефективності роботи мережі, виявимо вузли з найбільшими втратами та обґрунтуємо можливі шляхи їх зменшення. У таблицях 5.6 та 5.7 подано зведені техніко-економічні показники енергетичної системи підприємства. Проведемо детальний аналіз отриманих даних, порівняємо варіанти електропостачання за рівнем втрат, витрат на реалізацію, надійністю та окупністю впроваджених заходів. Особливу увагу приділимо впливу запропонованих енергоефективних рішень на загальну економічну доцільність модернізації мережі.

Таблиця 5.6 – Втрати електричної та її вартість

ΔW, МВт·год/рік	1 варіант	2 варіант
ПЛ 150 кВ	11	-
Власна підстанція 150/10	415	-
КЛ 10 кВ до РП	-	532
КЛ 10 кВ до КТП	131	40
ВКП	18	36
В цілому	576	608
Св, тис.грн/рік	2401	2541

З таблиці 5.6 видно, що в другому варіанті сумарні втрати електричної енергії в системі більші на 5,6%. Це свідчить про те, що міркування щодо зниження втрат завдяки використанню високої напруги 150 кВ у першому варіанті підтвердилися на практиці. Результати порівняння — 11 МВт·год/рік проти 532 МВт·год/рік — демонструють суттєву перевагу першого варіанту щодо зниження втрат на магістральній ділянці.

Однак, слід враховувати, що втрати енергії, пов’язані з трансформацією на рівні 150 кВ, становлять 415,3 МВт·год/рік, що істотно знижує загальний ефект енергозбереження. Таким чином, економія, яка залишається після урахування втрат трансформації, становить лише 426 МВт·год/рік, що наближається до рівня втрат у другому варіанті (532 МВт·год/рік), зумовлених довшою протяжністю мережі 10 кВ.

Перевагою другого варіанту є раціональне розташування джерел живлення РП1 та РП2 безпосередньо біля основних споживачів, що дозволило зменшити втрати в розподільчій мережі 10 кВ більш ніж утричі — з 131 МВт·год/рік до 41 МВт·год/рік. Це суттєво покращує ефективність розподілу енергії на рівні цехів та знижує навантаження на кабельні лінії. Проте, попри переваги у внутрішньозаводському розподілі, загальні втрати у другому варіанті все ж залишаються вищими. Витрати на покриття цих втрат електроенергії, виходячи з діючих тарифів, становитимуть орієнтовно 2,40 млн грн/рік для першого варіанту та 2,55 млн грн/рік для другого. Це означає, що перший варіант, хоча й вимагає більших початкових капіталовкладень, є більш економічно виправданим у довгостроковій перспективі.

Таблиця 5.7 – Техніко-економічні показники електричної мережі варіантів джерел живлення металургійного комбінату

Техніко-економічні показники, тис.грн/рік	1 варіант	2 варіант
Капіталовкладення К, тис.грн	17944	15709
Приведені капіталовкладення Ен·К	2153	1885
Витрати на амортизацію та обслуговування Са,о	1201	851
Витрати на покриття втрат електричної енергії Св	2400	2542
Плата за споживання реакт. електричної енергії	4050	1473
Витрати на експлуатацію електричної мережі	3601	3393
Витрати на експлуатацію електричної мережі	7651	4866
Наведені річні витрати на будівництво та експлуатацію	9804	6752

Крім того, варто враховувати експлуатаційні витрати та простоту обслуговування систем, де варіант з ПГВ демонструє вищий рівень централізації і, відповідно, потенційно нижчі витрати на технічне обслуговування. За розрахунками другий варіант має перевагу на 31,1% за критерієм мінімуму річних витрат:

$$\Delta З = 100 \cdot (9804{,}4 - 6751{,}5) / 9804{,}4 = 31{,}1\%.$$

Другий варіант передбачає менші капіталовкладення в електрообладнання, але втрати електроенергії в мережі більші на 5,6%, що призводить до додаткових витрат у розмірі 142,1 тис. грн на рік. Однак, знижена плата за реактивну потужність дозволяє зменшити річні експлуатаційні витрати до 2,8 млн грн/рік, що зробило цей варіант економічно вигіднішим. Тому вибрано джерело живлення у вигляді двох РП, розташованих біля компресорної та помпової.

Попри економічну ефективність, для досягнення мети зниження втрат електричної енергії пропонуємо енергозберігаючі заходи та оцінку їхньої ефективності.

6 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ

Перед впровадженням енергозберігаючих заходів необхідно визначити втрати електроенергії в системі, розподіливши їх за рівнями. Це важливо, оскільки кожен рівень (наприклад, цехові мережі, КТП 10/0,4 кВ, КЛ 10 кВ) обслуговується окремими службами.

Такий підхід дозволяє виявити обсяги споживання, потенціал економії та необхідні витрати на рисунку 6.1.

Розрахунок втрат по кожному елементу системи й у цілому проведено в програмі «ElPotional» на основі детермінованого методу з використанням параметра τм.

Вхідними даними стали експлуатаційні характеристики системи результати подано також на діаграмі у вигляді рисунку 6.2

Сумарні втрати електроенергії по рівнях системи та загалом становлять:

$$\Delta W_{\text{КТП}} = 532{,}2 \text{ МВт·год/рік}$$

$$\Delta W_{\text{живл.ЕМ}} = 537{,}3 \text{ кВт·год/рік}$$

$$\Delta W_{\text{розп.ЕМ}} = 76{,}1 \text{ кВт·год/рік}$$

$$\Delta W = 1145{,}6 \text{ МВт·год/рік}$$

Загальна кількість електричної енергії за активною потужністю:

$$\sum W = P_р \cdot t_м \cdot 10^{-3} \qquad (6.1)$$

де $P_р$ – розрахункове навантаження за активною потужністю, кВт.

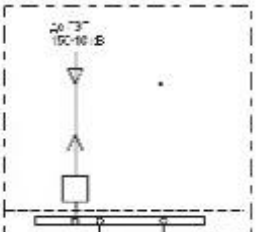
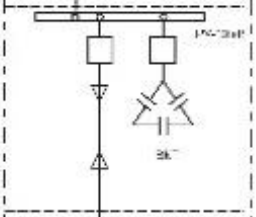
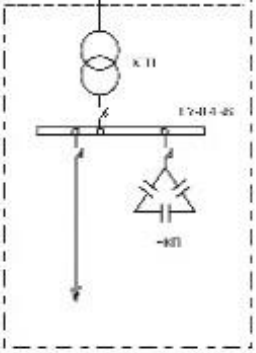
$$\sum W = 62867{,}0 \text{ МВт·год/рік},$$

При втратах активної електроенергії на рівні 1,8% від загального річного споживання підприємства, їх орієнтовна вартість становить близько 4,8 млн грн на рік (за чинним тарифом 5,07 грн/кВт·год).

Це означає, що майже 5 млн грн щорічно витрачається виключно на покриття технологічних втрат у системі електропостачання, не приносячи при цьому жодної додаткової користі для виробничого процесу.

Це також підкреслює доцільність впровадження технічних рішень, спрямованих на покращення якості розподілу електроенергії, таких як: впровадження систем автоматичного регулювання навантаження, оптимізація топології мережі, модернізація трансформаторного обладнання, а також активне використання засобів компенсації реактивної потужності.

Таблиця 6.1 – Річні втрати електричної енергії

Рівень системи	Схема	Параметри елементів системи	Сумарні річні втрати електроенергії, МВт год/рік
Електрична мережа 10 кв **живлення**		Σ L = 2,5 км ААШв 2(3х95); (3х185) $Q_{вкл}$ = 3 600 кВАр	537,3
Електрична мережа 10 кв **розподільча**		Σ L = 3,1 км ААШв (3х95)	76,1
КТП 10/0,4 кВ		$\Sigma S_{ном}$ = 8 310 кВА 2х630 - 2х600 кВА $N_{ктп}$ = 8 $K_з$ = 0,63 - 0,69 $\Sigma Q_{вкл}$ = 4 600 кВАр	532,2
Система електропостачання			1 145,6

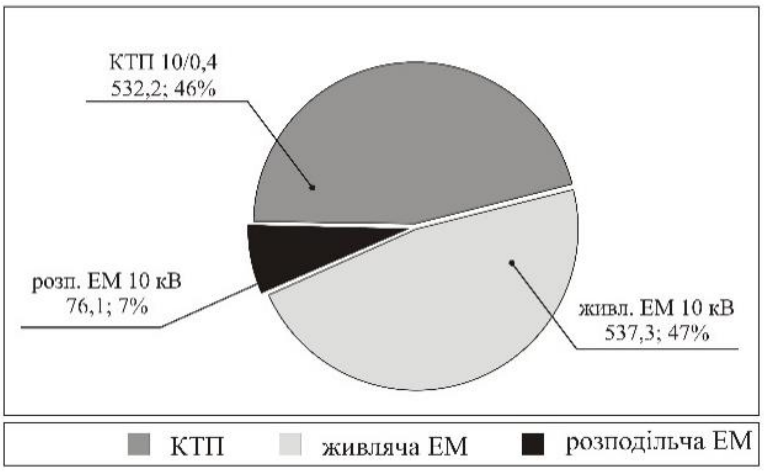


Рисунок 6.2 – Втрати електричної енергії по окремих елементах мережі

Зменшення втрат у системі можливе двома основними способами:

– зменшення опору та струмового навантаження у передаючих елементах;

– оптимізація роботи трансформаторів, зокрема зменшення їх номінальної потужності та кількості для скорочення втрат холостого ходу.

Також ефективним є зниження реактивної складової навантаження за рахунок встановлення компенсувальних пристроїв (КП). Для цехових КТП 10/0,4 кВ доцільно використовувати найбільш поширений варіант – компенсацію реактивної потужності (КРП) на стороні НН.

Потужність КП добиралася з урахуванням пропускної здатності трансформаторів, забезпечуючи компенсацію на НН і зменшуючи навантаження на ВН.

У проєкті передбачено встановлення додаткових КП для реалізації повної компенсації на НН КТП.

Це дозволяє знизити втрати в самих КТП і уникнути потреби компенсації на ВН. Для цього було розраховано необхідну потужність КП – від 4600 до 9800 кВАр, що забезпечує повну компенсацію реактивної потужності і усуває додаткові витрати на її споживання.

Таблиця 6.1 містить техніко-економічні показники як для базової, так і для модернізованої мережі. Зокрема, враховані заходи щодо зниження опору ділянок КЛ 10 кВ шляхом прокладання додаткових кабелів.

Таблиця 6.1 – Результат впровадження енергозберігаючих заходів

Енерго-зберігаючий захід	Вартість тис.грн	Річні витрати на обслуговування системи, тис.грн/рік	Економ. ефект від впровадження заходу	Додат. вклад. тис.грн
Використання додаткових кабельних ліній в живлячій мережі	26828	7926	610	11119
Використання додаткових кабельних ліній у розподільчої мережі	18763	7371	54	3054
Встановлення додаткових компенсуючих пристроїв 0,4	21099	5762	1556	2860

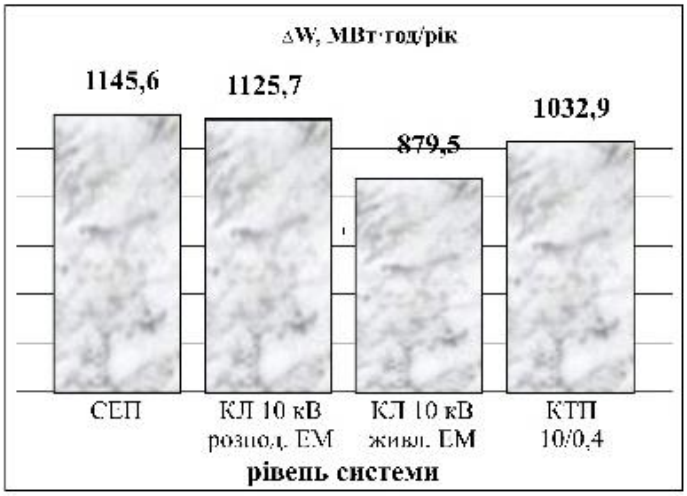


Рисунок 6.3 – Втрати електричної енергії по окремих елементах

7 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

Для подальшої прокатки рулони укладаються електромостовим краном на нахилену площадку приймального пристрою прокатного стана. Перед першим упором рулони, при послідовному опусканні упорів, скочуються до поворотного пристрою, перед яким вони центрируются лінійками з гідравлічним приводом. Під дією сили тяжіння рулони скочуються при послідовному опусканні пневматичних упорів, розташованих уздовж приймального пристрою. При опусканні останнього упору рулон надходить на поворотний пристрій. На наступному рисунку можно побачити як виглядає прокатний агрегат.



Рисунок 7.1 – Прокатний агрегат

На поворотному пристрої рулони повертаються навколо вертикальної осі на 180° і по гравітаційному рольгангу поворотного пристрою надходять на скидальник рулонів. Нахилом скидальника (від пневматичного циліндра) рулон скочується в люльку розмотувача, де повертається у положення, зручне для відгинання кінця смуги, і залежно від його діаметра одночасно підіймається або опускається за допомогою люльки на рівень конусів розмотувача. Рулон

центрується конусами, і за допомогою електромагнітного відгинача кінець смуги відгинається у крайнє верхнє положення для заправки у тягнучі ролики. Відігнутий електромагнітним відхилювачем передній край смуги притискається знизу до тягнучого ролика. Після цього під низ смуги підводяться два опорних ролики, які разом з тягнучим роликом утворюють трироликову правильну машину. Смуга подається на стаціонарний стіл і на заправній швидкості подається у валки стана. Із захопленням переднього кінця смуги валками кліті №1 починається прокатка смуги. При проходженні переднього кінця смуги через стан чотирьох клітей для отримання заданої у режимі обтиснень товщини, після кожної кліті необхідно збільшити обтиснення в клітях №1, №2 і №3. З цією метою нажимні гвинти кліті №1 необхідно опустити на 0,7–1,0 мм, кліті №2 – на 0,5 мм, кліті №3 – на 0,3 мм нижче встановленого для даного розміру нульового положення. При захопленні переднього кінця смуги валками кліті №4 нажимні гвинти клітей №1, №2 і №3 піднімаються до початкового нульового положення. Задача у зів барабана моталки здійснюється на заправній швидкості.

Після виходу стана на робочу швидкість товщина готової смуги встановлюється на номінальне значення згідно із замовленням. Після виходу заднього кінця смуги з кліті робочі валки встановлюються у вихідне, для даного профілю, положення для прийому наступної смуги. Зняття прокатаного рулону з барабана моталки здійснюється за допомогою горизонтального переміщення гідравлічного візка-знімача.

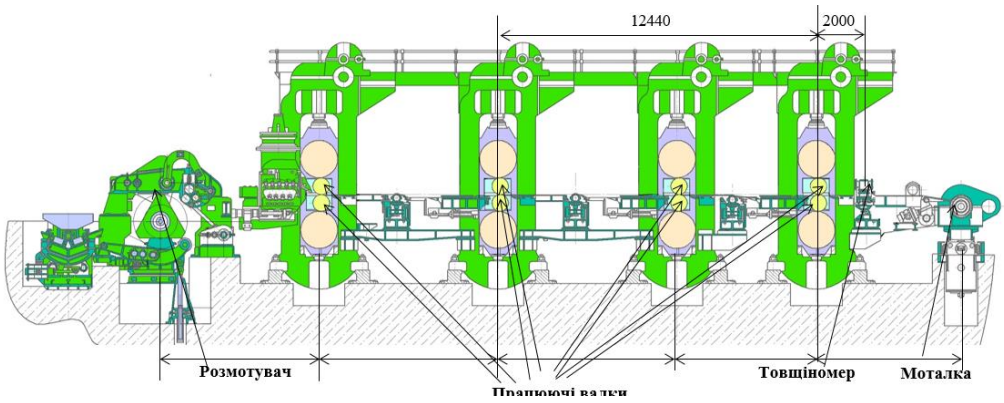


Рисунок 7.2 – Схема прокатного агрегату

Рулон, знятий з моталки, транспортується візком до похилої жолобної частини приймального пристрою і перекидається на нього, при цьому зникаючий упор знаходиться у піднятому стані і перед ним має розташовуватися не менше одного упакованого рулону. Після повернення візка-знімача під моталку на приймальному пристрої здійснюється упаковка холоднокатаного рулону гарячекатаної сталевою пакувальною стрічкою перерізом 1,8–2,0×30 мм. Рулони по транспортному рольгангу надходять до кантовача, де встановлюються у вертикальне положення, а потім встановлюються на транспортер для передачі у термічне відділення. Компенсація реактивної потужності в електричній мережі з різко змінними навантаженнями. При різко змінних навантаженнях (наприклад, дугові сталеплавильні печі, вентильні перетворювачі) у мережі виникають значні коливання напруги. Для їх оцінки використовуються графіки роботи споживача та розраховується розмах еквівалентного коливання напруги. Допустимі коливання не повинні перевищувати 1%.

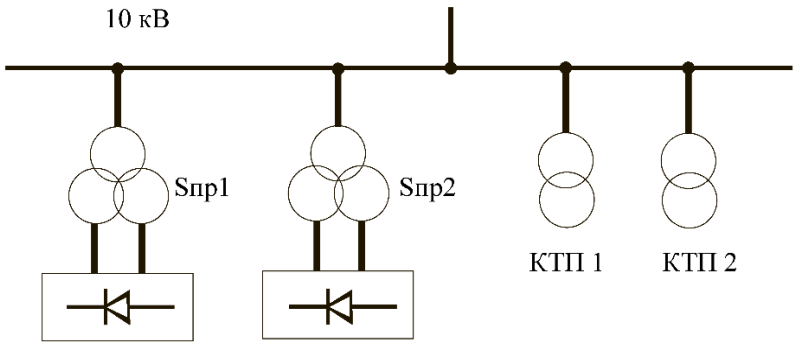


Рисунок 7.3 - Компенсація реактивної потужності з різкозмінним навантаженням

Раптові зміни навантаження властиві електропечам, зварювальним пристроям, верстатам з великою інерційністю та імпульсним споживачам. Вони спричиняють: стрибки напруги в мережі, погіршення якості електроенергії, збої у роботі чутливого обладнання, компенсація реактивної потужності забезпечує зменшення втрат електроенергії в лініях Підвищення коефіцієнта потужності

(cosφ).

Зменшення навантаження на трансформатори та генератори. Підтримка стабільної напруги в мережі. Найефективніші методи компенсації при раптових навантаженнях: автоматизовані тиристорні батареї конденсаторів (АТБК) — дозволяють оперативно реагувати на зміну навантаження. Гібридні системи — поєднання статичних і динамічних засобів (наприклад, конденсаторів і синхронних машин). Системи з предиктивним керуванням — передбачають зміну навантаження та адаптують параметри компенсації заздалегідь.

Контроль та моніторинг: встановлюються електронні контролери для постійного вимірювання параметрів мережі (U, I, P, Q). Релейний захист та автоматика запобігають аваріям при недопустимих коливаннях потужності або напруги. Проєктні аспекти: треба враховувати тип навантаження, швидкість зміни режимів, характерні гармоніки. При використанні компенсаторів у промислових цехах, важливо розміщувати їх якомога ближче до джерел споживання для мінімізації втрат. Гармонійна сумісність: Системи компенсації мусять бути сумісні з фільтрами гармонік, аби уникати резонансів у мережі.

Техніко-економічна ефективність: витрати на встановлення компенсуючих пристроїв часто окупаються за 1–2 роки за рахунок економії електроенергії та зниження штрафів за низький cosφ.

Основні параметри. Середня частота коливань визначається як відношення кількості імпульсів до часу циклу визначаетьсяза формулою:

$$f = n / T \tag{7.1}$$

Розрахунок розмаху коливань реактивної потужності. Для однакових ДСП:

$$V_{екв} = 100 * N * Sн.х / Sk \tag{7.2}$$

Для різної потужності:

$$Vекв = 100 * Σ(Sн.xi) / Sн.макс * (Sн.макс / Sk) \quad (7.3)$$

Компенсація:

Для таких навантажень використовують: Динамічні та статичні компенсатори та синхронні компенсатори (звичайні або швидкодіючі — ССК).

Потужність ССК визначається та враховується змінна і постійна складові реактивної потужності.

$$Qск = Qка + Qр.к.с \quad (7.4)$$

Іскоме значення Qск:

$$Qск = \sqrt{[(Kф * Q)^2 + (Kс * Qср)^2]} \quad (7.5)$$

При схемах із тиристорними реакторами (СТК) застосовуються два підходи: Пряма компенсація – ступінчасте підключення конденсаторів та непряма компенсація – керовані реактори з фільтрами

Далі проведемо невеликий розрахунок для прикладу. Визначимо потужність фільтрів у мережі 10 кВ з вентильними перетворювачами. Дано: Sном = 7,5 МВА, tgφдоп = 0,2, tgφсер = 1.

Розрахунок:

Потрібна компенсація: Qку = 5,25 – 1,05 = 4,2 Мвар

Разом з фільтрами: Qсум = 4,2 + 2,2 = 6,4 Мвар

Для двох дугових печей коливання напруги: Va = 1,8% (не перевищує 1%, значить потрібно компенсувати).

Для електропостачання з різкими навантаженнями слід передбачати: швидкодіючі компенсуючі пристрої (особливо для ДСП). Точний розрахунок потужності компенсації, орієнтуючись на допустимі коливання напруги. Вибір між фільтрами, реакторами чи синхронними компенсаторами залежно від характеру навантаження.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1 Розрахунок системи штучного освітлення

В основу обчислення покладено метод коефіцієнта використання світлового потоку. Обчислення здійснюється для визначення розрахункового світлового потоку освітлювача $F_{расч.}$ за формулою:

$$F_{РАСЧ.} = \frac{E_н \cdot S \cdot k \cdot z}{N \eta} \cdot 100 \qquad (8.1)$$

де $F_{расч.}$ – світловий потік одного джерела світла;

$E_Н$ – нормоване освітлення;

S – площа приміщення, м^2;

k – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт найменшої освітленості $E_{ср}/E_{min}$;

N – кількість світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, %.

8.2 Визначення світлового потоку лампи

1. Нормовану освітленість визначають за табл. П2 з урахуванням характеристик зорових робіт, наведених у табл. П3, відповідно до заданого коду зорової роботи.

2. Визначають площу відділу по формулі:

$$S = A \cdot B \qquad (8.2)$$

де А - ширина приміщення, м;

В - довжина приміщення, м

$$S = 5 \cdot 20 = 100 \text{ м}^2$$

3. Визначають коефіцієнт запасу k з таблиці П4 залежно від значення запиленості виробничого приміщення (табл. 1), водночас величину коефіцієнта

беруть як середню.

4. Вибирають коефіцієнт мінімальної освітленості **z** визначається залежно від типу ламп за табл. П1, приймаючи значення **z** для відповідного виду ламп:

4.1) Люмінесцентних ламп ЛЛ = 1,1;



Рисунок 8.1 - Люмінесцентні лампи

4.2) Ламп розжарювання ЛН = 1,15;



Рисунок 8.2 - Лампа розжарювання

4.3) Дугоразрядних ламп ДРЛ = 1,2.



Рисунок 8.3 - Дугоразрядна лампа

5. Розрахунок необхідної кількості ламп N здійснюють за умови їх паралельного розташування в плані та забезпечення рівномірного освітлення, при цьому необхідно дотримуватися таких співвідношень:

$$\frac{L}{H_p} = 1{,}0 \qquad (8.3)$$

де L — відстань між світильниками в рядах та між рядами, м.

HP - в висота підвісу лампи над робочою поверхнею, м, визначається за формулою:

$$H_p = H - (h_c + h_P) \qquad (8.4)$$

$$H_p = 4 - (0{,}1 + 1{,}3) = 2{,}6$$

де H – 4, геометрична висота приміщення, м;

h_C -0,1 відстань від стелі приміщення (цеху) до лампи, м;

h_p - 1,2 відстань від підлоги до робочої поверхні, м.

Число рядів світильників R у разі їх паралельного розміщення обчислюють за формулою:

$$R = \frac{A - x}{L} \qquad (8.5)$$

$$R = \frac{5 - 1{,}5}{4} = 0{,}875$$

де x — відстань від краю приміщення, що дорівнює 1,5 м.

Кількість світильників у ряду LR знаходять за формулою:

$$LR = \frac{B - y}{L} \qquad (8.6)$$

$$LR = \frac{20 - 1{,}4}{4} = 4{,}6$$

де y — відстань від краю ряду, прийнята рівною 1,4 м.

Кількість рядів ламп R та ламп у ряду округляють до цілого. Кількість світильників N визначають за формулою:

$$N = R \cdot L_г. \quad (8.7)$$

$$N = 4{,}7 \cdot 0{,}88 = 4$$

6. Коефіцієнт використання світлового потоку η визначають із врахуванням коефіцієнтів відбиття світла від стелі і стін та індексу приміщення. Індекс приміщення і обчислюють за формулою:

$$\mathbf{i} = \frac{A \cdot B}{H_р\,(A+B)} \quad (8.8)$$

$$\mathbf{i} = \frac{20*5}{2.7\,(20+40)} = 1{,}4$$

7. У разі, якщо значення і більше за 5,0, приймають і = 5,0. Підставивши знайдені дані у формулу, обчислюють розрахунковий світловий потік одного світильника.

8.3 Вибір типу ламп залежно від призначення приміщення та умов експлуатації (механічний цех)

Тип лампи вибирають за величиною світлового потоку FГОСТ, найбільш близького до величини розрахованого світлового потоку Fрасч. У тому випадку, коли максимальне значення Fрасч. для світильника значно відрізняється від FГОСТ, слід збільшити кількість відповідних за типом ламп в світильнику до 2, 3, 4 і т. д. При перевірці правильності вибору лампи приймати світловий потік, рівний відповідно 2, 3 або 4 × FГОСТ.

Перевірку правильності вибору лампи проводять за формулою::

$$\frac{F_{гост} - F_{расч}}{F_{гост}} \times 100\% \quad (8.9)$$

$$F\text{расч} = \frac{400*100*1.6*1.1}{4*1.4} = 12571$$

Вибираємо світильник T10C150 150W.

8.4 Вимога техніки безпеки до експлуатації електрообладнення

Електроустановка (ЕУ) – це установка, в якій виробляється, перетворюється, передається, розподіляється та споживається (перетворюється в інші види) електрична енергія. За видами струму ЕУ поділяють на установки змінного та постійного струму. Найбільше розповсюдження мають ЕУ змінного струму з частотою 50 Гц.

Тому у цій та наступній лекції, коли мова йтиме про ЕУ змінного струму, треба сприймати інформацію щодо ЕУ з частотою 50 Гц. ЕУ змінного струму поділяють на однофазні і трифазні. Однофазні електричні мережі (ЕМ) – це мережі, які живляться від окремої обмотки джерела живлення (ДЖ – генератора чи трансформатора), яка не має електричних з'єднань з іншими обмотками. Такі ЕМ застосовують вкрай зрідка. В абсолютній більшості випадків застосовуються трифазні ЕМ і трифазні споживачі. Трифазні ЕМ живляться від трьох обмоток і мають певні електричні з'єднання між собою .

Трифазні ЕМ напругою понад 1 кВ мають три фазні провідники (позначаються L1, L2, L3), а напругою до 1 кВ – п'ять чи чотири провідники, у т.ч. три фазні, один нейтральний (для отримання фазної напруги – N) і один захисний (для убезпечення експлуатації ЕУ), якщо ЕМ п'ятипровідникова, або один суміщений провідник (поєднує функції нейтрального і захисного – PEN), якщо ЕМ чотирипровідникова. Споживачі електричної енергії можуть бути трифазні, які живляться від усіх трьох фаз, найчастіше – це електродвигуни. Рідше в умовах виробництва трапляються однофазні споживачі, які живляться від одного фазного і нейтрального (N) проводів. В умовах виробництва це, в основному, освітлювальні установки чи ЕУ невеликої потужності, у т.ч. і ПЕОМ. Однофазні ЕУ найчастіше застосовують у побуті. Хоча ці ЕУ й однофазні, але живляться вони не від однофазних мереж, а від трифазних. Тому у вирішенні питань безпеки треба вважати, що вони отримують живлення від

трифазної ЕМ як її частина, і на них розповсюджуються усі положення щодо трифазних ЕМ. Трифазні мережі мають дві напруги: фазну (Uф) між фазним і нейтральним провідниками та лінійну (Uл) між двома фазними провідниками.

Лінійна напруга у 3 більша фазної. Найчастіше Uф=220 В, а Uл =380 В. Трифазні споживачі мають обидві напруги, а однофазні – лише 220 В. Щодо величини напруги ЕУ підрозділяють на установки напругою до 1 кВ (включно за діючою величиною) і понад 1 кВ. Для ЕУ напругою до 1 кВ прийнято вказувати обидві напруги – лінійну і фазну, а понад 1 кВ – тільки лінійну напругу. Стандартними напругами до 1 кВ є: 220/127, 380/220 та 660/380 В. Найбільш розповсюдженими є ЕУ з напругою 380/220 В (трифазні споживачі) чи 220 В (однофазні споживачі). Стандартними напругами понад 1 кВ є: 6, 10, 35, 110, 150, 220, 330, 400, 500 і 750 кВ. Щодо заходів електробезпеки (і режиму нейтралі ДЖ відносно землі) ЕУ поділяють на такі класи: напругою до 1 кВ в ЕМ із глухозаземленою нейтраллю; напругою до 1 кВ в ЕМ з ізольованою нейтраллю; напругою понад 1 кВ в ЕМ з ізольованою, компенсованою або (і) заземленою через резистор нейтраллю; напругою понад 1 кВ в ЕМ із глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю. ЕУ мають такі наступні основні конструктивні елементи: − провідна частина – будь яка частина, яка має властивість проводити електричний струм; − провідник – провідна частина, призначена для проведення електричного струму певного значення;

− лінійний (фазний) провідник (L) – провідник, який у нормальному режимі роботи ЕУ перебуває під напругою і використовується для передавання і розподілу електричної енергії, але не є провідником середньої точки або нейтральним провідником;

− нейтральний провідник (N-провідник) – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, електрично з’єднаний з нейтральною точкою ДЖ, що використовується для розподілу електричної енергії;

− нейтральна точка – спільна точка з’єднаної у зірку багатофазної системи або заземлена точка однофазної системи;

− провідник середньої точки (М-провідник) – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який електрично з’єднаний з середньою точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії;

− захисний провідник – провідник призначений для забезпечення електробезпеки;

− РЕ-провідник – захисний провідник в ЕУ напругою до 1кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом;

− PEN-провідник – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який поєднує функції нейтрального (N-) і захисного (РЕ-) провідників;

− струмовідна частина – провідник або провідна частина, що перебуває у процесі нормальної роботи ЕУ під напругою, включаючи нейтральний (N-) провідник, але не (РЕ-) провідник;

− відкрита провідна частина – провідна частина ЕУ, доступна для дотику, яка у процесі роботи не перебуває під робочою напругою, але може опинитися під напругою у разі ушкодження ізоляції струмовідних частин (наприклад, корпуса ЕУ);

− стороння провідна частина – провідна частина, яка не є частиною ЕУ, здатна виносити електричний потенціал, зазвичай, електричний потенціал локальної землі (наприклад, рейки під’їзних колій, будівельні металоконструкції, металеві труби та оболонки комунікацій тощо).

8.5 Заходи з рожежної безпеки

Головними причинами виникнення пожеж та вибухів є поява електричних дуг і іскор. Часто займання виникають через перегрів провідників при коротких замиканнях чи перевантаженнях, а також через незадовільний стан контактів у місцях з'єднання проводів або приєднання їх до електрообладнання.

Для уникнення перегріву провідників та іскріння електрообладнання у пожежо- і вибухонебезпечних приміщеннях обирають відповідно до норм ПУЕ. З урахуванням пожежонебезпечних властивостей електроустановок і вимог

ПТЕ та ПТБ рекомендують допустимі температури нагріву частин електричних машин і апаратів, провідників, контактів та інших частин електрообладнання, тому в процесі експлуатації електроустановок необхідно контролювати температуру нагрівання електричних машин, апаратів, струмоведучих проводів

Виробничі споруди та кімнати зобов'язані мати відповідний ступінь вогнестійкості. Будівельні конструкції та матеріали мають відповідати положенням будівельних норм і правил з урахуванням категорії виробництва за вибухопожежною небезпекою.

Важливу роль у гарантуванні пожежної безпеки відіграють протипожежні перепони, що виконуються у вигляді стін, перегородок, перекриттів, дверей, люків і вікон з негорючих матеріалів. Протипожежні вікна повинні бути стаціонарними, тобто такими, що не відчиняються. Для забезпечення безпеки людей у разі пожежі потрібно передбачати швидку та організовану евакуацію через спеціально облаштовані евакуаційні виходи.

Виходи з першого поверху споруди повинні вести безпосередньо назовні. З приміщень, розташованих на інших поверхах, евакуаційні виходи повинні вести на сходові клітки, які мають вихід назовні або через вестибюль. Гасіння пожеж здійснюється шляхом різкого охолодження горючих матеріалів водою чи водяною піною, зниження концентрації кисню, а також введенням у зону горіння інертних газів, приміром азоту або вуглекислого газу.

З метою уникнення пожежам в електроустановках обов’язково проводять протипожежний інструктаж для всіх працівників. На підприємствах повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння — порошкові вогнегасники, пожежні шланги для подачі води, ящики з піском та пожежні щити.

8.6 Заходи щодо забезпечення санітарно-гігієнічних умов на виробництві

Гігієна праці досліджує, як умови праці впливають на здоров’я працівників, і розробляє заходи для профілактики захворювань, підвищення

працездатності й ефективності праці. Виробнича санітарія являє собою систему організаційних, гігієнічних заходів і засобів, що запобігають вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів. Для покращення умов праці у цеху передбачено використання вентиляторів і систем кондиціонування повітря. В електротехнічних та слюсарних майстернях, а також на складах готової продукції встановлюються кисневі грубки. Опалення в майстернях здійснюється за допомогою парових або водяних систем.

8.7 Естетика виробництва

Стелі в цехах фарбують звичайно у світло-блакитний, а при відсутності природного освітлення — у білий колір. Відділення, де відбуваються значні тепловиділення, фарбуються у світло-блакитний; віконні й ліхтарні рами — у білий; верх стін — у світло-блакитний, а між віконні стовпи і панелі — у блакитний колір. У цехах, де для виконання робіт потрібно напружувати зір, панелі стін і міжвіконні стовпи фарбують у світло-зелений колір. Кути приміщень, урни для сміття і ділянки підлоги, де вони розміщуються, фарбують у яскраво-зелений колір, крім того, добре освітлюють. Цехи з великим виділенням пилу необхідно облицьовувати плиткою чи фарбувати масляними фарбами, що полегшує їх ефективне прибирання.

Для полегшення зорових функцій робітників треба створювати кольоровий контраст між тлом і деталями, що піддаються обробленню. Пульти управління дозувальними пристроями доцільно фарбувати яскравими кольорами, а конструкції пультового відділення і днище бункерів — сіро-блакитним.

Виробничі приміщення машин, обладнання необхідно фарбувати з урахуванням естетичних і психофізіологічних особливостей і характеру роботи. Розрізняють дві особливості фарбування — раціональність і захисні властивості. Під раціональністю освітлення і фарбування розуміють їх здатність заспокоювати зір, зменшувати втомлюваність очей, створювати умови для

швидкої зорової адаптації у робочому середовищі. Пофарбована поверхня має бути матовою.

У промисловості застосовуються розпізнавальне, попереджувальне і відмітне захисне фарбування. Розпізнавальне фарбування використовують для балонів зі стисненими та зрідженими газами, для відкритих заземлювачів, технолог, трубопроводів тощо. Попереджувальне фарбування свідчить про небезпеку (червоний колір) чи безпеку (зелений колір); жовтий колір попереджує про можливість виникнення небезпеки, вимагає підвищеної уваги.

Відмітне фарбування служить для розпізнавання однакових за формою, але різних за призначенням предметів (пускові кнопки, арматурні сталі різних марок тощо). Основними для фарбування обладнання є зелений, сірий і близькі до них кольори. Небезпечні частини й деталі машин фарбуються у яскраві попереджувальні кольори (червоний, жовтий).

Стандарт встановлює наступні стандартні сигнальні кольори:

- червоним сигнальним кольором позначаються: кнопки, важелі управління і аварійні стоп сигнали; ємності з легкозаймистими, вогненебезпечним і вибухонебезпечним вмістом; внутрішні поверхні шаф з токоведущимі елементами електроустаткування; пристрої і засоби пожежогасінні; сигнальні лампи, що сповіщають про порушення технологічного режиму або умов безпеки;

- жовтим сигнальним кольором позначаються: елементи будівельних конструкцій, що представляють небезпеку аварій і нещасних випадків; до потенційно небезпечних елементів виробничого середовища належать: низько розташовані балки, виступи та перепади рівня підлоги; краї люків і колодязів; звужені проїзди; крайки вантажних платформ; елементи виробничого обладнання; незахищені частини механізмів, які не повністю перекривають небезпечні ділянки устаткування; крайки штампів, пресів, молотів; поручні на ремонтних і монтажних майданчиках висотного обладнання та верстатів; а також елементи внутрішньоцехового і міжцехового транспорту; знаки, застережливі про небезпеку;

- зеленим сигнальним кольором позначаються: пристрої і засоби забезпечення безпеки - аварійні двері і рятувальні виходи; пункти першої допомоги; сигнальні лампи, що сповіщають про нормальний режим роботи машини або автоматичної лінії; аптечки і місця зберігання рятувальних засобів; приписуючі знаки;

- синій сигнальний колір застосовується для позначення елементів виробничо-технічної інформації та вказівних знаків. Контури проїздів, проходів і робочих місць маркуються жовтими або білими смугами.

Встановлені чотири групи знаків безпеки:

1. що забороняють - червоний круг з білим полем всередині і символічним зображенням всередині, перекресленим червоною смугою;

2. застережливі - жовтий рівносторонній трикутник вершиною до верху з символічним зображенням чорного кольору, а для знаків радіаційної небезпеки і небезпеки електричного струму - червоного кольору;

3. приписуючі - зелений квадрат з символічним зображенням білого кольору або зелений квадрат з білим кругом всередині і пояснюючим написом чорного кольору;

4. вказівні - синій прямокутник з білою стрілкою і символічним зображенням або написом чорного кольору усередині білого квадрата.

Дня пунктів медичної допомоги і вказівних знаків пожежної безпеки символ або напис потрібно виконувати червоним кольором усередині білого квадрата.

Згідно ПУЕ шини мають бути позначеними:

1) за змінного трифазного струму: шини фази А - жовтим кольором, фази В - зеленим, фази С - червоним, нульова робоча шина N - блакитним, цю саму шину, яку використовують як нульову захисну, - подовжніми смугами жовтого і зеленого кольорів;

2) за змінного однофазного струму: шина фази А, приєднана до початку обмотки джерела живлення, - жовтим кольором, а фази В, приєднана до кінця обмотки, - червоним.

Шини однофазного струму, якщо вони є відгалуженням від шин трифазної системи, позначаються як відповідні шини трифазного струму;

3) за постійного струму: позитивна шина (+) - червоним кольором, негативна (-) - синім і нульова робоча М - блакитним;

ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблено схему електропостачання групи цехів металургійного комбінату на основі затверджених вимог і стандартів.

У сучасних умовах зниження витрат електричної енергії на металургійних підприємствах набуває стратегічного значення. Реалізація енергоефективних заходів, впровадження інноваційних технологій та оптимізація виробничих процесів дозволяють не лише зменшити операційні витрати, але й сприяють досягненню екологічних цілей.

Досвід провідних технічнологічно-розвивених країн країн свідчить про ефективність комплексного підходу до енергозбереження, який включає використання систем управління енергоспоживанням, впровадження відновлюваних джерел енергії та модернізацію обладнання. Зокрема, дослідження показують, що гнучкість у споживанні електроенергії та застосування сучасних технологій можуть значно підвищити енергоефективність виробництва.

Отже, для досягнення ефективного розвитку та підвищення конкурентоспроможності металургійних підприємств необхідно впроваджувати сучасні енергоефективні рішення, адаптовані до специфіки виробництва, що забезпечить економічну вигоду та екологічну відповідальність.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. / Міненерговугілля України. Харків : Видавництво Форт, 2024.
2. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник / В. Ц. Жидецький. 5-те вид., доп. Київ : Знання, 2014. 373 с. + 1 ел. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3.
3. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом : ДСТУ Б В.2.5-82:2016. На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 109 с. (Державний стандарт України).
4. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18 (дата звернення: 28.05.2025).
5. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення : на заміну ДБН В.2.5-28:2006 ; чинний з 2019-03-01. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с.
6. Технічні характеристики кабелів [Електронний ресурс]. URL: https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej- (0,66;-1kv)/avvg/avvg-3x701x50.html (дата звернення: 28.05.2025).
7. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Ред. від 16.10.2020. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17 (дата звернення: 28.05.2025).
8. Енергозбереження в промисловості України: сучасні виклики та перспективи / Національний інститут стратегічних досліджень. 2023.
9. Розвиток енергоефективних технологій у металургії // Промислова енергетика. 2024. № 2.
10. Стратегія енергетичної безпеки України до 2035 року / Міністерство енергетики України. 2023.
11. Впровадження систем енергоменеджменту на підприємствах / Асоціація енергоаудиторів України. 2024.
12. Огляд сучасних методів зниження енергоспоживання в промисловості / Інститут промислової енергетики НАН України. 2023.
13. Energy Efficient Manufacturing Scheduling: A Systematic Literature Review, arXiv, 2023.
14. From prosumer to flexumer: Case study on the value of flexibility in decarbonizing the multi-energy system of a manufacturing company, arXiv, 2023.

15. A Comparative Analysis of Electricity Consumption Flexibility in Different Industrial Plant Configurations, arXiv, 2024.
16. A systematic review on expert systems for improving energy efficiency in the manufacturing industry, arXiv, 2024.
17. Industrial Energy Efficiency: Trends and Best Practices / International Energy Agency (IEA). 2023.
18. Der Schatten hinter der guten Klimabilanz der Dax-Konzerne // Welt. 2024.
19. Steigerung der Energieeffizienz auf Deutschland wartet das nächste Einspargesetz // Welt. 2023.
20. ABB-Studie zeigt: 98 Prozent der deutschen Industrieunternehmen haben Energieeffizienz im Fokus // ABB. 2023.
21. Nachhaltigkeit: Industrieunternehmen peilen Net Zero bis 2033 an // Umweltdialog. 2023.
22. Energieeffizienz in der Industrie: Strategien und Maßnahmen / Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. 2024.
23. Les certificats d'économie d'énergie, une cagnotte «verte» de 5 milliards d'euros à l'efficacité mitigée // Le Monde. 2024.
24. La France doit soutenir massivement les entreprises spécialisées dans les énergies renouvelables // Le Monde. 2024.
25. Efficacité énergétique industrielle: «Il reste encore beaucoup de chemin à parcourir pour les PME» // NetPME. 2024.
26. L’efficacité énergétique: un levier incontournable pour le secteur industriel // Enoptea. 2025.
27. Efficacité énergétique en industrie : enjeux, avantages et solutions // Big média. 2024.

ДОДАТКИ

Додаток А

ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАНИ
ДБН В.2.5–28:2018 "ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ"

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи (РЗР)	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення		
						Освітленість, лк		
						Комбіноване освітлення		Загальне освітлення
						Всього	Ут.ч. від загального	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Найвищої точності	Менше 0,15	I	а	малий	темний	5000 4500	500 500	–
			б	малий середній	середній темний	4000 3500	400 400	1200 1000
			в	малий середній великий	світлий середній темний	2500 2000 2000	300 200 200	750 600 600
			г	середній великий великий	світлий світий середній	1500 1250 1250	200 200 200	400 300 300
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,30 включно	II	а	малий	темний	4000 3500	400 400	–
			б	малий середній	середній темний	3000 2500	300 300	750 600
			в	малий середній великий	світлий середній темний	2000 1500 1500	200 200 200	500 400 400
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	1000 750 750	200 200 200	300 200 200
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	а	малий	темний	2000 1500	200 200	500 400
			б	малий середній	середній темний	1000 750	200 200	300 200
			в	малий середній великий	світлий середній темний	750 600 600	200 200 200	300 200 200
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	400 400 400	200 200 200	200 200 200

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Середньої точності	Більше 0,5 до 1,0	IV	а	малий	темний	750	200	300
			б	малий середній	середній темний	500	200	200
			в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	200
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	–	–	200
Малої точності	Більше 1,0 до 5,0	V	а	малий	темний	400	200	300
			б	малий середній	середній темний	–	–	200
			в	малий середній великий	світлий середній темний	–	–	200
			г	середній великий великий	світлий світлий середній	–	–	200
Груба, дуже малої точності	Більше 5,0	VI	–	Незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном		–	–	200
Робота з матеріалами, які світяться і виробами в гарячих цехах	Більше 5,0	VII	–	Незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном		–	–	200
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу:– *постійне*		VIII	–	Незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном		–	–	200

Продовження додатока А

L E D - с в і т и л ь н и к и							
Тип світильника	**Потужність світильника, P_{LED}, Вт**	**Світловий потік, Φ_{LED}, лм**	**Висота підвісу світильника над підлогою, м**	**Використання світильника**	**Довжина світильника, L_{LED}, мм**	**IP**	**L / h**
SLICK PRS AGRO LED18	18	2 300	≤ 5 м	Лабораторії, приміщення з пиловидиленням	953	65	1,4
INOX LED30	26	3 000	≤ 5 м	Виробничі, складські приміщення, хімічні цехи, лабораторії	700	65	1,4
INOX LED50	41	5 100	≤ 5		700	65	1,4
INOX LED70	65	7 500	≤ 5		1600	65	1,4
INOX LED80	82	10 000	≤ 5		757	65	1,4
FACTORY OPL LED50	54	6 000	5 - 8	Складські, виробничі приміщення, цехи, гіпермаркети	1 212	54	1,4
ECO LB/S LED75	75	8 500	5 - 8	Виробничі цехи	757	54	1,5
INSEL LB/S LED100	88	10 000	5 - 12	Виробничі приміщення, спортивні комплекси	335×335 точковий	66	1,4
INSEL LB/S LED150	145	14 600	5 - 12		335×335 точковий	66	1,4
ORBITA LED150	126	18 200	8 - 30	Виробничі цехи, логістичні комплекси	Ø 377 точковий	65	1,2
LODESTAR LED230	205	26 100	8 - 30	Виробничі підприємства, нафтогазові та складські об'єкти, спортзали	Ø 390 точковий	65	1,4
HB LED75	68	9 000	10 - 30	Виробничі цехи, ангари, складські приміщення, логістичні комплекси	463	65	1,5
HB LED80	210	24 200	10 - 30		463	65	1,5

Таблиця 4 – Оцінка коефіцієнта запасу k_3

Показники приміщення	**Приміщення**	**Коефіцієнт запасу, k_3**	
		газорозрядні лампи (ЛЛ, ДРЛ, ДРИ)	**лампи розжарювання (ЛР)**
Запиленість більше 5 мг/м^3	Цементні заводи, агломераційні фабрики, ливарні, доменні, прокатні цехи	**2,0**	**1.7**
Дим, кіпоть 1– 5 мг/м^3	Ковальські, мартенівські, збірного залізобетону, сталеплавильні цехи	**1.9**	**1.6**
Велика концентрація парів кислот, лугів, газів	Хімічні, гальванічні, електролізні цехи	**1.8**	**1.5**
Менше 1 мг/м^3	Інструментальні, складальні, механічні цехи	**1.6**	**1.4**
Відсутність парів кислот і лугів, запиленість значно менше 1 мг/м^3	Адміністративні, офісні, навчальні, приміщення для креслення, читальні зали, конструкторські бюро, інші допоміжні приміщення	**1.4–1,7**	**1.3**

z = 1,1 – для люмінесцентних ламп низького тиску та лінійних LED-світильників;

z = 1,15 – для ламп розжарювання *ЛР*, газорозрядних ламп високого тиску типу *ДРЛ* і *ДРИ* та точкових LED-світильників.

Продовження додатка А

Таблиця 5 – Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення

Відбивальна поверхня	Коефіцієнт відбиття ρ, %
Площина з білою поверхнею (*побілена стеля; побілені стіни з вікнами; вікна закриті білими шторами*)	70
Площина зі світлою поверхнею (*побілені стіни з незавішеними вікнами; побілена стеля в сірих приміщеннях; чиста бетонна та світла дерев'яна стеля*)	50
Площина з сірою поверхнею (*бетонна стеля у забруднених приміщеннях; дерев'яна стеля; бетонні стіни з вікнами; стіни обклеєні світлими шпалерами*)	30
Площина з сірою поверхнею (*стіни і стеля в приміщенні з великою кількістю темного пилу; суцільне засклення вікон без штор; червона неоштукатурена цегла; стіни з темними шпалерами*)	10

Вибір коефіцієнтів використання світового потоку світильників

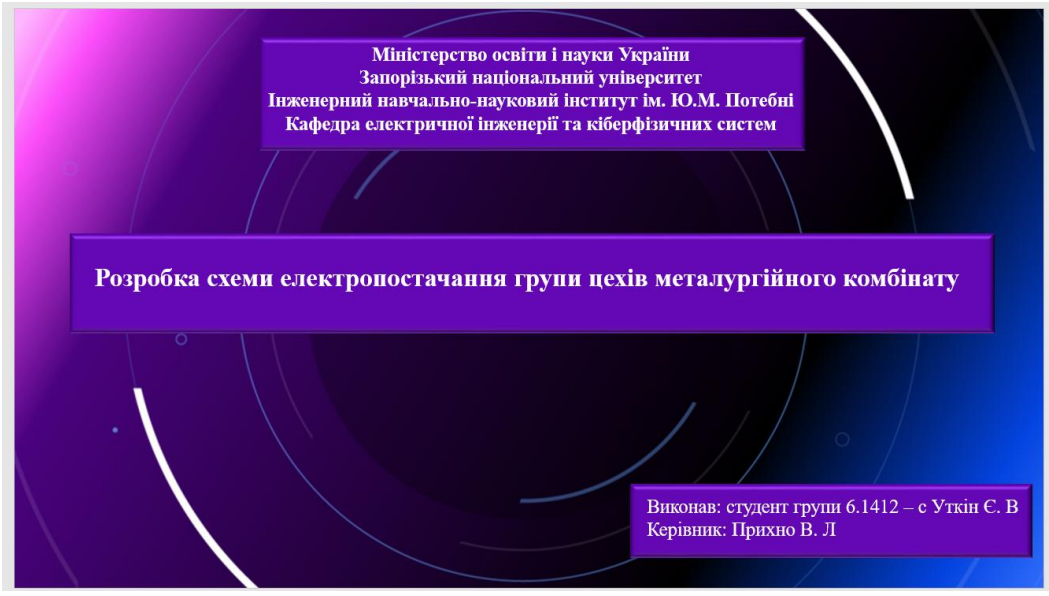
ТИП СВІТИЛЬНИКА	L / h	$\rho_с$, %	$\rho_{ст}$, %	$\rho_п$, %	Коефіцієнт використання світлового потоку η, % при індексі приміщення i																
					0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
Світильники з лампами розжарення та компактними люмінесцентними лампами																					
НСП	0,8	70	50	30	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
		50	30	10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
		30	10	10	17	23	30	34	37	39	41	43	46	48	51	53	55	58	61	62	64
НПБ	1,4	70	50	30	23	28	31	38	39	42	43	46	49	52	54	56	58	60	62	63	65
		50	30	10	20	25	29	34	36	38	39	41	44	46	48	50	51	53	56	57	58
		30	10	10	17	20	25	30	33	34	35	37	39	41	44	45	47	50	52	53	56
НПО	1,8	70	50	30	10	15	19	21	24	26	27	28	31	33	35	37	39	43	45	47	50
		50	30	10	7	10	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	35	37	39	42
		30	10	10	5	7	10	12	15	17	18	19	21	22	23	25	27	29	31	32	35
Світильники з люмінесцентними лампами																					
ЛПП	1,4	70	50	30	30	34	38	42	45	47	50	53	57	60	62	64	65	67	69	70	72
		50	30	10	25	29	33	36	39	42	44	48	52	54	57	59	60	63	65	66	69
		30	10	10	20	25	29	33	35	38	40	43	47	51	54	56	57	60	62	64	66
ПВЛ	1,5	70	50	30	22	28	32	35	38	41	43	46	50	53	55	57	59	61	63	65	67
		50	30	10	16	21	24	27	30	32	34	37	40	43	45	47	48	50	52	54	56
		30	10	10	14	18	21	24	27	29	31	34	37	40	42	44	45	48	50	51	53
ЛВП	1,3	70	50	30	25	31	35	38	41	43	45	47	50	52	54	56	58	59	60	61	63
		50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
		30	10	10	20	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57
ЛСП	1,3	70	50	30	25	29	34	36	40	43	45	47	51	54	56	58	60	63	64	66	68
		50	30	10	18	22	26	28	31	34	36	38	42	45	47	49	51	53	54	56	59
		30	10	10	13	17	20	23	25	28	30	32	35	38	40	42	44	46	48	49	52
ЛПО	1,4	70	50	30	25	31	35	38	41	43	45	47	50	52	54	56	58	59	60	61	63
		50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
		30	10	10	22	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57

Продовження додатка А

Продовження таблиці

Світильники з лампами ДРЛ, ДРИ																				
ГСП	0,9	70	50	30	37	44	48	52	56	59	61	64	68	70	73	74	76	78	79	80	82
		50	30	10	32	39	44	47	51	54	56	59	63	66	69	71	72	74	76	77	79
		30	10	10	28	35	40	44	48	50	53	56	60	63	65	67	69	71	73	75	77
РПП	1,4	70	50	30	30	35	39	44	47	49	51	54	58	61	63	65	67	69	70	71	72
		50	30	10	24	30	34	38	41	43	46	49	53	56	59	61	62	64	66	68	70
		30	10	10	21	26	31	34	37	40	42	45	49	52	55	57	59	61	63	65	67
РСП	1,6	70	50	30	28	32	36	39	42	45	48	51	54	57	59	61	62	64	66	67	69
		50	30	10	22	26	30	34	37	39	41	43	46	48	50	52	54	55	56	58	59
		30	10	10	19	22	26	28	30	33	35	38	41	43	45	46	48	50	51	53	54
LED - світильники																					
SLICK	1,4	70	50	30	25	31	35	38	41	43	45	47	50	52	54	56	58	59	60	61	63
		50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
		30	10	10	22	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57
INOX	1,4	70	50	30	30	34	38	42	45	47	50	53	57	60	62	64	65	67	69	70	72
		50	30	10	25	29	33	36	39	42	44	48	52	54	57	59	60	63	65	66	69
		30	10	10	23	27	30	33	36	40	43	45	48	52	54	56	57	60	62	64	66
FACTORY	1,4	70	50	30	25	29	34	36	40	43	45	47	51	54	56	58	60	63	64	66	68
		50	30	10	23	28	31	34	37	40	42	44	46	49	51	53	53	56	58	62	65
		30	10	10	22	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	57	60
ECO	1,5	70	50	30	24	29	33	36	39	42	45	48	53	56	58	60	62	64	65	67	70
		50	30	10	19	24	27	30	33	35	37	40	43	46	48	50	51	53	55	57	59
		30	10	10	16	21	24	27	30	32	34	37	40	43	45	47	48	50	52	54	56
INSEL	1,4	70	50	30	25	31	35	38	41	43	45	47	50	52	54	56	58	59	60	61	63
		50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
		30	10	10	20	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57
ORBITA	1,2	70	50	30	37	44	48	52	56	59	61	64	68	70	73	74	76	78	80	83	86
		50	30	10	32	39	44	47	51	54	56	59	63	66	69	71	72	75	77	79	82
		30	10	10	28	35	40	44	48	50	53	56	60	63	65	67	69	71	73	75	77
LODE-STAR	1,5	70	50	30	30	34	38	41	44	46	48	53	57	59	62	64	65	69	70	72	80
		50	30	10	27	34	39	42	46	49	51	54	58	61	64	66	68	70	72	74	77
		30	10	10	23	30	35	39	43	45	48	51	55	58	60	62	64	66	68	70	72
HB	1,5	70	50	30	28	32	36	39	42	44	46	51	55	57	60	62	63	67	68	70	78
		50	30	10	25	32	37	40	44	47	49	52	56	59	62	64	66	68	70	72	75
		30	10	10	23	30	35	39	43	45	48	51	55	58	60	62	64	66	68	70	72
ТИП СВІ-ТИЛЬ НИ-КА	L / h	ρс. %	ρст. %	ρп. %	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0

Додаток Б

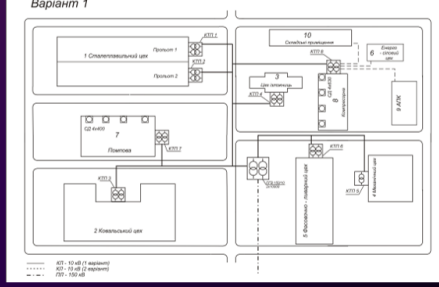


Продовження додатока Б

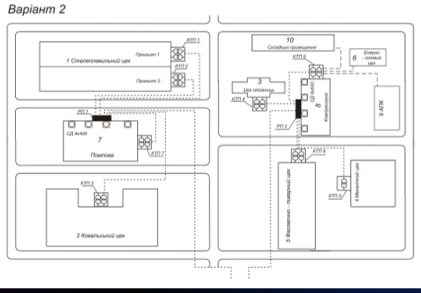
2

Плани цехів
2 варіанти

Варіант 1



Варіант 2

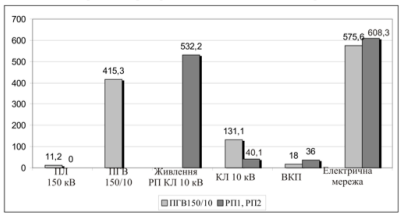


3

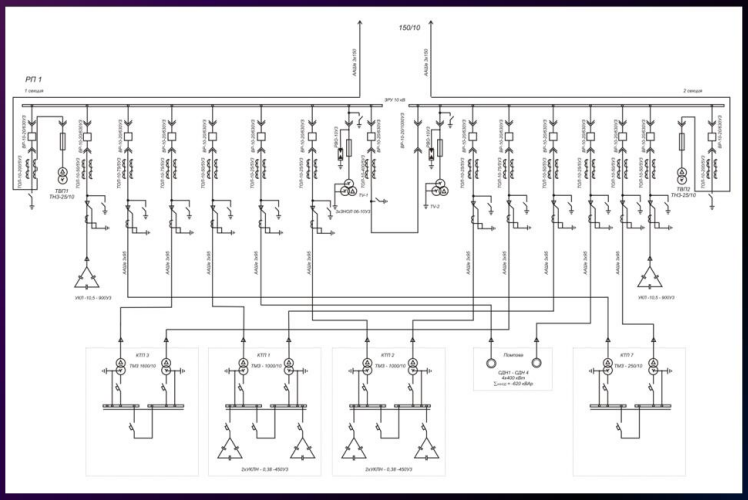
Результат порівння двух схем живлення.

Техніко-економічні показники, тис.грн/рік	1 варіант ПГВ150/10	2 варіант РП1, РП2
Капіталовкладення K, тис.грн	17944,4	15708,8
Приведені капіталовкладення $E_H \cdot K$	2153,3	1885,1
Витрати на амортизацію та обслуговування $Ca.o$	1200,6	851,1
Витрати на покриття втрат електричної енергії $Cвтр$	2400,2	2542,1
Плата за споживання реакт. електричної енергії $ПІ$	4050,2	1473,4
Витрати на експлуатацію електричної мережі $C1 = Ca.o+Cвтр$	3600,8	3393,0
Витрати на експлуатацію електричної мережі $C = Ca.o+Cвтр+П_І$	7651,1	4866,4
Наведені річні витрати на будівництво та експлуатацію $З$	9804,4	6751,5

Втрати електроенергії в елементах СЕП, ΔW, МВт·год/рік

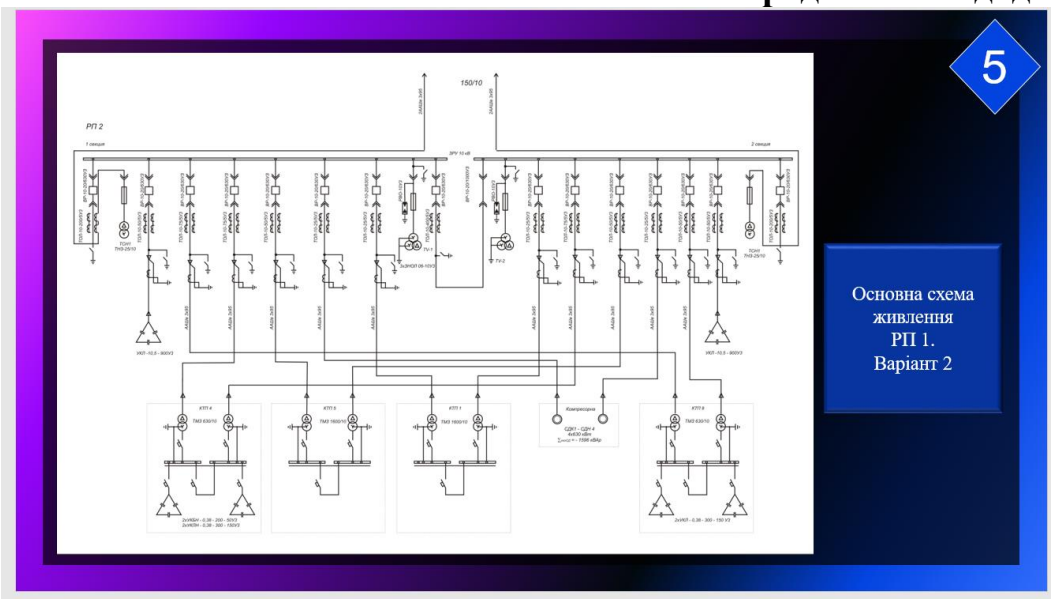


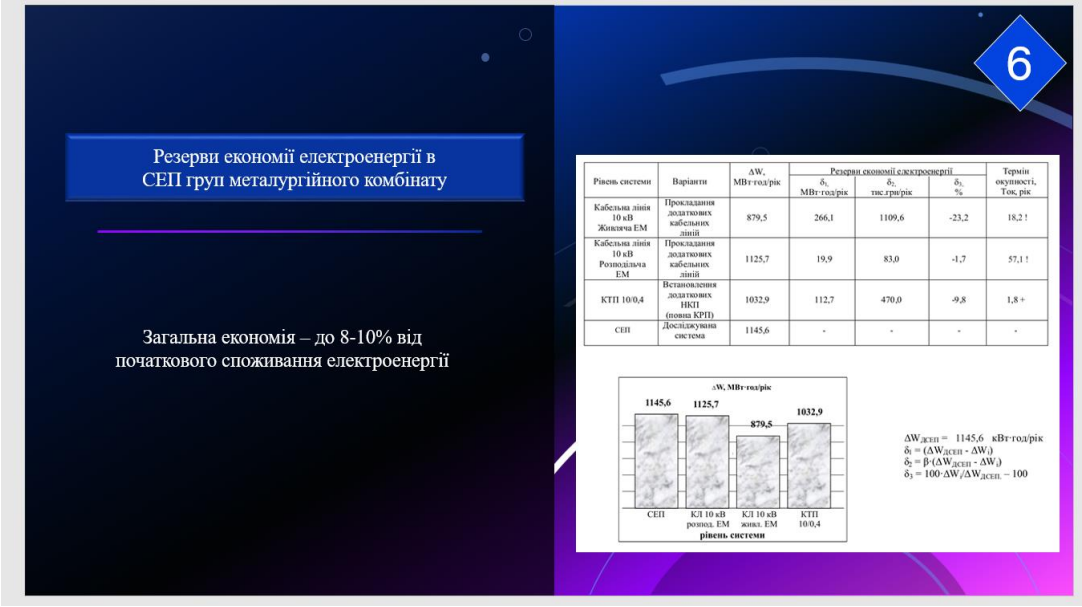
4



Основна схема живлення РП 1. Варіант 1

Продовження додатока Б





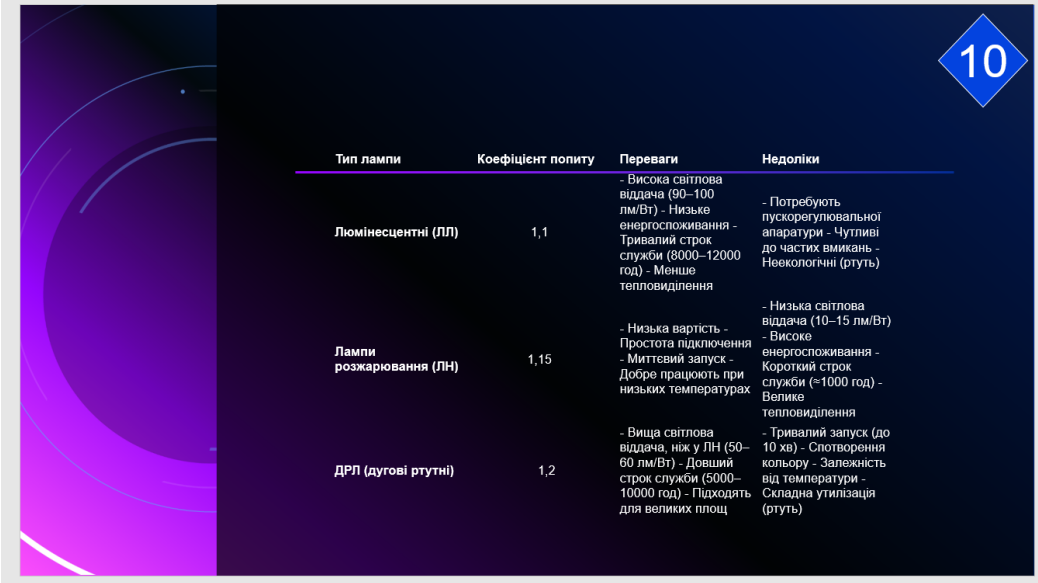
Рівень системи	Варіанти	ΔW, МВт·год/рік	Резерви економії електроенергії			Термін окупності, Ток, рік
			δ_1, МВт·год/рік	δ_2, тис.грн/рік	δ_3, %	
Кабельна лінія 10 кВ Живляча ЕМ	Прокладання додаткових кабельних ліній	879,5	266,1	1109,6	-23,2	18,2 !
Кабельна лінія 10 кВ Розподільча ЕМ	Прокладання додаткових кабельних ліній	1125,7	19,9	83,0	-1,7	57,1 !
КТП 10/0,4	Встановлення додаткових НКП (повна КРП)	1032,9	112,7	470,0	-9,8	1,8 +
СЕП	Досліджувана система	1145,6	-	-	-	-



Продовження додатока Б







Тип лампи	Коефіцієнт попиту	Переваги	Недоліки
Люмінесцентні (ЛЛ)	1,1	- Висока світлова віддача (90–100 лм/Вт) - Низьке енергоспоживання - Тривалий строк служби (8000–12000 год) - Менше тепловиділення	- Потребують пускорегулювальної апаратури - Чутливі до частих вмикань - Неекологічні (ртуть)
Лампи розжарювання (ЛН)	1,15	- Низька вартість - Простота підключення - Миттєвий запуск - Добре працюють при низьких температурах	- Низька світлова віддача (10–15 лм/Вт) - Високе енергоспоживання - Короткий строк служби (≈1000 год) - Велике тепловиділення
ДРЛ (дугові ртутні)	1,2	- Вища світлова віддача, ніж у ЛН (50–60 лм/Вт) - Довший строк служби (5000–10000 год) - Підходять для великих площ	- Тривалий запуск (до 10 хв) - Спотворення кольору - Залежність від температури - Складна утилізація (ртуть)