

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Плешков П.Г.
“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

Розробка системи електропостачання комбінату твердих сплавів Development of a power supply system for a hard alloy plant

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-21
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Павло МОШНІКОВ
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту
доц, канд.техн.наук
_____ Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2025 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»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Плешков П.Г.*

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Мошнікова Павла Едуардовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка системи електропостачання комбінату
твердих сплавів

Development of a power supply system for a hard alloy plant

2. Керівник роботи (проекту) Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доц.

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 10.06.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Розробити систему
електропостачання комбінату твердих сплавів, згідно завдання: Виконати
розрахунок електричних навантажень підприємства. Побудувати графіки та
картограму електричних навантажень. Виконати вибір варіантів схем
електропостачання. Виконати розрахунки режимів реактивної потужності,
вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати технологічне обладнання в
розподільчому пристрої. Розробити спеціальний розділ.

[Введіть текст]

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | <i>Розрахунок електричних навантажень</i> | <i>8.05.25</i> | |
| 2 | <i>Побудова графіків ен. навантажень</i> | <i>10.05.25</i> | |
| 3 | <i>Побудова картограм ен. навантажень</i> | <i>16.05.25</i> | |
| 4 | <i>Вибір напруги і електричних схем електропостачання</i> | <i>18.05.25</i> | |
| 5 | <i>Режими реактивної потужності</i> | <i>18.05.25</i> | |
| 6 | <i>Вибір трансформаторів</i> | <i>20.05.25</i> | |
| 7 | <i>Розрахунок струмів КЗ</i> | <i>24.04.25</i> | |
| 8 | <i>Вибір високовольтного обладнання</i> | <i>26.05.25</i> | |
| 11 | <i>Спеціальний розділ</i> | <i>30.05.25</i> | |
| 12 | <i>Оформлення пояснювальної записки</i> | <i>5.06.25</i> | |
| 13 | <i>Виконання графічної частини</i> | <i>8.06.25</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2025 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента _____

« ____ » _____ 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 88 с.; 9 рис.; 24 табл.; 10 джерел

Мошніков П. Розробка системи електропостачання комбінату твердих сплавів.– Рукопис.

Development of a power supply system for a hard alloy plant

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2025 р.

В кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання та розробки системи електропостачання комбінату твердих сплавів і виконаний згідно завдання.

В роботі представлений огляд існуючих рішень, вибрано обладнання та принцип його роботи, розроблена система електропостачання та вибране необхідне обладнання.

В спеціальному розділі розроблено автоматизовану систему обліку і контролю електричної енергії.

електропостачання, АСКОЕ, електричні навантаження, прилади обліку.

ABSTRACT

Qualification work: 88 p.; 9 Fig.; 24 tables; 10 sources

MOSHNIKOV P. Development of a power supply system for a hard alloy plant – Manuscript.

Розробка системи електропостачання комбінату твердих сплавів

Bachelor's Thesis in the specialty 141 - "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2025.

This qualification work presents the design of the power supply system and the development of the electricity supply for hard alloy plant, completed in accordance with the assigned task.

The work includes an overview of existing solutions, selection of equipment and description of its operation principles, development of the power supply system, and selection of the necessary equipment.

A dedicated section is devoted to the development of an automated system for electricity metering and control.

power supply, SCADA, electrical loads, metering devices.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 7 |
| 1. Стисла характеристика підприємства | 9 |
| 2. Розрахунок електричних навантажень..... | 11 |
| 2.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 в | 11 |
| 2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень | 19 |
| 3. Побудова графіків електричних навантажень..... | 26 |
| 4. Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування центру електричних навантажень..... | 32 |
| 5. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання | 35 |
| 5.1 Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання | 35 |
| 5.2 Вибір напруг та схем внутрішнього електропостачання | 44 |
| 6. Режими реактивної потужності системи електропостачання..... | 45 |
| 6.1 .розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах | 46 |
| 6.2. Вибір кількості, потужності компенсуючих пристроїв | 47 |
| 7. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання | 55 |
| 7.1. Розрахунок струмів короткого замикання..... | 55 |
| 7.2. Вибір кабелів напругою 10 кв для високовольтної мережі заводу | 65 |
| 7.3. Вибір електричних апаратів високої напруги | 67 |
| 7.4. Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб | 73 |
| 8. Розроблення автоматизованої системи контролю та обліку електро споживання | 74 |
| 8.1 Загальні принципи побудови АСКОВЕ..... | 74 |
| 8.2. Підсистема вимірювання | 75 |
| 8.3. Пристрої збору і передачі даних..... | 79 |
| 8.4. Обґрунтування вибору системи комерційного та технічного контролю і обліку електроенергії | 80 |
| Висновок | 85 |
| Література | 87 |

| | | | | |
|--|------|----------------|--------|-------|
| КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
| | | Мошніков П.Є | | |
| | | Савеленко І.В. | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | Плешков П.Г | | |
| Розробка системи електропостачання комбінату твердих сплавів | | | Літера | Аркуш |
| | | | 6 | 88 |
| ЕЕ-21, ЦНТУ | | | | |

Вступ

Стабільне та надійне електропостачання є одним із ключових чинників ефективного функціонування промислових підприємств, особливо в галузях, пов'язаних із виробництвом продукції з високими енергетичними витратами. Комбінати з виготовлення твердих сплавів і тугоплавких металів належать до таких енергоємних виробництв, де електроенергія є не лише джерелом живлення для технологічного обладнання, а й критично важливим фактором, що визначає якість продукції, безпеку технологічних процесів і загальну надійність виробництва.

У сучасних умовах розвитку енергетичної інфраструктури особливого значення набуває розробка ефективних, економічно обґрунтованих і технічно доцільних систем електропостачання. Така система повинна забезпечувати безперервне живлення всіх споживачів комбінату з урахуванням специфіки їхньої роботи, категорії надійності, резервування, можливостей автоматизації керування навантаженням та перспективи розвитку підприємства.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка системи електропостачання комбінату твердих сплавів, що враховує існуючі та перспективні потреби виробництва, забезпечує необхідний рівень енергоефективності, надійності та безпеки, а також відповідає чинним нормативно-технічним вимогам. У процесі виконання роботи розглядаються технічні характеристики споживачів, вибір схеми живлення, трансформаторного обладнання, систем захисту й автоматизації, а також проводиться техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Окрему увагу в роботі приділено розробленню автоматизованої системи контролю та обліку електроспоживання (АСКОЕ). Актуальність цього розділу зумовлена потребою сучасних промислових підприємств у точному, оперативному та достовірному зборі даних про використання електроенергії. Впровадження АСКОЕ дозволяє не лише знизити енергетичні втрати та підвищити ефективність обліку, але й створити основу для оптимізації навантаження, впровадження енергозберігаючих технологій та підвищення рівня керованості

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 7 |

електроспоживанням. У контексті переходу до цифровізації енергетики та інтеграції в енергетичну систему Smart Grid, такі рішення стають вкрай необхідними для забезпечення конкурентоспроможності підприємства.

Таким чином, тема бакалаврської роботи є актуальною як з технічної, так і з економічної точки зору, а її результати можуть бути використані як основа для подальшої модернізації енергосистеми подібних промислових об'єктів.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 8 |

1. Стисла характеристика підприємства

Світловодський комбінат твердих сплавів та тугоплавких металів є підприємством металургійного профілю, що отримує електропостачання від підстанції «Сплав», розташованої безпосередньо на його території. Живлення зазначеної підстанції здійснюється через високовольтні повітряні лінії електропередачі напругою 150 кВ від підстанцій енергосистеми «Скелева» та «КРЕМ ГЕС», що знаходяться на відстані 13,6 км та 13,78 км відповідно. На підстанції «Сплав» встановлено трансформатор типу ТРДН-32000/150-У2, який забезпечує два рівні напруги: 150 кВ та 10 кВ. Споживачі комбінату живляться від КРП-10 кВ цієї ж підстанції за допомогою кабельних ліній напругою 10 кВ. Підприємство класифікується як споживач II категорії за надійністю електропостачання.

Основною спеціалізацією комбінату є виробництво високотехнологічної продукції з тугоплавких металів, зокрема:

дроту, прутків і заготовок для електротехнічної та металургійної галузей на основі вольфрамових сполук, таких як WO_3 (вольфрамовий ангідрид) і H_2WO_4 (вольфрамова кислота);

заготовок важкого сплаву для спеціального призначення з використанням чистих солей вольфраму;

керамічних пластин з карбіду бору, виготовлених методом гарячого пресування, для використання у засобах індивідуального захисту;

виробів із твердих сплавів на основі карбіду вольфраму (WC) з добавками кобальтового порошку (Co);

засобів індивідуального захисту I–IV класів, включно з бронежилетами;

товарів народного вжитку, зокрема свердел спіральних та перових із твердосплавними наконечниками, а також протиковзних шипів.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 9 |

На підприємстві діють потужності для протягування дроту з тугоплавких металів, зокрема вольфраму та молібдену. Виробнича потужність комбінату становить:

Виробництво вольфрамової жили та дроту діаметром 30–390 мкм — 1,2 млрд метрів на рік;

Вольфрамовий дріт діаметром 400–1500 мкм — 50 тонн на рік;

Вольфрамові штабики марки ШВВ — 150 тонн на рік;

Керамічні захисні пластини з карбіду бору — 32 тонни на рік;

Засоби індивідуального захисту (бронежилети) — 2000 одиниць на рік;

Заготовки важкого сплаву для спеціальних виробів — 100 тонн на рік;

Тверді сплави марок ВК6, ВК8 — 50 тонн на рік.

Для забезпечення технологічного процесу на комбінаті експлуатуються вакуумні дугові печі постійного струму, а також численні індукційні печі малої та середньої потужності. Виробничі лінії обладнані вентильними перетворювачами, металообробними верстатами та пресовими установками, що забезпечують повний цикл обробки тугоплавких металів та сплавів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 10 |

2. Розрахунок електричних навантажень

Визначення розрахункових електричних навантажень електроприймачів виконується у відповідності з методом “Упорядкованих діаграм Каялова”.

2.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Розрахункове активне навантаження термічного цеху визначається:

$$P_P = P_{CM} \cdot K_M = 643,3 \cdot 1,72 = 1106,5 \text{ кВт},$$

де P_{CM} – середнє активне навантаження термічного цеху за найбільш завантажену зміну; K_M – коефіцієнт максимуму навантаження для споживачів термічного цеху ($K_M = 1,72$).

Груповий коефіцієнт використання визначається за виразом:

$$K_{II} = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_H} = \frac{\sum_1^5 680,13 + 480 + 25,6 + 50,7 + 18}{60,1 + 300 + 34,13 + 51,72 + 25,2} = 1,72$$

де P_{CM}, P_H – відповідно середнє навантаження та усталена потужності однотипних груп споживачів термічного цеху;

Ефективне число ЕП для термічного цеху $n_{\text{Э}}$ визначається:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} = \frac{600}{1,5} = 400,$$

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|------|
| | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | 11 |

де $P_{H \max}, P_{H \min}$ - найбільш і найменш потужні споживачі в цеху

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H \max}} = \frac{2 \cdot 1560,2}{600} = 5,1$$

Розрахункове реактивне навантаження термічного цеху визначається за виразом:

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_{CM} = 1,1 \cdot 471,4 = 518,2 \text{ кВАр}$$

де Q_{CM} - середнє реактивне навантаження термічного цеху;

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \text{tg}\phi = 643,3 \cdot 0,73 = 471,4 \text{ кВАр}$$

Розрахунковий максимум навантаження:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{1106,5^2 + 518,3^2} = 1221,9 \text{ кВА}$$

Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В виконуємо у вигляді таблиці 2.1 з застосуванням офісного додатку Microsoft Excel.

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | | 12 |

Таблиця 2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

| № | Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів | Кіл. спож. | Встановлена потужність, кВт | | m | Кв cosφ | tgφ | Середнє навантаження за зміну | | Км | Розрахункова поужність | | | | | |
|---|--|------------|-----------------------------|--------|-----|---------|------|-------------------------------|--------|--------|------------------------|------|--------|--------|---------|--|
| | | | Одного | Сумар. | | | | Рср | Qср | | Pr | Qr | Sp | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| 1 | Термічний цех | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Вентилятори | 4 | 1,5 - 35 | 97,3 | 23 | 0,7 | 0,75 | 0,882 | 68,13 | 60,09 | | | | | | |
| | Індукційні тигельні печі | 2 | 600 - 600 | 1200,0 | 1 | 0,4 | 0,85 | 0,625 | 480,00 | 300,00 | | | | | | |
| | Розливочні машини | 6 | 3 - 13 | 64,0 | 4 | 0,4 | 0,6 | 1,333 | 25,60 | 34,13 | | | | | | |
| | Ливарні машини А711А 0,7 | 8 | 10 - 30 | 144,9 | 3 | 0,35 | 0,7 | 1,02 | 50,70 | 51,72 | | | | | | |
| | Крани | 3 | 5 - 22 | 54,0 | 4 | 0,35 | 0,6 | 1,333 | 18,90 | 25,20 | | | | | | |
| | Всього | 23 | 1,5 - 600 | 1560,2 | 400 | 0,41 | 0,81 | 0,732 | 643,33 | 471,14 | 5 | 1,72 | 1106,5 | 518,26 | 1221,86 | |
| 2 | Підготовчий цех | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Волочильне обладнання | 10 | 16 - 22 | 190,0 | 1 | 0,35 | 0,80 | 0,75 | 66,50 | 49,88 | | | | | | |
| | Відновлювальні печі | 2 | 160 - 160 | 320,0 | 1 | 0,6 | 0,70 | 1,02 | 192,00 | 195,88 | | | | | | |
| | Виробничі вентилятори | 5 | 2,5 - 3 | 14,0 | 20 | 0,6 | 0,80 | 0,75 | 8,40 | 6,30 | | | | | | |
| | Нагнітаючі вентилятори | 4 | 4,0 - 15 | 77,0 | 1 | 0,6 | 0,80 | 0,75 | 46,200 | 34,650 | | | | | | |
| | Центробіжні насоси | 13 | 3,0 - 10 | 122,0 | 1 | 0,6 | 0,70 | 1,02 | 73,20 | 74,68 | | | | | | |
| | Печі електрошлакового переплаву | 4 | 250 - 400 | 1450,0 | 3 | 0,40 | 0,79 | 0,776 | 580,00 | 450,13 | | | | | | |
| | Печі попереднього спікання штабиків | 15 | 25 - 25 | 500,0 | 3 | 0,45 | 0,86 | 0,583 | 225,00 | 131,12 | | | | | | |
| | Спец. апарати віджигання | 15 | 7 - 13 | 200,0 | 3 | 0,45 | 0,7 | 1,02 | 90,00 | 91,82 | | | | | | |
| | Зварювальні апарати штабиків | 33 | 3 - 3 | 132,0 | 3 | 0,25 | 0,65 | 1,169 | 33,00 | 38,58 | | | | | | |
| | Крани | 4 | 2 - 11 | 44,0 | 3 | 0,30 | 0,6 | 1,333 | 13,20 | 17,60 | | | | | | |

продовження таблиці 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---------------------------|-------|-----------|--------|-----|------|------|-------|--------|--------|----|------|--------|--------|---------|
| | Тельфери | 6 | 3 | 18,0 | 3 | 0,20 | 0,45 | 1,985 | 3,60 | 7,14 | | | | | |
| | Насоси | 16 | 1 - 5 | 29 | 3 | 0,60 | 0,79 | 0,776 | 17,40 | 13,50 | | | | | |
| | Всього | 127,0 | 2,5 - 160 | 3096 | 64 | 0,44 | 0,77 | 0,824 | 1348,5 | 1111,3 | 39 | 1,20 | 1614,6 | 1111,3 | 1960,0 |
| 3 | Заводоуправління | | - | | | | | | | | | | | | |
| | Холодильники | 5 | 1,5 - 3 | 15,0 | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,75 | 12,00 | 9,00 | | | | | |
| | Оргтехніка | 56 | 0,3 - 0,5 | 29,9 | 1 | 0,7 | 0,79 | 0,776 | 20,91 | 16,23 | | | | | |
| | Кондиціонери | 24 | 1,6 - 3 | 73,6 | 1 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 44,16 | 33,12 | | | | | |
| | Вентилятори | 8 | 3 - 11 | 74,7 | 3 | 0,65 | 0,8 | 0,75 | 48,53 | 36,40 | | | | | |
| | Всього | 93 | 0,3 - 11 | 193,13 | 36 | 0,65 | 0,8 | 0,754 | 125,6 | 94,7 | 35 | 1,12 | 140,1 | 94,75 | 169,11 |
| 4 | Хімічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | Термотравильні агрегати | 6 | 12 - 12 | 96,0 | 1 | 0,3 | 0,75 | 0,882 | 28,80 | 25,40 | | | | | |
| | Ультразвукові ванни УЗВ17 | 4 | 100 - 100 | 533,3 | 1 | 0,45 | 0,83 | 0,672 | 240,00 | 161,28 | | | | | |
| | Ел. дистиллятор | 12 | 1,0 - 20 | 168,0 | 20 | 0,4 | 0,63 | 1,233 | 67,20 | 82,84 | | | | | |
| | Випрямлячі ВАХР | 8 | 45,0 - 45 | 480,0 | 1 | 0,45 | 0,5 | 1,732 | 216,00 | 374,12 | | | | | |
| | Фільтри ФРКИ | 6 | 3,0 - 10 | 52,0 | 3 | 0,60 | 0,79 | 0,776 | 31,20 | 24,21 | | | | | |
| | Вентилятори побутові | 4 | 5 - 15 | 53,3 | 3 | 0,60 | 0,79 | 0,776 | 32,00 | 24,83 | | | | | |
| | Всього | 40 | 1,0 - 100 | 1382,7 | 100 | 0,44 | 0,66 | 1,126 | 615,20 | 692,69 | 28 | 1,23 | 758,4 | 692,69 | 1027,11 |
| 5 | Транспортний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ел. тягачі ЕТ-512 | 3 | 3 - 32 | 70,0 | 10 | 0,12 | 0,7 | 1,02 | 8,40 | 8,57 | | | | | |
| | Насоси | 4 | 5 - 44 | 130,7 | 8 | 0,6 | 0,7 | 1,02 | 78,40 | 79,98 | | | | | |
| | Електрокари г/п 2,0 т | 14 | 5 - 27 | 298,7 | 5 | 0,3 | 0,6 | 1,333 | 89,60 | 119,47 | | | | | |
| | Тельфери | 8 | 18 - 18 | 192,0 | 1 | 0,4 | 0,9 | 0,484 | 76,80 | 37,20 | | | | | |
| | Підйомники | 8 | 10 - 10 | 106,7 | 1 | 0,3 | 0,8 | 0,75 | 32,00 | 24,00 | | | | | |
| | крани | 4 | 2 - 7,5 | 25,3 | 3 | 0,4 | 0,6 | 1,333 | 10,13 | 13,51 | | | | | |
| | Вентилятори | 8 | 10 - 30 | 213,3 | 3 | 0,7 | 0,8 | 0,75 | 149,33 | 112,00 | | | | | |
| | Всього | 49 | 2,0 - 44 | 1036,7 | 22 | 0,43 | 0,75 | 0,888 | 444,67 | 394,73 | 47 | 1,18 | 524,9 | 394,73 | 656,78 |

продовження таблиці 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|--|-----|------------|--------|-----|------|------|-------|--------|--------|----|------|--------|--------|---------|
| 6 | Термічно-волоочильний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | Волочильні машини | 4 | 33 - 33 | 176,0 | 1 | 0,7 | 0,70 | 1,02 | 123,20 | 125,69 | | | | | |
| | Волочильне обладнання для протягування молібденової проволочки | 8 | 10 - 36 | 245,3 | 1 | 0,71 | 0,75 | 0,882 | 174,92 | 154,27 | | | | | |
| | Конвеєри | 6 | 1,0 - 3 | 16,0 | 20 | 0,5 | 0,80 | 0,75 | 8,00 | 6,00 | | | | | |
| | Прецизійні станки | 4 | 7,0 - 11 | 48,0 | 1 | 0,20 | 0,5 | 1,732 | 9,60 | 16,63 | | | | | |
| | Безцентрово-шліфувальні | 4 | 11,0 - 21 | 85,3 | 3 | 0,30 | 0,7 | 1,02 | 25,60 | 26,12 | | | | | |
| | Термоцикловальні агрегати | 4 | 2,0 - 5 | 18,7 | 3 | 0,40 | 0,7 | 1,02 | 7,47 | 7,62 | | | | | |
| | Насоси змащення | 12 | 1,0 - 3 | 32,0 | 3 | 0,60 | 0,79 | 0,776 | 19,20 | 14,90 | | | | | |
| | Печі опору | 4 | 40,0 - 105 | 386,7 | 3 | 0,65 | 0,9 | 0,484 | 251,33 | 121,73 | | | | | |
| | Насоси | 3 | 7,0 - 14 | 58,0 | 3 | 0,60 | 0,65 | 1,169 | 34,80 | 40,69 | | | | | |
| | Компресори | 3 | 11,0 - 17 | 56,0 | 3 | 0,60 | 0,65 | 1,169 | 33,60 | 39,28 | | | | | |
| | Індукційні печі | 12 | 25,0 - 40 | 520,0 | 3 | 0,70 | 0,8 | 0,7 | 364,00 | 254,80 | | | | | |
| | Розливочні машини | 6 | 11,0 - 14 | 100,0 | 3 | 0,30 | 0,65 | 1,169 | 30,00 | 35,07 | | | | | |
| | Шліфорізи | 6 | 3,0 - 7 | 40,0 | 3 | 0,40 | 0,65 | 1,169 | 16,00 | 18,71 | | | | | |
| | Намотуючий апарат | 3 | 5 - 15 | 40,0 | 3 | 0,70 | 0,7 | 1,02 | 28,00 | 28,57 | | | | | |
| | Апарат вальцювання | 3 | 11 - 21 | 64,0 | 3 | 0,70 | 0,8 | 0,75 | 44,80 | 33,60 | | | | | |
| | Агрегати травлення | 4 | 3,0 - 4 | 18,7 | 3 | 0,30 | 0,65 | 1,169 | 5,60 | 6,55 | | | | | |
| | Дозагори автомагичні | 6 | 1,5 - 7 | 34,0 | 3 | 0,60 | 0,8 | 0,75 | 20,40 | 15,30 | | | | | |
| | Зварювальні апарати | 48 | 1,0 - 3 | 128,0 | 3 | 0,40 | 0,5 | 1,732 | 51,20 | 88,68 | | | | | |
| | Вентиліатори побутові | 2 | 15 - 15 | 40,0 | 3 | 0,60 | 0,79 | 0,776 | 24,00 | 18,63 | | | | | |
| | Кран-балки | 3 | 14 - 14 | 56,0 | 1 | 0,2 | 0,6 | 1,333 | 11,20 | 14,93 | | | | | |
| | Всього | 145 | 1,0 105 | 2162,7 | 105 | 0,59 | 0,77 | 0,832 | 1282,9 | 1067,8 | 41 | 1,13 | 1445,8 | 1067,8 | 1797,34 |
| 7 | Інструментальний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | Закалювальні печі | 4 | 12 - 45 | 152,0 | 3 | 0,3 | 0,7 | 1,02 | 45,60 | 46,52 | | | | | |

продовження таблиці 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|-----------------------------|----|-------------|--------|----|------|------|-------|--------|--------|----|------|-------|-------|--------|
| | Випрямлячі ДЕЗ | 11 | 0,6 - 30 | 224,4 | 50 | 0,2 | 0,7 | 1,02 | 44,88 | 45,79 | | | | | |
| | Таль електрична | 3 | 2 - 2 | 8,0 | 1 | 0,3 | 0,45 | 1,985 | 2,40 | 4,76 | | | | | |
| | Насоси змащення | 6 | 15 - 34 | 196,0 | 2 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 117,60 | 88,20 | | | | | |
| | Тиристорні перетворювачі | 2 | 56 - 56 | 112,0 | 1 | 0,15 | 0,35 | 2,676 | 16,80 | 44,96 | | | | | |
| | Металообробні станки | 22 | 7 - 21 | 410,7 | 3 | 0,15 | 0,35 | 2,676 | 61,60 | 164,87 | | | | | |
| | Насоси | 6 | 10 - 10 | 80,0 | 1 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 48,00 | 36,00 | | | | | |
| | Електричні нагрівачі | 3 | 4,5 - 4,5 | 18,0 | 1 | 0,4 | 0,9 | 0,484 | 7,20 | 3,49 | | | | | |
| | Всього | 57 | 0,6 - 56 | 1201,1 | 93 | 0,29 | 0,62 | 1,263 | 344,08 | 434,6 | 43 | 1,27 | 437,2 | 434,6 | 616,5 |
| 8 | КПЦ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Преси УС | 12 | 2 - 10 | 96,0 | 5 | 0,45 | 0,4 | 2,291 | 43,20 | 98,98 | | | | | |
| | Ротаційно-ковальські машини | 33 | 7 - 21 | 616,0 | 3 | 0,45 | 0,4 | 2,291 | 277,20 | 635,14 | | | | | |
| | Пресформатори касетні | 6 | 3 - 7 | 40,0 | 2 | 0,35 | 0,6 | 1,333 | 14,00 | 18,67 | | | | | |
| | Зварювальні апарати | 12 | 1,6 - 15 | 132,8 | 9 | 0,35 | 0,6 | 1,333 | 46,48 | 61,97 | | | | | |
| | Станки сіткові | 11 | 1,5 - 7 | 62,3 | 3 | 0,60 | 0,8 | 0,75 | 37,40 | 28,05 | | | | | |
| | Пресформатори голкові | 7 | 0,6 - 10,0 | 49,2 | 18 | 0,35 | 0,6 | 1,333 | 17,23 | 22,98 | | | | | |
| | Гільйотині ножиці | 6 | 3,0 - 10,0 | 52,0 | 3 | 0,3 | 0,4 | 2,291 | 15,60 | 35,74 | | | | | |
| | Вентильатори сантехнічні | 8 | 10 - 15,0 | 133,3 | 1 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 80,00 | 60,00 | | | | | |
| | Всього | 95 | 0,6 - 21 | 1181,7 | 38 | 0,45 | 0,48 | 1,81 | 531,1 | 961,54 | 95 | 1,12 | 592,7 | 961,5 | 1129,5 |
| | Всього КПЦ | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Котельня | | | | | | | | | | | | | | |
| | Димососи | 4 | 3,0 - 18,0 | 56,0 | 6 | 0,6 | 0,9 | 0,484 | 33,60 | 16,27 | | | | | |
| | Насоси технічні | 22 | 0,5 - 5,0 | 80,7 | 10 | 0,8 | 0,8 | 0,75 | 64,53 | 48,40 | | | | | |
| | Насоси сільової води | 4 | 10,0 - 15,0 | 66,7 | 1 | 0,8 | 0,9 | 0,484 | 53,33 | 25,83 | | | | | |
| | компресори | 4 | 1,6 - 1,6 | 8,5 | 1 | 0,7 | 0,8 | 0,75 | 5,97 | 4,48 | | | | | |

продовження таблиці 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----|-----------------------------|------|-------------|--------|----|------|------|-------|--------|--------|----|------|-------|--------|--------|
| | Вентилятори | 9 | 2,2 - 11,0 | 79,2 | 5 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 47,52 | 35,64 | | | | | |
| | Парогенератор (електродний) | 2 | 15,0 - 30,0 | 60,0 | 2 | 0,7 | 0,9 | 0,484 | 42,00 | 20,34 | | | | | |
| | Всього | 45 | 0,5 - 30 | 351,07 | 60 | 0,7 | 0,85 | 0,611 | 246,96 | 150,97 | 23 | 1,12 | 276,0 | 150,97 | 314,60 |
| 10 | Ремонтно-механічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | Металообробні станки | 34 | 3,0 - 34,0 | 838,7 | 11 | 0,12 | 0,7 | 1,02 | 100,64 | 102,67 | | | | | |
| | Зварювальні трансформатори | 6 | 2,0 - 25,0 | 108,0 | 12 | 0,3 | 0,5 | 1,732 | 32,40 | 56,12 | | | | | |
| | Нагрівачі водяні | 4 | 4,0 - 4,5 | 22,7 | 1 | 0,7 | 0,9 | 0,484 | 15,87 | 7,68 | | | | | |
| | Насоси | 11 | 3,0 - 10,0 | 95,3 | 3 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 57,20 | 42,90 | | | | | |
| | Кран балки | 2 | 2,0 - 11,0 | 17,3 | 5 | 0,2 | 0,6 | 1,333 | 3,47 | 4,62 | | | | | |
| | Вентилятори | 4 | 3,0 - 15,0 | 48,0 | 5 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 28,80 | 21,60 | | | | | |
| | Всього по цеху | 61,0 | 2,0 - 34 | 1130,0 | 17 | 0,21 | 0,71 | 0,988 | 238,4 | 235,6 | 61 | 1,28 | 304,3 | 235,60 | 384,88 |
| 11 | Електричний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | Випробувальні установки | 6 | 75,0 - 160 | 940,0 | 2 | 0,5 | 0,6 | 1,333 | 470,00 | 626,67 | | | | | |
| | Насоси | 2 | 3,0 - 5,0 | 10,7 | 1 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 6,40 | 4,80 | | | | | |
| | Сушильні шафи | 3 | 3,0 - 7,0 | 20,0 | 2 | 0,4 | 0,8 | 0,75 | 8,00 | 6,00 | | | | | |
| | Преси | 4 | 2,0 - 7,0 | 24,0 | 3 | 0,3 | 0,6 | 1,333 | 7,20 | 9,60 | | | | | |
| | Муфельні печі | 2 | 2,0 - 5,0 | 9,3 | 2 | 0,3 | 0,6 | 1,333 | 2,80 | 3,73 | | | | | |
| | Вентилятори | 4 | 3,0 - 5,5 | 22,7 | 1 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 13,60 | 10,20 | | | | | |
| | Всього по цеху | 21 | 2,0 - 160 | 1026,7 | 80 | 0,49 | 0,61 | 1,301 | 508,0 | 661,0 | 13 | 1,32 | 671,3 | 661,00 | 942,10 |
| 12 | Компресорна | | | | | | | | | | | | | | |
| | Компресори | 12 | 3 - 10 | 104,0 | 3 | 0,6 | 0,75 | 0,882 | 62,40 | 55,03 | | | | | |
| | Електрофільтри | 4 | 0,1 - 1,0 | 2,9 | 10 | 0,3 | 0,5 | 1,732 | 0,88 | 1,52 | | | | | |
| | Насоси | 12 | 1,1 - 15,0 | 128,8 | 13 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 77,28 | 57,96 | | | | | |

продовження таблиці 2.1

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------|-----|-------------|-------|------|------|------|-------|--------|--------|----|------|--------|--------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | Вентилятори | 4 | 3,0 - 7,5 | 28,0 | 2 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 16,80 | 12,60 | | | | | |
| | Всього по компресорній | 32 | 0,1 - 15 | 264 | 150 | 0,6 | 0,78 | 0,808 | 157,36 | 127,12 | 32 | 1,14 | 180,1 | 127,12 | 220,45 |
| 13 | Склад | | | | | | | | | | | | | | |
| | Кран мостовий | 2 | 21,0 - 21,0 | 56,0 | 1 | 0,2 | 0,6 | 1,333 | 11,20 | 14,93 | | | | | |
| | Електрокари | 6 | 5,0 - 11,0 | 64,0 | 2 | 0,6 | 0,89 | 0,512 | 38,40 | 19,67 | | | | | |
| | Тельфери | 4 | 5,0 - 5,0 | 26,7 | 1 | 0,16 | 0,5 | 1,732 | 4,27 | 7,39 | | | | | |
| | Всього по складу | 12 | 5,0 - 21 | 146,7 | 4 | 0,37 | 0,79 | 0,78 | 53,9 | 42,0 | 12 | 1,46 | 78,7 | 42,00 | 89,18 |
| 14 | Насосна станція | | | | | | | | | | | | | | |
| | Насоси | 22 | 5,0 - 15,0 | 293,3 | 3 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 176,00 | 132,00 | | | | | |
| | Вентилятори | 12 | 3,0 - 11,0 | 112,0 | 3 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 67,20 | 50,40 | | | | | |
| | Всього по насосній станції | 34 | 3,0 - 15 | 405,3 | 5 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 243,2 | 182,4 | 34 | 1,14 | 276,8 | 182,40 | 331,52 |
| 15 | Станція нейтралізації | | | | | | | | | | | | | | |
| | Насоси | 11 | 15,0 - 30,0 | 330,0 | 2 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 198,00 | 148,50 | | | | | |
| | Вентилятори | 3 | 5,0 - 15,0 | 40,0 | 3 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 24,00 | 18,00 | | | | | |
| | Випрямляючі агрегати | 4 | 4,0 - 12,0 | 42,7 | 3 | 0,8 | 0,8 | 0,75 | 34,13 | 25,60 | | | | | |
| | Кран-балки | 1 | 7,5 - 7,5 | 7,5 | 1 | 0,2 | 0,6 | 1,333 | 1,50 | 2,00 | | | | | |
| | Всього по станції нейтралізації | 19 | 4,0 - 30 | 420 | 7 | 0,61 | 0,8 | 0,753 | 258 | 194 | 19 | 1,19 | 305,4 | 194,10 | 361,83 |
| | Всього на стороні 0,4 кВ | 853 | 0,3 - 600 | 15558 | 2000 | 0,45 | 0,72 | 0,969 | 7041 | 6821,6 | 52 | 1,16 | 8174,5 | 6821,6 | 10647,0 |

2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі виробничого приміщення.

Усталена потужність освітлювальних ЕП для термічного цеху, кВт:

$$P_v = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 7275 \cdot 10^{-3} = 72,75 \text{ кВт}$$

де p_0 – питома потужність освітлювального навантаження, кВт; F – площа виробничого приміщення, м²;

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів, кВт:

$$P_{повс} = K_1 \cdot K_C \cdot P_v = 1,12 \cdot 0,9 \cdot 72,75 = 61,8 \text{ кВт}$$

де K_C – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження. K_I – коефіцієнт, що враховує використання ПРА.

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 61,8 \cdot 0,48 = 29,9 \text{ кВар}$$

Повне навантаження освітлювальних електроприймачів, кВА:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{61,8^2 + 29,9^2} = 68,71 \text{ кВА}$$

Розрахунок освітлювальних навантажень виконуємо у вигляді таблиці 2.2.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 19 |

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень в мережі до 1000 В

| № | Найменування | F, м ² | P _о , Вт/м ² | P _в , кВт | K _с | K ₁ | cosφ | tgφ | P _р ,кВт | Q _р ,квар | S _р ,кВА |
|----|---------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|------|------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 1 | Термічний цех | 7275 | 10 | 72,75 | 0,85 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 61,8 | 29,9 | 68,71 |
| 2 | Підготовчий цех | 7552 | 10 | 75,52 | 0,9 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 68,0 | 32,9 | 75,52 |
| 3 | Заводоуправління | 1170 | 18 | 21,06 | 0,9 | 1,2 | 0,5 | 1,73 | 19,0 | 32,8 | 37,91 |
| 4 | Хімічний цех | 3744 | 12 | 44,93 | 0,9 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 40,4 | 19,6 | 44,93 |
| 5 | Транспортний цех | 975 | 12 | 11,70 | 0,9 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 10,5 | 5,1 | 11,70 |
| 6 | Термічно-волокнильний цех | 7040 | 14 | 98,56 | 0,9 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 88,7 | 43,0 | 98,56 |
| 7 | Інструментальний цех | 1232 | 14 | 17,25 | 0,9 | 1,2 | 0,5 | 1,73 | 15,5 | 26,9 | 31,05 |
| 8 | КПЦ | 2880 | 12 | 34,56 | 0,95 | 1,2 | 0,5 | 1,73 | 32,8 | 56,9 | 65,66 |
| 9 | Котельня | 954 | 8 | 7,63 | 0,85 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 6,5 | 3,1 | 7,21 |
| 10 | Ремонтно-механічний цех | 325 | 12 | 3,9 | 0,85 | 1,2 | 0,5 | 1,73 | 3,3 | 5,7 | 6,6 |
| 11 | Електричний цех | 600 | 16 | 9,60 | 0,85 | 1,2 | 0,5 | 1,73 | 8,2 | 14,1 | 16,32 |
| 12 | Компресорна | 323 | 8 | 2,58 | 0,9 | 1 | 1 | 0 | 2,3 | 0,0 | 2,33 |
| 13 | Склад | 540 | 6 | 3,24 | 0,8 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 2,6 | 1,3 | 2,88 |
| 14 | Насосна станція | 105 | 8 | 0,84 | 0,8 | 1 | 1 | 0 | 0,7 | 0,0 | 0,67 |
| 15 | Станція нейтралізації | 196 | 8 | 1,57 | 0,8 | 1,2 | 0,5 | 1,73 | 1,3 | 2,2 | 2,51 |
| 16 | Територія заводу | 93085 | 0,2 | 18,62 | 0,9 | 1,12 | 0,9 | 0,48 | 16,8 | 8,1 | 18,62 |
| | Всього | | | | | | | | 357,1 | 298,20 | 465,2 |

2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Під час визначення навантаження в електричних мережах напругою понад 1000 В розрахунковими вузлами навантаження приймаються шини трансформаторних підстанцій (ТП) напругою 10 кВ. У зв'язку з цим перед початком електротехнічного розрахунку необхідно встановити кількість трансформаторних підстанцій, номінальну потужність трансформаторів, а також їх просторове розміщення на території підприємства.

Для обґрунтованого визначення кількості ТП, кількості і типу трансформаторів, а також оптимального їх розташування застосовується картограма навантажень. На основі такої картограми виконується попередній розподіл електроспоживачів і формується структура системи живлення, зокрема визначаються цехи, де влаштування окремих трансформаторних підстанцій є технічно або економічно недоцільним. У таких випадках живлення цих об'єктів здійснюється від трансформаторних підстанцій сусідніх цехів низьковольтною напругою 0,4 кВ, за умови дотримання допустимих меж відхилень напруги на ватискачах електроприймачів згідно з вимогами стандарту **ГОСТ 13109–97**.

Для прикладу наведено розрахунок втрат в трансформаторах ТП № 1:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,94^2) = 15,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1,31}{100} \cdot 630 + \frac{5,5}{100} \cdot 630 \cdot 0,94^2 \right) = 89,5 \text{ кВар}$$

Аналогічно розраховуються втрати в трансформаторах у інших ТП.

Результати розрахунку силових навантажень в мережі вище 1000 В приведені в таблиці 2.3.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 21 |

Таблиця 2.3. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ

| № | Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів | Кількість | Встановлена потужність, кВт | | m | Кв | cos | tg | Середнє навантаження за зміну | | пс | Км | Розрахункова поужність | | |
|---|--|-----------|-----------------------------|---------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|--------|------|-----|------------------------|--------|--------|
| | | | Одного | Сумарна | | | | | Рср | Qср | | | Рр | Qр | Sp |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | ТП№1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Термічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова освітлювальна | 23,0 | 1,5 - 600,0 | 1560,2 | 400 | 0,4 | 0,8 | 0,7 | 643,3 | 471,1 | 5,0 | 1,7 | 1106,5 | 518,3 | 1221,9 |
| | Всього по ТП№1 | | | | | | | | | | | | 61,8 | 29,9 | |
| | силова освітлювальна | 23,0 | 1,5 - 600 | 1560,2 | 400 | 0,4 | 0,8 | 0,7 | 643,3 | 471,1 | 5,0 | 1,7 | 1106,5 | 471,1 | 1202,6 |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 61,8 | 29,9 | |
| | БСК | | | | | | | | | | | | 1168,3 | 501,1 | 1271,3 |
| | 3 урахованням БСК | | | | | | | | | | | | 1168,3 | 501,1 | |
| | Втрати в трансформаторі S _{т.тр} = 630 | 2,0 | | | | | | | | | | | 15,7 | 89,5 | |
| | Всього на шинах 10 кВ | 0,94 | | | | | | | | | | | 1184,0 | 590,5 | 1323,1 |
| | ТП№ 2-4 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Підготовчий цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова освітлювальна | 127,0 | 2,5 - 160,0 | 3096,0 | 64,0 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1348,5 | 1111,3 | 39,0 | 1,2 | 1614,6 | 1111,3 | 1960,0 |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 68,0 | 32,9 | |
| | Транспортний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова освітлювальна | 49,0 | 2,0 - 44,0 | 1036,7 | 22,0 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | 444,7 | 394,7 | 47,0 | 1,2 | 524,9 | 394,7 | 656,8 |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 10,5 | 5,1 | |
| | Склад | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова освітлювальна | 12,0 | 5,0 - 21,0 | 146,7 | 4,0 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 53,9 | 42,0 | 12,0 | 1,5 | 78,7 | 42,0 | 89,2 |
| | Всього по ТП№2-4 | | | | | | | | | | | | 2,6 | 1,3 | |
| | силова освітлювальна | 188,0 | 2,0 - 160 | 4279,3 | 80 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1847,0 | 1548,0 | 53,0 | 1,2 | 2156,7 | 1548,0 | 2654,7 |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 92,4 | 44,7 | |
| | БСК | | | | | | | | | | | | 2249,1 | 1592,8 | 2755,9 |
| | 3 урахованням БСК | | | | | | | | | | | | 2249,1 | 1592,8 | |

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис.

Дата

Арк.

22

продовження таблиці 2.3.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|-------|-------------|--------|-------|-----|-----|-----|--------|--------|------|-----|--------|--------|--------|
| | Втрати в трансформаторі S _{н.тр} = 630 | 5,0 | | | | | | | | | | | 25,9 | 186,7 | |
| | Всього на шинах 10 кВ | 0,72 | | | | | | | | | | | 2275,0 | 1779,4 | 2888,3 |
| | ТП№5,6 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Термічно-воочільний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 145,0 | 1,0 | 2162,7 | 105,0 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 1282,9 | 1067,7 | 41,0 | 1,1 | 1445,8 | 1067,7 | 1797,3 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 88,7 | 43,0 | |
| | Насосна станція | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 34,0 | 3,0 - 15,0 | 405,3 | 5,0 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 243,2 | 182,4 | 34,0 | 1,1 | 276,8 | 182,4 | 331,5 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 0,7 | 0,0 | |
| | Котельня | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 45,0 | 0,5 - 30,0 | 351,1 | 60,0 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 247,0 | 151,0 | 23,0 | 1,1 | 276,0 | 151,0 | 314,6 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 6,5 | 3,1 | |
| | Всього по ТП№5,6 | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 224,0 | 0,5 - 105 | 2919,1 | 210 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 1773,1 | 1401,1 | 56,0 | 1,1 | 1954,0 | 1401,1 | 2404,4 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 95,9 | 46,1 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 2049,9 | 1447,2 | 2509,3 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | | |
| | З урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 2049,9 | 1447,2 | |
| | Втрати в трансформаторі S _{н.тр} = 630 | 4,0 | | | | | | | | | | | 25,4 | 163,1 | |
| | Всього на шинах 10 кВ | 0,82 | | | | | | | | | | | 2075,3 | 1610,4 | 2626,8 |
| | ТП№ 7,8 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Хімічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 40,0 | 1,0 - 100,0 | 1382,7 | 100,0 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 615,2 | 692,7 | 28,0 | 1,2 | 758,4 | 692,7 | 1027,1 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 40,4 | 19,6 | |
| | Станція нейтралізації | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 19,0 | 4,0 - 30,0 | 420,2 | 7,0 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 257,6 | 194,1 | 19,0 | 1,2 | 305,4 | 194,1 | 361,8 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 1,3 | 2,2 | |
| | Ремонтно-механічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 61,0 | 2,0 - 34,0 | 1130,0 | 17,0 | 0,2 | 0,7 | 1,0 | 238,4 | 235,6 | 61,0 | 1,3 | 304,3 | 235,6 | 384,9 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 3,3 | 5,7 | |

продовження таблиці 2.3.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|-------|-------------|--------|-------|-----|-----|-----|--------|--------|------|-----|--------|--------|--------|
| | Всього по ТП№ 7,8 | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 120,0 | 1,0 - 100 | 2932,8 | 100 | 0,4 | 0,7 | 1,0 | 1111,2 | 1122,4 | 59,0 | 1,2 | 1310,6 | 1122,4 | 1725,5 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 41,7 | 21,8 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 1352,2 | 1144,1 | 1771,3 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | 1352,2 | 1144,1 | |
| | 3 урахованням БСК | | | | | | | | | | | | 15,6 | 112,2 | |
| | Втрати в трансформаторі S _{н.тр} = 630 | 3,0 | | | | | | | | | | | 1367,8 | 1256,3 | 1857,2 |
| | Всього на шинах 10 кВ | 0,72 | | | | | | | | | | | | | |
| | ТП№9,10 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Інструментальний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 57,0 | 0,6 - 56,0 | 1201,1 | 93,0 | 0,3 | 0,6 | 1,3 | 344,1 | 434,6 | 43,0 | 1,3 | 437,2 | 434,6 | 616,4 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 15,5 | 26,9 | |
| | Компресорна | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 32,0 | 0,1 - 15,0 | 263,7 | 150,0 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 157,4 | 127,1 | 32,0 | 1,1 | 180,1 | 127,1 | 220,4 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 2,3 | 0,0 | |
| | КНЦ | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 95,0 | 0,6 - 21,0 | 1181,7 | 38,0 | 0,4 | 0,5 | 1,8 | 531,1 | 961,5 | 95,0 | 1,1 | 592,7 | 961,5 | 1129,5 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 32,8 | 56,9 | |
| | Всього по ТП№9,10 | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 184,0 | 1,1 - 56 | 2646,5 | 51 | 0,4 | 0,6 | 1,5 | 1032,6 | 1523,2 | 95,0 | 1,1 | 1170,7 | 1523,2 | 1921,2 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 50,7 | 83,8 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 1221,4 | 1607,0 | 2018,5 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 урахованням БСК | | | | | | | | | | | | 1221,4 | 1607,0 | |
| | Втрати в трансформаторі S _{н.тр} = 630 | 3,0 | | | | | | | | | | | 13,5 | 105,0 | |
| | Всього на шинах 10 кВ | 0,65 | | | | | | | | | | | 1234,9 | 1712,0 | 2110,9 |
| | ТП№ 11,12 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Електричний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 21,0 | 2,0 - 160,0 | 1026,7 | 80,0 | 0,5 | 0,6 | 1,3 | 508,0 | 661,0 | 13,0 | 1,3 | 671,3 | 661,0 | 942,1 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 8,2 | 14,1 | |

продовження таблиці 2.3.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------|-------------|---------|------|------|------|-----|---------|---------|------|-----|-----------------------|---------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | Заводоуправління | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 93,0 | 0,3 - 11,0 | 193,1 | 36,0 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 125,6 | 94,7 | 35,0 | 1,1 | 140,1 | 94,7 | 169,1 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 19,0 | 32,8 | |
| | ТПП№ Всього по 11,12 | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 114,0 | 0,3 - 160 | 1219,8 | 533 | 0,5 | 0,6 | 1,2 | 633,6 | 755,7 | 15,0 | 1,3 | 809,3 | 755,7 | 1107,3 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 48,6 | 84,2 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 857,9 | 840,0 | |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 857,9 | 840,0 | |
| | Втрати в трансформаторі S _{н.тр} =630 | 3,0 | | | | | | | | | | | 8,6 | 85,0 | |
| | ТПП№ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Всього на шинах 10 кВ | 0,46 | | | | | | | | | | | 866,6 | 925,0 | 1267,5 |
| | Всього по заводу | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 853,0 | 0,3 - 600,0 | 15557,7 | 2000 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 7040,8 | 6821,6 | 52,0 | 1,2 | 8174,5 | 6821,6 | 10647,0 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 357,1 | 298,2 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 8531,6 | 7119,8 | 11112,2 |
| | Компенсуючі пристрої | | | | | | | | | | | | | | |
| | Всього з врахуванням КП-0,4 | | | | | | | | | | | | 8531,6 | 7119,8 | 11112,2 |
| | Втрати в трансформаторах | 20,0 | | | | | | | | | | | 104,6 | 741,4 | |
| | Всього по заводу | | | | | | | | | | | | 8636 | 7861 | 11678,4 |
| | Компенсуючі пристрої 10 кВ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Високовольтне навантаження | | | | | | | | | | | | | | |
| | Дугові печі постійного струму ДП-3 | 2 | 5000 - 5000 | 10000 | 1 | 0,65 | 0,75 | 0,9 | 6500,00 | 5732,46 | | | 6500,0 | 5732,46 | 8667 |
| | Всього по високовольтному навантаженню | | | | | | | | | | | | 6500,0 | 5732,5 | 8667 |
| | Всього на шинах 10 кВ | | | | | | | | | | | | 15136 | 13594 | 20357 |
| | | | | | | | | | | | | | tgφ _{сис} = | 0,15 | |
| | | | | | | | | | | | | | tgφ _{расч} = | 0,90 | |

3. Побудова графіків електричних навантажень

Для виконання низки розрахунків, передбачених у проєкті системи електропостачання, необхідно мати вихідні дані, що визначаються на основі аналізу графіків електричних навантажень. З цією метою в рамках проєктної документації слід побудувати добовий графік навантаження за активною потужністю, а також річний графік активної потужності у вигляді кривої тривалості навантаження.

Побудова зазначених графіків виконується з використанням типової структури електроспоживання, характерної для відповідної галузі промисловості. Такі графіки відображають особливості режимів роботи підприємства впродовж доби та року і є основою для подальших техніко-економічних і електротехнічних розрахунків, зокрема визначення середніх, максимальних і мінімальних навантажень, вибору обладнання та оцінки режимів його роботи.

Річні витрати активної та реактивної енергії енергії:

$$W_p = P_{зр\Sigma} \cdot 143 + P_{зв\Sigma} \cdot 65 + P_{лр\Sigma} \cdot 105 + P_{лв\Sigma} \cdot 48 = \\ = 274325 \cdot 147 + 85386 \cdot 65 + 233176 \cdot 105 + 72578 \cdot 48 = 73843073 \text{ кВт*год}$$

$$V_p = Q_{зр\Sigma} \cdot 143 + Q_{зв\Sigma} \cdot 65 + Q_{лр\Sigma} \cdot 105 + Q_{лв\Sigma} \cdot 48 = \\ = 274907 \cdot 147 + 88460 \cdot 65 + 233671 \cdot 105 + 75191,2 \cdot 48 = 74305947$$

квар*год.

Час використання максимуму навантаження:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{73843073^2 + 74305947^2}}{20357} = 5143 \text{ год.}$$

Час максимальних втрат:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_m}{10^4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 0,5142,59)^2 = 3572 \text{ год.}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 26 |

Розрахунок графіків електричних навантажень приведений в таблицях 3.1, 3.2, а графіки на рисунках 3.1- 3.5.

Таблиця 3.1. Активне навантаження по сезонам року

| Години | Навантаження робочої доби | | | | Навантаження вихідної доби | | | |
|---------------------|---------------------------|------------------------------|-----|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----|------------------------------|
| | % | Зима (P _{зр}), кВт | % | Літо (P _{лр}), кВт | % | Зима (P _{зв}), кВт | % | Літо (P _{лв}), кВт |
| 1 | 80 | 12111,5 | 80 | 10294,8 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 2 | 85 | 12868,4 | 85 | 10938,2 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 3 | 90 | 13625,4 | 90 | 11581,6 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 4 | 88 | 13322,6 | 88 | 11324,2 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 5 | 88 | 13322,6 | 88 | 11324,2 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 6 | 87 | 13171,2 | 87 | 11195,5 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 7 | 84 | 12717,0 | 84 | 10809,5 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,794 |
| 8 | 72 | 10900,3 | 72 | 9265,3 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,69 |
| 9 | 71 | 10748,9 | 71 | 9136,6 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 10 | 94 | 14231,0 | 94 | 12096,3 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 11 | 96 | 14533,8 | 96 | 12353,7 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 12 | 98 | 14836,6 | 98 | 12611,1 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 13 | 87 | 13171,2 | 87 | 11195,5 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 14 | 98 | 14836,6 | 98 | 12611,1 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 15 | 97 | 14685,2 | 97 | 12482,4 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 16 | 100 | 15139,3 | 100 | 12868,4 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 17 | 67 | 10143,4 | 67 | 8621,9 | 20 | 3027,9 | 17 | 2573,7 |
| 18 | 37 | 5601,6 | 37 | 4761,3 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| 19 | 34 | 5147,4 | 34 | 4375,3 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| 20 | 33 | 4996,0 | 33 | 4246,6 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| 21 | 39 | 5904,3 | 39 | 5018,7 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| 22 | 52 | 7872,5 | 52 | 6691,6 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| 23 | 69 | 10446,1 | 69 | 8879,2 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| 24 | 66 | 9992,0 | 66 | 8493,2 | 26 | 3936,2 | 22 | 3345,8 |
| Σ _{добове} | | 274324,9 | | 233176,1 | | 85385,88 | | 72578 |

Таблиця 3.2. Реактивне навантаження по сезонам року

| Години | Навантаження робочої доби | | | | Навантаження вихідної доби | | | |
|---------|---------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----|----------------------------------|
| | % | Зима (Q _{зр}), кВар | % | Літо (Q _{лр}), кВар | % | Зима (Q _{зв}), кВар | % | Літо (Q _{лв}), кВар |
| 1 | 93 | 12656,6 | 93 | 10758,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 2 | 93 | 12656,6 | 93 | 10758,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 3 | 94 | 12792,7 | 94 | 10873,8 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 4 | 91 | 12384,4 | 91 | 10526,8 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 5 | 93 | 12656,6 | 93 | 10758,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 6 | 93 | 12656,6 | 93 | 10758,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 7 | 93 | 12656,6 | 93 | 10758,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 8 | 95 | 12928,8 | 95 | 10989,5 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 9 | 95 | 12928,8 | 95 | 10989,5 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 10 | 95 | 12928,8 | 95 | 10989,5 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 11 | 95 | 12928,8 | 95 | 10989,5 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 12 | 89 | 12112,3 | 89 | 10295,4 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 13 | 88 | 11976,2 | 88 | 10179,7 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 14 | 92 | 12520,5 | 92 | 10642,5 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 15 | 99 | 13473,2 | 99 | 11452,2 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 16 | 100 | 13609,3 | 100 | 11567,9 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 17 | 99 | 13473,2 | 99 | 11452,2 | 23 | 3130,1 | 19 | 2660,6 |
| 18 | 65 | 8846,0 | 65 | 7519,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 19 | 65 | 8846,0 | 65 | 7519,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 20 | 65 | 8846,0 | 65 | 7519,1 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 21 | 57 | 7757,3 | 57 | 6593,7 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 22 | 57 | 7757,3 | 57 | 6593,7 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 23 | 57 | 7757,3 | 57 | 6593,7 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| 24 | 57 | 7757,3 | 57 | 6593,7 | 30 | 4082,8 | 25 | 3470,4 |
| Σдобове | | 274907,3 | | 233671,2 | | 88460,27 | | 75191,2 |

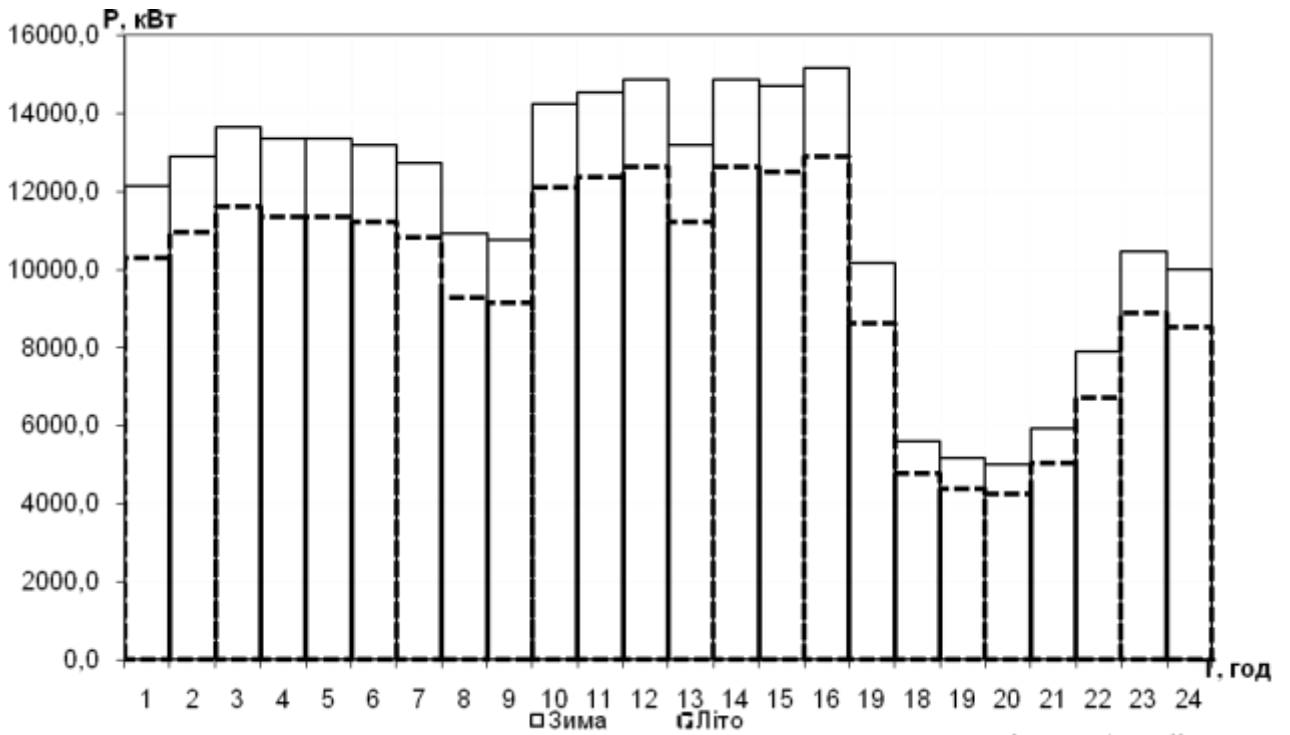


Рис. 3.1 Споживання активної потужності в робочий день

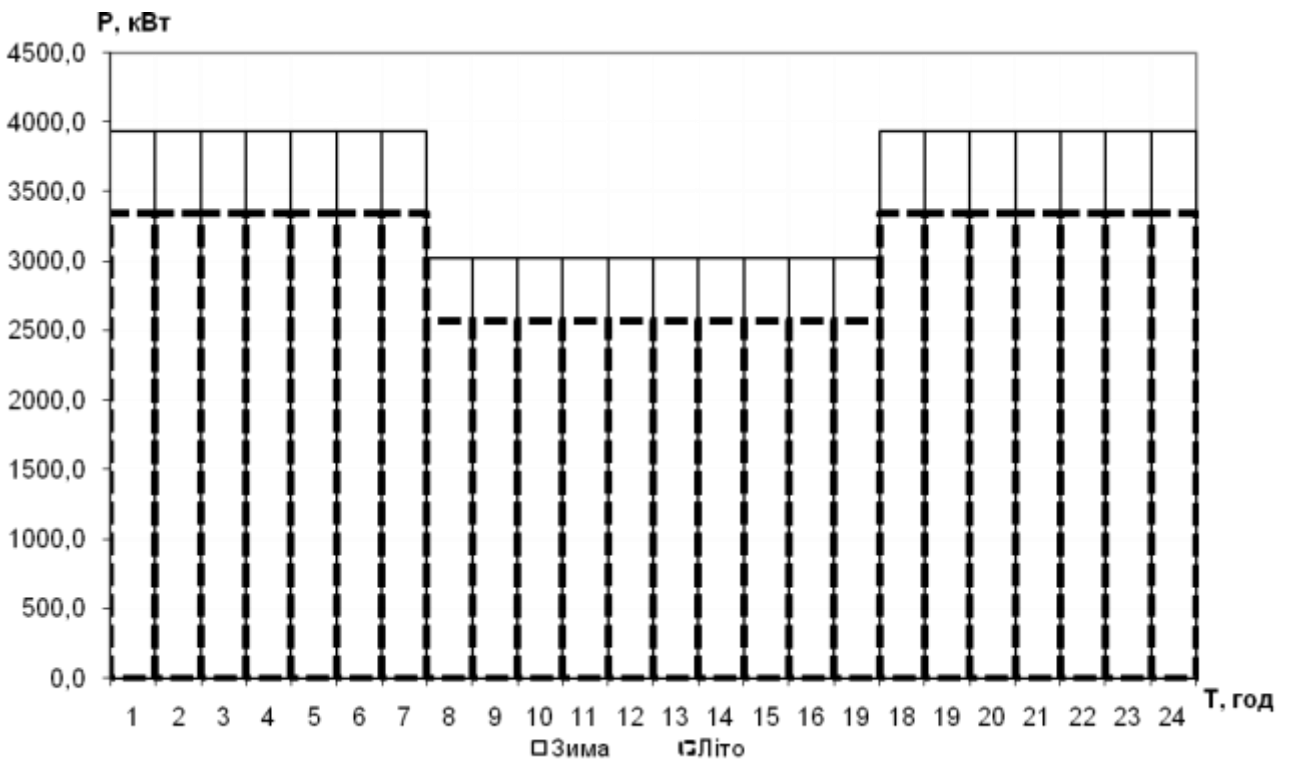


Рис. 3.2 Споживання активної потужності у вихідний день

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

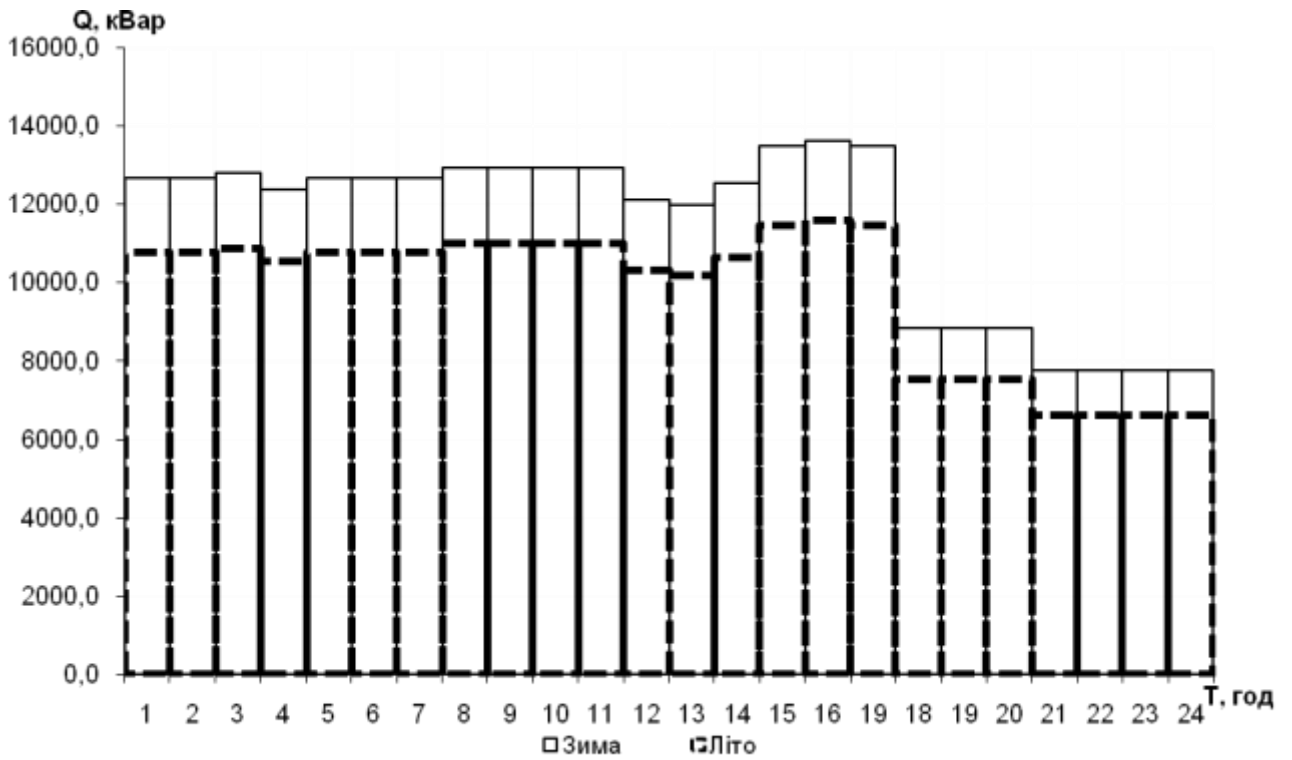


Рис. 3.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

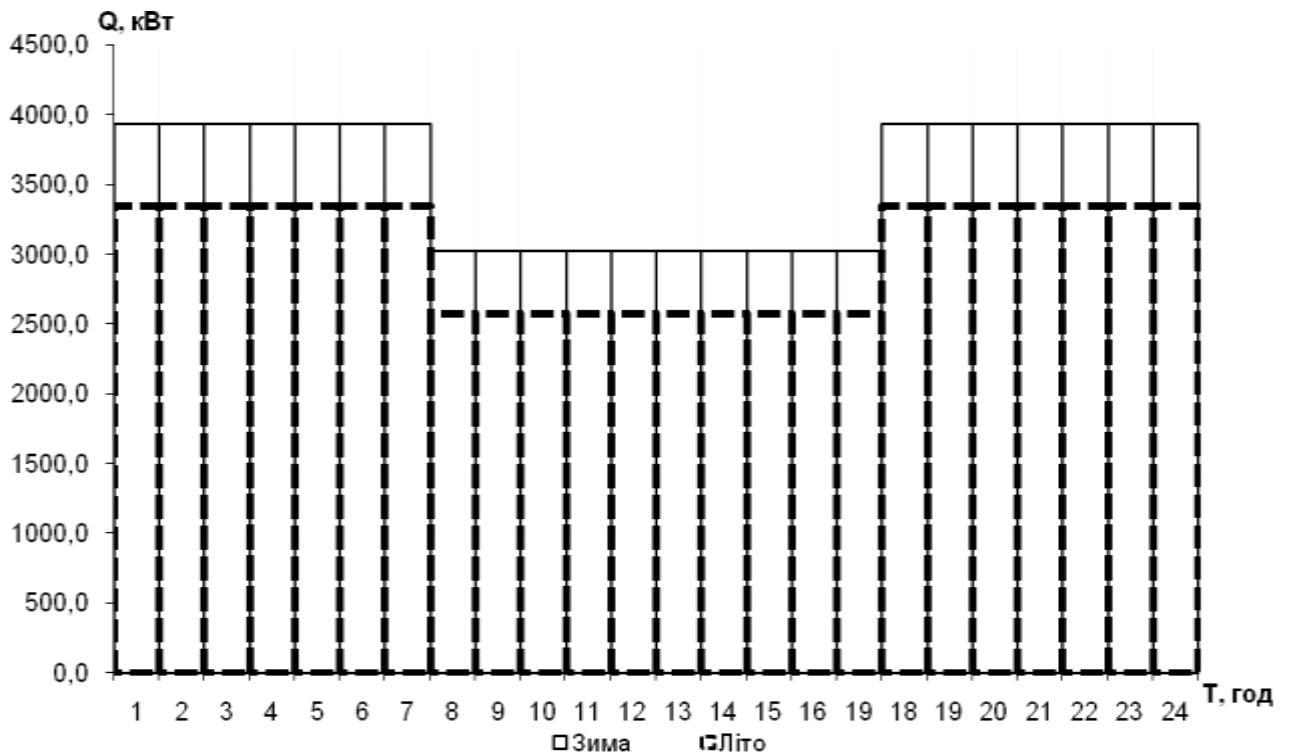


Рис. 3.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

4. Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування центру електричних навантажень

Для визначення раціонального розміщення центру електричних навантажень на генеральний план промислового підприємства наносяться картограми електричних навантажень. Картограма навантажень є графічним способом відображення розподілу електроспоживання на території підприємства, що виконується у вигляді кіл, площі яких, відповідно до обраного масштабу, пропорційні розрахунковим активним навантаженням окремих цехів або виробничих ділянок.

Такий підхід дозволяє візуалізувати просторову структуру енергоспоживання, що, у свою чергу, дає змогу обґрунтовано вибирати оптимальні місця розміщення елементів системи електропостачання з урахуванням мінімізації довжин ліній електропередачі, зниження втрат електроенергії та забезпечення надійності живлення.

Радіус характеризуючий навантаження цеху, та кут – частка освітлювального навантаження в навантаженні термічного цеху:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{873}{3,14 \cdot 0,3}} = 33 \text{ см}$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360^0}{\pi \cdot R_1^2 \cdot m} = \frac{62 \cdot 360}{3,14 \cdot 33^2 \cdot 0,3} = 26^0$$

З генплану визначається (умовно) положення центру об'єкту на координатній площині

$$X_1 = 800 \text{ м} \quad Y_1 = 280 \text{ см}$$

$$P_1 \cdot X_1 = 873 \cdot 800 = 698469 \text{ кВт м}$$

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 32 |

$$P_1 \cdot Y_1 = 873 \cdot 280 = 244464 \text{ кВт м}$$

Визначення координат центру розміщення ЦЕН:

$$X_0 = \frac{4482638,6}{8795,85} = 447 \text{ м}$$

$$Y_0 = \frac{1558248,8}{8795,85} = 166 \text{ м}$$

Розрахункові координати ЦЕН припадають на забудовану територію, тому зміщуємо координати ЦЕН в напрямку джерела живлення.

Результати розрахунків зведено в табл. 4.1.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 33 |

Таблиця . 4.1. Дані для побудови картограми електричних навантажень та розрахунку умовного центру електричних навантажень.

| № п/п | Найменування | Ррсил, кВт | Ррось, кВт | Рр, кВт | m | R, мм | α | x, м | y, м | Р*х, кВт м | Р*у, кВт м |
|-------|--------------------------|------------|------------|---------|-----|-------|----|------|------|------------|------------|
| 1 | Термічний цех | 811,2 | 61,8 | 873,0 | 0,3 | 33 | 26 | 800 | 280 | 698432 | 244451 |
| 2 | Підготовчий цех | 1245,3 | 88,7 | 1334,0 | 0,3 | 48 | 14 | 800 | 120 | 800400 | 213440 |
| 3 | Заводоуправління | 551,6 | 15,5 | 567,1 | 0,3 | 27 | 10 | 120 | 240 | 226848 | 113424 |
| 4 | Хімічний цех | 592,7 | 32,8 | 625,5 | 0,3 | 28 | 19 | 200 | 200 | 125106 | 275233 |
| 5 | Транспортний цех | 276,0 | 6,5 | 282,5 | 0,3 | 19 | 8 | 720 | 240 | 169494 | 56498 |
| 6 | Термічно-волочильний цех | 272,1 | 3,3 | 275,4 | 0,3 | 19 | 4 | 600 | 160 | 77118 | 16525 |
| 7 | Інструментальний цех | 671,3 | 8,2 | 679,5 | 0,3 | 29 | 4 | 400 | 200 | 35332 | 81535 |
| 8 | КПЦ | 180,1 | 2,3 | 182,4 | 0,3 | 15 | 5 | 200 | 440 | 36486 | 14594 |
| 9 | Котельня | 78,7 | 2,6 | 81,3 | 0,3 | 10 | 11 | 600 | 200 | 61780 | 22761 |
| 10 | Ремонтно-механічний цех | 276,8 | 0,7 | 277,5 | 0,3 | 19 | 1 | 280 | 60 | 110988 | 66593 |
| 11 | Електричний цех | 305,4 | 1,3 | 306,7 | 0,3 | 20 | 1 | 52 | 120 | 122660 | 24532 |
| 12 | Компресорна | 811,2 | 61,8 | 873,0 | 0,3 | 48 | 14 | 200 | 80 | 698432 | 244451 |
| 13 | Склад | 1245,3 | 88,7 | 1334,0 | 0,3 | 27 | 10 | 760 | 280 | 800400 | 213440 |
| 14 | Насосна станція | 551,6 | 15,5 | 567,1 | 0,3 | 28 | 19 | 400 | 240 | 226848 | 113424 |
| 15 | Станція нейтралізації | 592,7 | 32,8 | 625,5 | 0,3 | 19 | 8 | 400 | 80 | 125106 | 275233 |
| | Всього по заводу | | | 8795,85 | | | | | | 4482638,6 | 1558248,8 |

5. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання

Раціональна побудова системи зовнішнього електропостачання промислового підприємства значною мірою залежить від правильного вибору рівня напруги та принципової схеми живлення. Ці параметри визначають не лише технічну доцільність, а й економічну ефективність роботи енергосистеми підприємства.

Вибір напруги та конфігурації системи зовнішнього електропостачання обумовлюється комплексом взаємопов'язаних факторів. Серед ключових слід виділити: величину розрахункового навантаження підприємства, рівні напруги наявних або потенційних джерел живлення, відстань між джерелами живлення та точками підключення споживачів, а також вимоги до надійності електропостачання відповідно до категорії електроприймачів.

Процес вибору номінальної напруги системи зводиться до визначення такого її стандартного значення, яке повною мірою задовольняє технічні вимоги, водночас забезпечуючи мінімальні витрати на будівництво і експлуатацію. У межах роботи кількість альтернативних варіантів обмежується двома, що зумовлено наявними рівнями напруги у найближчих точках приєднання до енергосистеми.

Остаточне конструктивне рішення вибору варіанту електропостачання обирається за зведеними витратами:

Зведені витрати :

$$Z_i = E_H \cdot K_i + C_i + C_{ВТРi} + C_{ЕНi} + Z_i,$$

де E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;
 K_i – сумарні капітальні вкладення, тис. грн.; C_i – поточні витрати на експлуатацію схеми, тис. грн. /рік; $C_{ВТРi}$ – вартість втрат електроенергії, тис. грн. /рік; $C_{ЕНi}$ – вартість електроенергії, тис. грн. /рік; Z_i – ймовірний збиток від перерв в електропостачанні, тис. грн/рік.

5.1 Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 35 |

У межах даної роботи як потенційні джерела електропостачання для комбінату твердих сплавів і тугоплавких металів розглядаються підстанції енергосистеми з номінальними рівнями напруги 10 кВ та 150 кВ. Таким чином, доцільним є аналіз двох основних варіантів зовнішнього електропостачання підприємства, що базуються на зазначених рівнях напруги.

Варіант приєднання до мережі 35 кВ не розглядається, оскільки при заданих відстанях між джерелами живлення та об'єктом споживання він супроводжується значно більшими втратами електроенергії в порівнянні з варіантом 150 кВ, що знижує його ефективність.

Відстань від підстанції «Скелева» до території комбінату становить 13,6 км, а від підстанції «КРЕМ ГЕС» — 13,78 км. З урахуванням зазначених параметрів доцільно обрати для порівняння два варіанти побудови системи зовнішнього електропостачання:

Варіант 1 — живлення підприємства здійснюється двома кабельними лініями напругою 10 кВ з установкою центрального розподільчого пункту (ЦРП) 10 кВ. У разі виходу з ладу однієї з ліній передбачається автоматичне увімкнення секційного вимикача, внаслідок чого все навантаження комбінату переключасться на резервну лінію.

Варіант 2 — електропостачання здійснюється двома повітряними лініями напругою 150 кВ від підстанції «Скелева» з подальшим встановленням головної знижувальної підстанції (ГЗП) 150/10 кВ. У разі аварійного відключення однієї з ліній передбачене автоматичне включення одного з двох вимикачів резервної лінії, через яку забезпечується живлення знеструмленої секції.

Розгляд зазначених варіантів дає змогу обґрунтувати технічно та економічно доцільну схему зовнішнього електропостачання для підприємства з урахуванням критеріїв надійності, ефективності та енерговитрат.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 36 |

Згідно вищесказаного виконується техніко – економічне порівняння варіантів схем зовнішнього електропостачання рис 5.1. та 5.2.

У відповідності з обраними варіантами підприємство живиться від підстанції «Скелева» напругою 10 кВ.

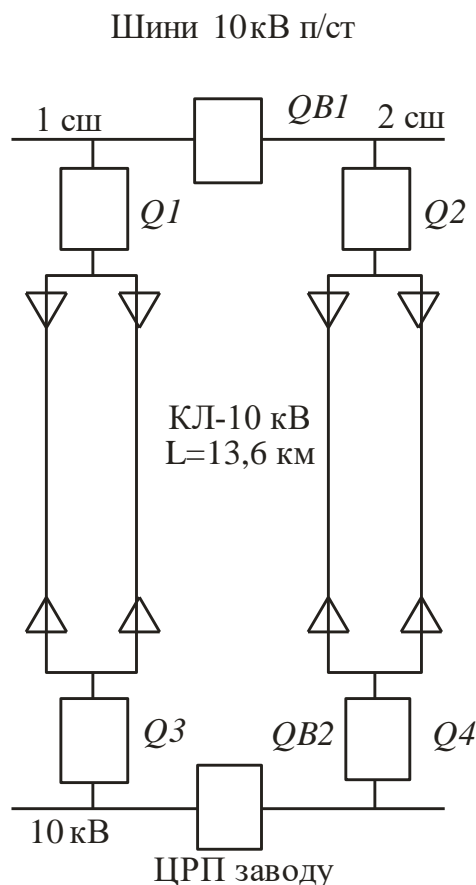


Рис. 5.1. Схема живлення заводу напругою 10 кВ

Варіант №1.

Живлення споживачів здійснюється за кабельними лініями 10 кВ безпосередньо від шин п/ст «Скелева» напругою $U_H = 10$ кВ; віддаленість від заводу $l = 13,6$ км.

$$I_p = \frac{S_p}{N\sqrt{3}U_H} = \frac{20357}{2 \cdot 1,73 \cdot 10} = 588,4$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_p / j_{ек} = 588,4 / 1,1 = 534,9 \text{ мм}^2$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 37 |

де $j_{ек} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ – економічна щільність струму приймається для $T_m = 5146$ год.

Приймаємо стандартний переріз 240 мм^2 кабелю. Приймаємо 3 кабелі марки ААШв – 10 (3 х 240). Для даного кабелю допустимий тривалий струм $I_{доп} = 355 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 24 \text{ кВт/км}$, вартістю $K_0 = 58 \text{ тис. грн/км}$.

Допустимий довготривалий струм навантаження з урахуванням кількості кабелів, що працюють в одній траншеї:

$$I_{доп}' = I_{доп} * K_n = 355 * 0,85 = 301,8 \text{ А};$$

де K_n – поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів в одній траншеї, для $n_{кл} = 3$ $K_n = 0,85$

Коефіцієнт попереднього завантаження кабелю:

$$K_z = I_p / (n * I_{доп}') = 588,4 / (3 * 301,8) = 0,65$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

$$I_{авар}' = n * I_{доп}' * K_{a.n} = 3 * 301,8 * 1,35 = 1222 > I_{p.ав} = 1177 \text{ А}$$

Для збереження електропостачання в аварійному режимі і підвищення його надійності приймаємо до прокладки кабельні лінії площею перерізу 95 мм^2 . Приймаємо кабель марки ААШв-10 (3х 95). Для даного кабелю допустимий тривалий струм $I_{доп} = 205 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 24 \text{ кВт/км}$, вартістю $K_0 = 96 \text{ тис.грн/км}$.

Коефіцієнт завантаження кабелю:

$$K_z = I_p / (n * I_{доп}') = 588,4 / (2 * 184,5) = 1,59$$

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 38 |

Допустимий довготривалий струм навантаження з урахуванням кількості кабелів, що працюють в одній траншеї:

$$I_{дон} = I_{дон} \cdot K_n = 205 \cdot 0,90 = 184,5 \text{ А};$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження:

$$I_{р.ав} = n \cdot I_{дон} \cdot K_{a.n} = 2 \cdot 184,5 \cdot 1,35 = 498,2 < I_{р.ав} = 1177 \text{ А}$$

В аварійному режимі необхідно відключення споживачів III категорії, або збільшення перерізу (кількості) кабельних ліній.

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_l = \Delta P_l \cdot \tau = 827,3 \cdot 3572 = 2955300,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_l = \Delta P_{l_{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 24 \cdot 81,6 \cdot 0,6^2 = 827,256 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_{\Sigma} = l \cdot n_l = 6 \cdot 13,6 = 81,6 \text{ км}$$

n_l - кількість кабельних ліній в одному ланцюгу, шт

$$C_{втрат} = \Delta \mathcal{E}_l \cdot C_0 = 2955300 \cdot 10,39 = 30705567 = 30705,67 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами $C_0 = 10,39$ грн/кВт·год.

Варіант 2.

Живлення заводу напругою 150 кВ від двох окремо працюючих трансформаторів. Відстань до заводу 13,6 км. Схема зображена на рисунку 5.2.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 39 |

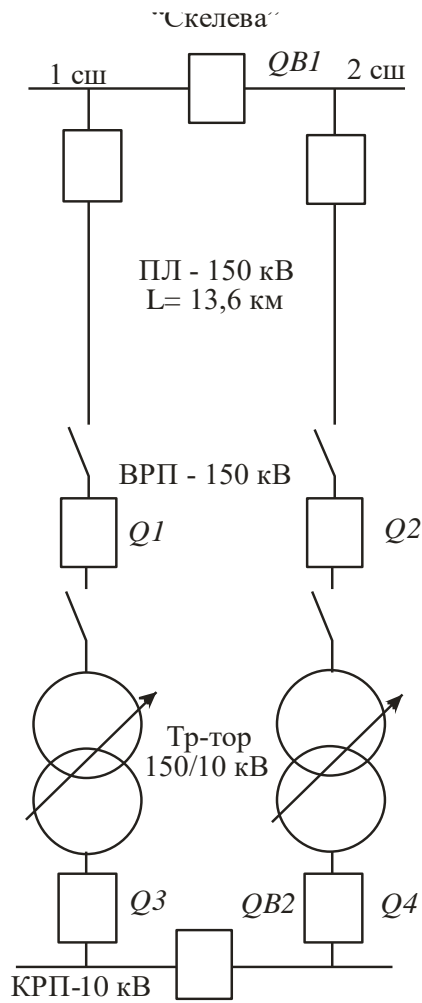


Рис. 5.2. Схема живлення напругою 150 кВ

Варіант №2.

Розрахунковий струм в лінії, А:

$$I_p = \frac{S_p}{N\sqrt{3}U_n} = \frac{20357}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 150} = 39,3$$

Площа перерізу проводів повітряної лінії, вибрана за економічною щільністю струму:

$$F_{ек} = I_p / j_{ек} = 39,22 / 1 = 39,22 \text{ мм}^2$$

де $j_{ек} = 1 \text{ А/мм}^2$ – економічна щільність струму приймається для $T_M = 5146$ год

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 40 |

Прийнята ЛЕП з проводами марки АС перерізом 50 мм² Обираємо провід марки АС, з перерізом $F = 95$ мм², як мінімально допустимий переріз за умовою корони.

Параметри на один ланцюг: $P_{1км} = 73$ кВт/км; $I_{доп} = 330$ А; $K_0 = 100$ тис. грн./км. На ГПП передбачаємо встановити двох трансформаторів потужністю $S_H = 16000$ кВА. Обираємо трансформатор типу ТМН- 16000/150-73У3 з параметрами $P_K = 88$ кВт; $P_{xx} = 21$ кВт; $U_{кз} = 11,0$ %.

Завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

$$K_3 = 20357,0 / (2 \cdot 16000) = 0,64$$

При відключенні одного трансформатора інший, працюючи з допустимим перевантаженням, зможе забезпечити живлення навантаження:

$$S = 1,4 \cdot S_{н.тр.} = 1,4 \cdot 16000 = 22400 \text{ кВА}$$

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_1 = \Delta P_L \cdot \tau = 28,05 \cdot 3572 = 100211,75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_L = \Delta P_{1км} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 73 \cdot 27,2 \cdot 0,1^2 = 28,05 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_{\Sigma} = l \cdot n_L = 13,6 \cdot 2 = 27,2 \text{ км}$$

n_L - кількість ліній в одному ланцюгу, шт

Втрати енергії в трансформаторах:

$$\Delta \mathcal{E}_{тр} = 2 \cdot (P_x \cdot t_{вкл} + P_K \cdot \tau \cdot K_3^2) = 2(21 \cdot 8760 + 88 \cdot 3572 \cdot 0,6^2) = 622370$$

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 41 |

Сумарні втрати енергії:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_л + \Delta \mathcal{E}_{тр} = 100212 + 622369,85 = 722581,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Вартість втрат енергії:

$$C_{\text{пот}} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_0 = 722581,6 \cdot 7,79 = 5628910 \text{ грн} = 5628,91 \text{ тис. грн}$$

де C_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами $C_0 = 7,79$ грн/кВт·год.

Таблиця 5.1. Розрахунок спрощених капітальних вкладень по варіантах

| № п/п | Найменування об'єкту | Одиниця | Кількість | Вартість одиниці, тис. грн | Вартість всього, тис. грн |
|------------|--|---------|-----------|----------------------------|---------------------------|
| I варіант | Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються на підстанції | шт | 2 | 110,16 | 220,32 |
| | Кабельна лінія типу АШШВ-10 (3×240) | км | 81,60 | 96 | 7833,6 |
| | Траншея | км | 13,74 | 43,6 | 599,06 |
| | Всього | | | | 8652,98 |
| II варіант | Дволанцюгова повітряна лінія напругою 150 кВ | км | 13,6 | 400 | 5440 |
| | Відкритий розподільчий пристій 150 кВ | шт | 1 | 295 | 295 |
| | Трансформатори типу ТМН- 16000/150-73У3 | шт | 2 | 1600 | 3200 |
| | Всього | | | | 8935 |

Таблиця 5.2. Розрахунок поточних витрат

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | | 42 |

| № п/п | Найменування об'єкту | К _i , тис грн | Р _a , % | С _a , % | Р _e , % | С _e , % | С _п , тис грн |
|------------|--|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| I варіант | Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються на підстанції | 220,32 | 15 | 33,048 | 5 | 11,016 | 44,064 |
| | Кабельна лінія типу АШШВ-10 (3×240) | 7833,6 | 5 | 391,68 | 5 | 391,68 | 783,36 |
| | Траншея | 599,06 | 5 | 29,953 | 5 | 29,953 | 59,906 |
| | Всього | | | 454,68 | | 432,65 | 887,33 |
| II варіант | Дволанцюгова повітряна лінія напругою 150 кВ | 5440 | 5 | 272 | 5 | 272 | 544 |
| | Відкритий розподільчий пристрій 150 кВ | 295 | 15 | 44,25 | 5 | 14,75 | 59 |
| | Трансформатори типу ТМН-16000/150-73У3 | 3200 | 15 | 480 | 5 | 160 | 640 |
| | Всього | | | 796,25 | | 446,75 | 1243 |

Зведені витрати для варіанту 2, тис.грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.і}} + Z_i = 0,12 \cdot 8935 + 1243 + 5628,91 + 180,03 = 7734,6$$

Таблиця 5.3. Приведені витрати по варіантам СЕПІ

| № п/п | Найменування статті | Варіант I | Варіант II |
|-------|-------------------------------|-----------|------------|
| 1 | Капіталовкладення у варіанти | 8652,98 | 8935 |
| 2 | Поточні витрати | 887,33 | 1243 |
| 3 | Вартість втрат електроенергії | 30705,7 | 5628,91 |
| 4 | Збиток | 210,1 | 180,03 |
| 5 | Приведені витрати | 32841 | 8124,1 |

Як видно приведені витрати за 2 варіантом, живленням напругою 150 кВ, є більш вигідним тому і приймаємо його для подальших розрахунків.

5.2 Вибір напруг та схем внутрішнього електропостачання

Розподіл електричної енергії в межах промислового комплексу може здійснюватися за радіальною, магістральною або змішаною схемою, вибір якої зумовлений просторовим розташуванням електроприймачів, рівнем споживаної потужності та вимогами до надійності електропостачання. Залежно від функціональної структури системи, схеми електропостачання можуть бути одно- або двохсходинковими. Застосування схем із більш ніж двома сходами допускається лише при модернізації або розширенні діючих систем за умов техніко-економічного обґрунтування їх доцільності.

У якості внутрішньої розподільчої мережі на підприємстві прийнято використовувати рівень напруги 10 кВ, що є оптимальним з точки зору втрат енергії, вартості обладнання та експлуатаційної надійності.

При проектуванні систем електропостачання для електроприймачів I та II категорій за надійністю особливу увагу слід приділяти секціонуванню шин у всіх елементах розподільчої мережі, що забезпечує підвищену стійкість до аварійних режимів та можливість безперервного живлення критичних споживачів.

У даній роботі заводська розподільча мережа 10 кВ виконується із використанням змішаної схеми електропостачання, яка поєднує переваги радіального та магістрального підходів і забезпечує гнучкість у керуванні електроенергетичними потоками на підприємстві.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 44 |

6. Режими реактивної потужності системи електропостачання

Значна частина промислових електроприймачів у процесі функціонування споживає з електричної мережі не лише активну, але й реактивну потужність. Передача реактивної потужності через повітряні та кабельні лінії, а також трансформаторне обладнання є технічно неефективною, оскільки призводить до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) системи електропередачі, збільшення втрат енергії та погіршення якості електропостачання.

У зв'язку з цим при проектуванні систем електропостачання промислових підприємств особливу увагу приділяють розробці й оптимальному вибору компенсуючих пристроїв (КП), що дозволяють зменшити навантаження на мережу за рахунок локальної компенсації реактивної потужності. Спочатку визначається економічно доцільне значення реактивної потужності, яку дозволено передавати від енергосистеми до підприємства, а також сумарна потужність КП, необхідна для забезпечення регламентованих режимів роботи електричних мереж.

Наступним виконується розрахунок оптимального розміщення КП у точках живлення окремих цехів і розподільчих пристроїв. Основним критерієм вибору типу, потужності, місця встановлення та режиму роботи КП є забезпечення максимальної економічної ефективності при дотриманні нормативних параметрів напруги й допустимих струмових навантажень в усіх елементах мережі.

Сумарна компенсуюча потужність може бути розподілена як у мережі 0,4 кВ, так і в мережі 10 кВ. Оптимальний розподіл потужності між цими рівнями напруги визначається за результатами техніко-економічного аналізу, з урахуванням питомої вартості низьковольтних і високовольтних КП, витрат на встановлення комутаційного та трансформаторного обладнання, а також вартості втрат електроенергії у відповідних ділянках мережі.

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | | 45 |

6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах

При виборі засобів компенсації реактивної потужності ключове значення має кількість трансформаторів, що встановлюються в системі електропостачання. Саме кількість трансформаторів визначає конфігурацію схеми компенсації, її технічну ефективність та економічну доцільність.

У процесі проєктування зазвичай розглядають декілька варіантів реалізації системи компенсації, що базуються на мінімально необхідному числі трансформаторів, а також на варіантах із додаванням одного або двох додаткових трансформаторів. Такий підхід дозволяє оцінити вплив резервування та підвищення надійності на загальну ефективність системи.

Мінімально допустима кількість трансформаторів :

$$N_0 = \frac{P_{НОМ}}{K_3 \cdot S_{НОМ}}$$

де $P_{НОМ}$ – сумарне споживання активної потужності в мережі напругою до 1000 В; K_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів; $S_{НОМ}$ – номінальна потужність одного трансформатора.

Значення N_0 , яке отримане за виразом (6.5), звичайно округляється до найближчого більшого цілого значення.

Найбільша реактивна потужність, котра може бути передана із мережі 10 кВ в мережу до 1000 В при встановленні N трансформаторів, визначається за виразом:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{НОМ})^2 - P_{НОМ}^2} \quad)$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 46 |

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 8531,59 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 7119,83 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 102,45 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 740,82 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження:

$$P_\varepsilon = \sum P_{ВН} = 6500 \text{ кВт} \quad Q_\varepsilon = \sum Q_{ВН} = 5732,46 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\varepsilon = 8531,59 + 102,45 + 6500 = 15134,04 \text{ кВт}$$
$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\varepsilon = 7119,83 + 740,82 + 5732,46 = 13593,11 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 15134,04 \cdot 0,15 = 2270,11 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 13593,11 - 2270,11 = 11323 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{ном}} = \frac{8531,59}{0,7 \cdot 630} = 19,35 \approx 20 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансфор-

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 47 |

маторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 = 20$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(20 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 8634,04^2} = 1801,6 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1000 В Q_{KH} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 7860,65 - 1801,6 = 6059,05 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, Q_{KB} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_{КП} - Q_{KH} = 11323 - 6059,05 = 5263,95 \text{ кВАр}$$

Розрахунок варіантів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 6.1.1.

Таблиця 6.1.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

| № варіанту | Кількість тр-торів | Q_1 , кВАр | Q_{KH} , кВАр | Q_{KB} , кВАр |
|------------|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 20 | 1801,6 | 6059,05 | 5263,95 |
| 2 | 21 | 3349,55 | 4511,1 | 6811,9 |
| 3 | 22 | 4425,17 | 3435,48 | 7887,52 |

6.2. Вибір кількості, потужності компенсуючих пристроїв

Таблиця 6.2.1. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N = 20$ шт.

| № КТП | К-сть т-рів | $P_p, \text{кВт}$ | $Q_p, \text{кВАр}$ | $Q_{np}, \text{кВАр}$ | $Q_{кл}, \text{кВАр}$ | Кількість та потужність БК, шт. кВАр | Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$ | $Q_{кл} - Q_{БК}, \text{кВАр}$ | K_3 | $S_p, \text{кВА}$ |
|---------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------|-------------------|
| ТП№1,12 | 3 | 1168,3 | 501,1 | 620,7 | 0,0 | | 0 | 0,0 | 0,7 | 1271,3 |
| ТП№2-4 | 5 | 1587,3 | 2237,8 | 1530,6 | 707,2 | 1·50; 5·133; | 715 | -7,8 | 0,7 | 2199,6 |
| ТП№5,6 | 4 | 2049,9 | 1447,2 | 0,0 | 1447,2 | 4·67; 4·300; | 1468 | -20,8 | 0,8 | 2050,0 |
| ТП№7,8 | 3 | 1352,2 | 1144,1 | 0,0 | 1144,1 | 1·337,5; 2·402; | 1141,5 | 2,6 | 0,7 | 1352,2 |
| ТП№9,10 | 3 | 1221,4 | 1607,0 | 508,4 | 1098,6 | 2·335; 1·402; | 1072 | 26,6 | 0,7 | 1333,5 |
| ТП№11 | 2 | 857,9 | 840,0 | 204,6 | 635,4 | 2·335; | 670 | -34,6 | 0,7 | 874,6 |

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 5066,5 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·450; 2·2700; сумарна потужність БК 10 кВ складає 6300 кВАр.

Таблиця 6.2.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N = 21$ шт.

| № КТП | К-сть т-рів | $P_p, \text{кВт}$ | $Q_p, \text{кВАр}$ | $Q_{np}, \text{кВАр}$ | $Q_{кл}, \text{кВАр}$ | Кількість та потужність БК, шт. кВАр | Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$ | $Q_{кл} - Q_{БК}, \text{кВАр}$ | K_3 | $S_p, \text{кВА}$ |
|---------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------|-------------------|
| ТП№1,12 | 3 | 1168,35 | 501,09 | 620,72 | 0 | | 0 | 0 | 0,67 | 1271,27 |
| ТП№2-4 | 5 | 1587,28 | 2237,76 | 1530,55 | 707,208 | 1·50; 5·133; | 715 | -7,79245 | 0,7 | 2199,6 |
| ТП№5,6 | 5 | 2049,9 | 1447,22 | 812,37 | 634,846 | 2·335; | 670 | -35,1539 | 0,7 | 2192,29 |
| ТП№7,8 | 3 | 1352,24 | 1144,14 | 0 | 1144,14 | 3·402; | 1206 | -61,8565 | 0,72 | 1353,65 |
| ТП№9,10 | 3 | 1221,42 | 1607 | 508,38 | 1098,62 | 2·67; 3·337,5; | 1146,5 | -47,8823 | 0,69 | 1305,35 |
| ТП№11 | 2 | 857,946 | 839,994 | 204,58 | 635,414 | 2·337,5; | 675 | -39,5858 | 0,69 | 873,667 |

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 4412,5 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·900; 2·2250; 4·150; сумарна потужність БК 10 кВ складає 6900 кВАр.

Варіант 1. N = 20 шт.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 5066,5 = 22,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 6300 = 18,9 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ПИ} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{8531,59^2 + 1801,6^2}{10^2} \cdot 0,08 \cdot 0,001 = 60,83 \text{ кВт}$$

де

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{20 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,08 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} =$$

$$= 1 \cdot 3,28 + 4 \cdot 3,53 + 5 \cdot 4,1 + 4 \cdot 6,71 + 4 \cdot 7,16 + 1 \cdot 7,29 + 3 \cdot 8,18 = 125,21$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 10,07 + 2 \cdot 37,96 = 96,06 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП (2)} \cdot K_{КТП (2)} + N_{КТП (1)} \cdot K_{КТП (1)} =$$

$$= 8 \cdot 638 + 4 \cdot 337,5 = 6454 \text{ тис.грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$З = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ПИ}) =$$

$$= 0,12 \cdot (125,21 + 96,06 + 6454) + 7,79 \cdot 3572 \cdot (22,8 + 18,9 + 60,83) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 3654,02 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок двох інших варіантів проводиться аналогічно. Результати результати розрахунку приведені в таблиці 6.2.4.

Таблиця 6.2.4. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

| № вар. | Q _{кн} , кВАр | ΔP _{кн} , кВт | Q _{кв} , кВАр | ΔP _{кв} , кВт | N _{тр} , шт. | R _{екв} , Ом | S _{пр} , кВА | ΔP _{тп} , кВт | K _{кн} , тис. грн. | K _{кв} , тис. грн. | K _{кТП} , тис. грн. | З, тис. грн. |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| 1 | 5067 | 22,8 | 6300 | 18,9 | 20 | 0,08 | 8719,74 | 60,83 | 125,21 | 96,06 | 6454 | 3654 |
| 2 | 4413 | 19,86 | 6900 | 20,7 | 21 | 0,08 | 9165,56 | 67,21 | 106,15 | 97,6 | 6791,5 | 3838 |
| 3 | 4326 | 19,46 | 2700 | 8,1 | 22 | 0,07 | 9610,94 | 64,66 | 98,56 | 42,54 | 6791,5 | 3398 |

Таблиця 6.2.5. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ з урахуванням компенсації

| № | Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів | Кіл. | Встановлена потужність, кВт | | m | Кв | cos | tg | Середнє навантаження | | Км | Розрахункова потужність | | | |
|---|--|------|-----------------------------|---------|-----|------|-----|-----|----------------------|---------|----|-------------------------|--------|--------|--------|
| | | | Одного | Сума | | | | | Рер | Qер | | pe | Рр | Qр | Sp |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | ТП№1,12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Термічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 23 | 1,5 - 600 | 1560,18 | 400 | 0,41 | 0,8 | 0,7 | 643,33 | 471,141 | 5 | 1,7 | 1106,5 | 518,3 | 1221,9 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 61,8 | 29,9 | |
| | Всього по ТП№1,12 | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 23 | 1,5 - 600 | 1560,18 | 400 | 0,41 | 0,8 | 0,7 | 643,33 | 471,141 | 5 | 1,7 | 1106,5 | 471,1 | 1202,6 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 61,8 | 29,9 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 1168,3 | 501,1 | 1271,3 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | | |
| | З урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 1168,3 | 501,1 | |
| | Втрати в трансформаторі Sn.тр= 630 | 3 | | | | | | | | | | | 12,6 | 102,1 | |
| | Всього на шинах 10 кВ ТП№1,12 | 0,62 | | | | | | | | | | | 1181,0 | 603,1 | 1326,1 |
| | ТП№ 2-4 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Підготовчий цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 127 | 2,5 - 160 | 3096 | 64 | 0,44 | 0,8 | 0,8 | 1348,5 | 1111,28 | 39 | 1,2 | 1614,6 | 1111,3 | 1960,0 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 68,0 | 32,9 | |
| | Транспортний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 49 | 2 - 44 | 1036,67 | 22 | 0,43 | 0,7 | 0,9 | 444,67 | 394,727 | 47 | 1,2 | 524,9 | 394,7 | 656,8 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 10,5 | 5,1 | |
| | Склад | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 12 | 5 - 21 | 146,667 | 4 | 0,37 | 0,8 | 0,8 | 53,867 | 41,9963 | 12 | 1,5 | 78,7 | 42,0 | 89,2 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 2,6 | 1,3 | |
| | силова | | | | | | | | | | | | | | |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | | | |
| | Всього по ТП№ 2-4 | 188 | 2 - 160 | 4279,33 | 80 | 0,43 | 0,8 | 0,8 | 1847 | 1548 | 53 | 1,2 | 2156,7 | 1548,0 | 2654,7 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 81,1 | 39,3 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 2237,8 | 1587,3 | 2743,5 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | -715 | |

продовження таблиці 6.2.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|------------------------------------|---------|-----|-----|---------|-----|------|-----|--------|---------|----|-----|--------|--------|--------|
| | З урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 2237,8 | 872,3 | |
| | Втрати в трансформаторі Sn.тр= 630 | 5 | | | | | | | | | | | 25,7 | 186,1 | |
| | Всього на шинях 10 кВ ТП№ 2-4 | 0,72 | | | | | | | | | | | 2263,5 | 1058,4 | 2875,4 |
| | ТП№5,6 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Термічно-волочильний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 145 | 1 | 105 | 2162,67 | 105 | 0,8 | 0,8 | 1282,9 | 1067,75 | 41 | 1,1 | 1445,8 | 1067,7 | 1797,3 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 88,7 | 43,0 | |
| | силова | | | | | | | | | | | | | | |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | | | |
| | Насосна станція | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 34 | 3 | - | 405,333 | 5 | 0,6 | 0,8 | 243,2 | 182,4 | 34 | 1,1 | 276,8 | 182,4 | 331,5 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 0,7 | | |
| | Котельня | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 45 | 0,5 | - | 351,067 | 60 | 0,7 | 0,9 | 246,96 | 150,965 | 23 | 1,1 | 276,0 | 151,0 | 314,6 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 6,5 | 3,1 | |
| | Всього по ТП№5,6 | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 224 | 0,5 | - | 2919,07 | 210 | 0,61 | 0,8 | 1773,1 | 1401,11 | 56 | 1,1 | 1954,0 | 1401,1 | 2404,4 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 95,9 | 46,1 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 2049,9 | 1447,2 | 2509,3 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | -1468 | |
| | З урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 2049,9 | -20,8 | |
| | Втрати в трансформаторі Sn.тр= 630 | 4 | | | | | | | | | | | 25,4 | 163,1 | |
| | Всього на шинях 10 кВ ТП№5,6 | 0,82351 | | | | | | | | | | | 2075,3 | 142,4 | 2626,8 |
| | ТП№ 7,8 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Хімічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 40 | 1 | - | 1382,67 | 100 | 0,44 | 0,7 | 615,2 | 692,689 | 28 | 1,2 | 758,4 | 692,7 | 1027,1 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 40,4 | 19,6 | |
| | Станція нейтралізації | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 19 | 4 | - | 420,167 | 7 | 0,61 | 0,8 | 257,63 | 194,1 | 19 | 1,2 | 305,4 | 194,1 | 361,8 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 1,3 | 2,2 | |
| | Ремонтно-механічний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова | 61 | 2 | - | 1130 | 17 | 0,21 | 0,7 | 238,37 | 235,599 | 61 | 1,3 | 304,3 | 235,6 | 384,9 |

продовження таблиці 6.2.5

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--------|-----------|---------|------|------|-----|-----|--------|---------|----|-----|--------|---------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 3,3 | 5,7 | |
| | Всього по ТП№ 7,8 | 120 | 1 - 100 | 2932,83 | 100 | 0,38 | 0,7 | 1 | 1111,2 | 1122,39 | 59 | 1,2 | 1310,6 | 1122,4 | 1725,5 |
| | силова освітлювальна | | | | | | | | | | | | 41,7 | 21,8 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 1352,2 | 1144,1 | 1771,3 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | -1141,5 | |
| | З урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 1352,2 | 2,6 | |
| | Втрати в трансформаторі Sn.гр= 630 | 3 | | | | | | | | | | | 15,6 | 112,2 | |
| | Всього на шинях 10 кВ ТП№ 7,8 | 0,72 | | | | | | | | | | | 1367,8 | 114,8 | 1857,2 |
| | ТП№9,10 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Інструментальний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова освітлювальна | 57 | 0,6 - 56 | 1201,07 | 93 | 0,29 | 0,6 | 1,3 | 344,08 | 434,59 | 43 | 1,3 | 437,2 | 434,6 | 616,4 |
| | Компресорна | | | | | | | | | | | | 15,5 | 26,9 | |
| | силова освітлювальна | 32 | 0,1 - 15 | 263,733 | 150 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 157,36 | 127,116 | 32 | 1,1 | 180,1 | 127,1 | 220,4 |
| | КЩ | | | | | | | | | | | | 2,3 | | |
| | силова освітлювальна | 95 | 0,55 - 21 | 1181,7 | 38 | 0,45 | 0,5 | 1,8 | 531,11 | 961,538 | 95 | 1,1 | 592,7 | 961,5 | 1129,5 |
| | Всього по ТП№9,10 | 184 | 1,1 - 56 | 2646,5 | 50,9 | 0,39 | 0,6 | 1,5 | 1032,6 | 1523,24 | 95 | 1,1 | 1170,7 | 1523,2 | 1921,2 |
| | освітлювальна | | | | | | | | | | | | 50,7 | 83,8 | |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 1221,4 | 1607,0 | 2018,5 |
| | БСК | | | | | | | | | | | | | -1072,0 | |
| | З урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 1221,4 | 535,0 | |
| | Втрати в трансформаторі Sn.гр= 630 | 3 | | | | | | | | | | | 13,5 | 105,0 | |
| | Всього на шинях 10 кВ ТП№9,10 | 0,7359 | | | | | | | | | | | 1234,9 | 640,0 | 1390,9 |
| | ТП№ 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Електричний цех | | | | | | | | | | | | | | |
| | силова освітлювальна | 21 | 2 - 160 | 1026,67 | 80 | 0,49 | 0,6 | 1,3 | 508 | 661 | 13 | 1,3 | 671,3 | 661,0 | 942,1 |
| | | | | | | | | | | | | | 8,2 | 14,1 | |

продовження таблиці 6.2.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|-------------------------------------|---------|-----------|---------|------|------|-----|-----|--------|---------|----|-----|-----------|--------|----------|
| | силова освітлювальна | | | | | | | | | | | | | | |
| | Заводу управління | | | | | | | | | | | | 21,5 | 37,3 | |
| | силова освітлювальна | 93 | 0,3 - 11 | 193,133 | 36 | 0,65 | 0,8 | 0,8 | 125,6 | 94,7453 | 35 | 1,1 | 140,1 | 94,7 | 169,1 |
| | Всього по ТП№ 11 | | | | | | | | | | | | 19,0 | 32,8 | |
| | силова освітлювальна | 114 | 0,3 - 160 | 1219,8 | 533 | 0,52 | 0,6 | 1,2 | 633,6 | 755,745 | 15 | 1,3 | 809,3 | 755,7 | 1107,3 |
| | Всього БСК | | | | | | | | | | | | 48,6 | 84,2 | |
| | 3 урахуванням БСК | | | | | | | | | | | | 857,9 | 840,0 | |
| | Втрати в трансформаторі Sn. гр= 630 | 2 | | | | | | | | | | | 857,9 | 170,0 | |
| | Всього на шинах 10 кВ ТП№ 11 | 0,68858 | | | | | | | | | | | 9,7 | 72,4 | |
| | Всього по заводу | | | | | | | | | | | | 867,6 | 242,4 | 1259,0 |
| | силова освітлювальна | 853 | 0,3 - 600 | 15557,7 | 2000 | 0,45 | 0,7 | 1 | 7040,8 | 6821,63 | 52 | 1,2 | 8174,5 | 6821,6 | 10647,0 |
| | Всього | | | | | | | | | | | | 357,1 | 298,2 | |
| | Компенсуючі пристрої | | | | | | | | | | | | 8531,6 | 7119,8 | 11112,2 |
| | Всього з врахуванням КП-0,4 | | | | | | | | | | | | 8531,6 | 2053,3 | 8775,2 |
| | Втрати в трансформаторах | 20 | | | | | | | | | | | 92,8 | 668,4 | |
| | Всього по заводу | | | | | | | | | | | | 8624,4 | 2721,8 | 9043,7 |
| | Компенсуючі пристрої 10 кВ | | | | | | | | | | | | | -6300 | |
| | Високовольтне навантаження | | | | | | | | | | | | | | |
| | Дугова під постійного струму ДП-6 | 2 | 5000- | 10000 | 1 | 0,65 | 0,8 | 0,9 | 6500 | 5732,46 | | | 6500 | 5732,5 | 8666,67 |
| | Всього на шинах 10 кВ | | | | | | | | | | | | 15134 | 2154,2 | 15286,59 |
| | | | | | | | | | | | | | тгрост= | 0,15 | |
| | | | | | | | | | | | | | тгрорасч= | 0,14 | |

7. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання

7.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання складається розрахункова схема в однолінійному зображенні. В неї вводяться всі джерела, які приймають участь в живленні місця КЗ, та всі елементи системи електропостачання, які розташовані між ними та місцем КЗ. Синхронні та асинхронні двигуни враховуються як джерела живлення.

За розрахунковою схемою складається схема заміщення, де всі елементи замінюються опорами та ЕРС. Потім схема заміщення перетворюється і спрощується в еквівалентну схему.

У відповідності зі схемою заміщення, приведеною до найпростішого вигляду з результируючою ЕРС та результируючим опором, початкове значення періодичної складової струму КЗ визначається за формулою:

$$I_{n0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{рез}^2 + X_{рез}^2}}, \quad (7.1)$$

де E_{Σ}'' – результируюча надперехідна ЕРС, кВ; $X_{рез}$ – результируючий опір, приведений до тієї ступені, де розраховується струм КЗ, Ом.

У випадку великої віддаленості точки КЗ від джерел живлення вважається, що точка КЗ живиться від джерела нескінченної потужності, що означає:

$$S_{КЗ} = \infty, x_c = 0, E_{\Sigma}'' = U_c = \text{const.}$$

Ударний струм КЗ визначається за виразом:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot K_{y0} \cdot I'', \quad (7.2)$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 55 |

да $K_{y\delta} = 1 + e^{-0,01/Ta}$ – ударний коефіцієнт; де T_a – стала часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

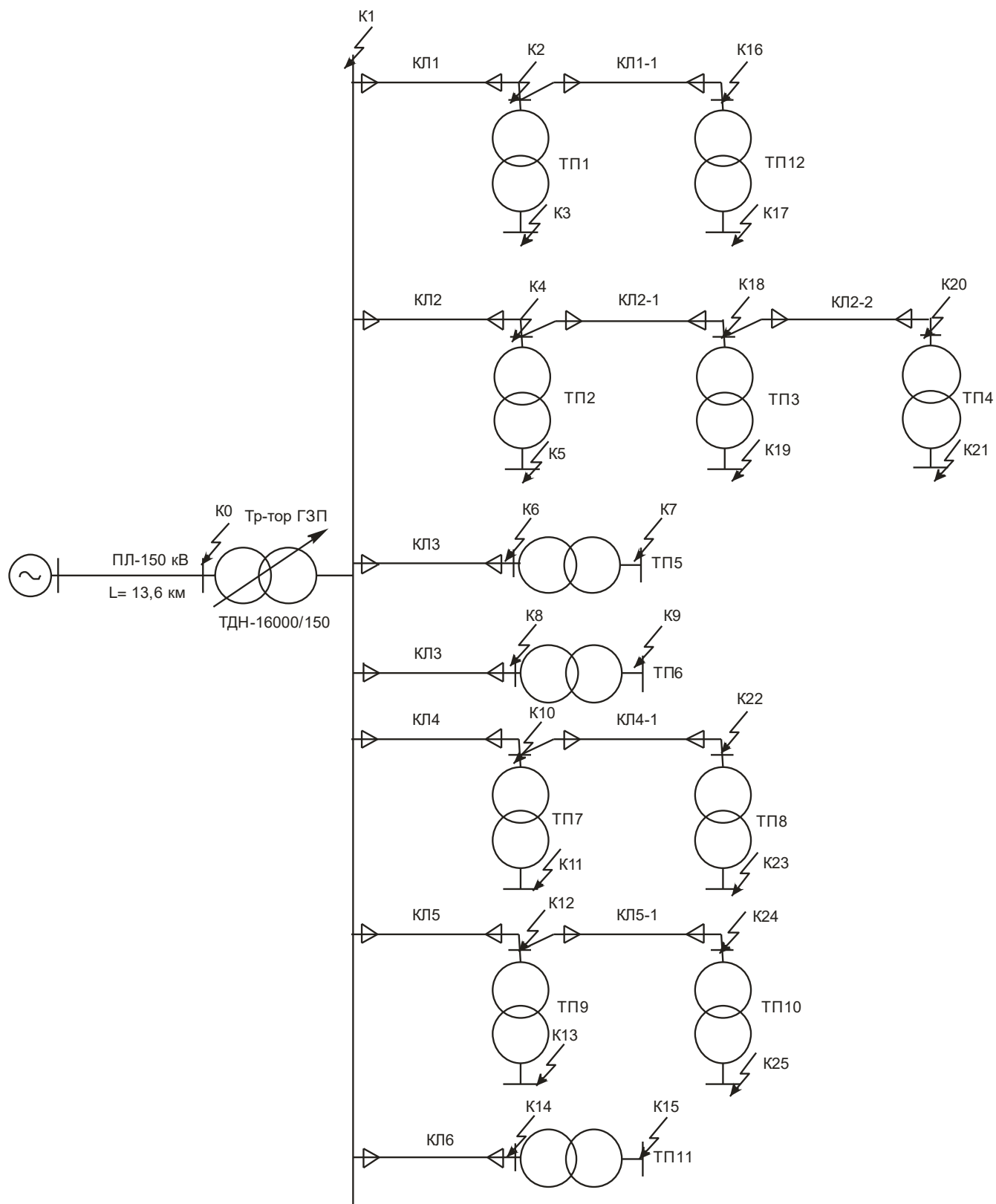


Рис.7.1. Розрахункова схема

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 56 |

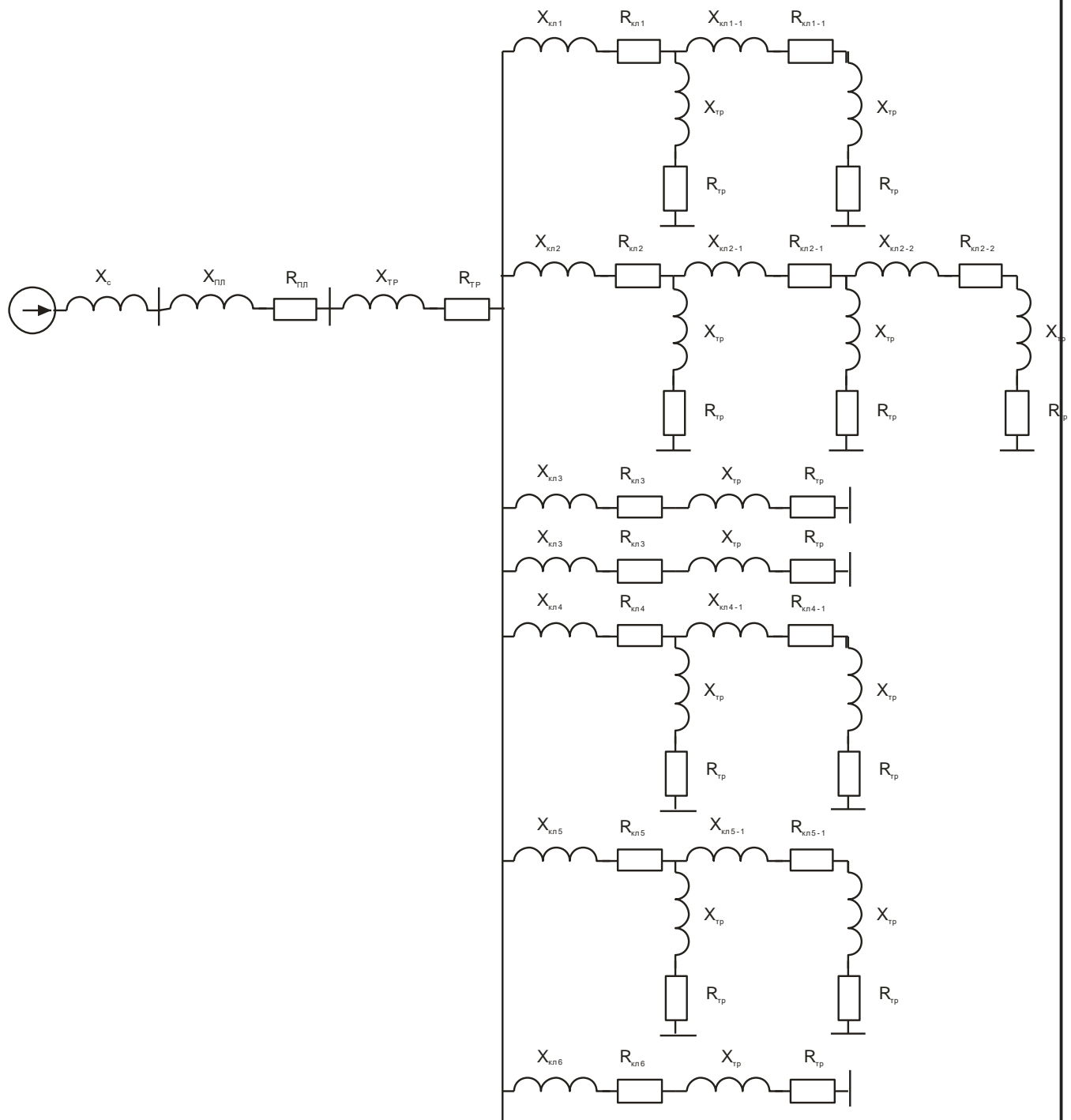


Рис. 7.2. Схема заміщення.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 57 |

Перед розрахунком струмів к.з. складається розрахункова схема, по якій визначають точки, в яких необхідно розрахувати струми к.з. (рис. 7.1).

За розрахунковою схемою складається схема заміщення, на якій всі елементи представлені у вигляді опорів (рис. 7.2).

Проведемо розрахунок опорів елементів схеми.

Система:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{154^2}{200} = 118,58 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_c}{25} = \frac{118,58}{25} = 4,74 \text{ Ом}$$

Повітряна лінія (провід марки АС 95/16):

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,249 \cdot 13,6 = 3,3864 \text{ Ом}$$

$$X_l = x_0 \cdot l = 0,427 \cdot 13,6 = 5,81 \text{ Ом}$$

Трансформатор ТДН-16000/150 (опір приведений до сторони НН ГЗП):

$$R_m = \frac{\Delta P_{к} U_{ср.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{85 \cdot 10,5^2}{16000^2} \cdot 10^3 = 0,04 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{к,\%} U_{ср.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{11 \cdot 10,5^2}{16000} \cdot 10 = 0,76 \text{ Ом}$$

Результуючий опір до точки К₀:

$$X_{K_0} = X_c + X_l = 118,58 + 5,81 = 124,39 \text{ Ом}$$

$$R_{K_0} = R_c + R_l = 4,74 + 3,3864 = 8,1264 \text{ Ом}$$

$$Z_{K_0} = \sqrt{R_{K_0}^2 + X_{K_0}^2} = \sqrt{8,1264^2 + 124,39^2} = 124,66 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₀:

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

$$I''_{K0} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{154}{\sqrt{3} \cdot 124,66} = 0,71 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К₀:

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{124,39}{314 \cdot 8,1264} = 0,0487 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К₀:

$$k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0487}} = 1,814$$

Ударний струм в точці К₀:

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial} I''_{K0} = \sqrt{2} \cdot 1,814 \cdot 0,71 = 1,82 \text{ кА}$$

Результуючий опір до точки К₀ приведений до сторони НН ГЗП:

$$X'_{K0} = X_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 124,39 \cdot \left(\frac{10,5}{154} \right)^2 = 0,578 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 8,1264 \cdot \left(\frac{10,5}{154} \right)^2 = 0,038 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 124,66 \cdot \left(\frac{10,5}{154} \right)^2 = 0,58 \text{ Ом}$$

Результуючий опір до точки К₁:

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,578 + 0,76 = 1,338 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,038 + 0,04 = 0,078 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,078^2 + 1,338^2} = 1,34 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₁ (від системи):

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

Обираємо кабель марки ААШв - (3 х 50).

Технічні дані кабелю:

$$r_0 = 0,62 \text{ Ом/км}$$

$$x_0 = 0,09 \text{ Ом/км}$$

$$I_{дон} = 105 \text{ А}$$

Опір кабельної лінії:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,62 \cdot 0,45 = 0,279 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,09 \cdot 0,45 = 0,041 \text{ Ом}$$

Параметри інших кабельних ліній 10 кВ приведені в таблиці 7.1.1.

Результуючий опір до точки К₂:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,338 + 0,041 = 1,379 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,078 + 0,279 = 0,357 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,357^2 + 1,379^2} = 1,424 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₂:

$$I''_{K2} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,424} = 4,26 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К₂:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,379}{314 \cdot 0,357} = 0,0123 \text{ с}$$

Ударний струм в точці К₂:

$$k_{y\delta 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{-0,01/0,0123} = 1,444$$

Ударний струм в точці К₂:

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2}k_{y\delta}I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,444 \cdot 4,26 = 8,7 \text{ кА}$$

Опір цехового трансформатора (ТМ-630/10/0,4):

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

Таблиця 7.1.1. Параметри кабельних ліній 10 кВ

| № КЛ | l , км | r_0 , Ом/км | x_0 , Ом/км | R , Ом | X , Ом |
|------|----------|---------------|---------------|----------|----------|
| 1 | 0,45 | 0,62 | 0,09 | 0,279 | 0,041 |
| 1-1 | 0,01 | 0,62 | 0,09 | 0,006 | 0,001 |
| 2 | 0,675 | 0,443 | 0,086 | 0,299 | 0,058 |
| 2-1 | 0,01 | 0,62 | 0,09 | 0,006 | 0,001 |
| 2-2 | 0,01 | 0,62 | 0,09 | 0,006 | 0,001 |
| 3 | 0,225 | 0,443 | 0,086 | 0,1 | 0,019 |
| 4 | 0,1095 | 0,62 | 0,09 | 0,068 | 0,01 |
| 4-1 | 0,01 | 0,62 | 0,09 | 0,006 | 0,001 |
| 5 | 0,405 | 0,62 | 0,09 | 0,251 | 0,036 |
| 5-1 | 0,02 | 0,62 | 0,09 | 0,012 | 0,002 |
| 6 | 0,435 | 0,62 | 0,09 | 0,27 | 0,039 |

Таблиця 7.1.2. Результати розрахунку струмів к.з.

| № точки к.з. | R , Ом | X , Ом | I_k'' , кА | T_a , с | k_{y0} | i_{y0} , кА |
|--------------|----------|----------|--------------|-----------|----------|---------------|
| 0 | 7,1764 | 100,6700 | 0,74 | 0,0487 | 1,814 | 1,82 |
| 1 | 0,0730 | 1,2280 | 4,52 | 0,0536 | 1,830 | 11,72 |
| 2 | 0,3520 | 1,2690 | 4,60 | 0,0115 | 1,419 | 9,23 |
| 3 | 0,0031 | 0,0158 | 14,34 | 0,0162 | 1,539 | 31,21 |
| 4 | 0,0790 | 1,2290 | 4,92 | 0,0495 | 1,817 | 12,64 |
| 5 | 0,0027 | 0,0158 | 14,43 | 0,0186 | 1,584 | 32,32 |
| 6 | 0,3720 | 1,2860 | 4,53 | 0,0110 | 1,403 | 8,99 |
| 7 | 0,0032 | 0,0158 | 14,34 | 0,0157 | 1,529 | 31,01 |

продовження таблиці 7.1.2

| № точки к.з. | R, Ом | X, Ом | Iк", кА | Tа, с | куд | іуд, кА |
|--------------|--------|--------|---------|--------|-------|---------|
| 8 | 0,0790 | 1,2290 | 4,92 | 0,0495 | 1,814 | 12,64 |
| 9 | 0,0027 | 0,0158 | 14,43 | 0,0186 | 1,584 | 32,32 |
| 10 | 0,0790 | 1,2290 | 4,92 | 0,0495 | 1,817 | 12,64 |
| 11 | 0,0027 | 0,0158 | 14,43 | 0,0186 | 1,584 | 32,32 |
| 12 | 0,1730 | 1,2470 | 4,82 | 0,0230 | 1,647 | 11,23 |
| 13 | 0,0029 | 0,0158 | 14,34 | 0,0174 | 1,563 | 31,70 |
| 14 | 0,1410 | 1,2380 | 4,87 | 0,0280 | 1,700 | 11,71 |
| 15 | 0,0028 | 0,0158 | 14,43 | 0,0180 | 1,574 | 32,12 |
| 18 | 0,0790 | 1,2290 | 4,92 | 0,0495 | 1,817 | 12,64 |
| 19 | 0,0027 | 0,0158 | 14,43 | 0,0186 | 1,584 | 32,32 |
| 20 | 0,3240 | 1,2640 | 4,65 | 0,0124 | 1,446 | 9,51 |
| 21 | 0,0031 | 0,0158 | 14,34 | 0,0162 | 1,539 | 31,21 |
| 22 | 0,0850 | 1,2300 | 4,92 | 0,0461 | 1,805 | 12,56 |
| 23 | 0,0027 | 0,0158 | 14,43 | 0,0186 | 1,584 | 32,32 |
| 24 | 0,3430 | 1,2670 | 4,62 | 0,0118 | 1,429 | 9,34 |
| 25 | 0,0031 | 0,0158 | 14,34 | 0,0162 | 1,539 | 31,21 |

7.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу

Проведемо вибір кабельної лінії від шин 10 кВ ГЗП до ТП1.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1326,093}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,28 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу КЛ-1 (при $T_{\text{max}} = 3573$ год. $j_{\text{ек}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$).

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}} = \frac{38,28}{1,4} = 27,34 \text{ мм}^2$$

Приймаємо до встановлення КЛ марки ААШв - 2 х (3 х 50) з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 105 \text{ А}$.

Перевірка кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p = 38,28 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 105 = 96,6 \text{ А}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{\text{п.з. min}} + T_a) = 4,52^2 (0,525 + 0,0546) = 36,61 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальна площа поперечного перерізу КЛ за умовою термічної стійкості:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{11,84 \cdot 10^3} = 36,61 \text{ мм}^2$$

Результати вибору інших КЛ 10 кВ приведені в таблиці 7.2.1.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 65 |

Таблиця 7.2.1. Вибір кабельних ліній 10 кВ заводської мережі

| № КЛ | n , шт | S_p , МВА | I_p , А | $I_{p,ав}$, А | $F_{ек}$, мм ² | $B_{к}$, кА ² ·с | F_{min} , мм ² | Марка кабелю | $I_{дон}$, А | K_n | $K_n I_{дон}$, А | $K_{ан}$ | K'_n | $K_{ан} K'_n I_{дон}$, А |
|---------|-------------|-------------|-----------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------|-------|----------------------|----------|--------|---------------------------|
| 1 | 2 | 1326,093 | 38,28 | 76,56 | 27,34 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 2 x (3 x 50) | 105 | 0,92 | 96,6 | 1,25 | 1 | 131,25 |
| 1-1 | 1 | 442,031 | 25,52 | - | 18,23 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 1 x (3 x 50) | 105 | 1 | 105 | - | - | - |
| 2 | 2 | 2498,694 | 72,13 | 144,26 | 51,52 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 2 x (3 x 70) | 130 | 0,92 | 119,6 | 1,25 | 1 | 162,5 |
| 2-1 | 2 | 1499,216 | 43,28 | 86,56 | 30,91 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 2 x (3 x 50) | 105 | 0,92 | 96,6 | 1,25 | 1 | 131,25 |
| 2-2 | 1 | 499,7388 | 28,85 | - | 20,61 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 1 x (3 x 50) | 105 | 1 | 105 | - | - | - |
| 3 | 4 | 2080,13 | 30,02 | 60,04 | 21,44 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 4 x (3 x 70) | 130 | 0,84 | 109,2 | 1,25 | 0,92 | 149,5 |
| 4 | 2 | 1372,652 | 39,63 | 79,26 | 28,31 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 2 x (3 x 50) | 105 | 0,92 | 96,6 | 1,25 | 1 | 131,25 |
| 4-1 | 1 | 457,5506 | 26,42 | - | 18,87 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 1 x (3 x 50) | 105 | 1 | 105 | - | - | - |
| 5 | 2 | 1390,858 | 40,15 | 80,3 | 28,68 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 2 x (3 x 50) | 105 | 0,92 | 96,6 | 1,25 | 1 | 131,25 |
| 5-1 | 1 | 463,6195 | 26,77 | - | 19,12 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 1 x (3 x 50) | 105 | 1 | 105 | - | - | - |
| 6 | 2 | 900,8336 | 26 | 52 | 18,57 | 11,84 | 36,61 | ААШВ - 2 x (3 x 50) | 105 | 0,92 | 96,6 | 1,25 | 1 | 131,25 |

7.3. Вибір електричних апаратів високої напруги

Таблиця 7.3.1.1. Вибір вимикачів напругою 150 кВ

| Параметр вимикача | Умова вибору | Розрахунок |
|--|--|---|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $150 \leq 150$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $82,27 \leq 3150$ |
| Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм: | $I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$ | $0,71 \leq 40$ $0,42 \leq 19,8$ $1,41 \cdot 0,71 + 0,42 <$ $< 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$ $1,42 \leq 76,37$ |
| Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $0,71 \leq 52$ $1,82 \leq 132,37$ |
| Термічна стійкість | $B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$ | $0,55 \leq 1200$ |

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,02 + 0,022 = 0,042 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 0,71 \cdot e^{\frac{-0,042}{0,0487}} = 0,42 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 0,71^2 (0,022 + 1,02 + 0,0487) = 0,55 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо елегазовий вимикач типу LTB 170D1/B.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 67 |

Таблиця 7.3.1.2. Вибір вимикачів напругою 150 кВ

| Параметр вимикача | Умова вибору | Розрахунок |
|--|--|---|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $150 \leq 150$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $41,14 \leq 3150$ |
| Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм: | $I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$ | $0,71 \leq 40$ $0,35 \leq 19,8$ $1,41 \cdot 0,71 + 0,35 <$ $< 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$ $1,35 \leq 76,37$ |
| Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $0,71 \leq 52$ $1,82 \leq 132,37$ |
| Термічна стійкість | $B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$ | $0,57 \leq 1200$ |

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,03 + 0,022 = 0,052 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 0,71 \cdot e^{\frac{-0,052}{0,0487}} = 0,35 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 0,71^2 (0,022 + 1,06 + 0,0487) = 0,57 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення елегазовий вимикач типу LTB 170D1/B.

| | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | 68 |

Таблиця 7.3.1.2. Вибір вимикачів на вводі напругою 10 кВ

| Параметр вимикача | Умова вибору | Розрахунок |
|--|--|--|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $10 \leq 11$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $881,5 \leq 1000$ |
| Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм: | $I_{n\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$ | $4,52 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 4,52 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $6,39 \leq 39,6$ |
| Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $4,52 \leq 52$ $11,72 \leq 132,37$ |
| Термічна стійкість | $B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$ | $26,49 \leq 1200$ |

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 4,52 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0545}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в} + t_{pz.max} + T_a) = 4,52^2 (0,042 + 1,2 + 0,0545) = 26,49 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/1000 У2.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 69 |

Таблиця 7.3.1.3. Вибір секційного вимикача напругою 10 кВ

| Параметр вимикача | Умова вибору | Розрахунок |
|--|--|--|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $10 \leq 10$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $440,75 \leq 630$ |
| Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм: | $I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$ | $4,52 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 4,52 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $6,39 \leq 39,6$ |
| Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $4,52 \leq 52$ $11,72 \leq 132,37$ |
| Термічна стійкість | $B_\kappa \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$ | $30,57 \leq 1200$ |

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,7 + 0,042 = 0,742 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 4,52 \cdot e^{\frac{-0,742}{0,0545}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_\kappa = I''^2 (t_{c.в} + t_{pz.max} + T_a) = 4,52^2 (0,042 + 1,4 + 0,0545) = 30,57 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 70 |

Таблиця 7.3.1.4. Вибір вимикача напругою 10 кВ на відхідних КЛ до ТП

| Параметр вимикача | Умова вибору | Розрахунок |
|--|--|--|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $10 \leq 10$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $72,13 \leq 630$ |
| Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм: | $I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$ | $4,52 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 4,52 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $6,39 \leq 39,6$ |
| Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $4,52 \leq 52$ $11,72 \leq 132,37$ |
| Термічна стійкість | $B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$ | $26,49 \leq 1200$ |

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,9 + 0,042 = 0,942 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 4,52 \cdot e^{\frac{-0,942}{0,0545}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 4,52^2 (0,042 + 1,2 + 0,0545) = 26,49$$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

| | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | 71 |

На напругу 150 кВ приймаємо до встановлення обмежувач перенапруги типу ОПН-10/420/12-УХЛ1. Його каталожні дані:

Номінальна напруга, $U_{ном}$: 10,5 кВ

Найбільша допустима напруга, U_{max} : 12 кВ

Номінальний струм, $I_{ном}$: 200 А

Таблиця 7.3.2. Вибір роз'єднувачів на вводі напругою 150 кВ

| Параметр роз'єднувача | Умова вибору | Розрахунок |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $150 \leq 150$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $82,27 \leq 1000$ |
| Динамічна стійкість: | | |
| - симетричний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ | $0,71 \leq 100$ |
| - ударний струм: | $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $1,82 \leq 254,56$ |
| Термічна стійкість | $B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$ | $0,54 \leq 4800$ |

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{рз.макс} + T_a) = 0,71^2 (1,02 + 0,0487) = 0,54 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення роз'єднувач типу РНДЗ.2-150/1000 У1.

Таблиця 7.3.3. Вибір роз'єднувачів на вводі напругою 150 кВ

| Параметр роз'єднувача | Умова вибору | Розрахунок |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{уст} \leq U_{ном}$ | $150 \leq 150$ |
| Довготривалий струм, кА | $I_{роб.форс} \leq I_{ном}$ | $41,14 \leq 1000$ |
| Динамічна стійкість: | | |
| - симетричний струм: | $I'' \leq I_{дин.ст}$ | $0,71 \leq 100$ |
| - ударний струм: | $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$ | $1,82 \leq 254,56$ |
| Термічна стійкість | $B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$ | $0,56 \leq 4800$ |

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I^{n^2} (t_{pz. \max} + T_a) = 0,71^2 (1,06 + 0,0487) = 0,56 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення роз'єднувач типу РНДЗ.2-150/1000 У1.

7.4. Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Таблиця 7.4.1. Вибір трансформаторів власних потреб (ЦРП)

| № n/n | Споживачі | $P_{\text{ном}},$ кВт | $n,$ шт. | $P_{\text{сум}},$ кВт | $\cos \varphi$ | $\text{tg } \varphi$ | $P_{\text{уст}},$ кВт | $Q_{\text{уст}},$ кВАр |
|---------------|---|--------------------------|-------------|--------------------------|----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1. | Пристрої підігріву комірок КРП | 0,6 | 22 | 13,2 | 0,97 | 0,25 | 13,2 | 3 |
| 2. | Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу | 6 | 3 | 18 | 0,97 | 0,25 | 18 | 5 |
| 3. | Зовнішнє освітлення | 4,5 | 4 | 18 | 0,97 | 0,25 | 18 | 5 |
| 4. | Споживання оперативними колами | 4,5 | 4 | 18 | 0,97 | 0,25 | 18 | 5 |
| Всього | | | | | | | 67,2 | 18 |

Навантаження ТВП:

$$S_{\text{уст}} = \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = \sqrt{67,2^2 + 18^2} = 69,57 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 69,57 = 55,66 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 трансформатори типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження ТВП:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{55,66}{2 \cdot 40} = 0,7$$

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 73 |

8. Розроблення автоматизованої системи контролю та обліку електроспоживання

8.1 Загальні принципи побудови АСКОЕ

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) повинна забезпечувати інтеграцію первинних і вторинних засобів вимірювання та обліку електричної енергії та потужності. До первинних засобів належать електролічильники, а також вимірювальні трансформатори струму і напруги (масштабні перетворювачі), що забезпечують точне вимірювання параметрів електричної мережі. Вторинні засоби включають пристрої збору та передачі даних (ПЗПД), персональні комп'ютери, серверне обладнання, корпоративні обчислювальні системи (КОС) та відповідне програмне забезпечення (ПЗ АСКОЕ), а також канали зв'язку, які здійснюють віддалений обмін інформацією через стандартизовані інтерфейси та протоколи.

Як первинні, так і вторинні технічні засоби обліку мають відповідати сучасним вимогам інформаційних технологій та забезпечувати високий рівень автоматизації процесів вимірювання, обліку, збору, накопичення, збереження, обробки, аналізу, візуалізації та документування інформації щодо електроспоживання. Це стосується як окремих точок обліку на рівні окремих енергооб'єктів, так і інтегрованих показників у межах групових або загальних балансів електроспоживання.

Ключовим елементом первинного рівня у комерційних системах АСКОЕ є електронний лічильник електроенергії, оснащений цифровим інтерфейсом для передачі даних на вторинні засоби обліку. База даних, що формується в пам'яті електронного лічильника, є джерелом достовірної інформації для виконання подальших розрахунків у сфері комерційного електропостачання. Такі лічильники повинні відповідати вимогам до засобів комерційного обліку згідно з чинними нормативними документами.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 74 |

Застосування індукційних, гібридних та електронних лічильників, які здійснюють передачу даних обліку на вторинні пристрої за допомогою імпульсних сигналів (телеметричних виходів), у складі комерційних АСКОЕ заборонено, оскільки вони не відповідають вимогам до точності, надійності та повноти переданої інформації.

8.2. Підсистема вимірювання

Облік електроенергії із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму та напруги повинен базуватися на узгодженому функціонуванні вимірювальних трансформаторів і лічильників трансформаторного включення, які підключаються до вторинних обмоток трансформаторів за допомогою струмових та напругових ланцюгів.

Трансформатори напруги, що застосовуються в системах комерційного або технічного обліку, мають забезпечувати клас точності не нижче 0,5. У спеціальних випадках, передбачених нормативними документами, допускається використання трансформаторів із класом точності 0,2. Для трансформаторів струму, що використовуються в комерційному обліку, встановлюється клас точності не нижче 0,5S, а в особливо відповідальних випадках – 0,2S.

У вузлах обліку, що мають критичне значення, трансформатори струму повинні бути оснащені не менш як двома незалежними вторинними обмотками для підключення до основного та резервного (дублюючого) розрахункових лічильників.

Сумарна потужність навантаження розрахункових лічильників та інших засобів контролю, що приєднуються до вторинних кіл трансформаторів струму та напруги, не повинна перевищувати їх номінального навантаження, з урахуванням втрат у з'єднувальних проводах. Для ланцюгів напруги лічильників проектом повинні бути передбачені такі переріз і довжина провідників, щоб напруга, що втрачається в них, не перевищувала 0,2% від

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 75 |

номінальної вторинної напруги трансформатора з урахуванням запасу на зміну опору в міжремонтний період. Відповідні розрахунки втрат напруги та вторинних навантажень мають бути включені до складу проектної документації.

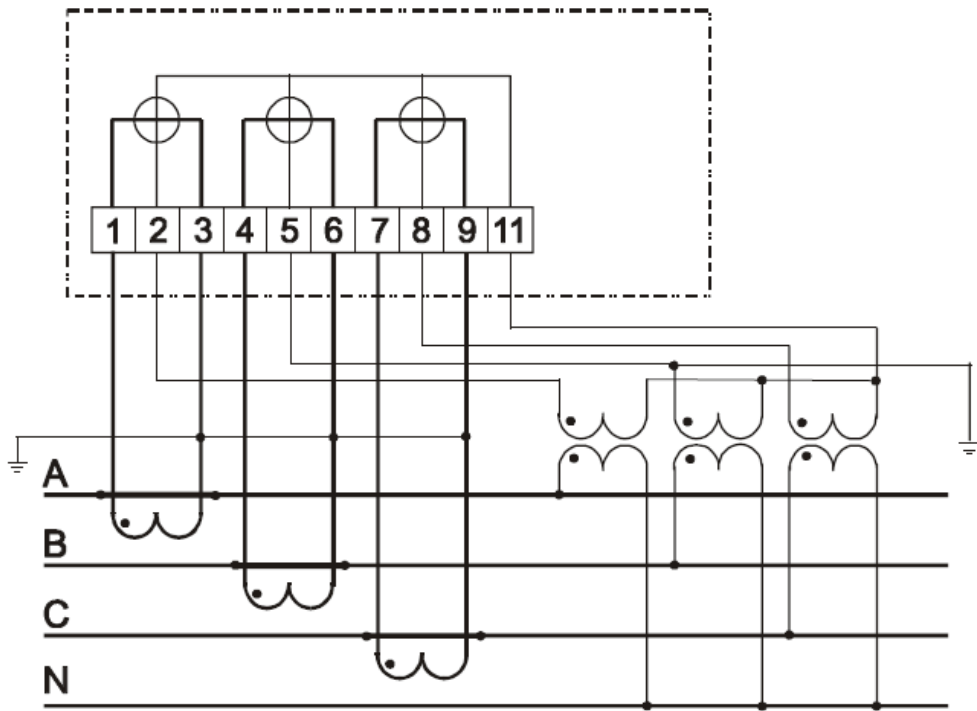
У разі технічного обліку допускаються втрати напруги в ланцюгах від трансформатора до лічильника до 0,25% номінальної вторинної напруги. Також дозволяється підключення лічильників з меншим вторинним номінальним струмом, ніж у відповідного трансформатора струму, за умови, що при максимальному первинному струмі точка обліку не перевищує граничне значення струму лічильника.

Використання трансформаторів струму із завищеним номінальним первинним струмом або трансформаційним коефіцієнтом можливе, якщо за умовами експлуатації при максимальному навантаженні струм у вторинному колі становить не менше 40% номінального, а при мінімальному – не менше 5%.

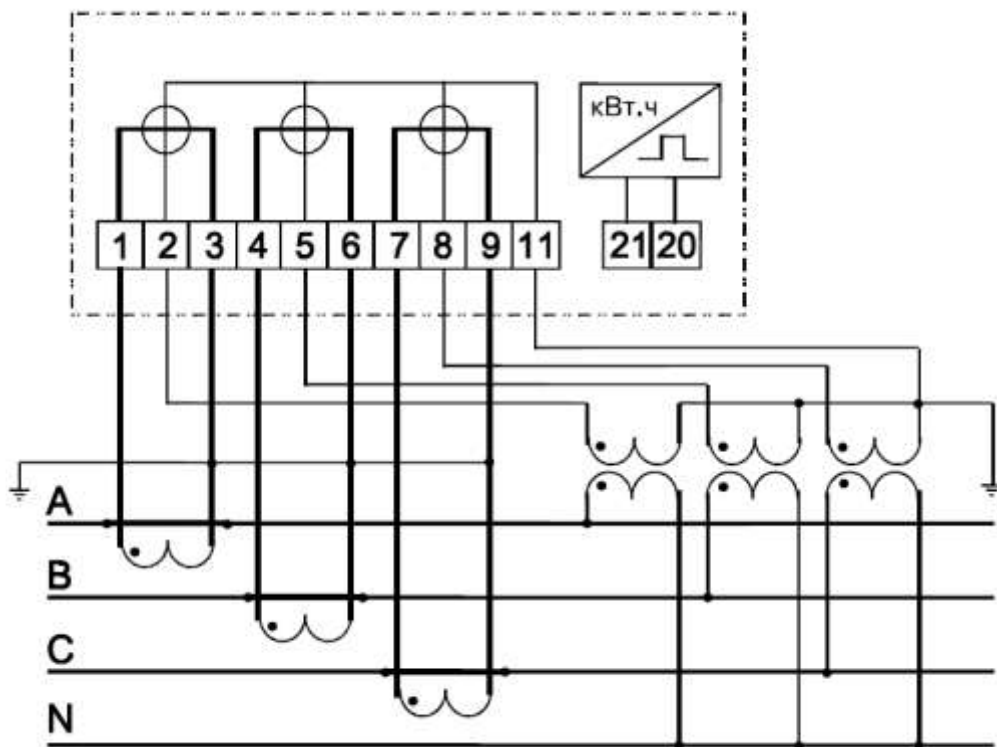
З метою електробезпеки вторинні обмотки та корпуси трансформаторів напруги та струму на всіх рівнях напруги підлягають обов'язковому заземленню, що унеможлиблює перенапругу на вторинних колах у разі пошкодження ізоляції. Затискачі вторинних обмоток трансформаторів струму необхідно з'єднувати з землею мідним провідником перерізом не менше 4 мм².

Для комерційного обліку повинні застосовуватись виключно електронні багатофункціональні лічильники з вбудованими цифровими інтерфейсами, які забезпечують дистанційну передачу облікової інформації, що зберігається у внутрішній пам'яті приладу.

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|------|
| | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | 76 |



8.1. Схема включення трьохелементного лічильника у чотирьохпровідну мережу з ізолюваною нейтраллю і заземленою фазою В



8.2. Схема включення трьохелементного лічильника у трьохпровідну мережу з ізолюваною нейтраллю

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

Таблиця 8.1. Характеристика лічильника АСЕ

| Найменування величини для типів: | АСЕ 6000 | АСЕ 5000 |
|---|---|----------|
| Клас точності | 0.2S | 0.5S |
| Кількість тарифів | 4 у добі, 4 сезону, будні, вихідні й святкові дні, літній і зимовий час | |
| Чутливість | 1мА | |
| Частота мережі | 50 Гц ± 5% | |
| Спожита потужність | менш 4 Вт (у трифазній мережі) | |
| Робочий діапазон температур | від -40°С до +70°С | |
| Номинальні напруги | 3x57-230/100-400 В 3x100-400 В | |
| Номинальний струм (максимальний струм) | 1-5(10)А | |
| Вологість (що не конденсується) | 0-98% | |
| Опір кожного послідовного ланцюга | 0.6-10-3 | Ом |
| Швидкість обміну інформацією із цифрових інтерфейсів: - оптичний порт, "струмова петля", RS-232,RS-485 | 300, 1200, 2400, 4800, 9600 бод | |
| Самодіагностика лічильника | при підключенні живлення 1 раз у добу в 24:00 і при кожному обігу через оптичний порт | |
| Протокол зв'язку лічильника | МЭК 1107 | |
| Можливий коефіцієнт передачі по частотних каналах | Від 10 до 25000 имп./кВт год залежно від модифікації | |

У трипровідних трифазних мережах для цілей технічного обліку допускається застосування двоелементних трифазних лічильників електричної енергії.

Усі типи однофазних і трифазних лічильників, що використовуються для технічного та комерційного обліку, повинні бути внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки відповідно до чинного законодавства. Постачання таких приладів обліку має супроводжуватися чинними свідоцтвами про перевірку та відповідними пломбами, що підтверджують їх метрологічну придатність.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 78 |

Комерційні трифазні електронні лічильники багатотарифного обліку повинні забезпечувати можливість реалізації будь-якого режиму багатотарифного обліку протягом усього строку експлуатації. Зокрема, прилади мають підтримувати облік за 48 тарифами, що відповідає поділу доби на 48 півгодинних інтервалів. Ця функціональність має бути реалізована шляхом перепрограмування або апаратної модернізації безпосередньо на місці встановлення лічильника.

З метою забезпечення достовірності обліку навантаження та споживання електроенергії, багатотарифні лічильники повинні мати можливість збереження щоденних графіків навантаження з інтервалом 30 хвилин тривалістю не менше 60 календарних днів.

8.3. Пристрої збору і передачі даних

Пристрої збору та передачі даних (ПЗПД) належать до спеціалізованих вторинних засобів обліку електроенергії в автоматизованих системах комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Вони являють собою мікропроцесорні пристрої, призначені для запиту, прийому, зберігання, обробки й подальшої передачі облікової інформації від групи лічильників на вищі рівні обліку, зокрема до універсальних вторинних засобів обліку. Крім того, ПЗПД забезпечують можливість надсилання службових команд і запитів у зворотному напрямку — від верхнього рівня АСКОЕ до лічильників.

ПЗПД встановлюються безпосередньо на енергооб'єктах, що належать постачальнику електроенергії або споживачу, максимально близько до лічильників, з якими вони взаємодіють. Для реалізації збору та передачі даних в автоматизованій системі комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) доцільним є застосування пристроїв збору і передачі даних (ПЗПД) серії Концентратор PLC G3 DC12.G2.DM4.L1.0.5.0 виробництва Elgama. Зазначені ПЗПД є високотехнологічними мікропроцесорними пристроями, що

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 79 |

забезпечують централізований запит, обробку, зберігання та ретрансляцію облікової інформації з лічильників на верхній рівень системи.

Підключення ПЗПД до мережі може здійснюватися за допомогою інтерфейсу RS-485, через PLC (Power Line Communication), а також з використанням протоколів Ethernet, що забезпечує гнучкість у виборі комунікаційного середовища залежно від топології об'єкта та технічних вимог.

Концентратор PLC G3 DC12.G2.DM4.L1.0.5.0 призначений для збору даних виключно з лічильників, оснащених цифровими інтерфейсами. Це дозволяє гарантувати високу достовірність та захищеність інформації, що є критично важливим для потреб комерційного обліку. Пристрій забезпечує автоматизований збір показників з заданою періодичністю, підтримує зберігання історичних даних та забезпечує їхню передачу у центральну базу даних АСКОЕ з урахуванням сучасних вимог до безпеки та сумісності.

8.4. Обґрунтування вибору системи комерційного та технічного контролю і обліку електроенергії

Розрахунковий (комерційний) облік електроенергії являє собою облік обсягів виробленої та відпущеної електроенергії, який здійснюється з метою проведення фінансових взаєморозрахунків між енергопостачальними організаціями та споживачами. Вимірювальні прилади, що використовуються для цієї мети, класифікуються як розрахункові або комерційні лічильники.

Технічний облік електроенергії, у свою чергу, призначений для оперативного та стратегічного контролю за розподілом і споживанням електроенергії всередині об'єктів електроенергетики — таких як підстанції, підприємства та локальні енергетичні мережі. Лічильники, призначені для цієї мети, називаються лічильниками технічного обліку.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 80 |

З метою забезпечення достовірності облікових даних, комерційні лічильники рекомендується встановлювати безпосередньо на межі балансової належності між енергопостачальною організацією та споживачем, зокрема на вводах до об'єктів споживачів. На підстанціях енергосистеми розрахункові лічильники активної електроенергії повинні бути встановлені на кожній лінії електропередачі (ЛЕП), що підключена до споживачів.

У разі розрахунків із урахуванням реактивної енергії, необхідно передбачити встановлення лічильників реактивної енергії на тих самих елементах схеми, де встановлено прилади обліку активної енергії. Для підприємств, що мають дві або більше точок приєднання до електромережі, доцільним є впровадження комплексної системи обліку електроенергії.

У випадках, коли комерційний облік організовано на межі балансової належності підприємства (наприклад, у ввідних комірках КРП-10 кВ), допускається встановлення лічильників технічного обліку на вводах підприємства. Визначення втрат електроенергії в живильних кабельних лініях може здійснюватися як розрахунковим методом, так і на основі різниці показань між приладами обліку, встановленими на підстанції енергосистеми та на вводі до підприємства.

Вибір засобів вимірювання

У проєкті передбачено організацію двонаправленого комерційного обліку як активної, так і реактивної електроенергії, а також реєстрацію максимальних навантажень з класом точності 0,5. Облік здійснюється в трипровідній мережі при трансформаторному підключенні з обов'язковим зняттям графіка навантаження.

З огляду на наведені вимоги, доцільним є застосування електронного багатофункціонального лічильника типу АСЕ 6000, який забезпечує:

- вимірювання активної і реактивної енергії,
- реєстрацію максимальної потужності,
- клас точності 0,2 або 0,5,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 81 |

- можливість роботи у 4 тарифних зонах,
- підключення до мереж із номінальною напругою 100, 220 або 380 В,
- трансформаторне або пряме підключення з номінальними струмами 1, 5, 40 або 100 А,
- функціонування в три- та чотирипровідних мережах.

Для організації технічного обліку передбачено застосування електронних лічильників типу Nik 2303, які відповідають сучасним вимогам до засобів технічного контролю та забезпечують необхідний рівень точності і надійності обліку.

Для проведення технічного обліку приймаємо електронні лічильники типу Nik 2303/ Для організації технічного обліку електроенергії у межах даного проекту передбачається застосування електронних лічильників типу Nik 2303, які призначені для вимірювання активної та реактивної електричної енергії в однофазних або трифазних мережах змінного струму. Лічильники цієї серії відповідають сучасним вимогам щодо точності, надійності та функціональності технічного обліку в електроенергетичних системах.

Лічильники Nik 2303 мають такі технічні характеристики:

- Клас точності: 1.0 для активної енергії, 2.0 — для реактивної;
- Тип підключення: пряме або трансформаторне (залежно від модифікації);
- Номінальна напруга: 3×220/380 В;
- Номінальний струм: 5(60) А або 1(6) А;
- Тип мережі: трифазна, трьох- або чотирипровідна;
- Діапазон температури експлуатації: від –40 до +70 °С;
- Інтерфейси зв'язку: цифровий інтерфейс RS-485 (Modbus, DLMS/COSEM), оптичний порт для локального налаштування;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 82 |

- Функції обліку: облік активної та реактивної енергії в чотирьох тарифах, реєстрація максимальних потужностей, ведення добових/місячних профілів навантаження;
- Інтеграція в АСКОЕ: підтримка збору даних у дистанційному режимі, сумісність з більшістю пристроїв збору та передачі даних.

Номінальна потужність лічильників трансформаторного включення визначається за формулою:

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot K_U \cdot K_{Icp} = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 5 \cdot 100 \cdot 135 = 11677 \text{ кВт}$$

де U_n і I_n – відповідно номінальна напруга і номінальний струм лічильників (для лічильників трансформаторного включення $U_n = 100\text{В}$, $I_n = 5$ або 1 А), K_U і K_I – відповідно значення коефіцієнта трансформації трансформатора напруги і середнє значення коефіцієнта трансформації трансформаторів струму яке визначається за формулою

$$K_{Icp} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i K_{Ii}}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{200 \cdot 2 + 150 \cdot 4 + 100 \cdot 6 + 75 \cdot 4}{2 + 4 + 6 + 4} = 135$$

Тоді кількість лічильників що встановлюються для технічного обліку на стороні 10 кВ на підприємства:

$$n = \frac{P_{cp}}{k \cdot P_{ном}} = \frac{20357}{0,5 \cdot 11677} \approx 4 \text{ шт.}$$

Так як отримане значення не відповідає фактичному значенню комірок 17 шт. які встановлюються для споживачів на ГЗП то приймаємо $n = 17$, доцільність установки яких необхідно обґрунтувати економічно.

Критерієм установки додаткових приладів технічного обліку електроенергії може служити умова

$$\frac{\Delta E - (B_{ГО} + B_H + B_{СТ})}{K_{обл}} \geq E_n; \quad (8.2)$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 83 |

де ΔE – річна економія що очікується від упорядкування режиму електроспоживання розглядаємого об'єкту; $K_{обл}$ – одноразові витрати на купівлю та монтаж електрообладнання; $B_{то}$, $B_{н}$, $B_{ст}$ – щорічні витрати відповідно на технічне обслуговування, поточний контроль і вдосконалення норм, матеріальне стимулювання працівників за економію електроенергії ($B_{то} = 15\%$, $B_{н} = 5\%$, $B_{ст} = 5\%$), E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, який визначається по нормативному терміну окупності, який приймається рівним в сучасних умовах 3 роки.

Найменша потужність об'єкту споживання електроенергії, при якому доцільна установка приладів обліку:

$$P_{найм} = \frac{K_{обл} (E_n + B_{то} + B_{н} + B_{ст})}{\Delta E \cdot T_{max} \cdot C_0};$$

де ΔE – річна економія що очікується від впровадження приладів обліку, приймемо $\Delta E = 5\%$; T_{max} – час використання максимуму навантаження; $C_0 = 1,5$ грн./кВт·год вартість електроенергії.

Якщо $B_{то}$, $B_{н}$, $B_{ст}$ задаються у відсотках від вартості витрат $K_{обл}$ то :

$$P_{найм} = \frac{K_{обл} \cdot \left(E_n + \frac{(B_{то} + B_{н} + B_{ст})}{100} \right)}{\Delta E \cdot T_{max} \cdot C_0};$$

Найменша потужність об'єкту споживання електроенергії, при якому дозволяється установка додаткових приладів обліку:

$$P_{найм} = \frac{K_{обл} \cdot \left(E_n + \frac{(B_{то} + B_{н} + B_{ст})}{100} \right)}{\Delta E \cdot T_{max} \cdot C_0} = \frac{5000 \cdot \left(0,33 + \frac{15 + 5 + 5}{100} \right)}{0,05 \cdot 5146 \cdot 1,5} = 7,5 \text{ кВт.}$$

Так як отримане значення значно менше приєднаної потужності будь-якого з фідерів підстанції, то встановлення додаткових приладів технічного обліку дозволяється.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 84 |

Висновок

У результаті виконання бакалаврської роботи здійснено повний цикл проектування системи електропостачання комбінату твердих сплавів і тугоплавких металів, що охоплює аналіз навантажень, розробку схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання, вибір електротехнічного обладнання, розрахунок режимних та аварійних параметрів мережі, а також впровадження автоматизованої системи обліку та контролю електроенергії (АСКОЕ).

Розрахунок електричних навантажень виконано для силових і освітлювальних мереж напругою до і вище 1000 В, що дало змогу обґрунтовано вибрати параметри мережі та джерела живлення.

Проведено порівняльний аналіз варіантів зовнішнього електропостачання підприємства (10 кВ і 150 кВ). На основі техніко-економічного обґрунтування обрано варіант живлення напругою 150 кВ як найбільш ефективний з точки зору втрат електроенергії та надійності енергопостачання.

Розроблено заводську мережу електропостачання з використанням кабельних ліній 10 кВ і змішаної структури розподілу електроенергії. Визначено оптимальне місце розташування головного заводського пункту (ГЗП) на підставі картограми навантажень та генплану підприємства.

Здійснено розрахунок балансу реактивної потужності, розроблено схему компенсації із застосуванням батарей конденсаторів на рівнях 0,4 кВ і 10 кВ. Вибрано економічно доцільний варіант із мінімальними приведеними витратами.

Проведено вибір комутаційного та захисного устаткування, на підставі розрахунку струмів короткого замикання. Обґрунтовано вибір вимикачів, трансформаторів струму та напруги.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 85 |

У спеціальному розділі розроблено автоматизовану систему контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ), що реалізована на базі трирівневої архітектури з використанням електронних лічильників типу ACE 6000 та Nik 2303, пристрою збору і передачі даних Концентратор PLC G3 DC12.G2.DM4.L1.0.5.0, а також серверного програмного забезпечення верхнього рівня. Система забезпечує надійний комерційний та технічний облік електроенергії.

Таким чином, розроблена система електропостачання та АСКОЕ відповідає сучасним технічним вимогам, забезпечує енергоефективне, надійне та економічно обґрунтоване електропостачання комбінату, а також створює основу для подальшої цифрової трансформації енергоменеджменту підприємства.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 86 |

Література

1. Плешков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Коновалов І.В., Мануйлов В.Ф. Проектування електричного освітлення промислових підприємств: Навчальний посібник.- Кіровоград:РВЛ КНТУ, 2007.-231с., 42 іл., 46 табл.
2. Методичні вказівки для виконання курсового проекту для напрямку 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” зі спеціальностей 7.000008 „Енергетичний менеджмент”, 7.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” . Плешков П.Г., Савеленко І.В., Котиш А.І.- Кіровоград: КНТУ, 2009 – 112 с.
3. Методичні вказівки для виконання самостійних робіт з дисципліни «Прилади обліку та інформаційно-керуючі системи» для студентів, що навчаються за напрямом 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» за профілем “Енергетичний менеджмент”. Савеленко І.В., Котиш А.І. - Кіровоград: КНТУ, 2012 – 48 с.
4. . П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович - Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу). – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133 с.
5. Щекин Р.В., Корневский С.М., Беєм Г.Е. Справочник по теплоснабженію и вен1. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник – Харків: ХІУ, 2002.
6. Плешков П.Г. Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
7. Шидловський А.К. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський .К. - К.: УЕЗ, 1998.- 506с.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | | | | 87 |

8. Малинівський С.М. Загальна електротехніка [Текст]: підручник / С. М. Малинівський; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Вид. 2-ге, перероб. й допов. — Львів: Бескид Біт, 2003. — 640 с.

9. . Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами електропривода: Навчальний посібник.

10. ДСТУ 5078:2008 Енергозбереження. Обладнання промислової призначеності енергоспоживальне. Вимоги до показників енергетичної ефективності. Китаєв В.Є. Електротехніка з основами промислової електроніки [Текст]: навч. посіб. / В.Є. Китаєв. — Київ: Будівельник, 1994. — 240 с.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис. | Дата | | 88 |