

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**«Розроблення системи електропостачання та
електрозбереження приймального відділення гірничо-
збагачувального комбінату**

**Development of a power supply and energy saving system
for the receiving department of a mining and processing
plant»**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-20
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Є. Музика
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
професор, канд. техн. наук

_____ С. Серебренніков
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

П. Плешков

« » 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ
ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Музиці Євгенію Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання та електрозбереження
приймального відділення гірничо-збагачувального комбінату

Development of a power supply and energy saving system for the receiving department
of a mining and processing plant

2. Керівник роботи Серебренніков Сергій Валентинович, к.т.н., професор

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

3. Строк подання роботи до захисту 02.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою кваліфікаційної роботи є
проектування енергоефективної системи електропостачання та
електрозбереження приймального відділення гірничо-збагачувального комбінату,
для чого вирішено завдання: розрахунок електричних навантажень;
побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги
і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок
режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів
К.З. та облік електроенергії; розрахунок спеціального розділу кваліфікаційної
роботи

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Вихідні данні до проектування</i>	<i>10.04.24</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>12.04.24</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>16.04.24</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>24.04.24</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>26.05.24</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>30.04.24</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05.24</i>	
8	<i>Розрахунок струмів К.З. та облік електроенергії</i>	<i>18.05.24</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>22.05.24</i>	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>28.05.24</i>	
11	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>02.06.24</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

«__ 08 __» __ 04 ____ 2024 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача _____

«__ 08 __» __ 04 ____ 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 72 с.; 16 рис.; 20 табл.; 15 джерел

Музика Є. С. Розроблення системи електропостачання та електрозбереження приймального відділення гірничо-збагачувального комбінату. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Дана бакалаврська робота концентрується на створенні сучасного комплексу електропостачання для приймального відділення гірничо-збагачувального комбінату. Ключова мета проекту полягає в забезпеченні економічної ефективності та надійності функціонування енергосистеми. Для досягнення поставлених цілей були проведені розрахунки, що включали оцінку електричних навантажень, аналіз режимів реактивної потужності й струмів короткого замикання, вибір електропостачання, трансформаторних підстанцій, компенсувальних пристроїв, струмопроводів та високовольтного обладнання. При розробці проекту особлива увага приділялася питанням енергоефективності та забезпечення безперебійного електропостачання виробничих потужностей гірничо-збагачувального комбінату.

У спеціальному розділі запропоновано шляхи підвищення енергоефективності шляхом автоматичного регулювання кількості паралельно працюючих магнітних сепараторів. Кількість задіяних сепараторів змінюватиметься пропорційно до споживаної електродвигунами активної потужності. Розроблена диференційована система забезпечить підвищення обсягів вилучення магнітного продукту при коливаннях продуктивності подрібнювальних млинів та змінах властивостей збагачуваної руди.

Ключові терміни: навантаження енергосистеми, реактивна потужність, трансформаторна підстанція, струми короткого замикання, магнітна сепарація

ABSTRACT

Qualification work: 72 p.; Fig. 16; 20 tables; 15 sources

Muzyka E. S. Development of the power supply and power saving system of the reception department of the mining and processing plant. - Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The presented bachelor's work is focused on the creation of a modern power supply system for the reception department of a mining and beneficiation plant. The goal of the project is to ensure the efficiency and reliability of the power system. For this purpose, detailed technical and economic calculations were carried out, including the evaluation of the electrical load, the analysis of reactive power modes and short-circuit currents. The selection of optimal power supply schemes, transformer substations, compensating installations, power lines and high-voltage equipment was made.

In a special section, ways of increasing energy efficiency due to automatic control of the number of magnetic separators operating in parallel, which form the magnetic separation front, are investigated. The number of separators is changed in proportion to the active power consumed by the electric motors of the separators. A differential system of automatic regulation of the magnetic separation process was developed - the use of a mutual shift of the static characteristics of the active power, consumed by the electric motors of the separators from the density of the pulp drain, which ensures an increase in the amount of extracted magnetic product during fluctuations in the productivity of the grinding mills and the properties of the enriched ore.

Key terms: power system load, reactive power, transformer substation, short-circuit currents, magnetic separation

ВСТУП.....	
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	
1.4. Графіки електричних навантажень.	
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції).	
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.	
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.	
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання.	
4. Компенсація реактивної потужності	
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.	
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.	
5. Трансформаторні підстанції	
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій.....	
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій.....	
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	
6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Мвзика</i>			Розроблення системи електропостачання та електрозбереження приймального відділення гірничо-збагачувального комбінату Development of a power supply and energy saving system for the receiving department of a mining and processing plant	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Серебренніков</i>					6	72
Реценз.						ЦНТУ, гр. ЕЕ-20		
Н. Контр.								
Затверд.		<i>Плешков</i>						

6.3.	Вибір електрообладнання
7.	Спеціальний розділ.....
7.1.	Вступ.....
7.2	Економічні способи регулювання режимів роботи насосних установок
7.3.	Визначення оптимального режиму роботи насосу
7.4	Розрахунок економії електроенергії при оптимальних режимах роботи насосних установок
	ВИСНОВКИ
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....
	ДОДАТКИ

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У випускній кваліфікаційній роботі розглядається система електропостачання промислового підприємства, призначена для забезпечення електроенергією різноманітних споживачів. Актуальність роботи полягає у проектуванні системи електропостачання з високими показниками енергоефективності, надійності, економічності, гнучкості та безпеки експлуатації.

Під час проектування системи електропостачання необхідно вирішити низку ключових завдань:

1. Здійснити раціональний вибір усіх елементів системи (кількості та потужності трансформаторів, перерізів проводів, шин, кабелів, компенсуючих пристроїв, електричної апаратури).

2. Обрати оптимальні рівні напруги для зовнішніх та внутрішніх систем електропостачання підприємства.

3. Визначити основні показники електричного навантаження об'єкта.

4. Знайти раціональне місце розташування головної понижувальної підстанції або розподільчого пункту та компенсуючих пристроїв на території підприємства.

5. Вибрати схему живлення та апаратуру з урахуванням вимог до надійності електропостачання.

6. Дослідити шляхи підвищення енергоефективності за рахунок автоматичного регулювання кількості працюючих магнітних сепараторів пропорційно до споживаної активної потужності їх електродвигунами.

Метою роботи є забезпечення економічної ефективності та надійного функціонування енергосистеми підприємства

Коротка характеристика технологічного процесу підприємства

Розглянемо основні аспекти електропостачання гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК):

		№ докум.				8

1. Основне навантаження (понад 60%) створюють потужні двигуни в діапазоні 400-1800 кВт, для яких застосовується напруга 10 кВ. Для інших двигунів використовується стандартна напруга 0,38 кВ.

2. Ключовими механізмами, що визначають продуктивність ГЗК, є величезні обертові барабани довжиною 127-230 м і діаметром 3,6-8 м. Їх обертові частини мають масу понад 3000 тонн. Барабани безперервно обертаються з частотою 1-1,5 об/хв.

3. Через великий пусковий момент для приводу барабанів застосовують потужні асинхронні двигуни з контактними кільцями потужністю 60-620 кВт.

4. Для приводів шламових живильників, шнеків та інших механізмів, які обслуговують барабани і потребують регулювання швидкості, використовують приводи постійного струму.

5. Для інших допоміжних приводів (елеватори, транспортери, масляні насоси, вентилятори тощо) застосовують звичайні трифазні асинхронні двигуни змінного струму.

6. До електротехнологічних установок ГЗК відносять й електрофільтри.

Отже, система електропостачання ГЗК має забезпечувати живлення різномірних потужних навантажень з урахуванням їх специфіки та особливих вимог

		№ докум.				9

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Щодо розрахунку активного навантаження електроприймачів підсумуємо основні формули та положення:

1. Розрахункове активне навантаження електроприймачів (ЕП) визначається за формулою (1.1):

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m \quad (1.1)$$

де P_{cm} - середнє активне навантаження за найбільш завантажену зміну,

K_m - коефіцієнт максимуму навантаження.

Коефіцієнт максимуму K_m знаходять за таблицями в залежності від групового коефіцієнта використання K_u та ефективного числа ЕП n_e .

2. Груповий коефіцієнт використання K_u визначається за формулою (1.2):

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cm}}{\sum_{i=1}^n P_n} \quad (1.2)$$

де P_n - усталена потужність групи ЕП з однаковим режимом.

3. Ефективне число ЕП n_e залежить від K_u та відношення m максимальної до мінімальної усталеної потужності ЕП у групі (1.3)

$$m = \frac{P_{n, \max}}{P_{n, \min}} \quad (1.3)$$

4. При $m > 3$ і $K_u > 0,2$ значення n_e розраховується за формулою (1.4)

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n, \max}} \quad (1.4)$$

Якщо розрахункове $n_e >$ фактичного числа ЕП n , приймають $n_e = n$.

При $K_i < 0,2$ значення не визначають за кривими, наведеними в довідниках.

Таким чином, використовуючи дані формули, можна визначити розрахункове навантаження групи електроприймачів з урахуванням їх режимів роботи та потужностей.

Розрахункове реактивне навантаження групи ЕП:

$$\text{ - при } n_e > 10: \quad Q_p = Q_{cm} \quad (1.5)$$

$$\text{ - при } n_e \leq 10: \quad Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} \quad (1.6)$$

де Q_{cm} - середнє реактивне навантаження:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (1.7)$$

Максимальне розрахункове навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} . \quad (1.8)$$

При тривалому режимі роботи ЕП, у яких $K_i > 0,6$ і коефіцієнт вмикання $K_v = 1$, приймають значення $K_m = 1$.

До таких ЕП належать електродвигуни шарових млинів, вентиляторів, помп, димососів, компресорів, печей опору та ін.

При наявності ЕП з повторно-короткочасним режимом роботи, їх номінальна потужність визначається за формулами:

$$P_n = P_{пасп} \sqrt{\frac{TB\%}{100}} \quad (1.9)$$

$$S_n = S_{пасп} \sqrt{\frac{TB\%}{100}} \quad (1.10)$$

де $P_{пасп}$, $S_{пасп}$ - паспортна потужність, кВт та кВА;

$TB\%$ - тривалість вмикання, %.

Для синхронних двигунів реактивне навантаження враховується зі знаком „ - ”.

Приведемо приклад розрахунку навантажень в мережі до 1000 В для цеху ремонту та спецустаткування: кількість споживачів $n = 25$, сумарна номінальна потужність = 4400 кВт; з довідникової літератури знаходимо

коефіцієнти використання та потужності відповідно: $K_u = 0,246$, $\cos\varphi = 0,58$ (тангенс $\operatorname{tg}\varphi = 1,42$). Сумарне активне та реактивне навантаження:

$$P_{cm} = K_u \cdot \sum P_n = 0,246 \cdot 4400 = 1081,9 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1081,9 \cdot 1,42 = 1522,3 \text{ квар.}$$

Розрахунок навантажень в мережі до 1000 В для цеху ремонту та спецустаткування. Основні кроки:

1. Знайдено середньозважений коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,58$ ($\operatorname{tg}\varphi = \sum Q_{cm} / \sum P_{cm} = 1082 / 1522 = 1,42$).

2. Визначено груповий коефіцієнт використання $K_u = 0,246$.

3. Розраховано ефективне число електроприймачів $n_e = 32$, але оскільки фактичне число $n = 25$ менше, то прийнято $n_e = 25$.

4. За табличними даними для $K_u = 0,246$ та $n_e = 25$ знайдено коефіцієнт максимуму $K_m = 1,15$.

5. Розрахункові навантаження:

$$\text{Активне } P_p = \sum P_{cm} \cdot K_m = 1082 \cdot 1,15 = 1246 \text{ кВт};$$

$$\text{Реактивне } Q_p = Q_{cm} = 1528 \text{ квар};$$

$$\text{Повне } S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1246^2 + 1528^2} = 1969 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

6. Для інших вузлів розрахункові навантаження визначаються аналогічним чином.

7. Результати розрахунків інших навантажень до 1000 В наведені в Додатку, таблиця 1.1.2.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розглянемо основні положення:

1. Освітлювальне навантаження розраховують за питомою потужністю p_0 на 1 м² площі приміщення.

2. Встановлена потужність освітлювальних електроприймачів P_y визначається за формулою (1.11):

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.11)$$

де F - площа приміщення, м²

3. Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів P_p розраховують за формулою (1.12):

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.12)$$

K_n - коефіцієнт попиту на освітлення (табличне значення)

4. Освітлювальні прилади споживають також реактивну потужність Q_p , яка визначається за формулою (1.13):

$$Q_{p.осв} = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.13)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ відповідає коефіцієнту потужності $\cos \varphi$ для даного типу ламп:

- Люмінесцентні лампи: $\cos \varphi = 0,9$
- Дугові ртутні лампи (ДРЛ): $\cos \varphi = 0,5$
- Лампи розжарення: $\cos \varphi = 1$ ($Q_p = 0$)

Приклад розрахунку освітлювальних навантажень наводимо для цеху:

$$F = 17314 \text{ м}^2,$$

$$p_0 = 12 \text{ Вт / м}^2,$$

$$P_y = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 17314 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 87 \text{ кВт}$$

$$K_n = 0,95; \cos \varphi = 0,90 [4], \text{ тоді } \operatorname{tg} \varphi = 0,48,$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0,95 \cdot 1,2 \cdot 87 = 83 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 83 \cdot 0,48 = 40 \text{ кВар}.$$

Розрахунок для інших приміщень виконують аналогічно; результати зведені до таблиці 1.3 (Додаток).

		№ докум.				13

1.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах понад 1000 В

Розглянемо визначення навантаження в мережі напругою понад 1000 В та вибору трансформаторів:

1. Необхідно розрахувати потужність трансформаторів, їх кількість та розташування на генплані об'єкта.
2. Втрати потужності в трансформаторах визначаються за формулами:

Втрати холостого ходу (1.14):

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k K_z^2), \quad (1.14)$$

Втрати короткого замикання (1.15):

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_n + \frac{U_k}{100} S_n K_z^2\right), \quad (1.15)$$

де n - кількість трансформаторів,

P_x і P_k - паспортні втрати х.х. і к.з.,

I_k - струм х.х.,

U_k - напруга к.з.,

K_z - коефіцієнт завантаження.

3. Для вибору потужності трансформаторів використовують метод питомої щільності навантаження.

4. Кількість трансформаторів пов'язана з їх номінальною економічно доцільною потужністю виразом (1.14):

$$N_{\text{тр}} = \frac{S_p}{K_z S_{\text{ном.ек.}}} \quad (1.14)$$

5. Значення $S_{\text{ном.ек}}$ приймається в залежності від питомої щільності розрахункового навантаження $S_{\text{пит}}$ за рекомендованими діапазонами:

при $S_{\text{пит}} < 0,2 \text{ кВА/м}^2$, $S_{\text{ном ек}} = 1000 \text{ кВА}$;

при $S_{\text{пит}} = 0,2 - 0,3 \text{ кВА/м}^2$, $S_{\text{ном ек}} = 1600 \text{ кВА}$;

при $S_{\text{пит}} > 0,3 \text{ кВА/м}^2$, $S_{\text{ном ек}} = 2500 \text{ кВА}$.

Приклад розрахунку необхідної потужності трансформаторів для ТП-7, до якої підключаються цехи електромонтажу та зварювальний.

1. Розраховане повне розрахункове навантаження ТП-7:

$$P_{p\text{ТП}\#7} = (P_{p1} + P_{poc61}) + (P_{p2} + P_{poc62}) = (182 + 246) + (515 + 302) = 1247 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Для живлення такого навантаження обрано два трансформатори ТМ-1000/10/0,4 потужністю 1000 кВА кожен.

2. Розрахований коефіцієнт завантаження трансформаторів за активною потужністю: $K_3 = P_p(\text{ТП-7}) / (S_{ном} \cdot n) = 1247 / (1000 \cdot 2) = 0,64$

3. За каталожними даними для трансформатора ТМ-1000/10/0,4 визначатимуться втрати холостого ходу P_x і короткого замикання P_k .

4. Повні втрати в трансформаторах ТП-7 розраховуватимуться за формулами (втрати х.х для двох трансформаторів): $S_{н.тр} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;
 $\Delta P_{xx} = 2,45 \text{ кВт}$; $I_{xx} = 1,4\%$; $U_n = 10 \text{ кВ}$; $\Delta P_{k3} = 12,2 \text{ кВт}$; $U_{k3} = 5,5\%$.

5.

Тоді

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (2,45 + 12,2 \cdot 0,654^2) = 17,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_n + \frac{U_{k3}}{100} \cdot S_n \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1,5}{100} \cdot 1000 + \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \cdot 0,654^2 \right) = 82,1 \text{ квар}.$$

Аналогічно проводять розрахунки і для інших ТП, результати у таблиці 1.4 (Додаток).

1.4 Графіки електричних навантажень

Розгляну основні моменти використання добових і річних графіків навантаження при проектуванні систем електропостачання:

1. За добовими графіками $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$ визначають:
 - Навантажувальну здатність трансформаторів
 - Максимальне та мінімальне навантаження для розрахунку рівнів

напруги у мережі

2. За річним графіком навантаження за тривалістю визначають:
 - Річні витрати активної енергії W_p
 - Річні витрати реактивної енергії W_q
 - Середньоквадратичний коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$
 - Години використання максимуму навантаження $T_{\max}$
 - Річний час повних втрат τ
3. Річні витрати активної та реактивної енергії W_p і W_q

розраховуються за формулами

$$W_e = \sum P_i T_i ,$$

$$V_e = \sum Q_i T_i .$$

Побудова річних графіків навантаження за тривалістю та визначення кількості годин використання максимуму навантаження.

1. За результатами добових графіків $P(t)$ та $Q(t)$ будуються річні графіки за тривалістю окремо для активної та реактивної потужностей.
2. Кількість годин використання максимуму навантаження $T_{\max}$ визначається за формулами:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_p^2 + Q_p^2}}{P_p} ,$$

$$\tau = (0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4})^2 \cdot 8760 .$$

При розрахунках прийнято кількість робочих днів: 147 - взимку, 105 - влітку. Кількість вихідних: 65 - взимку, 48 - влітку.

3. Добові та річні графіки навантажень для підготовчого відділення зведені у таблиці.

4. Розрахунки для побудови добових графіків $P(t)$, $Q(t)$ для робочих та вихідних днів, а також річні графіки навантаження наведені у таблицях 1.5, 1.6 (Додаток).

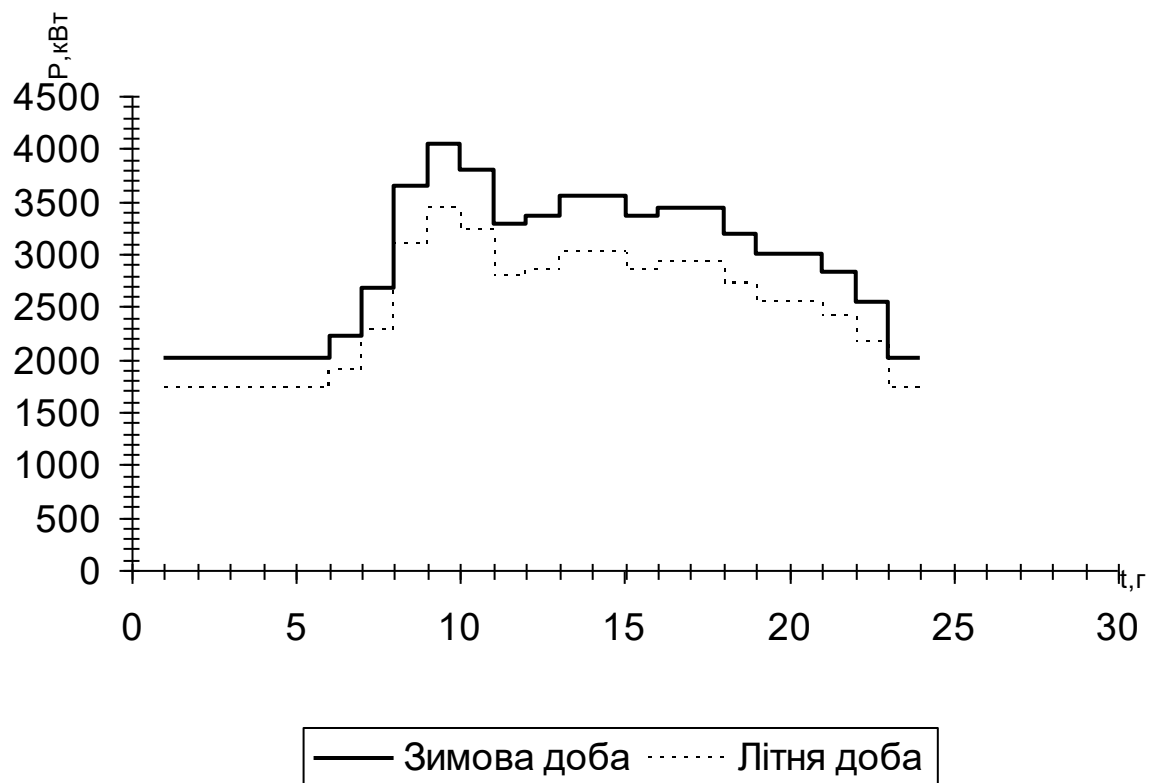


Рис. 1.1. Добовий графік активного навантаження

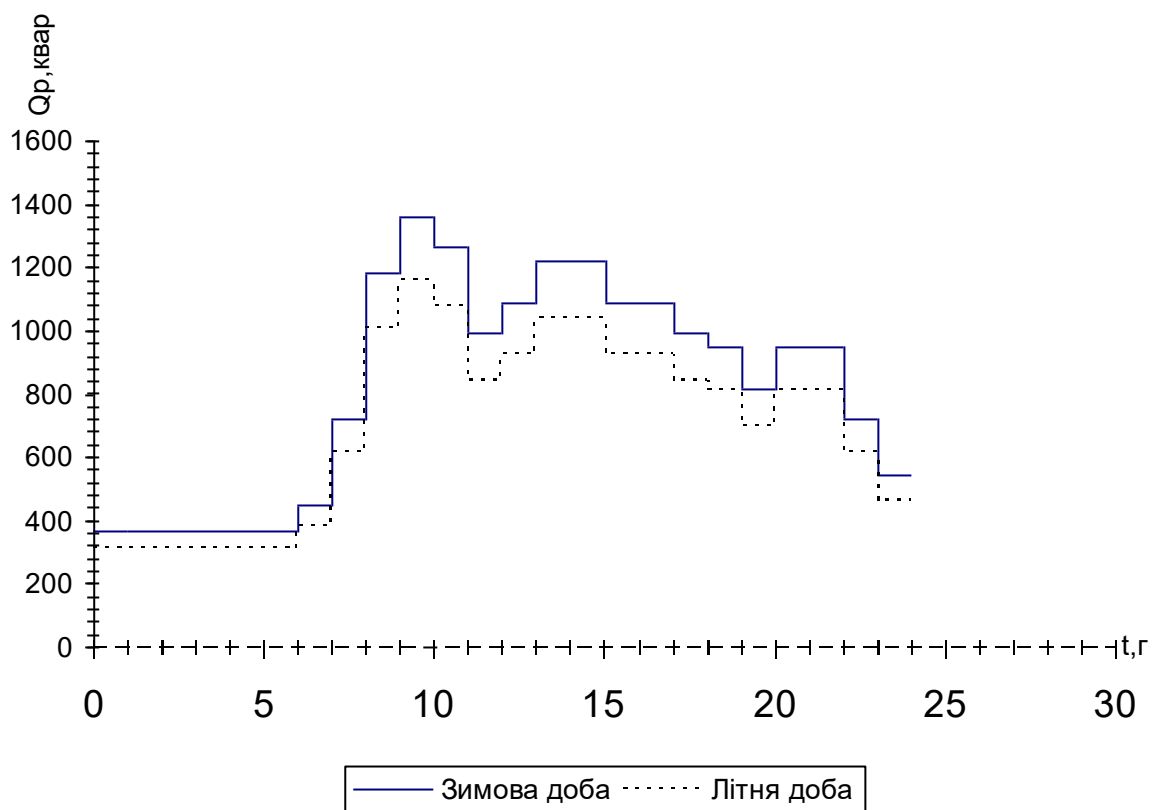


Рис. 1.2. Добовий графік реактивного навантаження

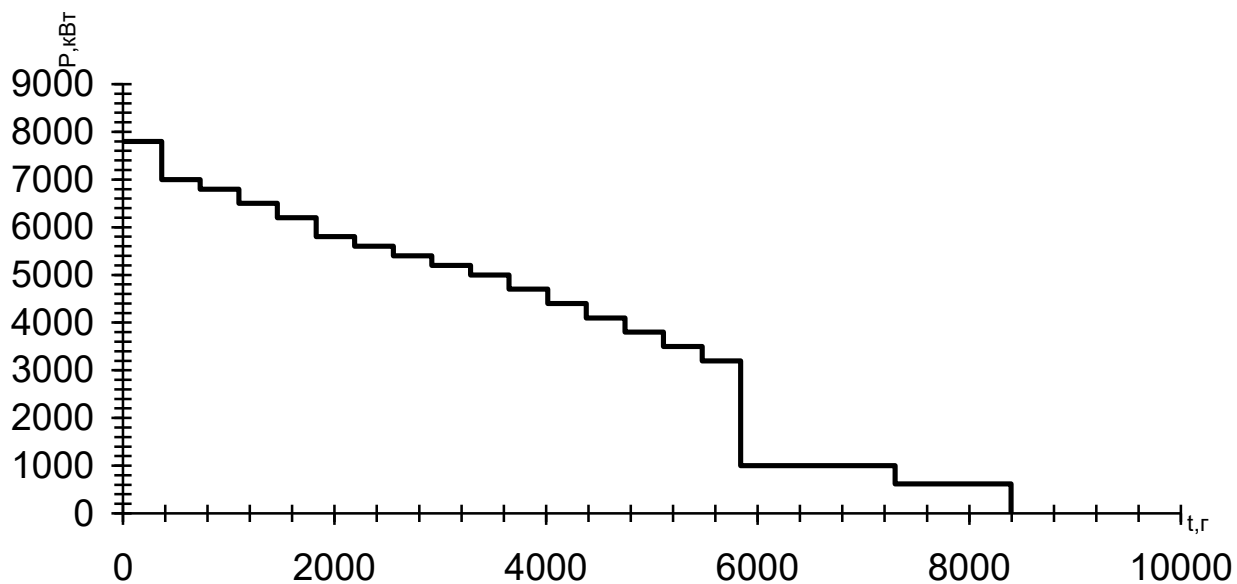


Рис. 1.3. Річний графік активної потужності за тривалістю

Витрати активної енергії Річні:

$$W_r = \sum P_i T_i = (4,044 + 3,801 + 3,640 + 3,276 + 3,195 + 2,831 + 2,669 + 2,548 + 2,224) \cdot 213 + (3,559 + 3,437 + 3,357 + 2,993) \cdot 426 + 2,022 \cdot 7 + (3,437 + 3,231 + 3,094 + 2,785 + 2,716 + 2,406 + 2,269 + 2,166 + 1,89) \cdot 152 + (3,025 + 2,921 + 2,853 + 2,544) \cdot 304 + 1,719 \cdot 1064 = 20636,49 \text{ MBm} \cdot \text{г}$$

Витрати реактивної енергії Річні:

$$V_r = \sum Q_i T_i = (1,359 + 1,264 + 1,182 + 0,815 + 0,544 + 0,448) \cdot 213 + (1,223 + 0,992 + 0,72) \cdot 426 + (1,087 + 0,951) \cdot 639 + 0,367 \cdot 1278 + (1,155 + 1,074 + 1,005 + 0,693 + 0,462 + 0,381) \cdot 152 + (1,04 + 0,843 + 0,612) \cdot 304 + (0,924 + 0,808) \cdot 456 + 0,312 \cdot 912 = 6774,83 \text{ Mвар} \cdot \text{г}$$

Час використання навантаження максимального:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_r^2 + V_r^2}}{S_m} = \frac{\sqrt{20636,49^2 + 6774,83^2}}{4,089} = 5091 \text{ год.}$$

Час витрат максимальних:

$$\tau_m = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{5091}{10000}\right)^2 = 3761 \text{ год.}$$

		№ докум.				19

2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ (ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ)

Розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП) або центрального розподільчого пункту (ЦРП), а також трансформаторних підстанцій (ТП) на території підприємства. Підсумуємо основні положення:

1. Для кожного цеху на генплані підприємства будують картограму електричних навантажень у вигляді кіл.

2. Радіус кола R_i для i -го цеху визначається за формулою (4.1)

$$P_i = \pi R_i^2 m ; \quad R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}}, \quad (4.1)$$

де площа кола πR_i^2 у масштабі дорівнює навантаженню цеху P_i . Використовується мірило m , кВт/мм².

3. Координати центру електричних навантажень (X , Y) підприємства розраховуються за формулами (4.3) як середньозважені координати центрів навантажень окремих цехів X_i , Y_i з урахуванням їх потужностей P_i

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (4.3)$$

4. Освітлювальне навантаження наноситься у вигляді сектора з центральним кутом α , який визначається за формулою (4.4) залежно від площі освітлюваного приміщення

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2}. \quad (4.4)$$

5. Розподільчі пункти (РП) зазвичай розміщують ближче до зовнішнього джерела живлення, зміщуючи відносно розрахункового центру навантажень.

Приклад побудови картограми електричних навантажень для дробильного відділення при заданому мірилі $m = 0,1$ кВт/мм². А також за узагальнені результати розрахунків для інших цехів та приміщень, наведені в таблиці 2.1 (Додаток).

Підсумуємо основне:

1. Для дробильного відділення за формулою (4.1) розрахований радіус кола:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{24,8 + 328}{3,14 \cdot 0,1}} = 3,35 \text{ мм};$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{24,8 \cdot 360}{3,14 \cdot 0,1^2} = 85^\circ.$$

2. Аналогічним чином визначені радіуси кіл для інших цехів відповідно до їх навантажень P_i .

3. Використовуючи координати центрів навантажень X_i , Y_i та потужності P_i окремих цехів, за формулами (4.3) розраховані координати загального центру електричних навантажень підприємства:

$$X = 4,41 \text{ м},$$

$$Y = 3,47 \text{ м}$$

4. На основі цих даних буде побудована загальна картограма навантажень, яка дозволить визначити оптимальне розміщення ГЗП/ЦРП та ТП на генплані підприємства.

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення

1. На вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання впливають: електричне навантаження споживача, напруга джерела живлення, відстань до джерела, необхідний рівень надійності електропостачання тощо.

2. Можливим джерелом живлення є енергосистема, розташована на відстані 0,64 км від рудоуправління.

3. Враховуючи невелику відстань, передбачається живлення двома кабельними лініями 10 кВ з встановленням розподільчого пункту РП-10 кВ.

4. Переріз кабельної лінії визначається за розрахунковою потужністю споживача та економічною щільністю струму j_e :

$$S_p = 6612 \text{ кВА};$$

$$I_H = \frac{S}{\sqrt{3}U_H} = \frac{6612}{\sqrt{3} \times 10} = 342 \text{ А}.$$

Для алюмінієвого кабелю прийнято $j_e = 1,2 \text{ А/мм}^2$

Розрахунковий переріз кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{342}{1.2} = 288 \text{ мм}^2$$

5. З урахуванням аварійного режиму прийнятий стандартний переріз кабелю $2 \times ААБ(3 \times 240)$ та його допустимий струм $I_{дон} = 355 \text{ А}$.

6. Буде виконано техніко-економічне порівняння варіантів схем внутрішнього електропостачання.

Отже, незважаючи на невелику відстань, для забезпечення надійного живлення передбачається схема з двома кабельними лініями 10 кВ, РП та оптимальним перерізом кабелю за техніко-економічними критеріями.

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Розглянемо основні моменти вибору схем розподільних мереж 10 кВ для живлення силових та освітлювальних навантажень промислового підприємства:

1. Для споживачів I та II категорії надійності електропостачання необхідно секціонувати всі шини систем електропостачання, для III категорії - без секціонування.

2. Розподільча мережа 10 кВ виконується кабельними лініями, прокладеними в землі.

3. Порівнюються два варіанти схем розподільчої мережі 10 кВ:

Варіант 1: а) Високовольтні синхронні двигуни живляться за радіальною схемою від РП; б) Цехові ТП також за радіальною схемою (рис. 5.1).

Варіант 2: а) Високовольтні синхронні двигуни живляться за радіальною схемою від РП; б) Цехові ТП - за магістральною схемою (рис. 5.2).

4. Техніко-економічне порівняння варіантів здійснюється за критерієм мінімуму приведених витрат за формулою (3.1)

$$Z_I = E_H \times K_I + C_I + C_{noml} + I_I, \quad (3.1.)$$

де E_H - ефективності капітальних вкладень; K_I - капітальні вкладення; C_I - витрати на передачу і розподіл; C_{noml} - вартість втрат; I_I - збиток від перерв

5. Приведені витрати складаються з капітальних витрат, витрат на передачу і розподіл електроенергії, вартості втрат електроенергії та збитку від перерв електропостачання.

6. Капітальні витрати розраховуються як сума витрат по елементах схеми (рис. 3.1, 3.2).

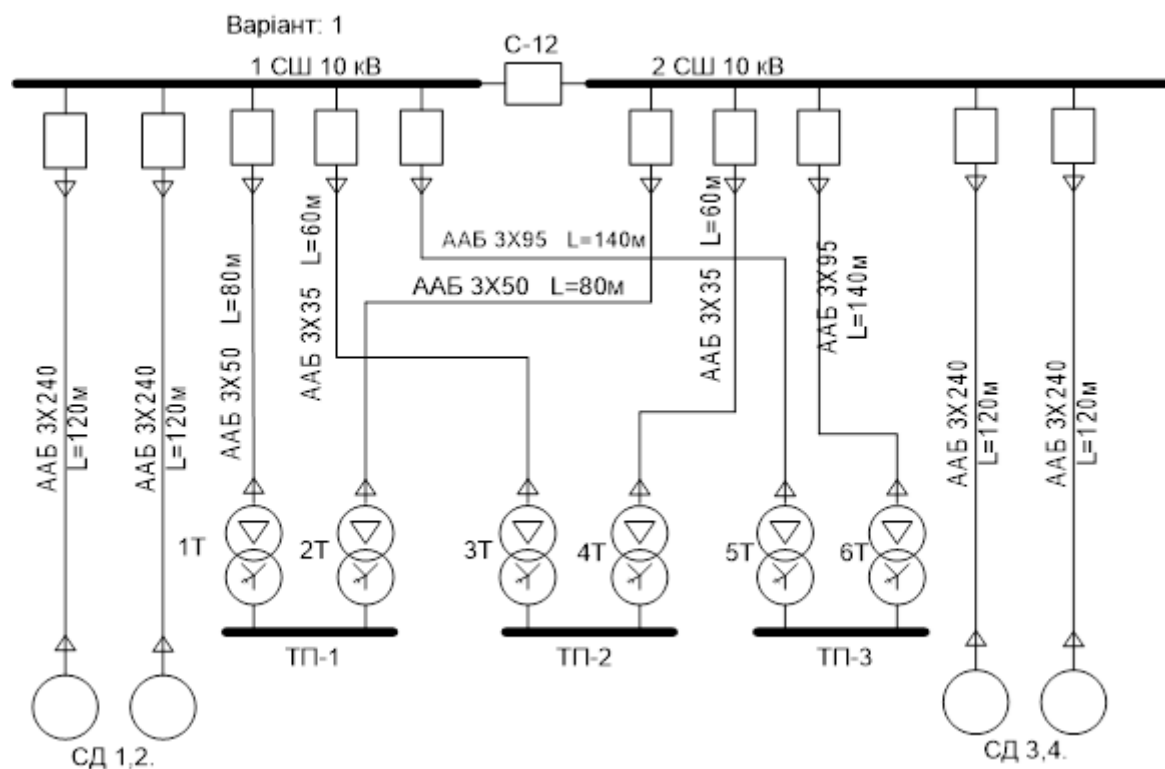


Рис. 3.1 Схема радіального живлення ТП

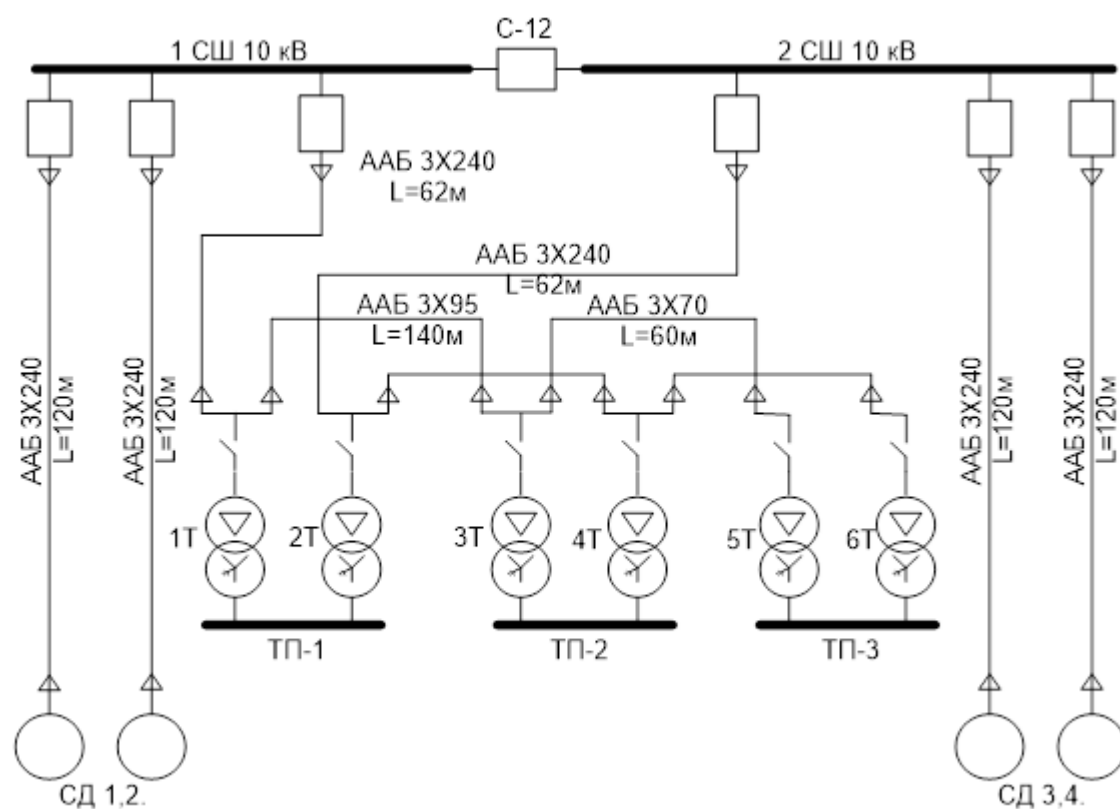


Рис. 3.2 Схема магістрального живлення ТП

Розглянемо основні формули та положення: щодо розрахунку різних складових приведених витрат для порівняння варіантів схем розподільної мережі 10 кВ.

1. Поточні затрати Спот визначаються як сума витрат на поточний ремонт, експлуатацію та амортизацію за формулою (3.2).

$$C_i = C_{ai} + C_{ei}. \quad (3.2.)$$

2. Вартість втрат електроенергії $C_{вт}$ розраховується за формулою (3.3)

$$C_{вт} = C_0 \times \Delta E, \quad (3.3.)$$

де C_0 - втрати електроенергії (3.4), де $C_0 = 4,293 \text{ грн} / \text{кВт} \times \text{год}$ - вартість 1 кВт*год.

$$\Delta E = \Delta P_{\text{лкм}} \times l_{\Sigma} \times K_3^2 \times \tau_{\text{м}}, \quad (3.4.)$$

Втрати електроенергії $C_{вт}$ враховують втрати потужності в лініях та коефіцієнт їх завантаження (3.4).

3. Втрати енергії у трансформаторах визначаються за формулою (3.3')

$$\Delta E_{TP} = \Delta P_X \times t_{BKЛ} + \Delta P_K \times K_3^2 \times \tau_{\text{м}}, \quad (3.5)$$

4. Для розрахунку збитку від перерв електропостачання визначаються:

- Параметри потоку відмов лінії - λ за (3.6)
- де $C_0 = 4,293 \text{ грн} / \text{кВт} \times \text{год}$ - вартість 1 кВт*год.

$$\Delta E = \Delta P_{\text{лкм}} \times l_{\Sigma} \times K_3^2 \times \tau_{\text{м}}, \quad (3.4.)$$

- Середній термін відновлення лінії - $T_{\text{вдн}}$ за (3.7)

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{aai} \times T_{ei}}{\lambda_a}, \quad (3.7.)$$

Коефіцієнти простою для різних ситуацій відмов (3.8)-(3.11)

$$K_n = 1,2 K_{nm}; \quad (3.8.)$$

$$K_a = \lambda_a \times T_{\text{вдн}}; \quad (3.9.)$$

$$K_{an} = 0,5 \times \lambda_a \times K_n; \quad (3.10.)$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 K_{an}; \quad (3.11.)$$

- Річний час аварійного простою - Твідм за (3.12)

$$T_a = K_a^2 + 2K_a \times 8760. \quad (3.12.)$$

6. Збиток від перерв електропостачання - Сперерв розраховується за

(3.13)

$$Y = Y_0 \times P_{cm} \times T_a, \quad (3.13.)$$

Результати розрахунків приведених витрат для двох варіантів схем зведені в таблицю 3.1 (Додаток).

Визначаємо вартість втрат електроенергії по варіантах.

Вартість втрат електроенергії:

Вариант1:

$$C_{\text{кпл}} = 11220 \times 4,293 \times 10^{-3} = 3,74 \text{ тис.грн.}$$

Вариант2:

$$C_{\kappa\lambda\gamma} = 24715 \times 4,293 \times 10^{-3} = 8,24 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок. Результати розрахунків капіталовкладень та щорічних відрахувань для двох варіантів схем зведені в таблиці 3.2-3.3 (Додаток).

Результати розрахунку зведених затрат по двох варіантах схеми зводимо до таблиці 3.4 техніко-економічних показників.

Таблиця 3.4.

№	Показник	Од.вим	Варіант1	Варіант2
1	Капіталовкладення	т. грн.	206,5	165,2
2	Вартість втрат ел. енергії	т. грн.	3,7	8,2
3	Щорічні відрахування	т. грн.	20,9	12,6
4	Зведені затрати	т. грн.	138,1	129,9

Оптимальним є варіант у якій зведені витрати менші – змішаної схеми електрозабезпечення підприємства,.

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розглянемо основні аспекти щодо необхідності компенсації реактивної потужності в системах електропостачання.:

1. Переток реактивної потужності призводить до зниження ККД системи електропередачі та погіршення якості електроенергії через:

- Збільшення втрат активної потужності в лініях і трансформаторах
- Зменшення пропускної здатності елементів мережі, зниження напруги у споживачів

2. При проектуванні компенсуючих пристроїв (КП) необхідно розрахувати:

- Економічно обгрунтоване значення реактивної потужності Q_c , яку доцільно передавати з енергосистеми
- Потужність самих компенсуючих пристроїв

3. Потім потужність КП розподіляється між шинами 10 кВ розподільчих пристроїв та 0,4 кВ цехових ТП.

4. Розподіл потужності КП між мережами 0,4 і 10 кВ визначається за критерієм мінімуму сукупних витрат:

- Питомої вартості КП високої та низької напруги
- Витрат на встановлення додаткових трансформаторів
- Вартості втрат електроенергії

Метою є забезпечення найбільш економічного режиму передачі реактивної потужності та мінімізація її перетоків

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Розрахунки щодо компенсації реактивної потужності у системі електропостачання:

		№ докум.				27

1. Визначена сумарна потужність компенсуючих пристроїв за балансом реактивної потужності:

$$Q_{KITE} = Q_p - Q_e = 4538 - 991,4 = 3547 \text{ квар.}$$

2. Розрахована мінімальна кількість трансформаторів цехових ТП:

$$N_{ТП} = N_o = \frac{P_H}{K_3 \cdot S_{H.T}} = \frac{3725,4}{0,7 \cdot 1000} = 5,6 \approx 6 \text{ шт.}$$

3. Розглянуто три варіанти компенсації при кількості трансформаторів 6, 7 та 8 шт.

Для варіанту I ($N_{ТП} = 6$):

Реактивна потужність, що може передаватись з мережі 10 кВ до 0,4 кВ –

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{T.H})^2 - P_H^2} = \sqrt{(6 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 3725,4^2} = 1140 \text{ квар.}$$

Потужність КП у мережі 0,4 кВ –

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 4124 - 1140 = 2984 \text{ квар.}$$

Приймаємо $Q_{KH} = 3000$ кВАр (20x150 кВАр)

Залишок $Q_{II} = Q_H - Q_{KH} = 4124 - 3000 = 1124$ кВАр передається з мережі 10 кВ

$$\text{Потужність КП у мережі 10 кВ - } Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 4538 - 3000 - 991 = 546 \text{ квар.}$$

5. Потужність КП на 10 кВ може бути забезпечена батареями конденсаторів або за рахунок синхронних двигунів (СД).

Аналогічні розрахунки виконуються для варіантів II і III з іншою кількістю трансформаторів.

Максимальна реактивна потужність СД, що вони можуть давати:

$$Q_{СД.Мах} = n \frac{\alpha_m P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H}{\eta_H} = \frac{4 \cdot 1,28 \cdot 1000 \cdot 0,48}{0,96} = 2560 \text{ квар.}$$

Розрахунки щодо компенсації реактивної потужності із залученням синхронних двигунів на стороні 10 кВ.

1. Для компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ передбачається встановлення синхронних двигунів загальною потужністю QСД = 2х400 кВАр, що перевищує розрахункову потужність. Це дозволить також компенсувати втрати в кабельній мережі 10 кВ.

2. Визначені втрати активної потужності:

В батареях конденсаторів 0,4 кВ: $\Delta P_{БК} = 13,5$ кВт

В синхронних двигунах 0,4 кВ: $\Delta P_{СД} = 2,4$ кВт

В синхронних двигунах 10 кВ: $\Delta P_{СД} = 2,73$ кВт

3. Втрати потужності при передачі реактиву через ТП:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{Q_n^2}{U_H^2} \cdot R'_{ек} = \frac{1124^2}{10^2} \cdot 203,33 \cdot 10^{-6} = 2,29 \text{ кВт},$$

$$R'_{ек} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{N \cdot S_{Т.Н}^2} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{6 \cdot 1000^2} = 203,3 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}.$$

Вартість конденсаторних установок

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH1} \cdot K_{KKV0,4i} = 20 \cdot 5,25 = 105 \text{ т.грн},$$

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^m N_{KBi} \cdot K_{KKV10i} = 2 \cdot 8,6 = 17 \text{ т.грн}.$$

Вартість КТП

$$K_{КТП} = N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 3 \cdot 153,25 = 459,75 \text{ т.грн}.$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

Для варіанта з КП-10 кВ

$$З = P_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) \cdot C_o \cdot \tau_m = 0,12 (105 + 17,2 + 459,75) + (13,5 + 2,4 + 2,29) \cdot 4,293 \cdot 3923 \cdot 10^{-3} = 81,7 \text{ т. грн}.$$

Для варіанта з СД-10 кВ

$$З = E_H (K_{KH} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{СД} + P_{ТМ}) \cdot C_o \cdot \tau = 0,12 (105 + 459,75) + (13,5 + 2,73 + 2,29) \cdot 4,293 \cdot 3923 \cdot 10^{-3} = 79,8 \text{ т. грн}.$$

Розрахунки варіантів II та III компенсації реактивної потужності:

Варіант II ($N_{ТП} = 7$):

		№ докум.				29

Потужність КП 0,4 кВ:

- $Q_{II} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 3725,4^2} = 3143$ квар;
- $Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 4124 - 3143 = 981$ квар.
- $Q_{II} = Q_{II} - Q_{KII} = 4124 - 1000 = 3124$ квар (21х150 кВАр).

Потужність КП 10 кВ:

- $Q_{KB} = 4538 - 1000 - 991,4 = 2546,6$ квар.
- повне використання СД $Q_{CD\max} = 2560$ кВАр

Розраховані втрати потужності в КП та при передачі реактивної через ТП

$$\Delta P_{CD} = 0,005 \cdot 2546 = 12,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{ТП} = \frac{3124^2}{10^2} \cdot 174,3 \cdot 10^{-6} = 17 \text{ кВт};$$

$$R'_{ек} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{7 \cdot 1000^2} = 174,3 \cdot 10^{-6} \text{ ком};$$

$$K_{KH} = 6 \cdot 5,25 + 4,75 = 36,25 \text{ т.грн};$$

Визначені вартості низьковольтних та високовольтних КП

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 1 \cdot 77,55 + 3 \cdot 153,25 = 537,3 \text{ т.грн},$$

Знайдені приведені витрати для варіанту II

$$З = 0,12 (36,3 + 537,3) + (4,5 + 12,7 + 17) \cdot 2,44 \cdot 3923 \cdot 10^{-3} = 91,2 \text{ т.грн}.$$

Варіант III ($N_{ТП} = 8$):

На стороні 0,4 кВ КП не потрібні

$$Q_{II} = \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 3725,4^2} = 4181 \text{ квар},$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 4124 - 4181 = - 57 \text{ квар}.$$

Компенсація на 10 кВ за допомогою СД та КП 10 кВ

$$Q_{KB} = Q_P - Q_{CD\max} - Q_e = 4538 - 2560 - 991 = 987 \text{ квар}.$$

Приймаємо $Q_{KB} = 1125$ квар.

Генерація СД:

$$Q_{CD} = 4538 - 1125 - 991 = 2421 \text{ квар}$$

$$\Delta P_{KB} = 0,003 \cdot 1125 = 3,38 \text{ квар}$$

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Потрібно розподілити компенсуючі пристрої на ТП пропорційно пропускній здатності, враховуючи коефіцієнт завантаження 0,7.

Розглядаються 3 варіанти за кількістю трансформаторів на ТП: I, II, III варіанти.

Необхідно розрахувати реактивну потужність, яку можна передати через трансформатори ТП до мережі 0,4 кВ, і потужність компенсуючих пристроїв для встановлення на кожній ТП.

Потрібно знайти потужність, яку необхідно компенсувати для варіантів I, II, III.

Для ТП-1 потрібно знайти потужність, яку можна передати через її трансформатори.

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{HT})^2 - P_p^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1351,4^2} = 465,6 \text{ квар.}$$

Розрахунки для ТП зводимо до таблиці 4.2 (Додаток).

		№ докум.				32

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Цехові підстанції з одним трансформатором можуть забезпечувати живленням споживачі першої категорії надійності за умови резервування на стороні низької напруги перемичками з автоматичним вводом резерву. Двотрансформаторні підстанції застосовують переважно для електроприймачів першої та другої категорій, для яких безперервне електропостачання є обов'язковою вимогою технологічного процесу виробництва.

Для підстанцій з двома трансформаторами коефіцієнт завантаження силових трансформаторів зазвичай вибирається в діапазоні 0,65-0,7. У разі однострансформаторних підстанцій, де присутні навантаження другої категорії, коефіцієнт завантаження трансформатора становить 0,7-0,8. Якщо ж переважають споживачі третьої категорії надійності, допустимий коефіцієнт завантаження підвищується до 0,9-0,95.

Одним із найбільш ефективних способів визначення потужності цехових трансформаторів є метод, заснований на використанні показника щільності навантаження. При цьому необхідна кількість трансформаторів N_{TP} пов'язана з їх номінальною потужністю співвідношенням (5.1), де $S_{НОМ.ЕК}$

$$N_{TP} = \frac{S_p}{K_z \cdot S_{НОМ.ЕК}} \quad (5.1)$$

де $S_{НОМ.ЕК}$ - економічно обґрунтована номінальна потужність

Вибір номінальної потужності трансформаторів на підставі питомої щільності навантаження:

		№ докум.				33

1. Економічно доцільна номінальна потужність трансформаторів SHOM.EK у виразі (5.1) визначається залежно від питомої щільності розрахункового навантаження $S_{\text{пит}}$:

Якщо $S_{\text{пит}} < 0,2$ кВА/м², то SHOM.EK = 1000 кВА

Якщо $S_{\text{пит}} = 0,2 - 0,3$ кВА/м², то SHOM.EK = 1600 кВА

Якщо $S_{\text{пит}} > 0,3$ кВА/м², то SHOM.EK = 2500 кВА

2. При $S_{\text{пит}} > 0,4$ кВА/м² рекомендовано застосовувати двотрансформаторні підстанції незалежно від категорії надійності.

3. Трансформатори потужністю ≤ 630 кВА доцільно використовувати для живлення допоміжних цехів, дільниць та адмінбудівель.

4. Оптимальне розташування розподільчих пунктів (РП) визначається величиною та характером навантажень, а також їх розміщенням на генплані.

5. Цехові трансформаторні підстанції (ТП) рекомендується розміщувати максимально наближено до центру навантаження для скорочення довжини мереж НН, зменшення втрат та відхилень напруги.

$$\sigma_H = S_p / F = 1578 / 900 = 0,176 \quad (5.2)$$

Розрахуємо вибір трансформаторів ТП-1.

$$S_{H.T} = S_p / N_{K_3} = \sqrt{P^2 + (Q_p + Q_{ky})^2} / N \cdot K_3 = \sqrt{1457^2 + (1578 + 1500)^2} / 2 \cdot 0,8 = 956,8 \text{ кВА}, \quad (5.3)$$

де S_p – розрахункова потужність ТП,

N – кількість трансформаторів,

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Вибір цехових ТП – у таблиці 5.1.

		№ докум.				34

Табл. 5.1. Вибір трансформаторів

№ТП	Категорія забезпечення.	Категорія приміщень	Потужність, кВт	Потужність тр-ра, кВт	Кількість тр-рів шт.	$V_{3н}$	$V_{зав}$	Питома щільність навантаження кВт/м ²	Місце розташування	Тип ТП
ТП-1	ІІІ	Д, Г	1524	1000	2	0,8	1,4	0,176	Вбуд.	КТП
ТП-2	ІІІ	Д, Г	885	1000	2	0,7	1,4	0,149	Вбуд.	КТП
ТП-3	ІІІ	Д, Г	1701	1000	2	0,85	1,4	0,173	Вбуд.	КТП

5.2 Компонівка та місце розташування трансформаторних підстанцій

Під час вибору кількості, потужності та місцезнаходження цехових трансформаторних підстанцій (ТП), необхідно врахувати низку важливих чинників, таких як категорії споживачів, рівень надійності електропостачання та умови компенсації реактивних навантажень.

Номинальна потужність трансформаторів ТП визначається відповідно до питомої щільності навантаження підприємства. У випадку виходу з ладу одного з трансформаторів ТП, допускається відключення споживачів третьої категорії. Для знижувальної ТП з двома трансформаторами потужність розраховується за формулою

$$1,4S_{H.T} \geq S_{p\Sigma}, \quad 1530 > 1400.$$

У разі аварійної ситуації передбачається передача частини навантаження в обсязі 131 кВА з ТП-2 на стороні 0,4 кВ для забезпечення безперебійного живлення споживачів другої категорії. Такий підхід дозволяє гарантувати стабільну роботу виробничих процесів та мінімізувати ризики збоїв та простоїв.

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Для коректного розрахунку струмів короткого замикання необхідно скласти однолінійну розрахункову схему, схему заміщення та еквівалентну схему. Перед проведенням розрахунків струмів КЗ створюється розрахункова схема (рис. 6.1), на якій позначаються точки, де потрібно визначити значення струмів короткого замикання.

Під час вибору електричних апаратів, струмопроводів та ізоляторів необхідно розрахувати наступні параметри:

1. Надперехідний струм КЗ $I_{kз} = I''$;
2. Ударний струм КЗ i_y ;
3. Діюче значення усталеного струму КЗ I_{∞} .

Початкове значення періодичної складової струму КЗ визначається за формулою:

$$I_{n0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PE3}} \quad (6.1)$$

де E_{Σ}'' - надперехідна ЕРС;

Z_{np} - приведений результуючий опір.

Ударний струм розраховується за допомогою формули:

$$I_y = \sqrt{2} I'' \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right) \quad (6.2)$$

де T_a - стала часу загасання аперіодичної складової струму КЗ

Таким чином, для забезпечення надійної та безпечної роботи електричної системи необхідно ретельно проаналізувати розрахункову схему та визначити значення надперехідного, ударного та усталеного струмів

Для розрахунку опорів елементів схеми електропостачання використовуються наступні формули:

- Опір енергосистеми: (6.3)

$$X_c = \frac{U_{\delta}^2}{S_{кз}} . \quad (6.3)$$

- Опір генераторів, компенсаторів, синхронних та асинхронних двигунів: (6.4) (6.5)

$$X_{ген} = \frac{x_{d\%}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}, \quad (6.4)$$

$$X_{ад} = \frac{1}{I_{пуск*}} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}} . \quad (6.5)$$

- Опір двообмоточного трансформатора: (6.6)

$$X_{тр} = \frac{u_{k\%}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}} \quad (6.6)$$

- Опір реакторів: (6.7)

$$X_p = \frac{x_{p\%}}{100} \frac{U_{\delta}^2}{\sqrt{3} I_{ном} U_{cp}} \quad (6.7)$$

- Опір повітряних та кабельних ліній: (6.8)

$$X_l = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2} \quad (6.8)$$

де: U_{δ} - базисна напруга;

U_{cp} - середня напруга;

$S_{ном}$ - номінальна потужність;

$I_{ном}$ - номінальний струм;

$S_{кз}$ - потужність замикання;

$x_{d\%}$ - надперехідний опір генератора,

$I_{пуск*}$ - кратність пускового струму;

$x_p\%$ - реактивний опір;

$u_k\%$ - напруга короткого замикання трансформатора.

Діюче значення сталого струму I_∞ для віддаленої точки короткого замикання дорівнює надперехідному I'' .

Розрахунок надперехідного струму короткого замикання проводиться в такій послідовності:

1. Складається розрахункова схема, яка найбільш відповідає максимальному струму КЗ у певній точці.
2. Згідно розрахункової схеми складається схема заміщення.
3. Приймаються базисні потужності та напруги, за якими розраховуються базисні струми. В якості базисних напруг приймаються середні номінальні напруги ступенів, і на їх основі розраховуються струми КЗ.
4. Індуктивні опори схеми заміщення зводяться до базисних умов, і визначаються результуючі опори.
5. Визначається надперехідний струм за формулою:

$$I_{\kappa}^{//(3)} = \frac{I_{\delta}}{\Sigma X_*}, \quad (6.9)$$

де I_{δ} - базисний струм ступеню КЗ;

$X_{\text{пр}}$ - сумарний зведений індуктивний опір до точки КЗ.

Наявність високовольтних двигунів (наприклад, СДТ-1000) спричинює до збільшення струмів КЗ. Підживлення від синхронних двигунів враховується в ударному та вимикаємому струмах КЗ. Надперехідний струм розраховується за формулою:

$$I_{\text{сд}}'' = \frac{E_*'' \times I_{\text{ном.сд}}}{X_{*d}''} \quad (6.10)$$

де $I_{\text{н}}$ - номінальний струм;

$X_{\text{дпр}}''$ - надперехідний реактивний опір;

$E_{\text{пр}}''$ - надперехідна ЕРС в момент КЗ.

Ударний струм синхронних двигунів (СД) та надперехідний струм у лініях 10 кВ підстанції 154/35/10 кВ, яка живить гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК).

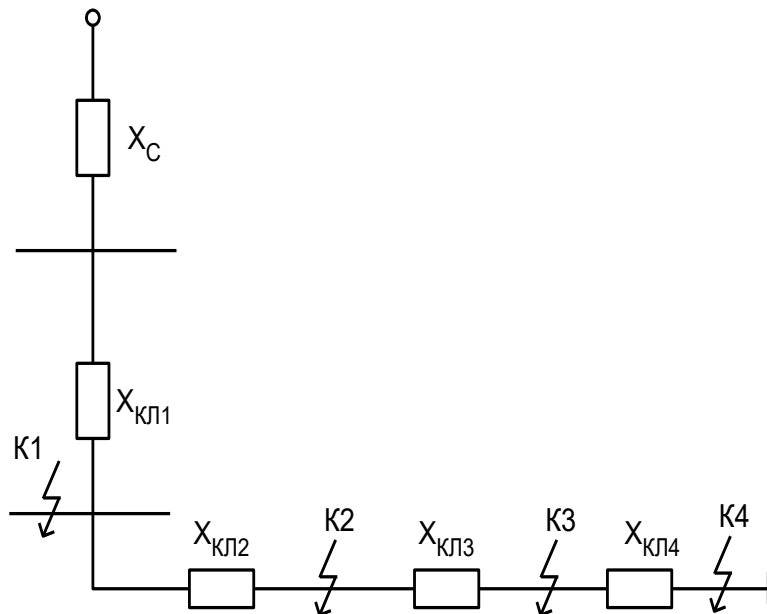


Рис. 6.1 Схема заміщення для розрахунку струмів К.З.

Максимальний струм короткого замикання в точці К1, коли живлення шин здійснюється значень, отримаємо базисний струм:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \times U_{\sigma}} = \frac{130}{\sqrt{3} \times 10} = 7,506 \text{ кА.}$$

Опір системи у відносних одиницях, зведених до базисних умов:

$$X_c = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}^{(3)}} = \frac{130}{130} = 1$$

Опір кабельної лінії (КЛ) у відносних одиницях, зведених до базисних умов:

$$X_{\kappa\text{Л}1}^{*\sigma} = X_0 \times l \times \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,083 \times 0,64 \times \frac{130}{10^2} = 0,069 \text{ Ом;}$$

$$X_{\kappa\text{Л}2}^{*\sigma} = X_0 \times l \times \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,081 \times 0,06 \times \frac{130}{10^2} = 0,006 \text{ Ом;}$$

$$X_{\kappa\text{Л}3}^{*\sigma} = X_0 \times l \times \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,081 \times 0,14 \times \frac{130}{10^2} = 0,015 \text{ Ом;}$$

$$X_{\kappa\text{Л}4}^{*\sigma} = X_0 \times l \times \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,081 \times 0,062 \times \frac{130}{10^2} = 0,0065 \text{ Ом.}$$

Опори до точок К1,К2,К3,К4:

$$X_{\kappa 1}^{*} = X_c^{*\sigma} + X_{\kappa\text{Л}1}^{*\sigma} = 1 + 0,069 = 1,069 \text{ Ом;}$$

$$X_{\kappa 2}^* = X_c^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 2}^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 1}^{*\bar{\sigma}} = 1 + 0,069 + 0,006 = 1,075 \text{ Ом};$$

$$X_{\kappa 3}^* = X_c^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 1}^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 2}^{*\bar{\sigma}} = 1 + 0,069 + 0,015 = 1,09 \text{ Ом};$$

$$X_{\kappa 4}^* = X_c^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 1}^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 2}^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 3}^{*\bar{\sigma}} + X_{\kappa l 4}^{*\bar{\sigma}} = 1 + 0,069 + 0,006 + 0,0065 = 1,097 \text{ Ом}.$$

Надперехідні струми без урахування СД:

$$I_{\kappa 1}'' = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{X_{\kappa 1}} = \frac{7,506}{1,069} = 7,015 \text{ кА}; \quad I_{\kappa 2}'' = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{X_{\kappa 2}} = \frac{7,506}{1,076} = 6,982 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3}'' = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{X_{\kappa 3}} = \frac{7,506}{1,09} = 6,886 \text{ кА}; \quad I_{\kappa 4}'' = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{X_{\kappa 4}} = \frac{7,506}{1,097} = 6,842 \text{ кА}.$$

Ударні струми без урахування ВВ двигунів при $T_{a1} = 0,02C; T_{a2} = 0,01C$:

$$i_{y1} = \sqrt{2} I_{\kappa 1}'' \times (1 + e^{-0,1/T_{a1}}) = \sqrt{2} \times 7,015 \times 1,607 = 15,943 \text{ кА};$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} I_{\kappa 2}'' \times (1 + e^{-0,1/T_{a2}}) = \sqrt{2} \times 6,982 \times (1 + e^{-0,01/0,01}) = 15,868 \text{ кА};$$

$$i_{\bar{\sigma}3} = \sqrt{2} I_{\kappa 3}'' \times (1 + e^{-0,1/\bar{\sigma}_{a3}}) = \sqrt{2} \times 6,886 \times (1 + e^{-0,01/0,01}) = 15,003 \text{ кА};$$

$$i_{y4} = \sqrt{2} I_{\kappa 4}'' \times (1 + e^{-0,1/T_{a4}}) = \sqrt{2} \times 6,842 \times (1 + e^{-0,01/0,01}) = 14,649 \text{ кА}.$$

Струм К.З. в точці К1 від (СД):

$$I_C'' = n \frac{E_*''}{X_{*d}} \times I_{н.СД} = 4 \times \frac{1,1}{0,15} \times 67 = 1,965 \text{ кА};$$

$$I_{н.СД} = \frac{P_{н.}}{\sqrt{3} \times \cos \varphi \times U_{н.} \times \eta_{н.}} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 0,9 \times 10 \times 0,96} = 0,067 \text{ кА};$$

$$n = 4; E = 1,1; x_a^* = \frac{1}{K_n} = \frac{1}{6,7} = 0,15.$$

Ударний струм від СД при $K_y = 1,8$

$$i_{CD} = K_y \times \sqrt{2} \times I_{CD}'' = 1,8 \times \sqrt{2} \times 1,965 = 5,002 \text{ кА}.$$

Надперехідні струми з урахуванням СД:

$$I_{\kappa 1\Sigma}'' = I_{\kappa 1}'' + I_{CD}'' = 7,015 + 1,965 = 8,98 \text{ кА}; \quad I_{\kappa 2\Sigma}'' = I_{\kappa 2}'' + I_{CD}'' = 6,982 + 1,965 = 8,947 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3\Sigma}'' = I_{\kappa 3}'' + I_{CD}'' = 6,886 + 1,965 = 8,851 \text{ кА}; \quad I_{\kappa 4\Sigma}'' = I_{\kappa 4}'' + I_{CD}'' = 6,842 + 1,965 = 8,807 \text{ кА}.$$

Ударні струми з урахуванням СД:

$$i_{y\bar{\sigma}1\Sigma} = i_{y\bar{\sigma}1} + i_{CD} = 15,943 + 5,002 + 20,945 \text{ кА}; \quad i_{y\bar{\sigma}2\Sigma} = i_{y\bar{\sigma}2} + i_{CD} = 15,868 + 5,002 + 20,870 \text{ кА};$$

$$i_{y\bar{\sigma}3\Sigma} = i_{y\bar{\sigma}3} + i_{CD} = 15,002 + 5,002 + 20,004 \text{ кА}; \quad i_{y\bar{\sigma}4\Sigma} = i_{y\bar{\sigma}4} + i_{CD} = 15,002 + 5,002 + 20,004 \text{ кА}.$$

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибір вимикачів

Вибір комплектних розподільчих пристроїв (КРП) типу КУ-10 з вакуумними вимикачами ВР-1 для розподільчого пристрою (РП) 10 кВ. Для коректного вибору вимикача потрібно розрахувати такі параметри:

1. Періодична складова струму КЗ при розімкненні контактів ($I_{пт}$): $I_{пт} = I_{к1} // e^{-\tau/T_a}$

2. Аперіодична складова ($i_{ат}$):

$$i_{ат} = \sqrt{2} \times I'' \times e^{-\frac{\tau}{T_a}}$$

$$\tau = t_g + t_{p.з.мін}$$

де: τ - час вимкнення вимикача; T_a - стала часу загасання аперіодичної складової.

3. Номінальний струм електродинамічної стійкості ($I_{дин.с}$):

$$i = I'' (1 + e^{-0,01/T_a})$$

4. Тепловий імпульс (β_k):

$$\beta_k = I'' \times (t_{0mk} + T_a)$$

$$t_{0mk} = t_g + t_{p.з.мах}$$

де β_k - гранична питома енергія згоряння контактів.

Отримані розрахункові значення періодичної, аперіодичної складових, струму електродинамічної стійкості та теплового імпульсу порівнюються з номінальними параметрами вибраного вимикача для перевірки його придатності.

Розрахунок вимикача на РП-10кВ:

$$I_{раб.форс.} = 2I_m = 2 \times 182,905 = 365,809 \text{ А};$$

$$I_m = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_{ном}} = \frac{3318}{\sqrt{3} \times 10} = 182,905 \text{ А};$$

$$1,8\sqrt{2} \cdot I_{дин.с} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 52 = 132,4 \text{ кА};$$

$$Z_2 = Z_{\text{приб}} + R_{\text{прил}} + R_k$$

де: $z_{\text{прил}}$ - опір приладів у вторинній обмотці;

$R_{\text{пров}}$ - опір з'єднувальних дротів;

R_k - опір контактів.

Опір з'єднувальних дротів $R_{\text{пров}}$ розраховується за формулою:

$$R_{\text{пров}} = \rho \cdot l_{\text{расч}} / F$$

де: $\rho = 0,028$ Ом/м - питомий опір алюм. дроту;

$l_{\text{расч}} = 6$ м - розрахункова довжина дроту;

$F = 2,5$ мм² - переріз проводів.

Опір контактів $R_k = 0,01$ Ом.

Опір приладів $z_{\text{приб}}$ визначається за формулою:

$$z_{\text{прил}} = S_{\text{прил}} / I_{2н}^2$$

де $S_{\text{прил}}$ - навантаження найбільш завантаженої фази трансформатора струму.

Надані формули дозволяють розрахувати повне вторинне навантаження трансформаторів струму ТПЛ-10, $I_{2н} = 5$ А.

Табл. 6.3. Розрахунок навантажень вторинних кіл

Найменування приладу	Тип приладу	Навантаження фаз		
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Амперметр	А-335	0,5	0,5	0,5
Ватметр	Д-335	0,5	0,5	0,5
Варметр	Д-335	0,5	0,5	0,5
Лічильник активної енергії	СА-3У	2,5	2,5	2,5
Лічильник реактивної енергії	СР-3У	2,5	2,5	2,5
Всього:		6,5	6,5	6,5

$$Z_{pn} = S_{np} / I_{2н}^2$$

$$Z_2 = Z_{np} + R_k + R_{np} = 0,26 + 0,1 + 0,068 = 0,428 \text{ Ом.}$$

Табл.6.4. Вибір Т.С. на вводах

Умови вибору	Перевірка
$U_{уст} < U_{ном}$	10=10
$I_{раб.форс} < I_{ном}$	365.809<400.0
$B_k < (K_T \cdot I_H)^2 \cdot t_T$	139.331<4900
$Z_2 < Z_{2ном}$	0.428<0.6

На відгалуженнях від РП встановлюємо Т.С. ТПЛ-10.

Табл.6.5. Таблиця вибору Т.С. на відгалуженнях

Умови вибору	Перевірка	
$U_{уст} \leq U_H$	10=10	10=10
$I_{раб.форс}$	256,066< 300	67<100
$B_k < (K_T \cdot I_H)^2 \cdot t_i$	131,2< 1029	131,2<1029
$Z_2 < Z_{2ном}$	0,338<0,4	0,338<0,4
$I_y < i_{дин.с}$	20,954<52	20,945<52

Вибір трансформаторів напруги для комплектних розподільчих пристроїв. Трансформатори напруги обираються за номінальною напругою, вторинною потужністю та класом точності.

Для КРП 10 кВ використовуються трансформатори напруги типу НТМИ-10. Умовою вибору трансформаторів напруги за навантаженням вторинної обмотки є:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2H}$$

Де $S_{2\Sigma}$ - сумарне навантаження приладів та реле, підключених до трансформатора напруги, а S_{2H} - номінальна вторинна потужність трансформатора.

Сумарне навантаження $S_{2\Sigma}$ розраховується за формулою:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma P_{прил})^2 + (\Sigma Q_{прил})^2}$$

де $R_{\text{прил}}$ та $Q_{\text{прил}}$ - активні та реактивні навантаження підключених приладів відповідно.

Клас точності трансформаторів напруги обирається 0,5.

Також наводиться таблиця 6.6 для розрахунку навантаження вторинної обмотки трансформатора напруги.

Табл. 6.6. Таблиця розрахунку навантаження 2-ої обмотки ТН.

Найменування приладу	Тип приладу	Споживання котушки Р	Кількість котушок шт	Кількість приладів шт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	потужність	
							$P_{\text{вт}}$	$Q_{\text{вар}}$
Лічильник активної енергії	И-680	2	2	4	0,38	0,925	16	38,9
Лічильник реактивної енергії	И-673М	3	2	4	0,38	0,925	24	54,4
Вольтметр	Э-335	2	1	1	1	0	2	0
ВСЬОГО							42	97, 8

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{42^2 + 97,368^2} = 106,04 \text{ ВА},$$

$$S_{2н} = 200 \text{ ВА},$$

$$S_{2н} > S_{2\Sigma} \quad 200 > 106,4.$$

Вибір обладнання для комплектних розподільчих пристроїв:

1. Переріз дроту в колі трансформаторів напруги (ТН) визначається за допустимою втратою напруги. При цьому, втрата напруги від ТН до розрахункових лічильників не повинна перевищувати 0,5%, а до пристроїв захисту - не більше 1,5%.

2. При магістральних схемах живлення цехових трансформаторних підстанцій на вводі до трансформатора встановлюються вимикачі навантаження із запобіжниками.

Вибір вимикачів навантаження

здійснюється за параметрами, наведеними в таблиці 6.7. Основними критеріями вибору вимикачів навантаження є:

- Номінальний струм
- Номінальна напруга
- Граничний струм відключення
- Електродинамічна стійкість
- Інші параметри відповідно до умов експлуатації

Табл. 6.7. Таблиця вибору вимикачів

Параметри вимикача		Умови вибору	Перевірка
Номінальна напруга		$U_{уст} \leq U_{ном}$	10=10
Тривалий ном. струм		$I_p \leq I_n$	64,672 ≤ 200
Динамічна стійкість	симетрична	$I'' \leq I_{дин}$	6,982 < 12
	асиметрична	$I_v \leq 1,8 \sqrt{2} \cdot I_{дин}$	20 < 30,547
Ном. струм відключення	симетричний	$I_{нт} < I_{отк}$	6,982 < 20
	асиметричний	$\sqrt{2} \cdot I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} \cdot (1 + B_n)$	-
Номінальний тепловий імпульс		$B_k \leq I_{тн} \cdot t_{тн}$	-
Граничний відключення запобіжника		$I_{пр} > I''$	12 > 6,982

Вимикачі навантаження обираємо типу ВНП-17, якими комплектуються ввідні шафи ТП.

Вибір струмопроводів

Переріз F струмопроводів обираємо по економічній щільності струму:

$$F = I_{розр} / j_{ек}$$

де $I_{розр}$ – розрахунковий тривалий струм,

$j_{ек}$ – економічна щільність струму

$$j_{ек} = \sqrt[3]{\epsilon \cdot (E_n + E_e) / 3 \tau \cdot C \cdot \rho}$$

$$j_{ек} = \sqrt[3]{21,492 \cdot (0,125 + 0,053) / 3,3923 \cdot 0,075 \cdot 0,0283} = 1,2 \text{ А/мм}^2$$

Обраний переріз задовольняє умову перевірки по допустимому навантаженню та нагріву: $I_{роб.форс} \leq I_{доп}$

де $I_{роб.форс}$ – максимальний тривалий струм з урахуванням аварійних перевантажень, $I_{доп}$ – тривало допустимий струм по умовах нагріву.

Кабельні лінії та шинопроводи підлягають перевірці на термічну стійкість; за вимогами термічної стійкості максимальний переріз провідника:

$$F_{\min} = \sqrt{B_k / C}$$

де B_k – тепловий імпульс, C – постійна для алюмінієвих шин $C = 91 \text{ A} \cdot \text{C}^{1/2} / \text{мм}^2$, для кабелю $C = 94 \text{ A} \cdot \text{C}^{1/2} / \text{мм}^2$.

Покажемо методику розрахунку та вибору перерізу струмопроводу на прикладі вибору перерізу кабельної лінії від ПС до РП-10 кВ.

$$F = I_{\text{розр}} / j_{\text{ек}} = 182,905 / 1,2 = 152,42 \text{ мм}^2$$

Попередньо приймаємо переріз 150 мм² з $I_{\text{доп}} = 275 \text{ А}$

$$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{доп}} \quad 152,4 < 275;$$

$$I_{\text{роб.форс}} < I_{\text{д}} \cdot K_{\text{п}} \quad 365,804 < 1,25 \cdot 550 \cdot 0,9 = 618,7,$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт що враховує умови прокладки,

$K_{\text{ап}}$ – коефіцієнт аварійного перевантаження.

$$F_{\min} = \sqrt{B_k / C} = \sqrt{139,331 \cdot 10^6 / 94} = 120 \text{ мм}^2$$

Остаточно приймаємо переріз кабеля 150 мм².

Визначаємо спад напруги:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l (r_{y\phi} \cdot \cos \phi + X_{y\phi} \cdot \sin \phi) = 1,73 \cdot 182,9 \cdot 0,64 \cdot (0,206 \cdot 0,99 + 0,079 \cdot 0,1) = 16 \text{ В.}$$

Вибір усіх кабелів – до таблиці 6.8 (Додаток).

Обираємо переріз шинопроводів відповідно до розрахункового струму. Максимальний розрахунковий струм становить 365,804 А, а розрахунковий струм - 182,905 А.

Вибираємо алюмінієві шини прямокутного перерізу: смуга розмірами 40х4 мм, площа перерізу 160 мм², допустимий струм 480 А.

Перевіряємо умови допустимості: Робочий форсований струм менший за допустимий: 365,809 А < 480 А.

Мінімальний переріз, що задовольняє вимоги термостійкості:

$$F_{\min} = \sqrt{139,331 \cdot 10^6 / 91} = 129,7 \text{ мм}^2$$

Обраний переріз збірних шинопроводів є термостійким, оскільки:

$$F_{\min} < F_{\text{обраного}}, 129,7 < 160.$$

Перевірку збірних шин розподільчого пункту 10 кВ на динамічну стійкість не проводимо, адже РП-10 кВ є комплектним.

Вибір реакторів

Оскільки струм короткого замикання на низькій стороні трансформатора не перевищує номінальний струм відключення вимикача 10 кВ

$$(I_{\text{н.відкл}} < I_{\text{н.відкл.вим}} \quad 365,8 \text{ А} < 630 \text{ А}),$$

То встановлення реакторів є економічно недоцільним.

Вибір розрядників

Для захисту від атмосферних (блискавок) та внутрішніх (комутаційних) перенапруг використовуються вентильні розрядники та обмежувачі перенапруг.

Тип	Ном. напруга, кВ	Ном. допустима напруга, кВ	Пробивна напруга		Імпульс пробивної напруги, кВ	Найбільше остаточна напруга при імпульсі струму, А		
			Не менше	Не більше		3000	5000	10000
РВО 10У1	10	12,7	26	30,5	40,8	43	45	-

Для напруги 10 кВ встановлюємо обмежувачі перенапруг ОПНн-10/11.5/10/2 УХЛ1.

Використовуємо шафи з комірками серії КУ-10, ШВВ-10-20-1600УЗ, обладнані однорядною системою збірних шин на напругу 10 кВ, штепсельними роз'єднувачами та вакуумними вимикачами ВВЕ-10-10-/630УЗ, трансформаторами напруги, трансформаторами струму й вимірювальними приладами. Комірка КУ-10 має розривну потужність 350 МВА та електромагнітний привід, який працює на змінному оперативному струмі. Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ виконані комплектного типу з масляними трансформаторами ТМ-1000. Розподільчі мережі 10 кВ реалізовані кабельними лініями ААБ-10 кВ.

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Вступ

Магнітна сепарація - це метод збагачення корисних копалин, який ґрунтується на використанні відмінностей магнітних властивостей (магнітної проникності, індукції, коерцитивної сили) компонентів руди в змінному магнітному полі. За допомогою магнітних сепараторів збагачують залізні, марганцеві, титанові, вольфрамові та інші руди.

На гірничо-збагачувальних комбінатах збагачення переважно відбувається в постійних магнітних полях і є основним методом збагачення залізних руд (90% руд в Україні). Під час збагачення руд чорних металів можна отримувати високоякісні концентрати із вмістом Fe до 70%, Mn до 45%. Вилучення магнітних мінералів до концентрату досягає 90%. Залежно від величини магнітної сприйнятливості матеріалу, магнітну сепарацію поділяють на сепарацію в слабких та потужних магнітних полях; за середовищем - на мокру та суху.

Існують три основні принципи роботи магнітних сепараторів: а) відхилення - немагнітні частинки відхиляються від магнітного поля; б) утримання - магнітні частинки утримуються в магнітному полі; в) вилучення - магнітні частинки вилучаються з потоку матеріалу.

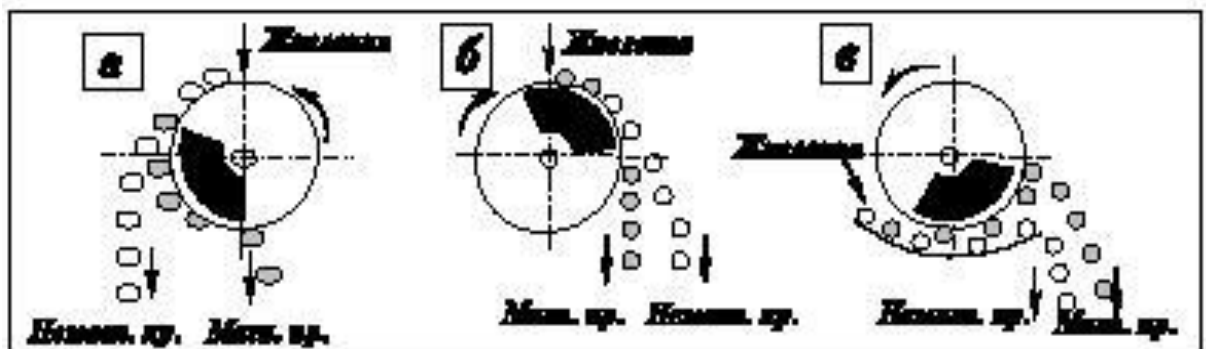


Рис. 7.1 Принципи роботи сепараторів: а – відхилення; б – утримання; в – вилучення

7.2 Електрозбереження при магнітній сепарації руди

		№ докум.				50

Для електрозбереження при магнітній сепарації руди розроблено метод автоматичного керування кількістю паралельно працюючих магнітних сепараторів, які утворюють фронт магнітної сепарації, з урахуванням розподілу активної потужності. Обґрунтовано оптимальні межі переключення кількості магнітних сепараторів, виходячи з мінімізації споживаної ними активної потужності. Наприклад, якщо максимальна кількість працюючих сепараторів дорівнює трьом при постійно ввімкненому одному, оптимальна границя переключення визначається за формулою [9]:

$$P_{02} = \frac{\delta^2}{m_2 - m_3} \ln \frac{a_2 C_2}{a_3 C_3} + \frac{m_2 + m_3}{2}, \quad (7.1)$$

де δ - середньоквадратичне відхилення сигналу активної потужності; m_2 і m_3 - математичні очікування сигналів активної потужності відповідно при двох і трьох увімкнених магнітних сепараторах; a_2 і a_3 - ймовірності роботи двох або трьох працюючих сепараторів; C_1 і C_2 - відповідно вартість втрат від похибки помилкового вмикання та вимикання сепаратора.

Кількість паралельно працюючих магнітних сепараторів при збагаченні руди автоматично змінюється пропорційно до активної потужності, споживаної електродвигунами сепараторів з мережі, що зумовлена продуктивністю сепараторів за магнітним продуктом.

Також розроблено метод технологічного контролю комплексу магнітної сепарації з перетищенням руди. Функціональна схема системи технологічного контролю та її статичні характеристики наведені на рисунках 7.2 та 7.3 відповідно.

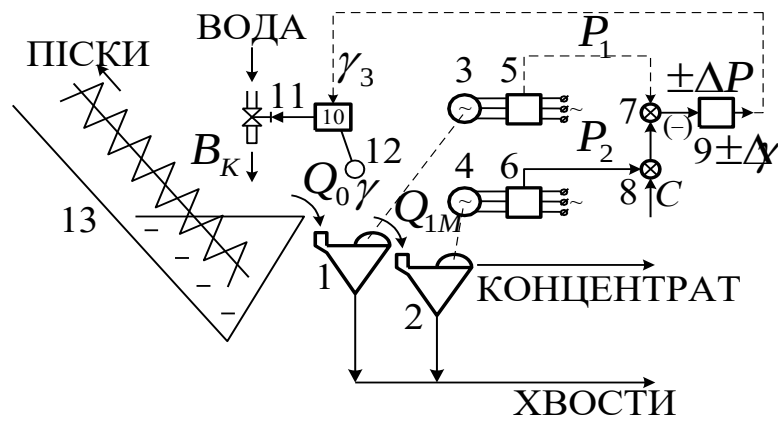


Рис.7.2. Система оптимізації кількості магнітних сепараторів: 1, 2 - магнітні сепаратори 3, 4 - електродвигуни 5, 6 - вимірювальні перетворювачі активної потужності 7, 8 - суматори 9 - реле 10 - регулятор густини зливу 11 - клапан витрати води 12 - густиномір 13 - класифікатор

Позначення: ВК - витрата води у класифікатор Q - продуктивність твердої фази пульпи $\pm\Delta$ - сигнал зміни густини зливу класифікатора Qм - продуктивність за магнітним продуктом сепараторів першого прийому P1, P2 - вихідні сигнали вимірювальних перетворювачів активної потужності C - постійний зсув, $\gamma_{зав}$ - завдання регулятора густини зливу

Схема демонструє систему оптимізації кількості працюючих магнітних сепараторів на основі вимірювання їх споживаної потужності для досягнення максимальної енергоефективності процесу.

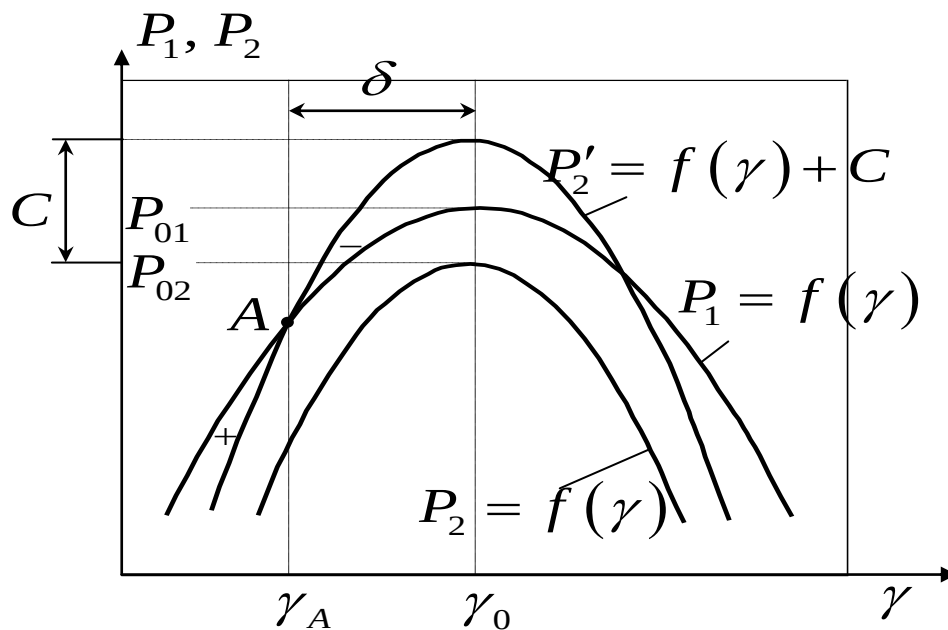


Рис.7.3 Статичні характеристики системи технологічного контролю, де: γ - густина зливу класифікатора γ_0 - оптимальна густина зливу γ_A - квазіоптимальна густина зливу класифікатора в робочій точці А $P_1(g)$ і $P_2(g)$ - статичні характеристики активної потужності, споживаної електродвигунами сепараторів першого і другого прийому відповідно $P_2'(g)$ - зсунута статична характеристика $P_{1\text{опт}}$ і $P_{2\text{опт}}$ - оптимальні сигнали активної потужності С - постійний зсув d - помилка системи

Метод працює на диференціальному принципі екстремального регулювання.

На базі практичних результатів розроблена й досліджена диференціальна система автоматичного контролю технологічного комплексу магнітної сепарації з паралельно працюючими магнітними сепараторами.

На рисунку 7.4 подана функціональна схема цієї системи, а на рисунку 7.5 - її статичні характеристики.

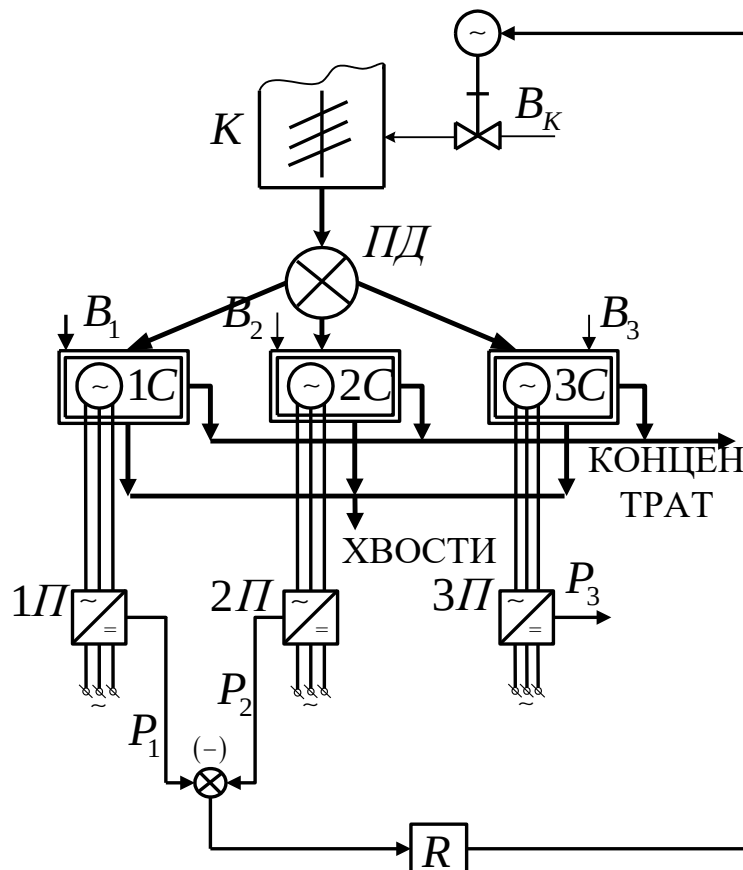


Рис. 7.4. Функціональна схема системи автоматичної оптимізації, де присутні такі елементи: К - класифікатор ПД - пульподільник 1С, 2С, 3С - магнітні сепаратори 1П, 2П, 3П - перетворювачі активної потужності R - регулятор В1, В2, В3 - витрати води в сепаратори Вк - витрата води в класифікатор Р1, Р2, Р3 - сигнали активної потужності двигунів сепараторів

Схема демонструє систему оптимізації процесу магнітної сепарації з використанням декількох паралельно працюючих сепараторів. Оптимізація відбувається шляхом регулювання витрат води на основі вимірювання споживаної активної потужності двигунів сепараторів для досягнення максимальної енергоефективності.

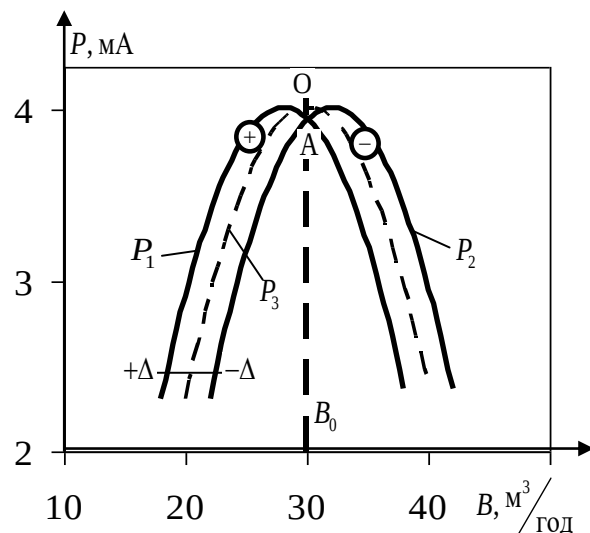


Рис. 7.5. Статичні характеристики системи, де: В0 - оптимальне значення витрати води на вході одного сепаратора ΔВ - збільшення води у ванну сепаратора Р1, Р2, Р3 - сигнали активної потужності приводних двигунів сепараторів

Сигнали Р1 і Р2 включені назустріч один одному. Їх різниця ΔР надходить на вхід регулятора R, який через сервопривід керує клапаном витрати води в класифікатор.

Зсув статичних характеристик магнітних сепараторів формує керуючий сигнал U , знак якого визначає відхилення режиму роботи комплексу від заданого режиму в точці А на рис.7.3:

$$U = K_3(P_1 - P_2), \quad (7.2)$$

де K_3 - коефіцієнт передачі регулятора.

Визначено статичні та динамічні характеристики технологічного комплексу магнітної сепарації як об'єкта автоматичного керування.

Нормована автокореляційна функція якості руди:

$$R_z(\tau) = \exp(-n|\tau|) \cos \beta\tau, \quad (7.3)$$

де $n = 2,0597 \cdot 10^{-4}$; $\beta = 7,5 \cdot 10^{-4}$,

τ - зсув.

Нормована автокореляційна функція витрати води:

$$R_\lambda(\tau) = \exp(-m|\tau|), \quad (7.4)$$

де $m = 2,772 \cdot 10^{-4}$.

Виконано розрахунки налаштування системи за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки. На рис. 7.6 показано графік залежності середньоквадратичної помилки регулювання σ від коефіцієнта передачі K .

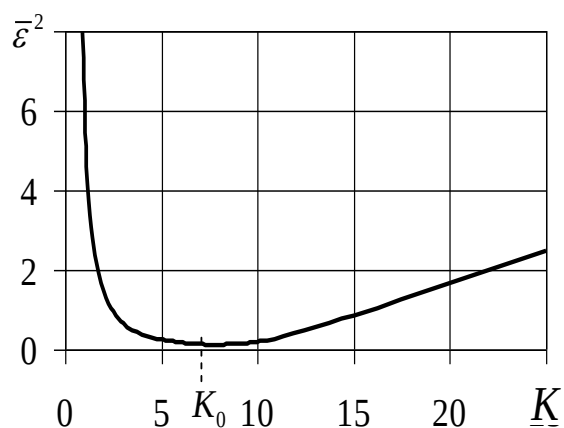


Рис. 7.6. Графік середньоквадратичної помилки регулювання σ від коефіцієнта підсилення регулятора K .

Висновки:

1. Використання взаємного зсуву характеристик споживаної активної потужності паралельними магнітними сепараторами від густини зливу пульпи забезпечує диференціальне регулювання процесу, підвищуючи якість регулювання та кількість виділеного магнітного продукту.

2. Метод автоматичного контролю магнітної сепарації за різницею сигналів активної потужності двигунів двох сепараторів із зсунутими характеристиками сприяє більш ефективним процесам механічної класифікації та магнітної сепарації.

3. У методі автоматичного контролю кількості працюючих сепараторів їх кількість змінюється пропорційно спожитій активній потужності, що підвищує точність автоматичного управління при коливаннях продуктивності млинів і властивостей руди.

4. Сигнал про несправність сепаратора генерується при перевищенні допустимої спожитої потужності електродвигуна.

ВИСНОВКИ

1. Розраховано електричне навантаження гірничо-збагачувального комбінату методом впорядкованих діаграм. Виконано розподіл навантаження по 3 ТП (6х1000 кВт). Побудовано картограму навантажень і обрано місце розташування РП.

2. На основі техніко-економічного порівняння двох варіантів внутрішнього електропостачання комбінату (КЛ-10кВ) обрано другий варіант магістральної схеми з меншими зведеними витратами.

3. Виконано вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв. Оптимальна компенсація реактивної потужності по ТП з 5 ступенями забезпечила допустимий коефіцієнт потужності.

4. Розрахунок струмів короткого замикання і визначення надперехідних та ударних складових у контрольних точках дозволив вибрати відповідне високовольтне обладнання.

5. Обґрунтовано системи комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання, вибрано схеми їх підключення, лічильники, трансформатори струму та напруги.

6. Докладно розглянуті питання релейного захисту елементів схеми електропостачання, зокрема синхронного двигуна. Передбачено необхідні види захисту.

7. У спецрозділі досліджено шляхи економії електроенергії шляхом автоматичного управління кількістю паралельно працюючих магнітних сепараторів, яку змінюють пропорційно споживаній активній потужності. Розглянуто електромагнітну силу, що діє на феромагнітні частинки при збагаченні феронікелю, та її характеристики. Метод забезпечує підвищення якості роботи при коливаннях продуктивності млинів і властивостей руди.

		№ докум.				57

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плєшков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград:КДТУ, 2004. – 133.с.
2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
3. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плєшков, О. А. Козловський та ін.; Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
4. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
5. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.
8. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2006. –153 с.

9. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств / О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, К.Г. Петрова, 2015. – 316 с.

10. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Серебренніков С.В., Гарасьова Н.Ю., Зінзура В.В. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 242с.

11. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: навч. посіб. / Плешков С.П., Серебренніков С.В. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2015. – 159 с.

12. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 259 с.

13. Харченко В. Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств : Конспект лекцій для студентів 4–5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 – Електротехніка (6.050701 – Електротехніка та електротехнології) / В. Ф. Харченко; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 168 с.

14. Електропостачання та електрозбереження : Конспект лекцій (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 6.090603 – Електротехнічні системи електроспоживання) / [О. Г. Гриб, О. М Довгалюк, Д. М. Калюжний, Ю. Г. Куцан, Г. А Сендерович]. – Харків. ХНАМГ, 2006. – 145 с.

15. Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу «Електропостачання міст та промислових підприємств» (для спеціалістів та магістрів галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, фахового спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : В. Ф. Харченко, В. Г. Воропай, О. А. Якунін. – Харків, 2017. – 28 с.

ДОДАТКИ

		№ докум.				

Таблиця 1.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіль- кість ЕП	Встановлена потужність		m	K_H	$\frac{\cos\varphi}{\operatorname{tg}\varphi}$	Середнє навантаження кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ				P_{CM}	Q_{CM}			P_p	Q_p	S_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 Цех ремонту та спецустаткування														
	Лабораторне устаткування	28	0,5-50	220	>3	0,5	0,65/1,15	110	126,5					
	Електрозварювальні агрегати	45	10-40	1270	>3	0,35	0,6/1,33	446,5	591,2					
	Металообробні верстати	180	2,5-100	2480	>3	0,16	0,5/1,75	330,4	653,2					
	Крани	4	20-80	200	>3	0,3	0,6/1,33	120	159,6					
	вентилятори	16	10-40	240	>3	0,7	0,58/1,42	175	111,3					
	Всього по цеху:	273	0,5-100	4400	>3		0,58/1,42	1081,9	1522,3	25	1,15	1246	1528,9	1968,9
2 Бульдозерний цех														
	Металорізальні верстати	120	2,5-100	1535	>3	0,16	0,5/1,75	246	430					
	Зварювальні трансформатори	43	10-40	1240	>3	0,35	0,6/1,33	335	578					
	Вентилятори	15	2,5-40	195	>3	0,7	0,8/0,75	138	102					
	Всього по цеху:	178	2,5-100	2970	>3	0,28	0,6/1,33	919	1110	12	1,12	921	1110	1437
3. АПК														
	Оргтехніка	35	1,7-100	270	>3	0,16	0,5/1,75	432	75,6					
	Кондиціонери	14	10-80	430	>3	0,3	0,8/0,75	129	100,2					
	Обігрівачі	20	5,5	110	>3	0,8	0,6/1,79	88	117					
	Вентилятори	15	5-30	60	>3	0,7	0,8/1,28	42	31,5					
	Всього по АПК	85	1,7-100	870	>3	0,39	0,62/1,28	300,2	382,3	8	1,37	408	384	560,51

Продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4.	Профілакторій Білазів													
	Спецобладнання	118	1,7-52,2	1309,5	>3	0,16	0,5/1,73	209,5	362,6					
	Платформа	6	40	240	>3	0,7	0,8/0,75	168	126					
	Всього по цеху:	124	1,7-52,2	1549,5	>3	0,24	0,61/1,29	3377,5	488,6	19	1,20	454,8	488,6	667,4
5.	Дробильна дільниця													
	Грохоти, млини	70	2,5-100	1100	>3	0,16	0,5/1,73	177	305					
	Сита, транспортери	6	10-30	185	>3	0,35	0,6/1,33	30	40					
	Дробилки	8	2,3-100	118	>3	0,7	0,8/1,4	84	63					
	Всього по дільниці	84	2,3-100	1403	>3	0,23	0,58/1,4	291	408	11	1,25	362	407	545
6.	Насосна кар'єрних вод													
	Насоси	22	15-80	420	>3	0,67	0,21/0,2	281	57					
	Електрозасувки	44	0,3-3	100,4	>3	0,1	0,4/2,3	9,9	22,8					
	Вентилятори	48	3-17	80	>3	0,7	0,8/0,35	56	42					
	Всього по цеху:	114	0,3-80	600,4	>3	0,26	0,94/0,35	346	121,8	16	1,25	429	122	446,2
	Всього по ГЗК	1178	0,3-110	11792,4	>3	0,27	0,62/1,25	3214,2	4014,1	40	1,18	3814,5	4124,3	5538

Таблиця 1.3. Розрахунок освітлювальних навантажень

№ п/п	Найменування виробничого підрозділу	F , m^2	P_0 , $Bm /$	P_y , κBm	K_c	K_1	$\cos \varphi$	$Tg \varphi$	P_p , κBm	Q_p , κvar
1	Бульдозерний цех	3947	18	71	0,95	1,2	0,9	0,48	81	38,9
2	Цех ремонту та специалізації	7500	16	120	0,85	1,2	0,9	0,48	122,4	58,8
3	Дробильна дільниця	3750	17	63,8	0,95	1,2	0,9	0,48	72,7	34,9
4	АПК	3060	16	48,9	0,95	1,2	0,9	0,48	55,8	26,8
5	Профілакторій Білазів	6660	18	120	0,95	1,2	0,9	0,48	136,8	65,7
6	Насосна станція кар'єрних вод	350	6	20,9	0,85	1,2	0,9	0,48	21,4	10,3
	Всього по підготовчому відділенню ГЗК								449,4	239,7

Таблиця 1.4. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 кВ

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіль- кість ЕП	Встановлена потужність		m	K_H	$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$	Середнє навантаження кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ				P_{CM}	Q_{CM}			P_p	Q_p	S_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
КТП – 1 (2х1000)														
Профілакторій Білазів														
	Силове	124	1,7-52,2	1549,5	>3	0,24	0,61/1,29	377,5	488,6	59	1,205	454,8	488,6	667,4
	Освітлювальне							154						
Бульдозерний цех														
	Силове	178	2,5-100	2970	>3	0,28	0,6/1,33	819	1110	22	1,12	921	1110	1437,5
	Освітлювальне				>3			81						
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП-1	302	1,7-100	4519,5	>3	0,26		1431,5	1578,6	53	1,02	1456,8	1578,6	2148,2
	Компенсуючі пристрої												-1000	
	Втрати в тр-рах ТП-1											29	143	
	Всього на шинах 10 кВ КТП-1											1485,8	721,6	1651,7
КТП – 2 (2х1000)														
Дробильна дільниця														
	Силове	84	2,3-100	1403	>3	0,23	0,58/1,4	291	408	14	1,24	362	407	545
	Освітлювальне							76,5				72,7		
Насосна кар'єрних вод														
	Силове	114	0,3-80	600,4	>3	0,26	0,94/0,35	346	121,8	16	1,25	429	122	446,2
	Освітлювальне							25,9				21,4		
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП-2	162	0,3-100	2003,4	>3	0,24		739,4	529,8	20	1,2	885,1	528,9	
	Компенсуючі пристрої												-300	

Продовження таблиці 1.4

1	2	3			6	7	8			11	12			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
КТП – 3 (2х1000)														
Цех ремонту та спецустаткування														
	Силові	273	0,5-100	4400	>3	0,34	0,58/1,42	1081,9	1522	26	1,15	1246	1528,9	1968,9
	Освітлювальне							144				136,8		
АПК														
	Силові	55	1,7-110	870	>3	0,34	0,62/1,28	300,2	382,3	18	1,37	408	384	560,5
	Освітлювальне				>3			55,8				55,8		
	Всього на шинах 0,4 кВ КТП-3	328	0,5-110	5270	>3	0,34	0,59/1,38	1581,7	1906,3	35	1,2	1695	1906,3	
	Компенсуючі пристрої												-1825	
	Втрати в тр-рах ТП-3											39	195	
	Всього на шинах 10 кВ КТП-3											1741	276,2	1766,9
	Загалом по ГОК													
	Силові 0,4 кВ	792	0,3-110	11792,4	>3	0,27	0,62/1,25	3214,2	4124,3	62	1,18	3226	4121,3	5538
	Освітлювальна							526,5				499,4		
	Компенсуючі пристрої												- 3100	
	Всього 0,4 кВ							3740,7	4124			3725,6	299	
	Втрати у трансформаторах											75	371	
	Всього на шинах 10 кВ											3800,6	1691	
Високовольтні синхронні двигуни (4х1000)														
	Всього:	4	1000	4000		0,7	0,97/0,25	2800	-700			2500	-700	2588
	Всього на шинах РП-10 кВ											6600,5	991	6674

Таблиця 2.1. Розрахунок картограми навантажень.

№ п/п	Найменування підрозділу	R_i	L	Sp_i	$Socв$	P_i	X	Y	$X_i \cdot P_i$	$Y_i \cdot P_i$
1	Бульдозерний цех	24,2	26,9	1146	137	1283	477	469	611991	601727
2	Цех ремонту та спецустаткування	15,6	34,4	462	73	535	477	400	255195	214000
3	Дробильна дільниця	14,1	42,3	362	73	435	535	432	232725	187920
4	АПК	16,7	63,3	459	154	613	385	335	236005	205355
5	Профілакторій Білазів	27,1	26,2	1445	168	1613	385	428	621005	690364
6	Насосна станція кар'єрних вод	33,4	2,2	2429	21	2450	448	206	1E+06	504700
7	РП	56,1	22,8	6303	626	6929	441	347	3E+06	2404066

Таблиця 3.1.

№ тр-ра	1Т-1сш	2Т-1сш	3Т-1сш	4Т-2сш	5Т-2сш	6Т-2сш
Варіант 1: радіальна схема						
$S_{ном}$ тр-ра, кВа	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Sp , кВа	761	761	550	550	882	882
$L_{кл}$ до ТП, км	0,08	0,08	0,14	0,14	0,06	0,06
I_p , А	44	44	32	32	51	51
$I_{доп}$, А	115	115	115	115	115	115

$S, \text{мм}^2$	35	35	35	35	35	35
Варіант 2: змішана схема						
$I_p, \text{А}$	76	76	32	32	127	127
$I_{\text{доп}}, \text{А}$	140	140	115	115	205	205
$S, \text{мм}^2$	50	50	35	35	95	95

Таблиця 3.2.

№ тр-ра	1Т-1сш	2Т-1сш	3Т-1сш	4Т-2сш	5Т-2сш	6Т-2сш
Варіант 1: радіальна схема						
I_p , А	44	44	32	32	51	51
$I_{\text{дл. доп.}}$, А	115	115	115	115	115	115
K_3	0,38	0,38	0,28	0,28	0,44	0,44
$\Delta P_{\text{1км}}$, кВт/км	42	42	42	42	42	42
ΔP , кВт						
L , км	0,08	0,08	0,14	0,14	0,06	0,06
$\Sigma \Delta P$, кВт	2,86					
$\Sigma \Delta E$, кВт*год	11220					
Варіант 2: змішана схема						

I_p , А	76	76	32	32	127	127
$I_{\text{дл. доп.}}$, А	140	140	115	115	205	205
K_3	0,54	0,54	0,28	0,28	0,62	0,62
$\Delta P_{1\text{км}}$, кВт / км	44	44	42	42	50	50
L , км	0,14	0,14	0,06	0,06	0,06	0,06
ΔP , кВт	1,8	1,8	0,2	0,2	1,15	1,15
$\Sigma \Delta P$, кВт	63					
$\Sigma \Delta E$, кВт*год	24715					

Таблиця 3.3.

Елемент схеми	Од. виміру	кількіст ь	Вартість за один., тис.грн.	Вартість всього, тис.грн	H_a	H_e	H_Σ	$C_{a.e.}$, тис.грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Варіант 1: радіальна схема								
Кабель 35мм ² в траншеї	Км	0,56	6,6	3,7	5,0	5,0	10,0	0,37
Шафа з вимикачем	Шт.	17,13	102,74	15,0	5,0	5,0	20,0	20,56

Всього:				106,48				20,93
Варіант 2: змішана схема								
Кабель 35мм ² в траншеї	Км	0,12	6,6	0,79	5,0	5,0	10,0	0,08
Кабель 50мм ² в траншеї	Км	0,28	7,2	2,02	5,0	5,0	10,0	0,2
Кабель 95мм ² в траншеї	Км	0,12	9,6	1,15	5,0	5,0	10,0	0,12
Шафа з вимикачем	Шт.	2	17,13	34,26	15,0	5,0	20,0	6,85
Вимикач навантаження	Шт.	6	4,5	27	15,0	5,0	20,0	5,4
Разом:				65,2				12,65

Таблиця 4.2. Розстановка компенсуючих пристроїв

$N_{\text{кТП}}$	N тр	P_p кВт	Q_p квар	Q_{Π} квар	$Q_{\text{КП}}$ квар	N БК	Тип БК	$\sum Q_{\text{БК}}$ квар	K_3	S' кВА
							Варіант I			
2	2	1351	1471	465,6	885	6	УКБН – 0,38 - 15043	900	0,73	1467
3	2	900,4	529,4	1296	-	-	-	-	0,55	1099
1	2	1725	1896	0	1896	14	УКБН - 0,38 - 15043	2100	0,82	1764
							Варіант II			
2	2	1351	1471	465,6	885	6	УКБН - 0,38 - 15043	900	0,73	1467
3	2	900,4	529,4	1296	-	-	-	-	0,55	1099
1	2	1150	1264	802	462	1	УКБН – 0,38- 100- 5043	100	0,81	1636
4	1	575	632	401	231	-	-	-	0,85	851
							Варіант III	$(K_{II_{0,4KB}} = 0)$		
РП 10						1	УКН- 10- 125043			

Табл. 6.1. Таблиця вибору вмикачів

Характеристики вмикача ВР-1-1/630	Умови вибору	Умова вибору та місце установки.			
		Напруга живлення РП	Напруга живлення магістралі	Напруга живлення СД	Напруга живлення секц. вмикача
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_n$	10=10	10=10	10=10	10=10
Тривалий номінальний струм, А	$I_{раб.форс} \leq I_{дл.ном}$	365,809 < 630	256,066 < 630	448,9 < 630	182,905 < 630
Номінальний струм електродинамічної стійкості, А	$I'' \leq I_{дин.ст.}$	8,98 < 52	8,98 < 52	8,98 < 52	8,98 < 52
Номінальний струм відключення, А: Симетричний Асиметричний	$I_{нт} \leq I_{откл.н.}$	8,98 < 20	8,98 < 20	8,98 < 20	8,98 < 20
	$\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{откл.} \cdot (1 + B_n)$	12,78 < 28,284	12,78 < 28,284	12,78 < 28,284	12,78 < 28,284
Номінальний тепловий імпульс	$B_k \leq I_{тн} \cdot t_{тн}$	131,2 < 1600	131,2 < 1600	131,2 < 1600	131,2 < 1600

Табл. 6.8. Таблица перерізу кабельних ліній

Найменування кабельної лінії	навантаження				Кп	Переріз лінії			Марка та переріз вибраного кабелю	Тривало допустимий струм А	Втрати напруги ΔU%	Довжина м.
	Номінальний режим		Аварійний режим									
	S кВа	I А	S кВа	I А								
ПС-РП	3318	182,905	6636	365,809	0,9	120	150	150	2хААБ-10(3х150)	275	0,182	640
ТПЗ-ТП-1	1264,5	73,006	1770,3	102,208	1	95	70	95	1хААБ-10(3х120)	240	0,139	140
ТП1-ТП-2	468,39	26,811	650,14	37,535	1	70	25	70	1хААБ-10(3х120)	240	0,05	62
РП- ТП-3	214,8	124,05	300,72	173,68	1	120	120	120	1хААБ-10(3х120)	240	0,03	60
РП-СД	1160	67	1160	67	1	120	120	120	1хААБ-10(3х120)	240	0,002	25