

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

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

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

на тему:

**«Розроблення електротехнічної системи
електроспоживання промзони головного корпусу
заводу пневмоагрегатів**

**Development of an electrical system for power consumption
in the industrial area of the main building of the pneumatic
units plant»**

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

_____ І. Білоконь
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
професор, канд.техн. наук
_____ С. Серебренніков
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2024 р.

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

_____ Білоконю Івану Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення електротехнічної системи електроспоживання
промзони головного корпусу заводу пневмоагрегатів

Development of an electrical system for power consumption in the industrial area of the
main building of the pneumatic units plant

2. Керівник роботи Серебренніков Сергій Валентинович, к.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 02.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою кваліфікаційної роботи є
проектування енергоефективної системи електропостачання промзони головного
корпусу заводу пневмоагрегатів для чого вирішено завдання: розрахунок
електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних
навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього
електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір
трансформаторів; розрахунок струмів К.З. та облік електроенергії; розрахунок
спеціального розділу кваліфікаційної роботи

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Вихідні данні до проектування</i>	<i>26.03.24</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>02.04.24</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>14.04.24</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>24.04.24</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>26.05.24</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>30.04.24</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05.24</i>	
8	<i>Розрахунок струмів К.З. та облік електроенергії</i>	<i>18.05.24</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>22.05.24</i>	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>28.05.24</i>	
11	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>02.06.24</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« __ 08 __ » __ 04 ____ 2024 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача _____

« __ 08 __ » __ 04 ____ 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 70 с.; 16 рис.; 20 табл.; 19 джерел

Білоконь І. А. Розроблення електротехнічної системи електроспоживання промзони головного корпусу заводу пневмоагрегатів. – Рукопис.

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

Представлена бакалаврська робота зосереджена на створенні сучасної системи електропостачання для промислової зони головного корпусу заводу з виробництва пневматичних агрегатів. Метою проекту є забезпечення економічності та надійності функціонування енергосистеми. З цією метою були проведені докладні техніко-економічні розрахунки, включаючи оцінку електронавантаження, аналіз режимів реактивної потужності та струмів короткого замикання. Здійснено вибір оптимальних схем електропостачання, трансформаторних підстанцій, компенсуючих установок, струмопроводів та високовольного обладнання.

У спеціальному розділі бакалаврської праці досліджено шляхи підвищення енергоефективності за допомогою застосування напівпровідникових джерел освітлення. Зокрема, світлодіодні лампи забезпечують більш рівномірне світлове поле завдяки використанню лінз розсіювання, що сприяє економії електричної енергії.

Варто відзначити, що кутові характеристики світлових потоків від люмінесцентних ламп та світлодіодних джерел освітлення мають схожу форму. Однак, світловий потік світлодіодної лампи (130-260 кандел) у два рази перевищує потік люмінесцентної лампи (80-155 кандел). Особливістю світлодіодних ламп є ширший світловий конус.

Серед недоліків світлодіодних джерел світла слід відзначити наявність блакитної складової у відбитому світлі. Крім того, вартість світлодіодних ламп є вищою порівняно з люмінесцентними аналогами.

У роботі проведено оцінку очікуваного економічного ефекту від впровадження запропонованих рішень.

Ключові терміни: навантаження енергосистеми, реактивна потужність, трансформаторна підстанція, струми короткого замикання, напівпровідникові джерела освітлення, лампи.

ABSTRACT

Qualification work: 70 p.; Fig. 16; 20 tables; 19 sources

Bilokon I. A. Development of the electrical system of power consumption of the industrial zone of the main building of the pneumatic unit plant. - Manuscript.

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

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

In a special section of the bachelor's thesis, ways of increasing energy efficiency using semiconductor lighting sources were investigated. In particular, LED lamps provide a more uniform light field due to the use of dispersion lenses, which contributes to the saving of electrical energy.

It is worth noting that the angular characteristics of light fluxes from fluorescent lamps and LED lighting sources have a similar shape. However, the luminous flux of an LED lamp (130-260 candela) is twice that of a fluorescent lamp (80-155 candela). A feature of LED lamps is a wider light cone.

Among the disadvantages of LED light sources, it should be noted the presence of a blue component in the reflected light. In addition, the cost of LED lamps is higher compared to fluorescent analogues.

Key terms: power system load, reactive power, transformer substation, short-circuit currents, semiconductor lighting sources, lamps.

ЗМІСТ

ст.

1. Вступ. Характеристика технологічного процесу
2. Розрахунок електро навантажень
 - 2.1. Розрахунок силових навантажень в електро мережах до 1000 В
 - 2.2. Обчислення освітлювальних навантажень
 - 2.3. Обчислення електричних навантажень в мережах понад 1000 В
3. Побудова графіків електро навантажень
4. Картограма електро навантажень та розташування головної знижувальної підстанції
5. Вибір напруги і електро схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства
 - 5.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання
 - 5.2. Вибір напруги та схем внутрішнього електропостачання
6. Режим реактивної потужності
 - 6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв
 - 6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв
7. Вибір трансформаторів підстанцій
8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного устаткування
9. Спец розділ
 - Висновки
 - Перелік посилань
 - Додатки

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА БАКАЛАВРСЬКИМ РІВНЕМ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Білоконь			Розроблення електротехнічної системи електроспоживання головного корпусу заводу пневмоагрегатів Development of an electrical system for power consumption in the industrial of the main building of the pneumatic units plant	Літ.	Аркуш	Акрушів
Переві		Серебренніков					4	
Реценз.						ЦНТУ, гр. ЕЕ-20		
Н. Контр.								
Затверд.		Плешков						

1. ВСТУП. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА

Підприємство пневмоагрегатів опанувало виробництво різноманітної продукції, серед якої шестеренні насоси, гідромотори, водяні та масляні насоси, а також окисдно-порошкові гідромотори та гідромотор-колеса на їх основі.

У головному корпусі розташований механо-складальний цех, який спеціалізується на випуску шестеренних насосів. Цех забезпечує повний цикл механічної обробки, збірки, випробувань та упаковки готової продукції.

Також у корпусі знаходиться механо-складальний цех, який складається з механічної ділянки та термогальванічного цеху. Тут здійснюється повний цикл механічної обробки, збірки та випробування насосів. Цех має ділянку гнучких технологій, де експлуатуються унікальні сучасні оброблювальні центри та шліфувальні верстати з ЧПУ.

Крім того, у корпусі розміщений цех збірки, який включає механічну ділянку, ділянку випробувань та гідролaboratorію. На сучасних металооброблювальних верстатах з ЧПУ проводиться обробка та збірка насосів, деталей для трансмісій та аксіально-поршневих машин (трансмісій).

Щодо споживачів електричної енергії, то вони відносяться до II та III категорій надійності електропостачання. Споживачі II категорії присутні в таких цехах: ливарному, мотороремонтному, механічному, механоскладальних, а також на ділянках ливарні, кузнечно-пресовій, ремонтно-інструментальній.

Підприємство працює в двозмінному режимі.

Живлення заводу може здійснюватися від підстанції енергосистеми напругою 35 або 10 кВ, яка розташована на відстані 3 км від території підприємства. Реактивний опір системи на шинах 35 кВ становить 1,06 Ом. Заданий коефіцієнт потужності дорівнює 0,15. Район розміщення заводу належить до III кліматичного району.

Категорії споживачів за ступенем пожежної безпеки - Г та Д.

Перелічені цехи відносяться до 1 та 2 категорій за критерієм безперебійності електрозабезпечення.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРО НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Розрахунок електро навантажень в мережах до 1000 В

Для визначення активного навантаження приймачів використовується формула:

$$P_P = P_{CM} * K_M \quad (2.1)$$

де P_{CM} – середнє навантаження;

K_M – коеф-т максимуму.

Коефіцієнт K_M знаходиться за довідковими даними [1] в залежності від коефіцієнта використання потужності.

Коефіцієнт використання визначається як:

$$K_B = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_H}, \quad (2.2)$$

Додаткові формули стосуються випадків, коли є кілька n – груп приймачів з різними режимами роботи.

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}}, \quad (2.3)$$

де $P_{H \max}, P_{H \min}$ - потужності найбільш та найменш потужних вузлів.

За $m \geq 3$ і $K_H > 0,2$ використовується формула (2.4):

$$n_E = \frac{2 \sum P_H}{P_{H \max}} \quad (2.4)$$

Якщо n_E , розрахований за (2.4), більший за дійсний, то приймається дійсне значення n . При $K_H < 0,2$ n_E визначається за довідковими даними [2].

Для визначення реактивного навантаження при $n_E < 10$ використовується формула:

$$Q_P = Q_{CM} ; \quad (2.5)$$

при $n_E > 10$;

$$Q_P = 1,1 * Q_{CM} \quad (2.6)$$

де Q_{CM} – середнє навантаження

$$Q_{CM} = P_{CM} * \operatorname{tg} \phi \quad (2.7)$$

максимум розрахунковий

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} \quad (2.8)$$

Таким чином, наведені формули дозволяють розрахувати навантаження для системи з кількома групами приймачів.

Розрахунок електричних навантажень в мережах до 1000 В є представлено у вигляді таблиці 2.1, яка міститься в Додатку до бакалаврської роботи.

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок навантажень освітлювальних:

$$P_y = p_0 * F * 10^{-3} \quad , \quad (2.9)$$

де p_0 – питома потужність освітлення, кВт/м²;

F – площа приміщення, м²;

Розрахункове навантаження освітлення, кВт

$$P_{Pocв} = K_C * P_y \quad , \quad (2.10)$$

де K_C – коефіцієнт попиту на освітлення.

$$Q_p = P_p * \operatorname{tg} \varphi \quad . \quad (2.11)$$

Розрахунок освітлювальних навантажень представлено у вигляді таблиці 2.2, яка міститься в Додатку.

2.3. Розрахунок навантажень в мережах понад 1000 В

Розрахунок включає визначення втрат потужності в трансформаторах. Для трансформаторів, як правило, розраховують:

- Втрати холостого ходу (постійні втрати) ΔP_{xx} - визначаються типом трансформатора і його номінальною потужністю.
- Втрати короткого замикання (змінні втрати) $\Delta P_{kз}$ - залежать від завантаження трансформатора.

Крім того, при розрахунку навантажень понад 1000 В визначаються навантаження на шинах підстанції, втрати в лініях електропередачі та компенсуючих пристроях.

Сумарні втрати в трансформаторі Δ дорівнюють:

$$\Delta P = n * (\Delta P_x + \Delta P_k K_3^2) \quad (2.12)$$

$$\Delta Q = n * \left(\frac{I_x}{100} * S_H + \frac{U_k}{100} * S_H * K_3^2 \right) \quad (2.13)$$

де n – номери трансформаторів;

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати н.х й к.з;

I_x – струм н.х;

U_k – напруга к.з,

K_3 – завантаження коефіцієнт.

До шин 10 кВ розподільного пристрою (РП) підключено 2 синхронні двигуни (С.Д.), які можна використовувати як джерела реактивної потужності $Q_{сд}$.

Для синхронних двигунів характерні такі особливості:

1. Вони можуть споживати реактивну потужність з мережі при недозбудженні (недозбудження збудника), працюючи як асинхронні двигуни.
2. Можуть генерувати реактивну потужність в мережу при перезбудженні (перезбудження збудника).
3. При номінальному збудженні синхронний двигун практично не споживає і не генерує реактивну потужність.

Таким чином, синхронні двигуни можна використовувати як регульовані джерела реактивної потужності, змінюючи струм збудження обмотки збудження.

Коефіцієнт завантаження - $\beta_{\text{CD}} = 0,7$;

потужності - $\cos \varphi_{\text{H}} = 0.9$;

Частота оберта - $n = 3000$ об/хв;

Активна потужність - $P_{\text{CD}} = 1600$ кВт;

Реактивна - $Q_{\text{CDM1}} = 800$ кВар;

Себто,

$$Q_{\text{CD}} = \sum_{i=1}^n \beta_i * Q_{\text{CDM1}} = 2 * 0,7 * 800 = 1120 \text{ кВар}. \quad (2.14)$$

Розрахунок для мереж понад 1000 В представлено у вигляді таблиці 2.3, яка міститься у Додатку бакалаврської роботи.

3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

1. Добові графіки $P(t); Q(t); S(t)$ будуються окремо для зимового та літнього періодів на основі 24-годинних вимірювань навантаження на підприємстві пневмоагрегатів.

2. Річний графік будується на основі добового графіка з урахуванням тривалості робочих і вихідних днів протягом року.

3. За добовим графіком визначається:

- Навантажувальна спроможність трансформаторів
- Значення максимального і мінімального навантаження для розрахунку напруг.

4. За річним графіком встановлюються:

- Значення річних витрат активної та реактивної енергії
- Середньозважений коефіцієнт потужності
- Години $-T_{\max}$ використання максимуму навантаження
- Час $-\tau$ повних втрат

Побудова точних добових і річних графіків навантаження дозволяє правильно розрахувати необхідні параметри системи електропостачання та оптимізувати режими її роботи. Дані графіки є важливими вихідними даними для всіх подальших розрахунків.

Прийнято такі вихідні дані:

- Кількість робочих днів: 147 - взимку, 105 - влітку
- Кількість вихідних днів: 65 - взимку, 48 - влітку

Для визначення річних витрат активної і реактивної енергії використовуються формули:

$$W_r = \sum P_i * T_i \quad (3.1)$$

$$V_r = \sum Q_i * T_i \quad (3.2)$$

де $P_{r.вих}$, $Q_{r.вих}$ - навантаження у вихідні дні;

$P_{r.роб}$, $Q_{r.роб}$ - навантаження у робочі дні;

пвих, проб - кількість вихідних і робочих днів відповідно.

Число годин використання максимуму навантаження T_m визначається за формулою:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\Gamma}^2 + Q_{\Gamma}^2}}{P_p}, \quad (3.3)$$

де $P_{m.p}$ - розрахункове максимальне навантаження протягом року.

Час максимальних втрат використовується для вибору комутаційного обладнання:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_m}{10^4})^2 * 8760. \quad (3.4)$$

Правильне визначення зазначених параметрів дозволяє оцінити режими роботи системи електропостачання протягом року.

Робочі дні:						
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:					
	W _г =	43372271,6				
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:					
	V _г =	24613416				
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:					
	W _г =	26333164,9				
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:					
	V _г =	14943859,7				
Вихідні дні:						
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:					
	W _г =	4794553,83				
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:					
	V _г =	2720870,82				
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:					
	W _г =	3009504,56				
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:					
	V _г =	1707869,68				
		Час використання максимального навантаження, год:				
	T _м =	4353,76				
		Час максимальних втрат, год:				
	t=	2741,0195				

Графіки навантаження зображені на рисунках 3.1-3.3 у бакалаврській роботі.

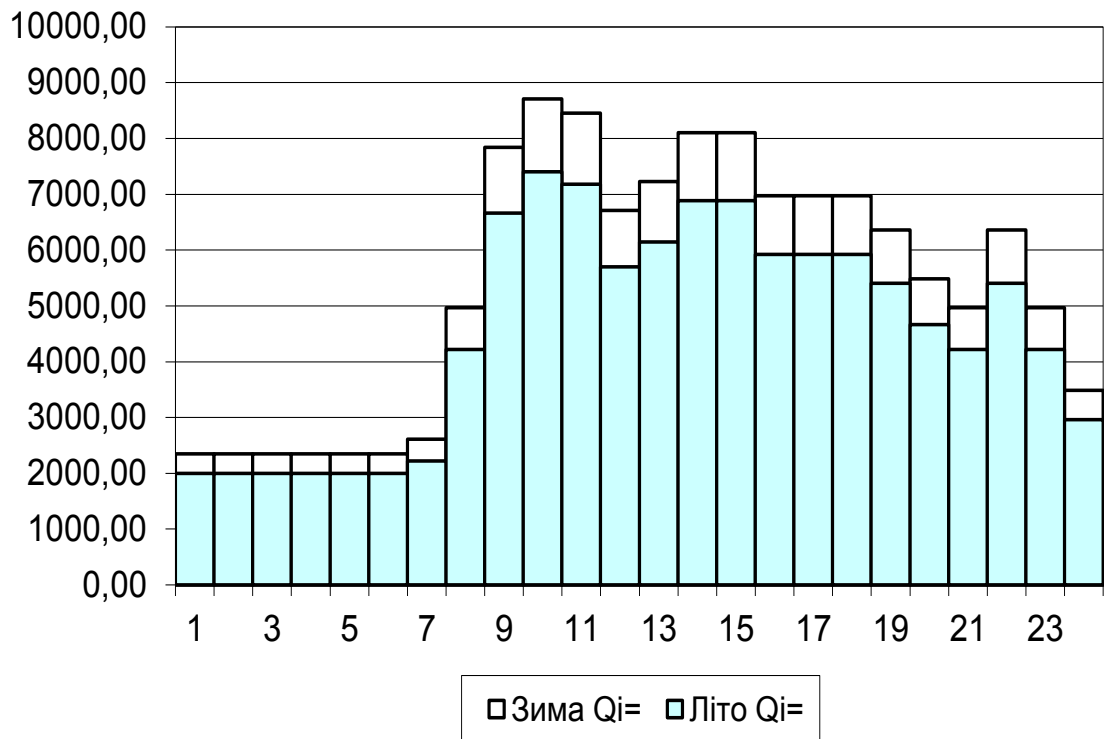


Рис 3.1- навантаження робочого дня активне

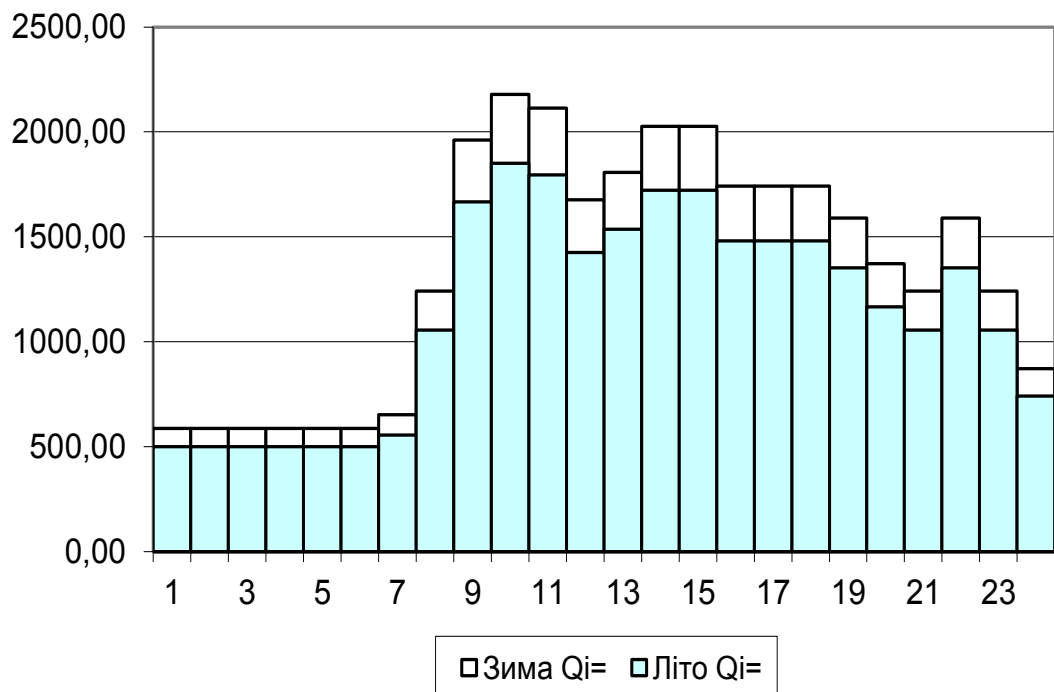


Рис 3.2 - навантаження робочого дня реактивне

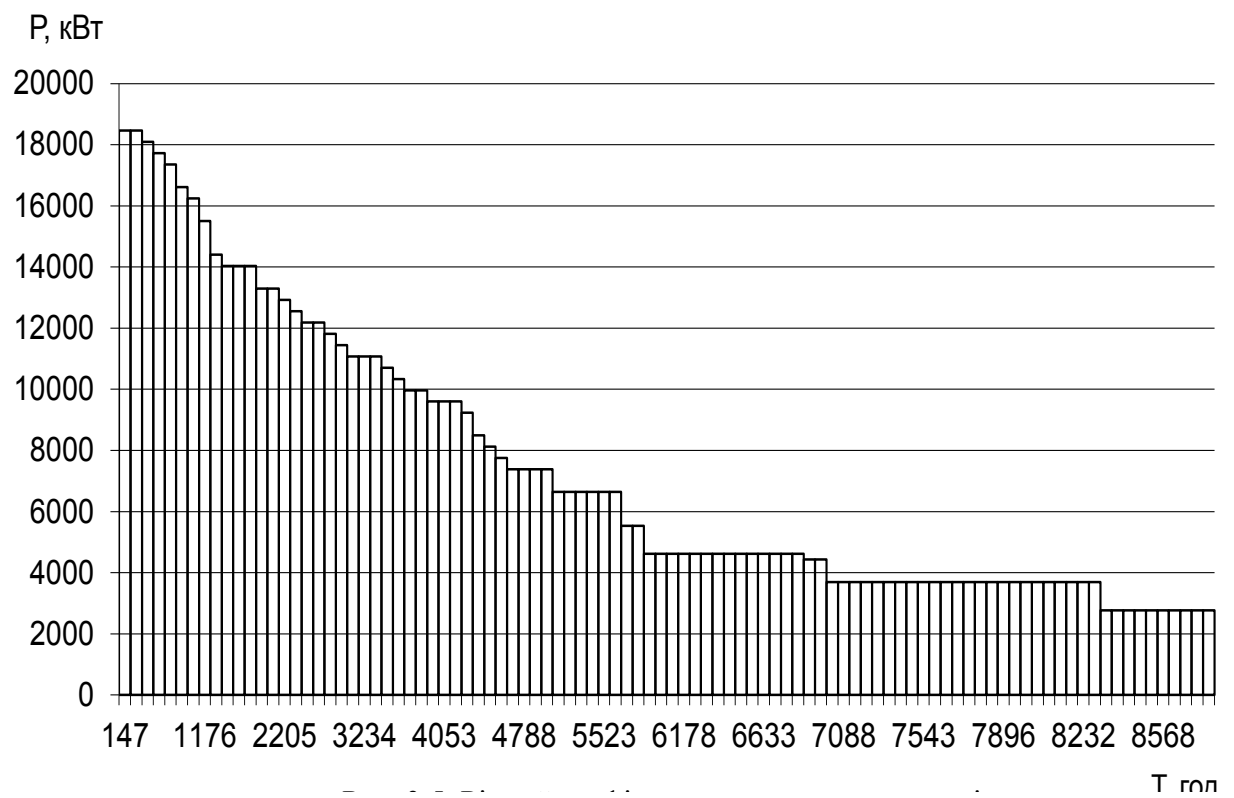


Рис 3.3 – графік річний навантаження за тривалістю

4. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРО НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Цей метод дозволяє візуалізувати розподіл навантажень по різних цехах і визначити оптимальне місце розташування розподільчого пункту (РП) або трансформаторної підстанції (ТП).

Формула (4.1) визначає радіус навантаження R_i для кожного цеху:

Формула (4.2) дозволяє знайти площу $\pi * R^2$ навантаження кожного цеху:

$$P_i = \pi * R_i * m \quad (4.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi * m}} \quad (4.2)$$

де P_i - активне навантаження i -го цеху.

Координати центру електричних навантажень цехів (X , Y) визначаються за формулою (4.3):

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

Для врахування освітлювального навантаження на картограмі виділяється сектор з центральним кутом φ , площа якого відповідає потужності освітлення $P_{осв}$ за формулою (4.4):

$$\varphi = \frac{P_{осв} * 360^0}{\pi * R_i^2} \quad (4.4)$$

Оптимальне розташування РП/ТП має бути в центрі електричних навантажень. Зміщення до джерела живлення або найбільшого навантаження призводить до зворотних перетоків і збільшення втрат енергії.

Приклад розрахунку координат центру навантажень для головного корпусу пневмоагрегатів:

$$R = \sqrt{\frac{P_{Pocв} + P_{Pсил}}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{963 + 10023}{3,14 * 0,5}} = 83,5 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{P_{Pocв} * 360^0}{\pi * R^2} = \frac{963 * 360^2}{3,14 * 84^2} = 16^0.$$

$$X_0 = 3,64 \text{ м,}$$

$$Y_0 = 2.23 \text{ м.}$$

Результати аналогічних розрахунків для всіх цехів, зведені в таблицю 4.1 у Додатку.

5. ВИБІР НАПРУГИ ТА СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Порівняння двох варіантів схем зовнішнього електропостачання підприємства:

1. Живлення від ГПП енергосистеми напругою 35 кВ
2. Живлення від ГПП енергосистеми напругою 10 кВ

Джерелом є ГПП з двома трансформаторами 150/35/10 кВ потужністю 63 МВА кожен. Відстань від ГПП до заводу 3 км.

Для вибору оптимального варіанту - порівняти зведені витрати Z для кожного варіанту за формулою (5.1):

$$Z_i = E_H * K_i + C_i + C_{ВТР_i} + Y_i, \quad (5.1)$$

де E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K - капітальні інвестиції на спорудження;

C - витрати на передачу електроенергії;

$C_{ВТР_i}$ - вартість втрат електроенергії;

Y - збиток від перерв в електропостачанні.

Витрати на передачу C визначаються за формулою (5.2) як сума витрат на ремонт, експлуатацію та амортизацію.

$$C_i = C_{ai} + C_{ei}. \quad (5.2)$$

Вартість втрат електроенергії $C_{ВТР_i}$ - розраховується за формулою (5.3):

$$C_{ВТР} = C_o * \Delta E, \quad (5.3)$$

де b - вартість 1 кВт*год;

W_p - сумарні втрати енергії в лініях.

Порівнявши зведені витрати Z для двох варіантів, обирається більш економічно вигідний з меншими капітальними та експлуатаційними витратами.

Формули і пояснення стосовно розрахунку зведених витрат для порівняння варіантів схем електропостачання.

Формула (5.4) для визначення втрат енергії в лініях електропередачі:

$$\Delta E = \Delta P_{1KM} * L_{\Sigma} * K_3^2 * \tau, \quad (5.4)$$

де ΔP_{1KM} – питомі втрати на 1 км лінії;

L - довжина лінії, км;

τ – число годин максимальних втрат за рік;

$P_{\max}$ - максимальне навантаження;

Uном - номінальна напруга лінії.

Формула (5.5) для розрахунку втрат в трансформаторі:

$$\Delta E_{TP} = \Delta P_X * t_{\text{вкл}} + \Delta P_K * K_3^2 * \tau, \quad (5.5)$$

де ΔP_{XX} - втрати холостого ходу;

P_{K3} - номінальні втрати короткого замикання;

K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора;

T_r - число годин роботи трансформатора за рік.

Для визначення збитку від перерв електропостачання розраховується параметр потоку відмов q за формулою (5.6):

$$\lambda_a = \sum_{i=1}^n \lambda_{ai}, \quad (5.6)$$

де λ - параметр потоку відмов одного ланцюга з двох паралельних ліній на рік.

Час відновлення однієї лінії

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{ai} * T_{Bi}}{\lambda_a}, \quad (5.7)$$

де T_{Bi} – час відновлення 1го елементу.

Формули для розрахунку збитків від перерв в електропостачанні при порівнянні варіантів схем.

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга:

$$K_{\Pi} = 1,2 * K_{\Pi m}; \quad (5.8)$$

де $T_{\Pi,л}$ - час планового ремонту однієї лінії.

Коефіцієнт аварійного простою:

$$K_a = \lambda_a * T_B; \quad (5.9)$$

Коефіцієнт аварійного простою при плановому ремонті одного ланцюга:

$$K_{a\Pi} = 0,5 * \lambda_a * K_{\Pi}; \quad (5.10)$$

Коефіцієнт аварійного простою обох ліній:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 * K_{a\Pi}; \quad (5.11)$$

Річний час простою:

$$T_a = K_a^{(2)} * 8760 \quad (5.12)$$

Збиток від перерв електропостачання:

$$Y = Y_o * P_{CT} * T_a, \quad (5.13)$$

де Y_o - збиток від недовідпуску 1 кВтгод;

$W_{год}$ - річне активне навантаження, кВтгод.

Значення параметрів потоку відмов λ для різних елементів системи електропостачання наведені в

Ці розрахунки дозволяють оцінити складові зведених витрат для кожного варіанту схеми електропостачання і обрати оптимальний.

Техніко-економічного порівняння двох варіантів зовнішнього електропостачання підприємства:

Варіант 1 - Живлення від підстанції енергосистеми напругою 10 кВ (рис. 5.16).

Для цього варіанту розрахунки з визначення струму в лінії живлення і вибору перерізу кабельної лінії.

Струм в лінії розраховується за формулою:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{16381}{\sqrt{3} * 10,5} = 902 A$$

де P - розрахункове навантаження,

U - номінальна напруга лінії,

$\cos(\varphi)$ - коефіцієнт потужності.

Переріз кабельної лінії вибирається за економічною густиною струму як для забезпечення мінімальних приведених витрат:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_P}{j_{\text{э}}} = \frac{901,7}{1,4} = 644,4 \text{ мм}^2$$

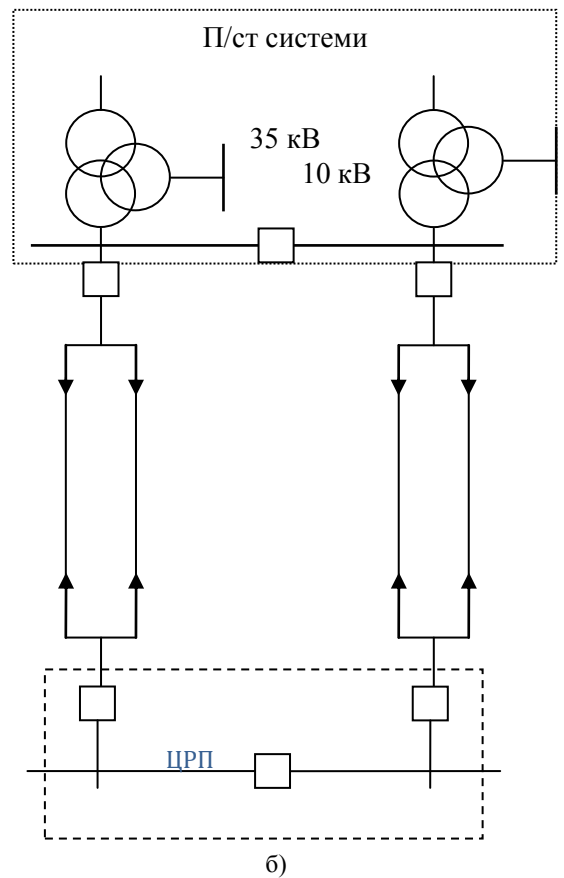
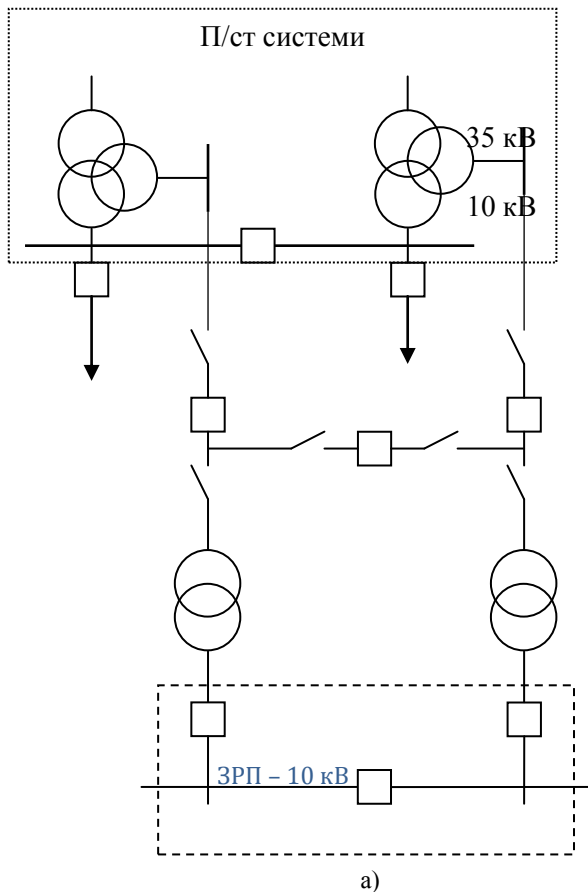


Рис 5.1 – Схеми електро постачання

Значення економічної густини струму визначається розрахунком або береться за довідковими даними.

Після вибору перерізу кабелю необхідно перевірити його за нагрівом струмом навантаження і допустимим струмом струмового захисту.

Прийнято до прокладання 4 кабельні лінії ААБ (3х185) з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 310 \text{ А}$

Питомі втрати потужності в кабелі на 1 км $\Delta P_{1\text{км}} = 57 \text{ кВт/км}$

в нормальному режимі завантаження кабелю:

$$K_3 = \frac{I_p}{4 \cdot I_d} = \frac{902}{4 \cdot 310} = 0,73$$

При виході з ладу однієї кабельної лінії, 3 інші забезпечать навантаження $I = 2 \cdot I_d \cdot K_{\text{АП}} = 2 \cdot 310 \cdot 1,3 = 812 \text{ А}$.

Втрати потужності в лінії:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 57 \cdot 12 \cdot 0,73^2 = 364 \text{ кВт},$$

де l_{Σ} – довжина каб.

Втрати енергії в лінії:

$$\Delta E = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 364,5 \cdot 2741 = 999104 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $T_{\text{мах}}$ - час використання макс. навантаження

Вартість втрат енергії:

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta E \cdot C_0 = 999104 \cdot 5,549 = 5543600 \text{ грн.}$$

Варіант 2 - живлення підприємства напругою 35 кВ (рис. 5.1а):

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{16371}{\sqrt{3} \cdot 35} = 270,5 \text{ А.}$$

Обрана повітряна лінія - двоколова на залізобетонних опорах з дротами АС перерізом 150 мм². Параметри: $r_0 = 0,193 \text{ Ом/км}$, $I_{\text{доп}} = 510 \text{ А}$

Завантаження ЛЕП в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_P}{2 * I_D} = \frac{270,5}{2 * 445} = 0,3$$

На ГЗП встановлюються 2 трансформатори по 16 МВА, 35/10 кВ.
Завантаження трансформаторів в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{S_P}{2 * S_H} = \frac{16381}{2 * 16000} = 0,512 .$$

При виході з ладу одного трансформатора залишається

$$S = 1,4 * S_H = 1,4 * 16 = 22,4 \text{ МВА}$$

Втрати в ЛЕП:

$$\Delta P_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{ЛКМ}} * I_{\Sigma} * K_3^2 = 149 * 6 * 0,3^2 = 80,46 \text{ кВт} ,$$

$$\Delta E_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{Л}} * \tau = 80,46 * 2741 = 220540,86 \text{ кВт*год}$$

Втрати в трансформаторах:

$$\Delta E_{\text{ТР}} = 2 * (\Delta P_X * t_{\text{вкл}} + \Delta P_K * K_3^2 * \tau) = 2 * (20 * 8760 + 105 * 2741 * 0,54^2) = 518247,9 \text{ кВт*год}$$

Сумарні втрати:

$$\Delta P_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{ЛЕП}} + \Delta P_{\text{ТР}} = 220540,86 + 518247,9 = 738788,76 \text{ кВт*год}$$

Річні втрати енергії:

$$\Delta E = \Delta P_{\text{сум}} * T_{\text{макс}} = 738788,7 \text{ кВт*год}$$

Вартість втрат:

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta E * C_0 = 738788,7 * 4,476 = 3307028 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат наведений у таблицях 5.1-5.3.

Таблиця 5.1. Розрахунок вкладень капітальних

№ вар.	Назва	Од.вим.	Кількість	Вартість тис. грн.	Разом тис. грн.
1	2	3	4	5	6
I	Шафи КРУ з вимикачами ВВ TEL	шт.	2	200	400
	Кабель ААБ	км	12	218	2622
	Траншея	км	6	28,6	172
Разом					3195
II	ЛЕП 35 кВ		3	625	1875
	ВРП 35кВ	Компл.	1	81*5	404
	Трансформатор	шт.	2	780	1560
Разом					3840

Таблиця 5.2. Розрахунок витрат поточних

№ вар.	Назва	K _j тис. грн.	P _{aj} %	C _{aj} тис. грн.	P _{эj} %	C _{эj} тис. грн.	C _j тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
I	Кабельна лінія	3190	5%	152	2%	44,8	157
	Шафи КРУ з вимикачами	400	15%	60	3%	6	36
	Разом						293
II	Лінія 35 кВ	1875	5%	92,3	0,14	1,74	64
	ВРП 35 кВ	404	15%	66,36	3	7,27	43,6
	Трансформатори	1560	15%	234	3	46,8	281
	Разом						418,5

Розрахунки збитку від перерв в електропостачанні для **варіанту 1** - живлення напругою 10 кВ:

Розрахункова схема: кабельна лінія 3 км, вимикач 10 кВ

Параметр потоку відмов одного ланцюга:

$$\lambda_a = \sum_{i=1}^n \lambda_{ai} = 0,01 + 0,48 = 0,49 \frac{1}{\text{рік}}$$

Середній час відновлення ланцюга:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{ai} * T_{Bi}}{\lambda_a} = \frac{0,01 * 1,1 * 10^{-3} + 0,48 * 7 * 10^{-3}}{0,49} = 6,9 * 10^{-3} \text{ год.}$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга:

$$K_{II} = 1,2 * K_{II_m} = 1,2 * 2 * 10^{-3} = 2,4 * 10^{-3} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою:

$$K_a = \lambda_a * T_B = 0,49 * 6,88 * 10^{-3} = 3,37 * 10^{-3} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою при ремонті одного ланцюга:

$$K_{aII} = 0,5 * \lambda_a * K_{II}^2 = 0,5 * 0,49 * (2,4 * 10^{-3})^2 = 1,41 * 10^{-6} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою обох ліній:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 * K_{aII} = (3,37 * 10^{-3})^2 + 2 * 1,41 * 10^{-6} = 1,42 * 10^{-5} \text{ в.о.}$$

Річний час простою:

$$T_a = K_a^{(2)} * 8760 = 1,42 * 10^{-5} * 8760 = 124,392 * 10^{-3} \text{ год}$$

Середньорічне навантаження:

$$P_{CP} = \frac{16,182 * 4354}{8760} = 8,043 \text{ МВт}$$

Збиток від перерв електропостачання:

$$U = U_o * P_{CP} * T_a = 2,55 * 8043 * 124,392 * 10^{-3} = 2,551 \text{ тис.грн.}$$

Аналогічний розрахунок збитку від перерв проводиться для варіанту 2 з живленням 35 кВ, результати якого

Таблиця 5.3. Техніко-економічні показники.

Показники	Варіанти	
	I	II
Капітальні інвестиції	3194	3839
Поточні витрати	292,8	418,5
Вартість втрат електроенергії	4196	1980
Збиток	25,51	18,95
Зведені витрати	7711	6262

На основі проведених техніко-економічних розрахунків і порівняння двох варіантів схем зовнішнього електропостачання, дійшли висновку, що обидва варіанти (живлення 10 кВ і 35 кВ) є приблизно рівноцінними за показниками.

Однак, з урахуванням економічних і технічних міркувань, перевагу вирішено віддати варіанту 2 - живленню напругою 35 кВ. Такий вибір обґрунтовано тим, що схема 35 кВ є більш перспективною в разі подальшого розвитку підприємства і зростання електричних навантажень системи електропостачання в майбутньому.

Застосування більш високого класу напруги 35 кВ має певні переваги:

- Менші втрати потужності і енергії в лініях живлення
- Можливість передавати більші потужності без обмежень
- Більший запас за пропускною спроможністю ліній і трансформаторів
- Потенційно менші капітальні витрати на спорудження

Тому ваше рішення на користь варіанту 35 кВ видається обґрунтованим, особливо з перспективою розширення виробництва в майбутньому. Вищий клас напруги дозволить масштабувати систему електропостачання без серйозної реконструкції.

6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Компенсації реактивної потужності в системі електропостачання підприємства - передача реактивної потужності по лініях електропередачі є невигідною, оскільки призводить до зниження якості електропостачання та ККД системи в цілому.

Тому при проектуванні системи передбачається встановлення компенсуючих пристроїв (КП). Їх вибір здійснюється одночасно з іншими елементами системи електропостачання з метою зниження струмів, що протікають в мережах, за рахунок компенсації реактивної потужності.

Потужність компенсуючого пристрою $Q_{кп}$ визначається за формулою (6.1):

$$Q_{кп} = Q_p - Q_{сист} - Q_{сд} \quad (6.1)$$

де Q_p - розрахункове навантаження реактивне;

$Q_{сист}$ - економічно доцільна реактивна потужність, що може бути передана від енергосистеми в режимі максимальних активних навантажень;

$Q_{сд}$ - потужність компенсації реактивна від синхронних двигунів.

Економічно доцільну реактивну потужність $Q_{сист}$ знаходять за виразом:

$$Q_{\phi} = P_p * \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.2)$$

де $P_{\max}$ - максимальне активне навантаження;

$\operatorname{tg} \varphi$ – рівень компенсації від системи ($\operatorname{tg} \varphi = 0,15$).

Для визначення реактивної потужності компенсації від синхронних двигунів $Q_{сд}$ використовується формула (6.3):

$$Q_{сд} = P_{сд} * \operatorname{tg} \varphi_{сд}, \quad (6.3)$$

де $P_{ном}$ - номінальна активна потужність синхронного двигуна;

$\text{tg}\varphi_{\text{ном}}$ - номінальний коефіцієнт реактивної потужності синхронного двигуна.

Компенсуючі пристрої потужністю $Q_{\text{кп}}$ можуть бути встановлені як у мережі 10 кВ, так і в мережі 0,4 кВ.

Оптимальний розподіл компенсуючих пристроїв (на якому рівні напруги їх встановлювати) визначається з урахуванням:

- Вартості КП високої та низької напруги
- Витрат на встановлення додаткових комплектних трансформаторних підстанцій (КТП)
- Вартості втрат електроенергії.

Таким чином, необхідно техніко-економічно порівняти варіанти розміщення КП на різних рівнях напруги, враховуючи капітальні та експлуатаційні витрати, для визначення оптимального варіанту, що забезпечить мінімальні сумарні дисконтовані витрати.

6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв

Для вибору оптимального варіанту розміщення компенсуючих пристроїв розглядаються 3 альтернативи:

Встановлення мінімальної кількості трансформаторів на підстанції;

Збільшення кількості трансформаторів на одиницю;

Збільшення кількості трансформаторів на дві одиниці.

Мінімальна необхідна кількість трансформаторів пмін визначається за формулою (6.4):

$$N_0 = \frac{P_{ном}}{\beta * S_{ном}} \quad (6.4)$$

де $P_{нн}$ - споживання активної потужності напругою до 1000 В;

$K_{зав}$ - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{ном.тр}$ - номінальна потужність одного трансформатора.

При встановленні п.мін трансформаторів реактивна потужність $Q_{нн}$, що може бути передана з мережі 10 кВ до рівня до 1000 В, розраховується за формулою:

$$Q_1 = \sqrt{(N * \beta * S_{ном})^2 - P_{ном}^2} \quad (6.5)$$

де π_k - коефіцієнт реактивної потужності на стороні 10 кВ.

Аналогічно визначаються значення передаваної реактивної потужності $Q_{нн}$ для варіантів з птр.мін+1 і птр.мін+2 трансформаторами.

Далі необхідно встановити потрібну потужність компенсуючих пристроїв $Q_{ку}$ і $Q_{кн}$ для рівнів 10 кВ і 0,4 кВ відповідно, порівняти капітальні та експлуатаційні витрати і обрати оптимальний варіант компенсації реактивної потужності.

Розрахунок баланс:

$$P_{нн} = \sum P_{ТП} = 13884,5,$$

$$Q_{нн} = \sum Q_{ТП} = 12824,1 \text{ кВар}.$$

СД двигуни 10кВ:

$$P_B = P_{CD} = 3200 \text{ кВт}.$$

Споживання по головному корпусу:

$$P_p = P_n + P_B = 13,88 + 3,2 = 17,1 \text{ МВт},$$

$$Q_p = Q_n = 12,824 \text{ МВар}.$$

Потужність Q_{ϕ}

$$Q_{\phi} = Q_{\phi}'' = P_p * \tan \varphi = 17084,51 * 0,15 = 2562,68 \text{ кВар}.$$

Потужність КП з урахуванням СД:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_{\phi} - Q_{CD} = 12824,10 - 2562,68 - 1548,8 = 8712,62 \text{ кВар}.$$

Визначимо мін. кількості трансформаторів:

$$N_0 = \frac{13884,5}{0,7 * 1600} = 12,3 \approx 12 \text{ шт}.$$

Надалі варіанти компенсації $N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$.

Варіант 1 Реактивна потужність, що може бути передана з 10 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N * \beta * S_{ном})^2 - P_{ном}^2} = \sqrt{(12 * 0,7 * 1,6)^2 - 17,085^2} = 0 \text{ Мвар}.$$

Формули для розрахунку потужності компенсуючих пристроїв (КП) на різних рівнях напруги:

1. Потужність КП Q_{KH} , що встановлюється в мережі до 1000 В, визначається з умови балансу реактивної потужності на шинах трансформаторної підстанції (ТП):

$$Q_{KH} = Q_n - Q_1 = 12,824 - 0 = 12,824 \text{ МВар}$$

де Q_p - розрахункове реактивне навантаження споживачів 0,4 кВ;

Q_{nn} - реактивна потужність, що передається з мережі 10 кВ на сторону до 1000 В.

2. Потужність КП $Q_{ку}$ в мережі 10 кВ розраховується з умови загального балансу:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_{\phi} = 12,824 - 12,824 - 2,562 = -2,562 \text{ МВар}$$

де $Q_{сист}$ - економічно доцільна реактивна потужність від енергосистеми;

Q_{CD} - реактивна потужність компенсації від синхронних двигунів.

При від'ємному значенні $Q_{\text{кп}}$ компенсація реактивної потужності в мережі 10 кВ не потрібна.

3. Розрахунки для варіантів з $N = N_0 + 1$ і $N = N_0 + 2$ трансформаторами виконуються аналогічно.

Після визначення необхідної потужності КП для кожного варіанту на різних рівнях напруги потрібно провести техніко-економічне порівняння капітальних і експлуатаційних витрат. Оптимальним буде варіант з мінімальними приведеними витратами.

6.2. Вибір кількості, потужності та розташування компенсуючих пристроїв

Для з ТП визначають:

$$Q_{\text{пп}} = \sqrt{(n * K_3 * S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{роз}}^2} \quad \text{та} \quad Q_{\text{кп}} = Q_p - Q_{\text{пп}}.$$

Послугуючись з таблиць 6.1 – 6.3 (Додаток), робиться розрахунок затрат для кожному з варіантів.

Варіант 1.

Втрати в КП:

$$\Delta P_{\text{кн}} = P_{\text{пт}}^{\text{кн}} * Q_{\text{кн}} = 0,0045 * 12425 = 55,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{кв}} = P_{\text{пт}}^{\text{кв}} * Q_{\text{кв}} = 0,003 * 0 = 0 \text{ кВт}.$$

Втрати при передачі $Q_{\text{пп}}$ через трансформатори:

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{Q_{\text{пп}}^2}{U_{\text{ном}}^2} * R_{\text{ск}} = \frac{760,44}{10^2} * 5,86 * 10^{-5} = 0,34 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R_{\text{ск}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} * U_{\text{ном}}^2}{N * S_{\text{ном тр}}^2} = \frac{18 * 10^2}{12 * 1600^2} = 5,86 * 10^{-5}$$

Вартість КП - 0,4 кВ:

$$K_{\text{кн}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{кн}} * K_{\text{кц}}^{0,4} = 15 * 600 * 6,3 * 3 + \dots + 1 * 50 * 5,1 * 3 = 2531250 \text{ грн}$$

Вартість КП - 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB} * K_{KЦ}^{10} = 0 \text{ грн}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} * K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} * K_{КТП(1)} = 5 * 320000 * 3 + 2 * 161000 * 3 = 5766000 \text{ грн}$$

Витрати на компенсацію:

$$3 = (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) * E_H + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) * C_0 * \tau = (2531250 + 0 + 5766000) * 0,12 + (55,9125 + 0 + 0,3388) * 4,475 * 2741 = 13233000 \text{ грн}$$

Витрати на генерацію СД:

$$3_{CD} = 3_0 + 3_1 * Q + 3_2 * Q^2 \quad (6.6)$$

де 3_0 – витрати, що не залежать;

3_1 – витрати на 1 МВар;

3_2 – витрати на 1 МВар²;

Q – потужність СД.

Витрати для N СД:

$$3_0 = E_p * K_p * N; \quad (6.7)$$

$$3_1 = C_0 * \left(\frac{D_1}{Q_H} + \frac{2 * D_2 * Q_{ПП}}{Q_{ном}^2 * N} \right); \quad (6.8)$$

$$3_2 = C_0 * \frac{D_2}{Q_{ном}^2 * N}, \quad (6.9)$$

де K_p – вартість регулятора;

E_p – відрахування

D_1, D_2 – постійні, що залежать від двигуна.

Отже:

$$3_0 = E_p * K_p * N = 0,12 * 50000 * 2 = 12000 \text{ грн}$$

$$3_1 = C_0 * \left(\frac{D_1}{Q_H} + \frac{2 * D_2 * Q_{ПП}}{Q_{ном}^2 * N} \right) = 4,475 * \left(\frac{4,25}{6,27} + \frac{2 * 6,27 * 0}{1,549 * 2} \right) = 25,8 \text{ грн}$$

$$3_2 = C_0 * \frac{D_2}{Q_{ном}^2 * N} = 4,475 * \frac{6,27}{1,549 * 2} = 5,7 \text{ грн}$$

$$3_{CD} = 3_0 + 3_1 * Q + 3_2 * Q^2 = 12000 + 25,83 * 0 + 5,8 * 0^2 = 12000 \text{ грн}.$$

Розглянуто декілька альтернативних варіантів компенсації на різних рівнях напруги і з різною кількістю трансформаторів.

Для кожного варіанту розраховано необхідну потужність компенсуючих пристроїв на стороні 10 кВ та 0,4 кВ.

Виконано техніко-економічне порівняння варіантів за критерієм мінімуму приведених витрат (капітальних і експлуатаційних). Результати розрахунку відображено в таблиці 6.1-6.3 (Додаток).

За результатами такого порівняння обрано найбільш економічно вигідний варіант №2.

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ

7.1 Вибір трансформаторів ГПП

Зазвичай ГПП виконують двотрансформаторною для забезпечення надійного електропостачання споживачів.

Потужність трансформаторів ГПП визначається за формулою (7.1):

$$S_{TP} = \frac{S_p}{1,4}, \quad (7.1)$$

де S_p - розрахункова повна потужність навантаження підприємства.

Для прикладу: $S_p = 45 \text{ МВА} = 45000 \text{ кВА}$ $S_{ГПП} = 1,4 * 45000 = 63000 \text{ кВА}$

Отже, приймається до встановлення два трансформатори типу ТДН-16000/35/10 потужністю по 16000 кВА кожен, напругою 35/10 кВ, з втратами потужності $\Delta P_x = 32 \text{ кВт}$, $\Delta P_k = 115 \text{ кВт}$, $I_x = 0,75\%$, $U_k = 10\%$.

Завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 * S_H} = \frac{16381}{2 * 16000} = 0,512$$

При виході з ладу одного трансформатора, забезпечується живлення навантаження $S_{ав} = 16000 \text{ кВА} = 16 \text{ МВА}$

$$S = 1,4 * S_H = 1,4 * 16 = 22,4$$

В аварійному режимі Коефіцієнт завантаження:

$$K_3^{ав} = \frac{S_p}{S_{H.T}} = \frac{16371}{16000} = 1,023.$$

Таким чином визначено потужність, тип і кількість трансформаторів для ГПП, а також їх режими роботи в нормальних і аварійних ситуаціях. Це важливо для забезпечення надійності електропостачання.

7.2. Вибір трансформаторів та місця цехових трансформаторних підстанцій

При перевазі I та II категорій електроприймачів, а також при великій щільності навантаження $S_{\text{шт}}$ застосовують Двотрансформаторні підстанції.

Номер трансформаторів N_{TP} :

$$N_{TP} = \frac{S_P}{k_3 * S_{\text{НОМ.Э}}}, \quad (7.3)$$

де $S_{\text{НОМ.Э}}$ – ном. потужність трансформатора.

У залежності від питомої щільності навантаження:

- $S_{\text{НОМ.Э}} = 1000 \text{кВ} * A$,
- $S_{\text{НОМ.Э}} = 1600 \text{кВ} * A$,
- $S_{\text{НОМ.Э}} = 2500 \text{кВ} * A$.

А при $S_{\text{шт}} \geq 0,4 \text{кВ} * A / \text{м}^2$ годиться послуговуватися двотрансформаторні підстанції.

Позаяк питома потужність являє $S_{\text{шт}} = 13454/50688 = 0,26 \text{кВА}/\text{м}^2$, то оберемо до встановлення трансформатори по $S = 1600 \text{кВА}$.

Потужність трансформаторів підстанції визначається з умови:

$$S_{\text{НОМ}} \geq 0,25 * S_{\text{н1}} - \text{штовхового навантаження.}$$

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_{\text{роз}}}{K_1} - \text{частого перевантаження.}$$

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_{\text{роз}}}{K_2} - \text{аварійного перевантаження.}$$

При 2-змінному режимі $K_1 = 1,08$; температура $\Theta_{\text{охол}} = 10^0 \text{C}$.

Коефіцієнт аварійного перевантаження $K_2 = 1,4$.

Беруться до встановлення КТП-10/0,4кВ - комплектні трансформаторні внутрішнього встановлення.

Обрання ТП зображено у вигляді таблиці 7.1 (Додаток).

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ І ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ

Значення періодичної складової КЗ струму:

$$I_{no} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot x_{рез.б}}, \quad (8.1)$$

де E_{Σ}'' - надперехідна ЕРС;

$x_{рез.б.}$ - базисний опір.

КЗ живиться від нескінченної потужності:

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

Ударний КЗ струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} \right), \quad (8.2)$$

де T_a - стала затухання КЗ струму: $T_a = \frac{x_{рез}}{r_{рез}}$, $x_{рез}, r_{рез}$ - опори КЗ кола.

Опори схеми електропостачання:

- енергосистеми:

$$x_c = \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{\kappa}}, \quad (8.3)$$

- синхронних і асинхронних двигунів генераторів:

$$x_{ген,комп} = \frac{x_{d,\%}''}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}} \quad (8.4)$$

$$x = \frac{1}{I_{пуск}} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}} \quad (8.5)$$

- трансформаторів:

$$x_{тр} = \frac{u_{\kappa,\%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}} \quad (8.6)$$

- тр. з розгалуженою обмоткою НН:

$$x_{BH} = 0,125 \cdot \frac{u_{\kappa, \%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}} \quad (8.7)$$

$$x_{H1} = x_{H2} = 0,125 \frac{u_{\kappa, \%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}}$$

- 3-обмоточних тр-рів

$$x_{BH} = \frac{u_{\kappa(BH), \%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}},$$

$$x_{CH} = \frac{u_{\kappa(CH), \%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}}, \quad (8.8)$$

$$x_{HH} = \frac{u_{\kappa(HH), \%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{S_{ном}},$$

○ реакторів: $x_p = \frac{x_{p, \%}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{o}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{ном} \cdot U_{cp}}, \quad (8.9)$

- ліній:

$$x = x_o l \frac{U_{\bar{o}}^2}{U_{cp}^2} \quad (8.10)$$

де $U_{\bar{o}}$ - базисна напруга; U_{cp} - сер. номінальна напруга; $S_{ном}$ - номінальна; $I_{ном}$ - ном. струм; $S_{кз}$ - потужність КЗ системи; $x''_{d, \%}$ - надперехідний опір; $I_{пуск*}$ - кратність струму пускового; $x_{p, \%}$ - опір реактора; $U_{\kappa, \%}$ - напруга КЗ тр.; x_o - опір лінії. КЗ струм дорівнює надперехідному.

Перед проведенням обчислень струмів короткого замикання, необхідно скласти схематичне зображення (рис. 8.1), на якому позначені вузли, в котрих потрібно визначити величини відповідних струмів. На еквівалентній схемі заміщення (рис. 8.2), що використовується для розрахунків струмів короткого замикання, всі елементи електричного кола представлені опорами.

Вихідними даними, необхідними для здійснення розрахунків, виступають наступні параметри:

$$\text{системі } x_{сист} = \frac{U_c}{\sqrt{3} * I_{кз}} = \frac{35}{\sqrt{3} * 15,17} = 1,33;$$

повітряній лінії АС 150/19 $r_0 = 0,195 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$, і $x_0 = 0,419 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ довжина $L = 3 \text{ км}$;

трансформатору ТДНС 16000/35 $S_{ном} = 16 \text{ МВА}$, $U_{ном} = 35 \text{ кВ}$, $U_{к\%} = 46,5$.

Розрахунок КЗ струмів показано в Додатку.

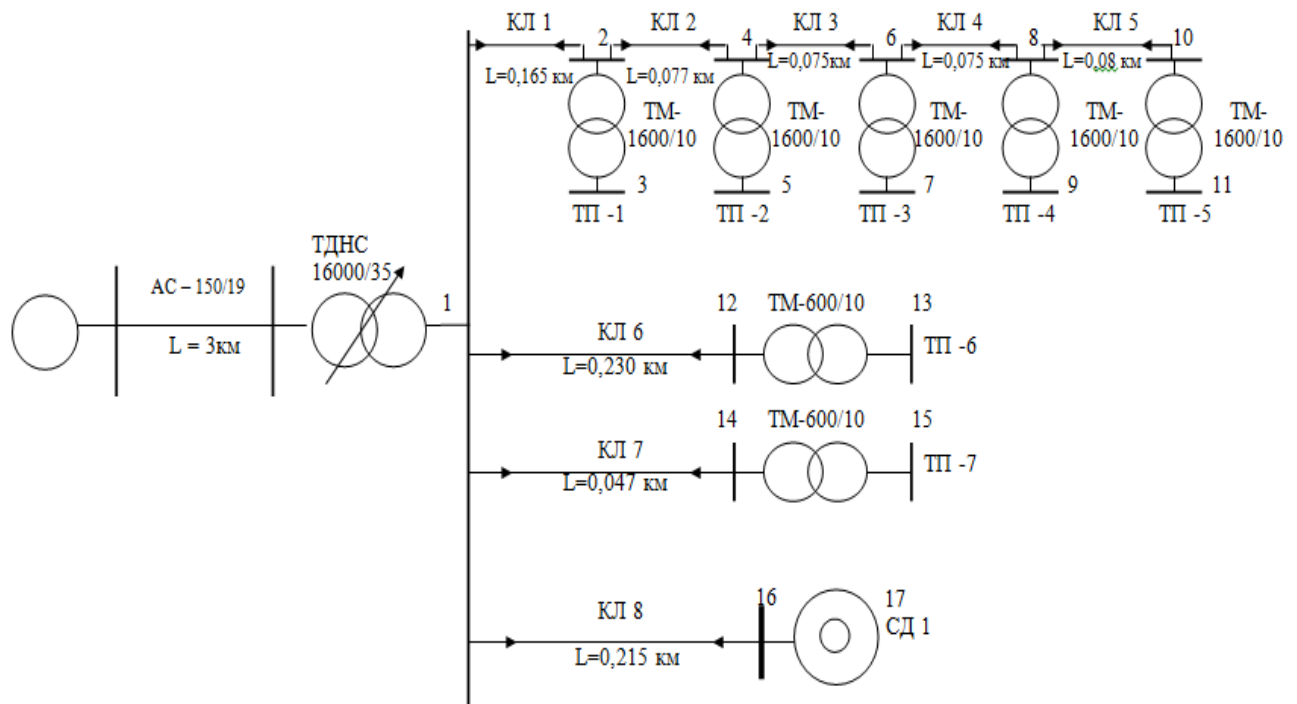


Рис. 8.1. схема для визначення КЗ струмів

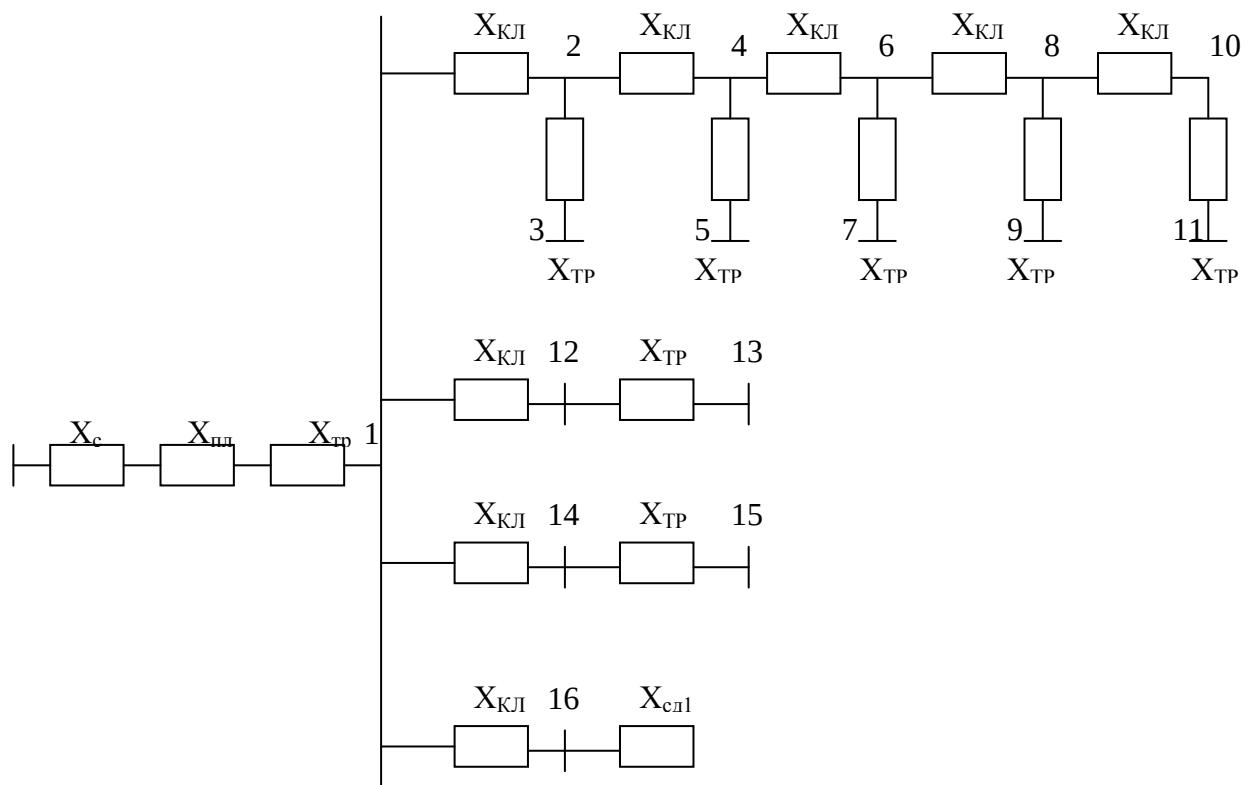


Рис.8.2. Схема заміщення по обчисленню величин струмів КЗ.

8.1. Вибір кабелю напругою 10 кВ для високовольтної мережі

Економічно вигідний переріз кабелю визначається за формулою:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (8.11)$$

тут I_p - розрахункова величина струму;

$j_{ек}$ - значення економічної густини струму.

Обраний переріз має задовольняти вимоги щодо допустимого нагрівання струмом:

$$I_p \leq K_n \cdot I_{доп} \quad (8.12)$$

де $I_{доп}$ - гранична величина тривалого допустимого струму з урахуванням нагрівання;

K_n - поправочний коефіцієнт, що враховує кількість працюючих кабелів, розміщених поряд у ґрунті.

Перевірка площі перерізу кабелю здійснюється в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} \leq K_{ан} K'_n I_{доп} \quad (8.13)$$

тут K_n - коефіцієнт, що залежить від кількості кабелів;

$K_{ав}$ - коефіцієнт аварійного перевантаження;

$I_{ав}$ - величина струму в аварійному режимі.

Площа перерізу кабелю також має відповідати вимогам термічної стійкості:

$$F_{мін} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} \quad (8.15)$$

де C - термічний коефіцієнт, що залежить від матеріалу жили кабелю та рівня напруги. Для алюмінієвих кабелів при напрузі 10 кВ він становить $94 A \cdot s^{(1/2)} / \text{мм}^2$, а для мідних жил - $143 A \cdot s^{(1/2)} / \text{мм}^2$.

B_k - тепловий імпульс, який визначається за формулою:

$$B_k = I_{н.о.}^2 (t_{отк} + T_a) \quad (8.15)$$

Необхідно вибрати кабель для лінії КЛ-1, що з'єднує головний знижувальний пункт (ГЗП) та трансформаторну підстанцію ТП-1 на рис. 8.1.

Для цього потрібно розрахувати площу перерізу кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{324}{1,4} = 231 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{11781}{4 * \sqrt{3} * 10,5} = 162 \text{ А},$$

$$\text{при } T_{\max} = 4354 \text{ год} - J_{ек} = 1,4.$$

Для лінії КЛ-1 вибирається кабель марки ААШв з площею перерізу 3х185 мм². Для нього виробником вказане значення допустимого струму І_{доп}.

Перевірка обраного кабелю на відповідність допустимому струмовому навантаженню здійснюється таким чином:

$$I_p \leq I_{дон},$$

$$I_{дон} = K_{\Pi} * I'_{дон},$$

тут К_{зн} - коефіцієнт, що враховує зниження гранично допустимого струмового навантаження для конкретних умов прокладання кабелю.

$$I_{дон} = 0,84 * 310 = 260 \text{ А}$$

$$162 \text{ А} \leq 260 \text{ А}.$$

Перевірка за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{ав} \leq K_{ан} * I_{дон},$$

$$324 \leq 0,92 * 1,25 * 310$$

$K_{ав}$ – коефіцієнт аварійного перевантаження, 1,25.

За умови попереднього навантаження кабелю перевірка здійснюється за формулою:

$$K_3 = \frac{I_p}{K_{\Pi} * I_{дон}} = \frac{162}{0,84 * 310} = 0,62.$$

Визначення мінімально необхідної площі перерізу кабелю з урахуванням вимог термічної стійкості проводиться таким чином:

$$F_{\min} = F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{66,46 \cdot 10^6} = 86,8 \text{ мм}^2,$$

де B_k - величина теплового імпульсу, що дорівнює
 $B_k = I_{п.о.}^2 (t_{отк} + T_a) = 7,341^2 (1,2 + 0,033) = 66,47 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

Вибір інших кабелів для системи електропостачання здійснюється аналогічним способом. Результати відповідних розрахунків зводяться до таблиці 8.1, яка наведена у Додатку.

8.2.1. Вибір вимикачів

Вибір вимикачів здійснюється за такими параметрами:

Рівень напруги: (8.16)

$$U_{вст} \leq U_{ном} \quad (8.16)$$

Величина тривалого струму: (8.17)

$$I_{норм} \leq I_{ном}; I_{робфоре} \leq I_{ном}. \quad (8.17)$$

Перевірка на струм відключення проводиться за формулою: (8.18)

$$I_{п.т} \leq I_{відкном}. \quad (8.18)$$

Оцінка здатності вимикача відключати аперіодичну складову струму короткого замикання: (8.19)

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} * I_{відк.ном} * (1 + \beta_n), \quad (8.19)$$

Тут $i_{а.ном}$ - номінальне значення аперіодичної складової струму відключення;

$i_{а.т}$ - аперіодична складова струму КЗ;

t - час, що минув з моменту виникнення КЗ.

Під час розрахунків з'ясувалось, що для кабельних ліній КЛ 5-8 обрані перерізи не задовольняють вимогам щодо теплового імпульсу, тому їх площі збільшено до 95 мм². (8.20)

$$\tau = t_{з.мін} + t_{в.в} \quad (8.20)$$

де $t_{р.з.} = 0,01 \text{ с}$ - мінімальний час спрацьовування релейного захисту;

$t_{в.в.}$ - час відключення вимикача.

Перевірка відключаючої спроможності за повним струмом КЗ: (8.21)

$$(\sqrt{2} I_{п.т} + i_{а.т}) \leq \sqrt{2} I_{відк.ном} (1 + \beta_n) \quad (8.21)$$

Перевірка включаючої здатності вимикача:

$$i_y \leq i_{вкл}; I_{н.о.} \leq I_{вкл}, \quad (8.22)$$

де $i_{уд}$ - величина ударного струму короткого замикання, на який розрахований вимикач;

$i_{п.п.}$ - початкове значення періодичної складової струму КЗ;

$I_{вкл.ном}$ - номінальний струм, при якому забезпечується успішне включення вимикача;

$I_{вкл.мах}$ - максимальний струм, який вимикач здатний включити.

Перевірка електродинамічної стійкості вимикача виконується за умовою:

(8.23)

$$I_{н.о.} \leq I_{гр.ск}; i_y \leq i_{гр.ск} \quad (8.23)$$

Оцінка термічної стійкості проводиться шляхом розрахунку теплового імпульсу КЗ: (8.24)

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер} \quad (8.24)$$

де $I_{тер}$ - струм термічної стійкості вимикача;

$t_{тер}$ - час протікання струму термічної стійкості.

На вводі 35 кВ головного знижувального пункту (ГЗП) передбачається встановлення вимикачів типу ВМК-35Б. Результати розрахунків щодо вибору цих вимикачів наведені в таблиці 8.2 Додатку.

$$I_{ном} = \frac{S_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17270}{\sqrt{3} \cdot 35} = 284,9 \text{ А},$$

$$I_{робфор} = 2 \cdot I_{ном} = 2 \cdot 284,9 = 569,9 \text{ А}.$$

На вводі 10 кВ встановлюються вакуумні вимикачі моделі ВВЕ-10-20/1000УЗ.

Розрахунки щодо вибору даних вимикачів наведені в таблиці 8.3 Додатку.

$$I_{норм} = \frac{S_{розр}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17270}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 474,8 \text{ А}$$

$$I_{тех} = 2 \cdot I_{норм} = 2 \cdot 474,8 = 949,6 \text{ А}.$$

Аналогічні вимикачі встановлені також на лініях, що підключають трансформаторні підстанції (ТП) та розподільчі пункти (РП).

Для розміщення вимикачів використовуються комірки комплектних розподільчих пристроїв типу КУ-10 внутрішньої установки, виготовлених підприємством РЗВА.

Параметри шафи з вимикачами ШВВ-Е-10-20-1000:

Номинальний рівень напруги - 10 кВ;

Номинальна величина струму - 1000 А;

Стійкість головних кіл при протіканні струмів наскрізного КЗ:

- за тепловим імпульсом - 20 кА;

- за електродинамічною дією - 51 кА;

Номинальний струм відключення наведено в каталозі виробника.- 20 кА.

8.3. Вибір роз'єднувачів

Вибір роз'єднувачів для напруги 35 кВ здійснюється за результатами розрахунків, наведених у табличній формі (таблиця 8.4, Додаток Б). На підставі проведених розрахунків для встановлення прийнято роз'єднувачі типу РНДЗ-2-35/1000.

У комірках розподільчих пристроїв на напрузі 10 кВ передбачена установка роз'єднувачів моделі РВО-10/1000.

8.4. Вибір вимикачів навантаження

Для комутації навантаження обирається вимикач типу ВНПЗ-17 в комплекті із запобіжником ПК-10/100.

Результати розрахунків та обґрунтування вибору даного вимикача навантаження наведені у вигляді таблиці 8.5, що міститься в Додатку.

$$I_{\max} = 1,4 * \frac{S_{\text{номТР}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = 1,4 * \frac{1600}{\sqrt{3} * 10} = 92,44.$$

8.5. Вибір розрядників

Встановлення вентильних розрядників є необхідним заходом для захисту від перенапруг, спричинених атмосферними розрядами та внутрішніми комутаційними процесами.

Зі сторони напруги 35 кВ передбачається монтаж розрядників типу РВМ-35 з такими параметрами:

Номінальний рівень напруги - 35 кВ;

Максимально допустима напруга - 40 кВ;

Напруга пробою - $75 \leq U_{np} \leq 90 \text{ кВ}$;

Імпульсна пробивна напруга розрядника - 110 кВ.

На стороні 10 кВ для захисту трансформаторів напруги встановлюються розрядники РВП-10 з характеристиками:

Номінальна напруга - 10 кВ;

Гранично допустима напруга - 12 кВ;

Напруга пробою - $26 \leq U_{np} \leq 30,5 \text{ кВ}$;

Імпульсна пробивна напруга - 80 кВ.

8.6. Вибір трансформаторів власних потреб

Розрахункове навантаження на трансформатор визначається за формулою:

$$S_{розр} = K_C * \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)},$$

де K_C - коефіцієнт попиту (його значення наведено в таблиці 8.6).

Вибір потужності трансформатора здійснюється з урахуванням розрахункового навантаження за умовою:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4}$$

Таблиця 8.6. Навантаження потреб власних

№ п/п	Споживач	Потужність, кВт
1	Електродвигуни - обдуб трансформаторів	4*1,5
2	Обігрів вимикачів	1,75*3
3	Обігрів КРП комірок	7*1
4	Освітлення КРП	8
5	Навантаження - оперативні кола	2
Всього		28,2

Розрахункова потужність, необхідна для живлення власних потреб підстанції, визначається за виразом:

$$S_{розр} = K_C * \sqrt{(P_{встp}^2 + Q_{встp}^2)} = 0,8 * \sqrt{28,25^2 + 0^2} = 22,6 \text{кВ} * \text{А}$$

Сумарна потужність, на яку слід розрахувати трансформатор, з урахуванням власних потреб:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{28,25}{1,4} = 20,19 \text{кВ} * \text{А}$$

На підставі отриманого значення $S_{тр}$ обирається трансформатор моделі ТМ-40/10 з такими параметрами:

$S_{ном} = 40 \text{ кВА}$, $U_{вн} = 10 \text{ кВ}$, $U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}$, $U_K = 4,6\%$, $I_{xx} = 3\%$, $\Delta P_{xx} = 0,16 \text{ кВт}$, $\Delta P_K = 0,9 \text{ кВт}$.

завантаження:

$$K_z = \frac{S_{роз}}{S_{ном}} = \frac{22,6}{40} = 0,6.$$

9. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ: ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

- В країнах ЄС на освітлення витрачається 15-20% від загального споживання електроенергії.
- В Україні витрати електроенергії на освітлення приблизно в 1,5 рази вищі, ніж у середньому в країнах ЄС.

Така різниця може бути пов'язана з застарілими та неефективними системами освітлення, більш високою питомою вагою промисловості в енергоспоживанні, нижчими стандартами енергоефективності будівель тощо.

Впровадження сучасних енергоефективних освітлювальних пристроїв та оптимізація систем освітлення може допомогти Україні значно скоротити ці надмірні витрати на освітлення та наблизитися до середньоєвропейських показників.

Джерела світла підрозділяють на 3 групи (рис. 9.1).

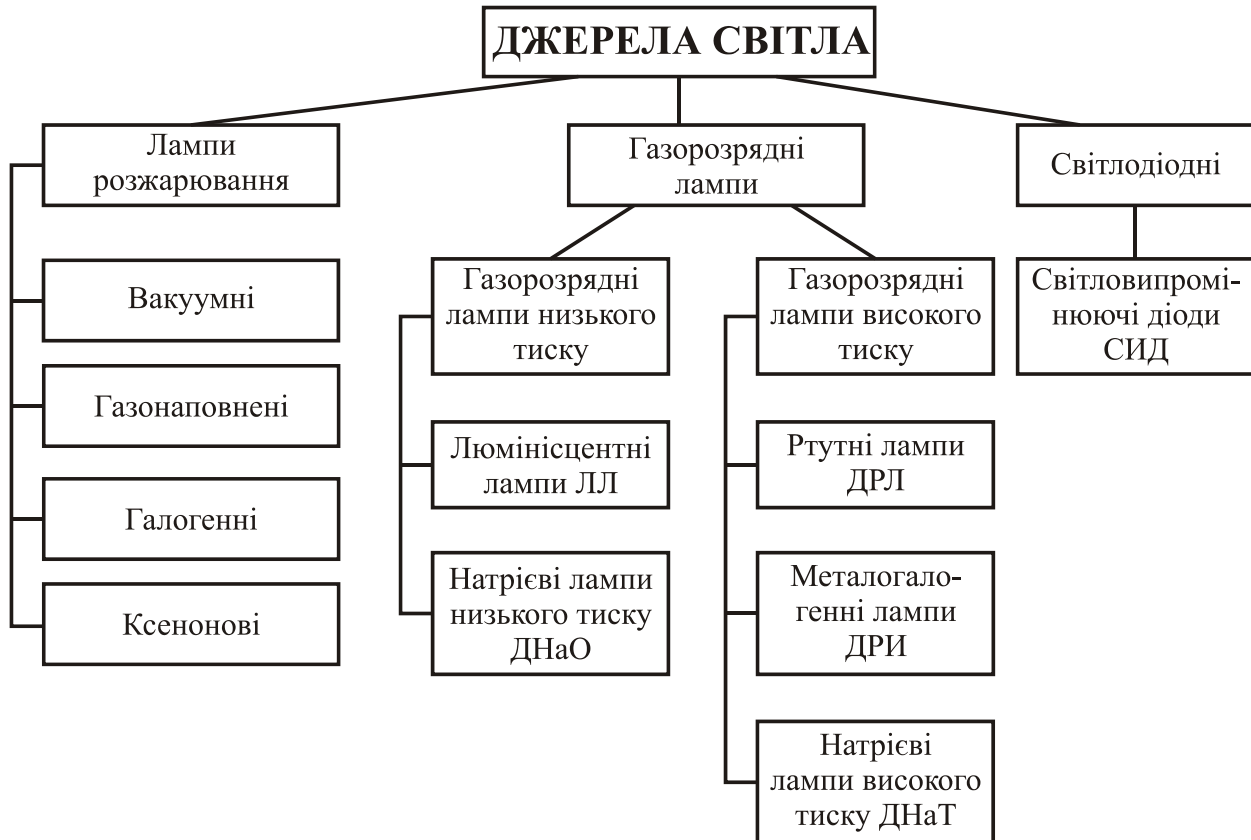


Рис. 9.1. Систематизація джерел світла

- При проектуванні систем освітлення важливо враховувати особливості різних джерел світла, такі як спрямування світлового випромінювання, розміщення світильників та можливість керування їх роботою.
- Перед впровадженням енергоефективного світлодіодного освітлення необхідно провести комплексні дослідження та порівняння техніко-економічних характеристик різних типів джерел світла.

Принцип роботи напівпровідникових джерел світла

Світлодіодні лампи вважаються одним з найбільш перспективних типів енергоефективних джерел світла.

Світлодіоди є напівпровідниковими джерелами світла, в яких світлове випромінювання створюється на p - n переході внаслідок рекомбінації електронів та дірок.

Якщо до p - n переходу прикласти пряму напругу, то електричне поле спричинить рух електронів і дірок, які при рекомбінації випускатимуть фотони, створюючи світлове випромінювання.

Ви також навели ілюстрацію (рис. 9.2), яка демонструє принцип роботи світлодіода на p - n переході.

Якщо до p - n переходу приложити пряму напругу (рис. 9,2 а), то електрони і «дірки» будуть рекомбінувати видаючи фотони (рис. 9.2 б).

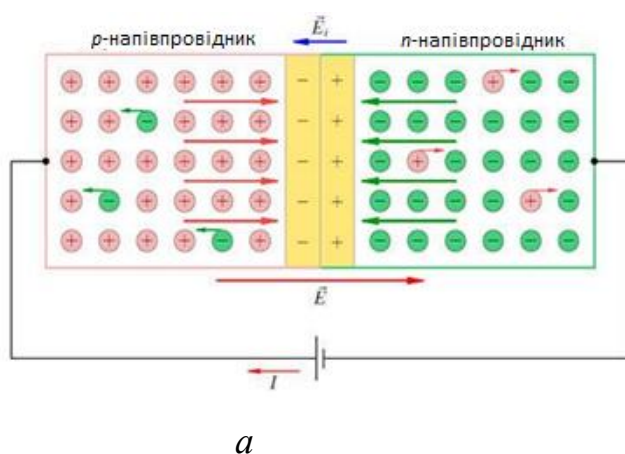


Рис. 9.2. Конструкція світлодіоду: *а* – пряме включення p - n переходу; *б* – влаштування світло діоду

Схеми включення світлодіодів відображено на рис. 9.3 а.

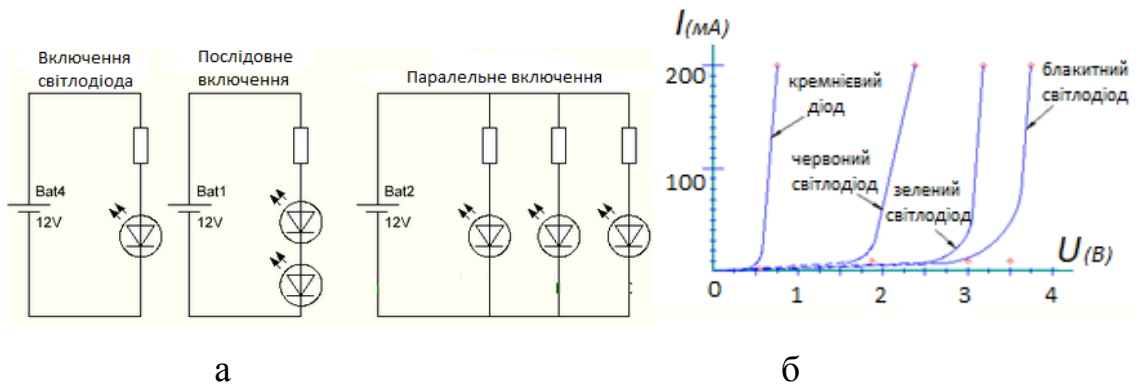


Рис. 9.3. Схеми включення (а) та ВАХ зеленого, червоного і блакитного світлодіодів (б)

- Робоча напруга світлодіодів залежить від їх кольору випромінювання. Наприклад, червоні світлодіоди потребують близько 2 В, а сині - близько 4 В (рис. 9.3 б).
- Незалежно від кольору, більшість світлодіодів потребують робочий струм в діапазоні 20-30 мА.
- Вольт-амперна характеристика (ВАХ) світлодіодів є нелінійною і за формою подібна до ВАХ кремнієвого діоду (рис. 9.3 б).
- Ви також навели ілюстрацію (рис. 9.4) конструкції світлодіодної лампи з вбудованим драйвером, який забезпечує необхідні параметри живлення світлодіодів.

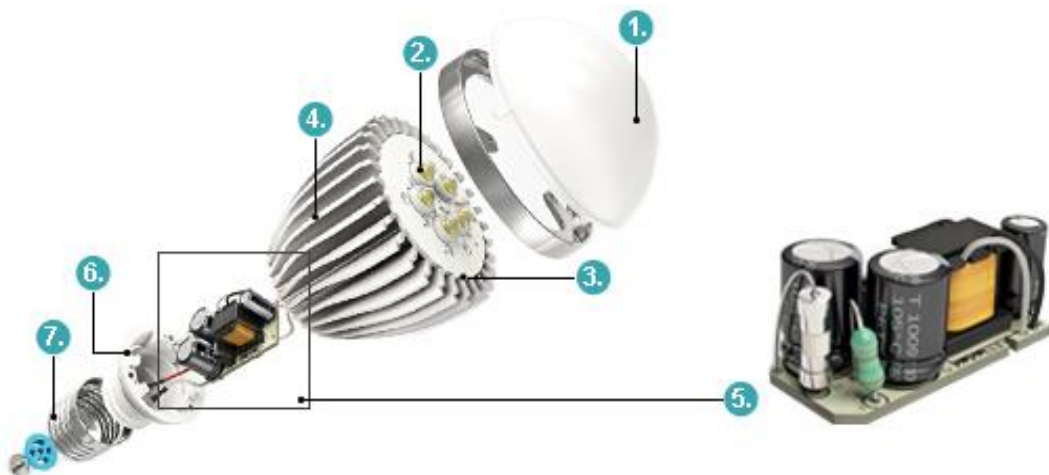


Рис. 9.4. Конструктив світлодіодної лампи: 1 – розсіивач; 2 – світлодіод; 3 – плата; 4 – радіатор; 5 – драйвер світлодіодів; 6 – корпус драйвера; 7 – цокіль.

1. Для живлення світлодіодів від мережі 220В змінного струму необхідно знизити рівень напруги та перетворити її на постійну напругу потрібної величини.

2. На схемі 9.5 показано приклад схемного рішення, де конденсатори C2, C3 і резистор R1 призначені для зниження напруги до рівня, необхідного для світлодіодів.

3. Конденсатор на змінному струмі виконує функцію "гасіння" напруги, тобто зменшення її амплітудного значення.

4. Після зниження напруги необхідно також виконати перетворення змінного струму на постійний для живлення світлодіодів постійною напругою потрібного рівня.

Отже, в схемі реалізовано два основні завдання - зниження рівня напруги та перетворення її з змінного струму на постійний для забезпечення коректного живлення світлодіодів від звичайної мережі 220В змінного струму.

На рис. 9.5. C2, C3 і R1 - для зниження напруги.

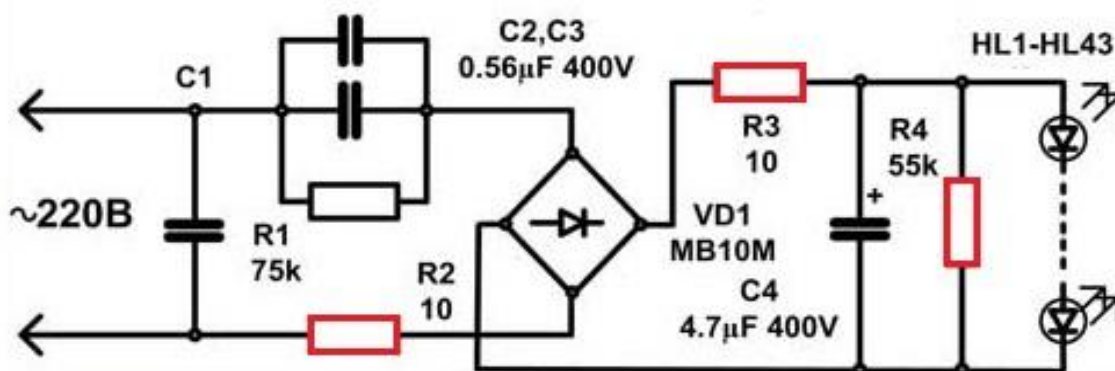


Рис. 9.5. схема драйвера лампи

Підсумуємо ключові моменти:

1. Для випрямлення змінної напруги використовується діодний міст VD1, а для згладжування пульсацій - конденсатор C4.

2. Резистори R2 і R3 обмежують струм через світлодіоди до безпечних рівнів. Резистор R4 забезпечує розряд конденсатора C4 після відключення від мережі.

3. Конденсатор С1 призначений для запобігання проникненню завад від лампи назад у мережу.

4. Для отримання різних кольорів світла можна використовувати окремі світлодіоди різних кольорів або трикристальні білі світлодіоди, що поєднують кристали червоного, синього та зеленого світіння.

5. Для білих світлодіодів, які використовуються для освітлення, актуальними є показники колірної температури та індексу передачі кольору Ra. Виробники декларують Ra до 75-85.

Порівняння джерел світла

При виборі джерел світла важливо ретельно проаналізувати переваги та недоліки різних типів джерел світла. На рисунку 9.6 наведено порівняльні характеристики напівпровідникових та традиційних джерел світла.



Рис. 9.6. Види світлодіодних ламп: *а* – лампи розжарення та люмінесцентні: 1, 2 – лампи розжарення; 3 – люмінесцентна спіраль; 5 – світлодіодна лампа 6 – світлодіодна лампа; *б* – трубчасті лампи; *в* – цокольна

Світлодіодні прилади мають цоколі, що дозволяє замінювати всі типи освітлювальних пристроїв., виходячи з порівняння їх характеристик (табл. 9.2).

Таблиця 9.2. характеристики ламп

Типи ламп		Середній термін служби (годин горіння)	ККД пристрою	Ефективність (лм/Вт)	Зменшення світлового потоку до кінця служби лампи	Температура експлуатації	Гар. термін	Обслуговування в процесі експлуатації 5 років
Розжарювання		1000	0,1	4-6	40-60%	-50...+70	Немає	Заміна ламп
Ртутна високого тиску		4000	0,85	20-24	40-60%	-40...+40	Немає	Заміна ламп і ПРА
Флуоресцентні		8000	0,85	26-29	40-50%	+10...+40	Немає	Заміна ламп і ПРА
Енергозберігаюча		8000	0,5-0,85	18-22	15-30%	-20...+40	3 міс.	Заміна ламп
Натрієва високого тиску		2000	0,85	42-50	40-60%	-20...+40	Немає	Заміна ламп і ПРА
Металогалогенна		8000	0,65-0,8	24-36	15-20%	-20...+40	Особливі умови	Заміна ламп і ПРА
Світлодіодна		60 000	0,95	95-123	20-30%	-60...+60	2 роки	Технологічне очищення
Індукційна LVD		100 000	0,9	80-110	10-15%	-42...+50	5 років	Технологічне очищення

Основні переваги світлодіодного освітлення:

1. Економічність;
2. Довгочасність;
3. Надійність – світлодіоди працюють за температур від -55°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
4. Компактність;
5. Високий рівень світловіддачі;
6. Мала інерційність;
8. Світлодіоди можуть забезпечити теплий, нейтральний, холодний, денний діапазон;
9. Відсутність пульсацій та мерехтіння;
10. Екологічність (відсутність ртуті);
11. Заощадження електроенергії та високий ККД.

У табл. 9.3 (Додаток) - світлотехнічні характеристики джерел.

Світлодіодні драйвери. Димірування

Світлодіодний драйвер - перетворює джерело напруги в джерело струму і дає сталий струм для живлення світлодіодів, а також захищає їх від коливань напруги.

Димер - формує частотні імпульси для регулювання яскравості світла світлодіодної лампи.

Дослідження напівпровідникових джерел світла у навчальних закладах

У навчальних закладах освітлення становить значну частку електроспоживання, Тому важливо забезпечити необхідні рівні освітленості робочих поверхонь парт (400 лк).

Проводились дослідження освітлення в аудиторії з використанням різних джерел світла: ламп розжарювання, люмінесцентних і світлодіодних.

Вимірювання освітленості робочої поверхні парт проводились люксметра LX1010BS.

Результати експериментальних досліджень розподілу освітленості при різних джерелах світла наведені на рис. 9.7.

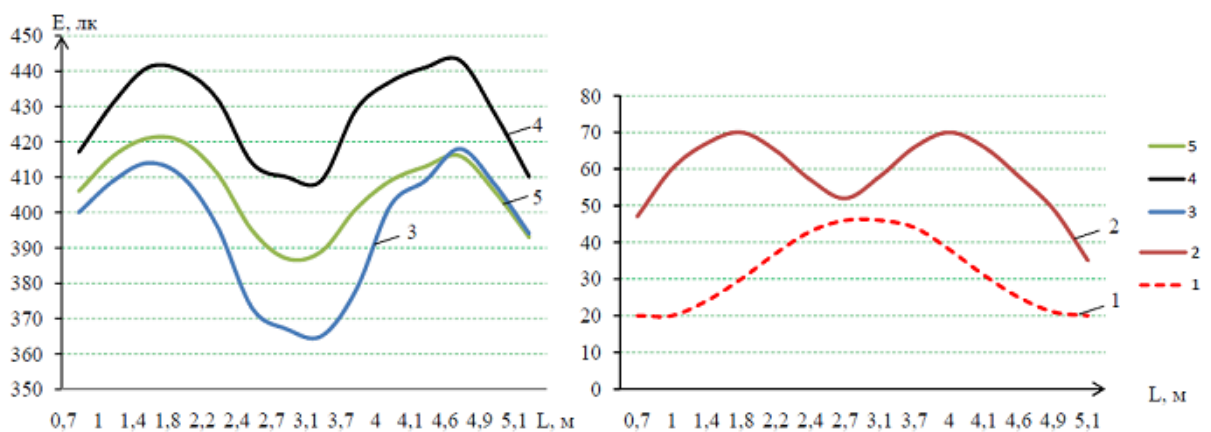


Рис. 9.7. Освітленість поверхні при застосовуванні різних ламп: 1 – лампи розжарення (розташовані в один ряд); 2 – лампи розжарення, у два ряди; 3 – люмінесцентні лампи; 4 – комбіноване у два ряди; 5 – світлодіодні у два ряди.

Результати експериментального дослідження розподілу освітленості робочих поверхонь при використанні різних джерел світла:

1. Дослідження проводилось в аудиторії із зачиненими жалюзіями, базовий рівень освітленості без ввімкнених ламп становив 8 лк.

2. Використання однієї лампи розжарювання, розташованої по центру, забезпечувало низький та нерівномірний розподіл освітленості ($E_{\max 1} < 50$ лк) з великим розкидом $\Delta E_{\max 1}$

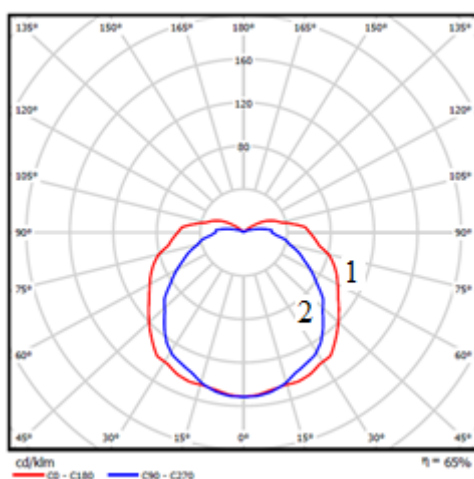
$$\Delta E_{\max 1} = 2 \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \cdot 100 \% = 78,8 \%$$

3. Розміщення ламп розжарювання у два ряди дещо покращило ситуацію ($\Delta E_{\max 2} = 32,1\%$), але рівень $E_{\max 2} \leq 70$ лк все ще був недостатнім.

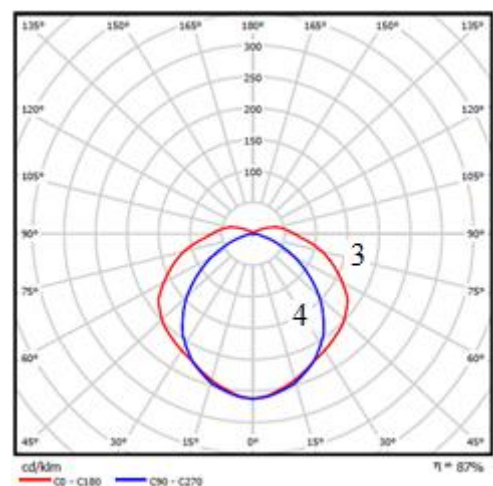
4. Застосування люмінесцентних ламп, розташованих у два ряди, забезпечило нормативний рівень освітленості $E = 390$ лк (крива 3 на рис. 9.7).

5. Нерівномірність освітленості $\Delta E_{\max 3} = 12,8\%$ для люмінесцентних ламп виявилась меншою, ніж для ламп розжарювання, через їх більшу довжину (1,2 м).

6. Найкращі результати, були отримані при використанні світлодіодних ламп (крива 4 на рис. 9.7)



a



б

Рис. 9.8. Розподіл сили світла від кута світлопотоку (криві 1,3) та впоперек осі (криві 2,4): *a* – із люмінесцентною лампою ; *б* – із світлодіодною лампою.

1. Одним з недоліків люмінесцентних ламп є мерехтіння з частотою 100 Гц.
2. Світлодіодні лампи забезпечують більш рівномірне поле освітленості ($\Delta E_{\max} = 7,4\%$) завдяки використанню лінз розсіювання (рис. 9.8б).
3. Кутові характеристики світлорозподілу люмінесцентних і світлодіодних ламп схожі за формою (рис. 9.8а,б), проте сила світлового потоку світлодіодної лампи (130-260 кд) вдвічі перевищує люмінесцентну (80-155 кд).
4. Світловий конус у світлодіодних ламп є ширшим порівняно з люмінесцентними.
5. Недоліками світлодіодних ламп є наявність блакитної складової у відбитому світлі та вища вартість порівняно з люмінесцентними лампами.
6. Результати досліджень спектрів світлодіодних ламп виявили наявність небезпечних для сітківки ока блакитних та ультрафіолетових хвиль (рис. 9.9-9.10).
7. Через це застосування світлодіодних ламп у навчальних аудиторіях, де працюють молоді люди до 23 років, не рекомендується

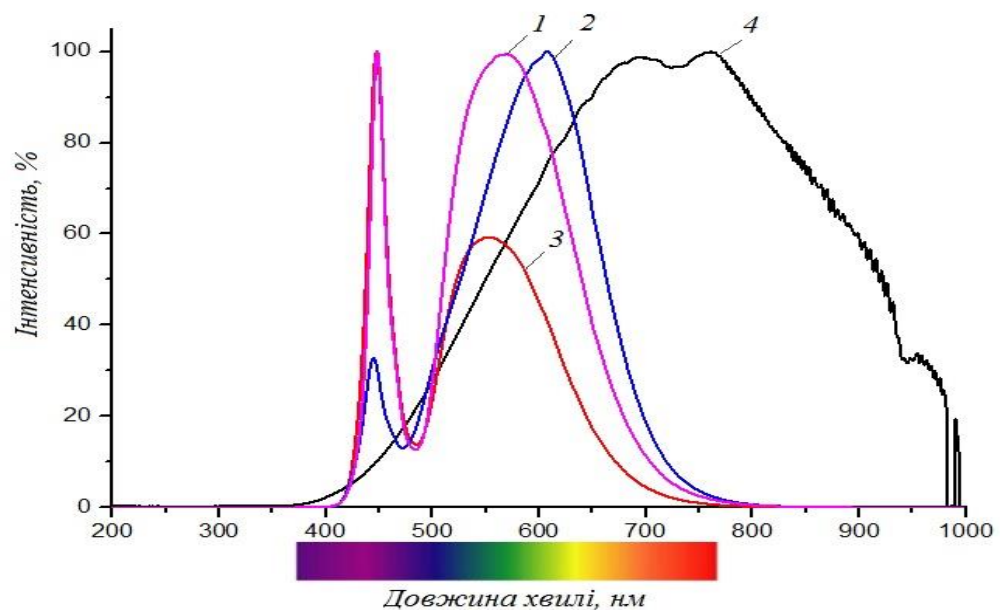


Рис. 9.9. Спектри світлодіодних ламп та розжарення:

1, 2 – світлодіодна лампа, 3 – LED, 4 – лампа розжарення

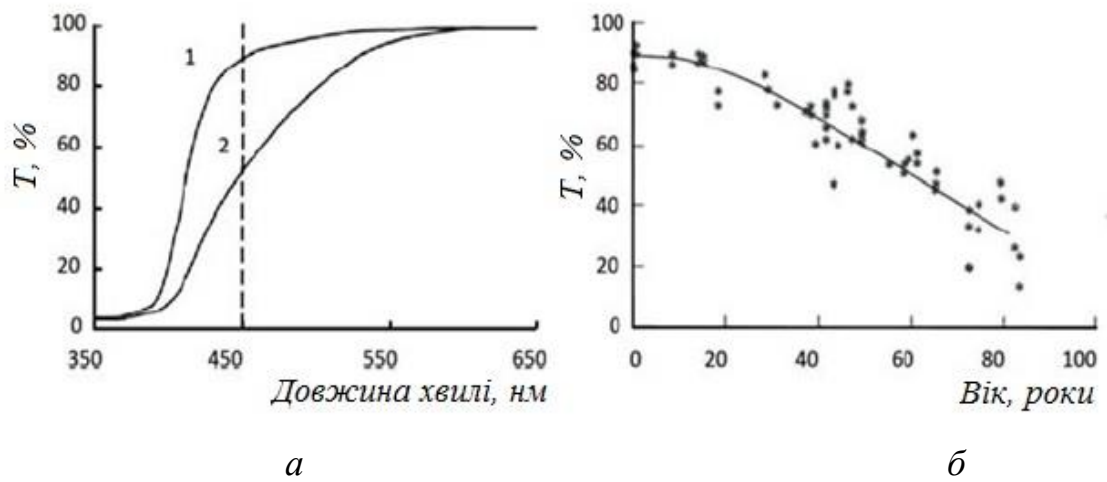


Рис. 9.10 – Спектральні залежності проникнення кришталіка очей: *a* – 5...15-річних та 45...60-річних, вертикаль акцентує різницю в проникненні дорослих (2) та молодих (1), *б* – вікова залежність проникнення.

9. ВИСНОВКИ

1. Була розроблена магістрально-радіальна система електропостачання промислової зони головного корпусу.
2. Розраховано навантаження на 0,4 кВ (12755 кВт) та 10 кВ (16182 кВт) і виконано розподіл на 7 ТП потужністю 1600 кВт кожна.
3. Обґрунтовано вибір повітряної лінії 35 кВ як економічно вигідного варіанту електропостачання.
4. Виконано вибір кількості, потужності та місця розташування комплектних пристроїв для 0,4 кВ і 10 кВ з врахуванням коефіцієнта потужності.
5. Розрахунки струмів короткого замикання дозволили підібрати необхідне високовольтне обладнання.
6. Обґрунтовано системи комерційного та технічного обліку електроенергії, вибрано схеми підключення лічильників, трансформаторів струму та напруги.
7. У спеціальному розділі досліджено світлодіодні лампи як енергоефективні джерела світла, їх переваги та недоліки порівняно з люмінесцентними лампами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / Плешков П.Г. та ін. – МОН України, ЦНТУ. – Кропивницький: ПП "Ексклюзив", 2021. – 209 с.
2. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: навч. посіб. / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А. та ін.; Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко, 2019. – 272 с.
3. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
5. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
6. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.
7. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
8. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
9. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.
10. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.
11. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2006. –153 с.
12. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств / О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, К.Г. Петрова, 2015. – 316 с.

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

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

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

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

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

18. Енергетичний контроль. Методичні вказівки для виконання курсового проекту / Плешков П.Г., Савеленко І.В., Котиш А.І. - Кіровоград: КНТУ, 2009 – 112 с.

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

ДОДАТКИ

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В

№ п/п	Найменування устаткування	п	P _н , кВт		К _и	Cos	tg	Середнє		п _е	К _м	Розрахункові		
			Одного	Сумарна				P _{ср}	Q _{ср}			P _p	Q _p	S _p
	<i>Головний корпус</i>													
1.	Ковальсько - пресове устаткування	270	3,3-50	3296	0,18	0,65	1,17	593,3	693,6					
2.	Металорізальні верстати	806	2,0-15	3538	0,16	0,5	1,73	566,1	980,5					
3.	Верстати поточних ліній	417	7,5-75	6133	0,2	0,65	1,17	1227	1434					
4.	Електричні печі опору	70	34-105	3121	0,6	0,95	0,33	1873	615,5					
5.	Покрасочне устаткування	69	6,0-28	756	0,7	0,65	1,17	529,2	618,7					
6.	Миючі машини	150	2,2-50	1475	0,8	0,8	0,75	1180	885					
7.	Стенди випробовуючі	340	7,5-75	7532	0,2	0,65	1,17	1506	1761					
8.	Очисні барабани, дробарки	25	3,3-50	232	0,5	0,8	0,75	116	87					
9.	Конвеєри	42	5,5-10	265	0,5	0,65	1,17	132,5	154,9					
10.	Підйомно - транспортне устаткування	48	2,2-75	200	0,1	0,5	1,73	20	34,64					
11.	Вентилятори	303	7,5-30,8	3800	0,6	0,8	0,75	2280	1710					
Всього по корпусу			2,2-105	30348	0,33	0,69	1,05	10023	8975	578	1	10023	8975,1	13456
	<i>АБК</i>													
12.	Устаткування	142	1,0-45	737	0,5	0,8	0,75	368,5	276,4					
13.	Вентилятори	79	1,0-15	228	0,6	0,8	0,75	122	92					
Всього по АБК		221	1-45	818	0,6	0,8	0,75	491	368	11	1,2	589	376	693
	<i>Пункт очистки хім. забруднених стоків</i>													
14.	Насоси	29	2,0-30	250	0,8	0,8	0,75	200	150					
15.	Інше устаткування	61	1,0-15	120	0,2	0,65	1,17	24	28,06					
Всього по станції		90	1,0-30	370	0,605	0,73	0,95	224	178,1	24,7	1,14	255,36	178,06	311,31
	<i>Компресорна</i>													
16.	Насоси	21	2,2-30	200	0,8	0,8	0,75	160	120	13,3	1,07	171,2	120	209,07
	<i>Насосна стоків</i>													
17.	Насоси	53	2,0-75	1030	0,8	0,8	0,75	824	618					
18.	Вентилятори	38	1,0-30	225	0,6	0,8	0,75	135	101,3					
Всього			1,0-75	1255	0,764	0,8	0,75	959	719,3	33,5	1,08	1035,7	719,25	1261
	<i>Насосна технічної води</i>													
19.	Насоси	53	2,0-75	1030	0,8	0,8	0,75	824	618					
20.	Вентилятори	38	1,0-30	225	0,6	0,8	0,75	135	101,3					
Всього			1,0-75	1255	0,764	0,8	0,75	959	719,3	33,5	1,08	1035,7	719,25	1261
ВСЬОГО		3055	1-105	34393	0,37	0,75	0,87	12755	11091	698	1	12755	11091	16903

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювального навантаження

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м ²	P _у , кВт	tg	Q _у , кВар	K _с	P _р , кВт	Q _р , кВаар	S _р , кВа
1	Головний корпус	50688	20	1013,76	0,32868	333,207	0,95	963,072	316,547	1013,76
2	АБК	7800	22	145,5	0,32868	56,3	0,9	154,5	50,8	162,5
3	Компресорна	756	15	11,34	0,32868	3,72728	0,7	7,938	2,60909	8,36
4	Насосна стоків	432	15	6,48	0,32868	2,12987	0,7	4,536	1,49091	4,77
5	Пункт очистки хім. забруднених стоків	150	12	1,8	0,32868	0,59163	0,7	1,26	0,41414	1,33
6	Насосна технічної води	432	15	6,48	0,32868	2,12987	0,7	4,536	1,49091	4,77
7	Освітлення території	66812	0,3	20,0436	0,32868	6,58801	0,7	14,0305	4,61161	14,77
Всього		127070		1232,3		405,1				

Таблиця 2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою вище 1000 В

№ п/п	Найменування вузлів навантаження та груп електроприймачів	п	Рном		Ки	Cos	tg	Середнє навантаження		ne	Км	Розрахункове		
			Одног о	Сумар				Рср	Qср			Рр	Qр	Sp
1	ТП 1,2,3,4,5													
	Головний корпус													
	силове	2540	2,2-105	30348	0,33	0,69	1,05	10023	8975	578	1	10023	8975	13454
	освітлювальне							1014	333			963	317	1014
	Всього по цеху							11037	9308			10986	9292	14388
2	АБК													
	силове	221	1,0-45	818	0,6	0,8	0,75	491	366	11	1,2	589	376	693
	освітлювальне							171	56			154	51	171
	Всього по АБК							619	464			743	429	864
	Всього по ТП 1,2,3,4,5													
	силове	2761	1,0-105	31166				10514	9341	594	1	10514	9341	14064
	освітлювальне							1185	389			1117	368	1176
	Всього							11699	9730			11631	9709	15151
	Втрати в трансформаторах ТП 1,2,3,4,5 (9*1600) Кз = 0,81											135,6	705,1	
	Компенсуючі пристрої (КП)												-8500	
	Всього на шинах 10 кВ ТП 1,2,3,4,5											11766	1927	11942
3	ТП 6,7													
	Насосна стоків													
	силове	91	1,0-75	1255	0,76	0,8	0,75	959	719,3	33	1,1	1036	719,3	1261
	освітлювальне							6	2			5	1,5	5,22
	Всього по насосній							965	721,3			1041	720,8	1266
4	Насосна технічної води													
	силове	91	1,0-75	1255	0,76	0,8	0,75	959	719,3	33	1,1	1036	719,3	1261
	освітлювальне							6	2			5	1,5	5,22
	Всього по насосній							965	721,3			1041	720,8	1266
5	Компресорна													
	силове	21	2,2-30	200	0,8	0,8	0,75	160	120	13	1,1	171,2	120	209,1
	освітлювальне							11	4			8	3	8,544

Всього по компресорній												179,2	123	217,4
6	Пункт очищення хім.стоків													
	силове	90	1,0-30	370	0,61	0,73	0,95	224	178,1	25	1,1	255,4	178,1	311,3
	освітлювальне							2	1			1	0,5	1,118
Всього по станції								226	179,1			256,4	178,6	312,4
	Всього по ТП 6,7													
	силове	293	1,0-75	3080				2302	1737	82	1,1	2417	1737	2976
	освітлювальне							25	9			19	6,5	20,08
Всього								2327	1746			2436	1743	2995
Втрати в трансформаторах ТП 6,7 (3*1600) Кз = 0,64												27,46		
Всього на шинах 10 кВ ТП 6,7												2464	387	3103
Всього								940,1	817,9			979,3	807,9	1270
Всього по корпусу														
	силове	3055	1,0-105	34393				12755	11091	699	1	12755	11091	16903
	освітлювальне							1210	398			54	48	72,25
Всього								14980	12306			12809	11139	16975
Втрати в трансформаторах ТП												173,1	902,5	919
Всього по корпусу												12982	12042	17894
Синхронні двигуни (високовольтні) в компресорній		2	1600	3200		0,9	0,48	3200	-1550			3200	- 1550	
Всього												16182	10493	19305
Компенсуючі пристрої (КП)													- 8550	
Всього на шинах 10 кВ												16182	2427	16381

Таблиця 4.1. Таблиця до побудови картограми навантажень

<i>№п/п</i>	<i>Назва підрозділу</i>	<i>t</i>	<i>Pr осв</i>	<i>Pr сил</i>	<i>Pr сил +Pr осв</i>	<i>Pr вис</i>	<i>R</i>	<i>α</i>	<i>Xi</i>	<i>Yi</i>	<i>Pi*Xi</i>	<i>Pi*Yi</i>
1	Головний корпус	0,5	963	10023	10986		84	16	27,2	11,4	298819	125240
2	Пункт очистки хім. стоків	0,5	1,26	255	256		13	1	4,2	23,5	1076	6022
3	АБК	0,5	151	589	743		22	91	50	11,4	41915	8403
4	Компресорна	0,5	8	171	179	3200	11	8	3,2	17,4	573	3115
5	Насосна стоків	0,5	5	1036	1041		26	1	5	9,5	5205	9890
6	Насосна технічної води	0,5	5	1036	1041		26	1	5	13,9	5205	14470
Всього					15239						360067	186014

Таблиця 6.1. Вибір типу та потужності стандартних БК

$S_n \text{ тр} = 1600 \text{ кВ} \cdot \text{А}$

Варіант (1) $N_0 = 12$											
№ КТП	К-сть т-рів	P_p	Q_p	$Q_{пр}$	$Q_{кп}$	К-сть БК	Тип та потужність БК	Сума $Q_{бк}$	$Q_{кп} - Q_{бк}$	K_3	S_p
1,2,3,4,5	9	11780,6	10427,2	760,4	9666,7	19	15*600,2*300,2*50	9700	-33,2	0,818	11780,6
6, 7	2	2463,5	1886,6	0,00	1886,6	9	2*450, 4*200,1*75,2*50	1875	11,66	0,769	2463,6
8	1	979,2	807,9	0,00	807,9	7	4*150,2*100,1*50	850	-42,1	0,612	980,2

Таблиця 6.2. Вибір типу та потужності стандартних БК

Варіант (2) $N_1 = 13$											
№ КТП	К-сть т-рів	P_p	Q_p	$Q_{пр}$	$Q_{кп}$	К-сть БК	Тип та потужність БК	Сума $Q_{бк}$	$Q_{кп} - Q_{бк}$	K_3	S_p
1,2,3,4,5	9	11780,60	10427,19	760,44	9666,75	19	15*600,2*300,2*50	9700	-33,24	0,818101	11780,65
6, 7	3	2463,56	1886,66	2284,83	0,00	0	0	0	0	0,513242	2463,564
8	1	979,27	807,91	0,00	807,91	7	4*150,2*100,1*50	850	-42,1	0,612611	980,1783

Таблиця 6.3. Вибір типу та потужності стандартних БК

Варіант (3) $N_2 = 14$											
№ КТП	К-сть т-рів	P_p	Q_p	$Q_{пр}$	$Q_{кп}$	К-сть БК	Тип та потужність БК	Сума $Q_{бк}$	$Q_{кп} - Q_{бк}$	K_3	S_p
1,2,3,4,5	9	11780,60	10427,19	760,44	9666,75	19	15*600,2*300,2*50	9700	-33,2	0,818101	11780,65
6, 7	3	2463,56	1886,66	2284,83	0,00	0	0	0	0	0,513242	2463,564
8	2	979,27	807,91	2014,60	0,00	0	0	0	0	0,306023	979,274

Таблиця 7.1. Вибір трансформаторів КТП-10/0,4кВ

№ ТП	Марка	N, шт	S _{роз} , кВА	K _з	$S_{ном} \geq \frac{S_{роз}}{K_2}$	$S_{ном} \geq \frac{S_{роз}}{K_1}$	Тип КТП
1	ТМ-1600-10/0,4	2	2356	0,74	1683	2181	Вбудована
2	ТМ-1600-10/0,4	2	2356	0,74	1683	2181	Вбудована
3	ТМ-1600-10/0,4	2	2356	0,74	1683	2181	Вбудована
4	ТМ-1600-10/0,4	2	2356	0,74	1683	2181	Вбудована
5	ТМ-1600-10/0,4	1	1178	0,74	841	1091	Вбудована
6	ТМ-1600-10/0,4	2	1624	0,51	1160	1504	Вбудована
7	ТМ-1600-10/0,4	1	812	0,51	580	752	Вбудована

Таблиця 8.1. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№ КЛ	S _р , кВА	n	I _р , А	I _{р.ав} , А	F _{ек} , мм ²	Марка кабеля	$I_{дон}, A$	K_n	$K_n I_{дон}$	$K_з$	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{дон}, A$	B _к , кА ² ·с	F _{мін} , мм ²
КЛ-1	11781	4	161,95	323,89	115,68	ААШВ(3*185)	310	0,84	260,4	0,62	1,25	0,92	356,50	66,4	86,71
КЛ-2	9425	4	129,56	259,12	92,54	ААШВ(3*185)	310	0,84	260,4	0,50	1,25	0,92	356,50	65,3	85,94
КЛ-3	7068	4	97,16	194,32	69,40	ААШВ(3*120)	240	0,84	201,6	0,48	1,25	0,92	276,00	64,7	85,59
КЛ-4	4712	2	129,55	259,09	92,53	ААШВ(3*120)	240	0,92	220,8	0,59	1,25	1,00	300,00	64,5	85,46
КЛ-5	2356	2	64,77	129,55	46,27	ААШВ(3*50)	140	0,92	128,8	0,50	1,25	1,00	175,00	63,2	84,60
КЛ-6	821	1	45,14	45,14	32,25	ААШВ(3*35)	115	1	115	0,39	1,25	1,00	143,75	66,4	86,71
КЛ-7	821	1	45,14	45,14	32,25	ААШВ(3*35)	115	1	115	0,39	1,25	1,00	143,75	66,4	86,71
КЛ-8	1600	1	87,98	87,98	62,84	ААШВ(3*70)	165	1	165	0,53	1,25	1,00	206,25	66,4	86,71

Таблиця 8.2. Вибір вимикачів 35 кВ на вводах.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
569,86 А	$I_{робфорс} \leq I_{ном}$	1000 А
8,054 А	$I_K \leq I_{динс}$	26 кА
16,989	$i_y \leq 1,8 * \sqrt{2} * I_{динс}$	66,185 кА
8,054 А	$I_{нт} \leq I_{ном відкл}$	16 кА
$\sqrt{2} * 8,054 + 0,077 = 11,467$	$\sqrt{2} * I_{ном\tau} + i_{ат} \leq \sqrt{2} * I_{н відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} * 16 * (1 + 0,3) = 29,416 \text{ кА}$
$B_K = I_K^2 * t_{снр зах} = 8,054^2 * 2,124 = 137,8 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$26^2 * 3 = 2028 \text{ кА}^2 * \text{с}$

Таблиця 8.3. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
949,76 А	$I_{робфорс} \leq I_{ном}$	1000 А
8,122 кА	$I_K \leq I_{динс}$	51 кА
19,958 кА	$i_y \leq 1,8 * \sqrt{2} * I_{динс}$	129,825 кА
8,122 кА	$I_{нт} \leq I_{ном відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} * 8,122 + 3,393 = 14,879 \text{ кА}$	$\sqrt{2} * I_{ном\tau} + i_{ат} \leq \sqrt{2} * I_{н відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} * 20 * (1 + 0,5) = 42,426 \text{ кА}$
$B_K \leq I_K^2 * (t_{від} + t_{рз}) =$ $= 8,122^2 * (1,53 + 0,045) =$ $= 103,898 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$I_{тер}^2 * t_{тер} = 20^2 * 3 = 1200 \text{ кА}^2 * \text{с}$

Таблиця 8.4. Вибір роз'єднувачів 35 кВ.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
569,86 А	$I_{робфорс} \leq I_{ном}$	1000 А
16,989	$i_y \leq i_{динс}$	64 кА
$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 * t_{снрзах} = 8,054^2 * 2,124 = 137,8 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$B_{\kappa} \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$25^2 * 4 = 2500 \text{ кА}^2 * \text{с}$

Таблиця 8.5. Вибір вимикачів навантаження

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
92,38 А	$I_{мах} \leq I_{ном}$	100 А
92,38 А	$I_{мах} \leq I_{відк.ном}$	100 А
4,52 кА	$I_{п.о.} \leq I_{пр.с.}$	10 кА
8,123 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	20 кА
$83,238 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$B_{\kappa} \leq I_{терм}^2 * t_{терм}$	$10^2 * 3 = 300 \text{ кА}^2 * \text{с}$

Таблиця 9.3. Світлотехнічні характеристики

джерела світла	Світлова віддача, лм/Вт	кольоропередачі, Ra	Строк дії, год
Лампи розжарення	7 – 18	100	1000
Галогенні лампи	13 – 30	100	3000
Малі люмінесцентні лампи	40 – 80	85	6000
Люмінесцентні лампи	50 – 80	60-85	12000
Ртутні гінкого тиску	40 – 55	40 – 60	20000
Натрієві низького тиску	100 – 200	–	15000
Натрієві високого тиску	80 – 150	23 – 80	15000
Ксенонові лампи	120 – 150	70 – 95	2000
Індукційні ртутні	200	–	60000
Металогалогенові	70 – 90	70 – 95	8000
Світлодіодні лампи	100 – 140	75 – 85	100000