

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
“ ____ ” _____ 2023 р.

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

на тему:

**«Розроблення системи електропостачання промзони
головного корпусу моторобудівного заводу
Development of the power supply system of the industrial
zone of the main building of the motor-building plant»**

Виконав здобувач IV курсу групи
ЕЕ-20-Зск
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ А. Кузнецов
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи
професор, канд.техн.наук
_____ С. Серебренніков
« ____ » _____ 2023 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

«_____» _____ 2023 р.

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

_____ Кузнецову Артему Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання промзони головного корпусу моторобудівного заводу
Development of the power supply system of the industrial zone of the main building of the motor-building 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 02.06.2023 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи 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>26.03.23</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>02.04.23</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>14.04.23</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>23.04.23</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>26.05.23</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>30.04.23</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05.23</i>	
8	<i>Розрахунок струмів К.З. та облік електроенергії</i>	<i>18.05.23</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>22.05.23</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>28.05.23</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>02.06.23</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2023 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача _____

« ____ » _____ 2023р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 60 с.; 16 рис.; 20 табл.; 19 джерел

Кузнецов А.О. Розроблення системи електропостачання промзони головного корпусу моторобудівного заводу. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Бакалаврська робота присвячена розробленню сучасної системи електропостачання промзони головного корпусу моторобудівного заводу, яка задовольняє канонам економічності та надійності роботи. Для цього виконано першорядні техніко-економічні розрахунки: електронавантажень, режимів реактивної потужності, струмів коротких замикань. Виконано вибір схем електропостачання, трансформаторних підстанцій, компесуючих установок, струмопроводів, високовольтного устаткування.

У спеціальному розділі бакалаврської роботи досліджено шляхи економії електричної енергії за рахунок застосування напівпровідникових джерел світла: світлодіодні лампи мають більш рівномірне поле, що обумовлене уживанням лінз розсіювання. Кутові характеристики світлопотоків від ЛЛ та СДЛ схожі за формою, але сила потоку світлодіодної лампи (130...260 кД) перевершує потік люмінесцентної лампи (80...155 кД) вдвічі. Особливістю СДЛ є те, що її світловий конус є ширшим.

Недоліком світлодіодних ламп є наявність у відбитому світлі блакитної складової. Крім того, світлодіодні лампи дорожчі за люмінесцентні.

Виконано оцінку очікуваного економічного ефекту.

Ключові слова: електричне навантаження, потужність, підстанція, струми короткого, напівпровідникове джерело світла, світлодіодні лампи.

ABSTRACT

Qualification work: 60 p.; Fig. 16; 20 tables; 19 sources

A.O. Kuznetsov Development of the power supply system of the industrial zone of the main building of the motor-building plant. - Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The bachelor's work is devoted to the development of a modern power supply system of the industrial zone of the main building of the motor-building plant, which meets the canons of economy and reliability of work. For this, first-rate technical and economic calculations were performed: electronic loads, reactive power modes, short-circuit currents. The selection of power supply schemes, transformer substations, compensating installations, power lines, high-voltage equipment has been made.

In a special section of the bachelor's work, ways of saving electrical energy due to the use of semiconductor light sources were investigated: LED lamps have a more uniform field due to the use of dispersion lenses. The angular characteristics of light fluxes from LL and SDL are similar in shape, but the power of the LED lamp flux (130...260 kD) exceeds the flux of the fluorescent lamp (80...155 kD) twice. The peculiarity of SDL is that its light cone is wider.

The disadvantage of LED lamps is the presence of a blue component in the reflected light. In addition, LED lamps are more expensive than fluorescent lamps.

An assessment of the expected economic effect has been carried out.

Key words: electrical load, power, substation, short-circuit currents, semiconductor light source, LED lamps.

ЗМІСТ

ст.

1. Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства.....	7
2. Розрахунок електричних навантажень	8
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В	8
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	9
2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах понад 1000 В ..	9
3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.....	11
4. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції).....	14
5. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	15
5.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання	
5.2. Вибір напруги та схем внутрішнього електропостачання	
6. Режим реактивної потужності системи електропостачання.....	21
6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах	22
6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	23
7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій	26
8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання системи електропостачання.....	28
9. Спеціальний розділ.....	37
Висновки.....	47
Перелік посилань	48
Додатки	51

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кузнецов			Розроблення системи електропостачання промзони головного корпусу моторобудівного заводу. <i>Development of the power supply system of the industrial zone of the main building of the motor-building plant</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Переві		Серебренніков					4	60
Реценз.						ЦНТУ, гр. ЕЕ-20-3ск		
Н. Контр.		Серебренніков						
Затверд.		Плешков						

1. ВСТУП. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА

Моторобудівний завод опанував виробництво середньооборотних дизельних та газових двигунів потужністю від 300 до 800 кВт.

Стаціонарні дизель-генератори широко використовують у якості основних або резервних джерел електричної й теплової енергії, для покриття пікових навантажень.

Залежно від виконання вони можуть працювати на дизельному чи газовому паливі.

Основні виробничі цехи:

1. механічні та механоскладальні цехи – головний корпус;
2. чавунно-ливарний цех;
3. цех опірних металоконструкцій;
4. заготівельний відділок;
5. цех товарів народного вжитку;
6. інструментальний цех;
7. допоміжні цехи.

Цех №4 здійснює механічну розробку базових і трудомістких деталей: фундаментних рам, блок-картерів, колекторів та корпусних деталей; містить поточні лінії по виготовленню поршнів, ступиць і муфт, втулок, поршневих кілець.

У цеху №5 обробляють втулки клапанів, поршневі пальці, силові шпильки, товкачі, ключі, ричаги, шестерні, повзуни, вкладиші.

Цех №7 здійснює мехобробку маховиків, розподільчих валів. кулаків, масляних і водяних насосів, шатунів клапанів.

Цех №10 виробляє корпусні деталі дизель-генератора: поршень, блок-картер, кришку циліндру, шатун тощо.

Цех №11 спеціалізується по обробці колінчастих валів.

Перелічені цехи належать до 1 та 2 категорій по безперебійності електрозабезпечення.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Розрахунок електричних навантажень в електромережах до 1000 В

Активне навантаження приймачів:

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

де P_{CM} – середнє активне навантаження;

K_M – коефіцієнт максимуму.

Коефіцієнт K_M знаходиться за [1] в залежності від значення коефіцієнта використання.

Коефіцієнт використання:

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

де n – число груп з різними режимами роботи.

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

де $P_{H \max}, P_{H \min}$ - потужність найбільш і найменш потужного вузла.

При $m \geq 3$ і $K_H > 0,2$:

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

Якщо знайдене за (2.4) $n_{\text{э}}$ буде більше дійсного n , то $n_{\text{э}} = n$. При $K_H < 0,2$ $n_{\text{э}}$ визначається за [2].

Реактивне навантаження при $n_{\text{э}} < 10$:

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

при $n_{\text{э}} > 10$;

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

де Q_{CM} – середнє навантаження

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Розрахунковий максимум

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.8)$$

Розрахунок електричних навантажень в мережах до 1000 В – у вигляді табл.

2.1 (Додаток).

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень:

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

де p_0 – питома потужність освітлення, кВт;

F – площа приміщення, м²;

Розрахункове навантаження освітлення, кВт

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

де K_C – коефіцієнт попиту освітлення.

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

Розрахунок освітлення виконується у вигляді табл. 2.2 (Додаток).

2.3. Розрахунок навантажень в мережах понад 1000 В

Розрахунок навантажень понад 1000 В виконується у порядку:

Втрати в трансформаторах:

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

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

де n – номер трансформаторів;

$\Delta P_x, \Delta P_K$ – втрати н.х і к.з, кВт;

I_x – струм н.х, %;

U_K – напруга к.з, %;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

K_3 – коефіцієнт завантаження.

До шин 10 кВ РП приєднані 2 С.Д., які можна уживати як джерело реактивної потужності Q_{CD} з параметрами:

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

Коефіцієнт потужності - $\cos \varphi_H = 0.9$;

Частота обертання - $n = 3000$ об/хв;

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

Реактивна потужність - $Q_{CDM1} = 800$ кВар;

Тобто,

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

Розрахунок навантажень понад 1000 В, подано у вигляді таблиці 2.3 (Додаток).

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

Добові графіки навантажень $P(t); Q(t); S(t)$ будують зимовий і літній на підставі 24год замірів на підприємстві.

Річний графік будується на підґрунті добового графіка за тривалістю з урахуванням робочих і вихідних днів.

За добовим $P(t); Q(t); S(t)$ визначається навантажувальна спроможність трансформаторів та значення максимального і мінімального навантаження для розрахунку напруг в мережі.

За річним графіком встановлюють значення річних витрат активної/реактивної енергій, середньозваженого коефіцієнта потужності, години використання максимуму навантаження $-T_{\max}$, час повних втрат $-\tau$.

При цьому приймається:

Число робочих днів

147 – Зимою , 105 – Літом.

Число вихідних днів

65 – Зимою , 48 – Літом.

Річні витрати активної і реактивної енергій:

$$W_{\Gamma} = \sum P_i * T_i \quad (3.1)$$

$$V_{\Gamma} = \sum Q_i * T_i \quad (3.2)$$

Число годин використання максимуму навантаження:

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

де P_p – розрахункове навантаження.

Час максимальних втрат:

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

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					11

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

Графіки навантаження зображено на рис. 3.1 – 3.3.

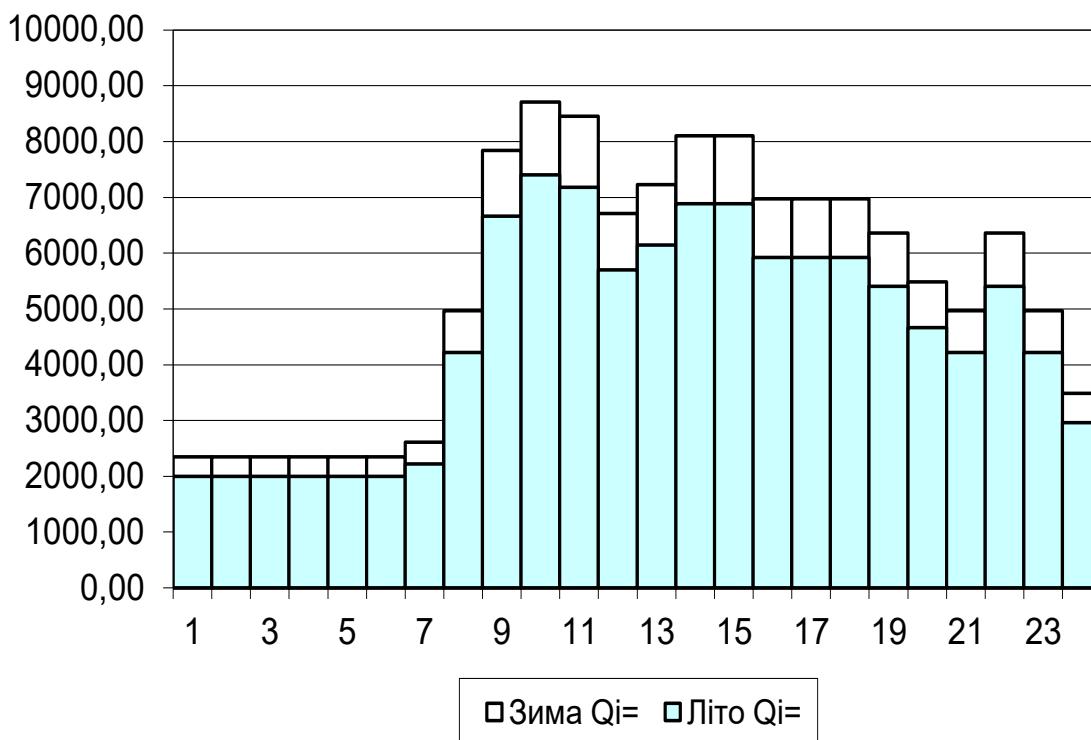


Рис 3.1- Активне навантаження робочого дня

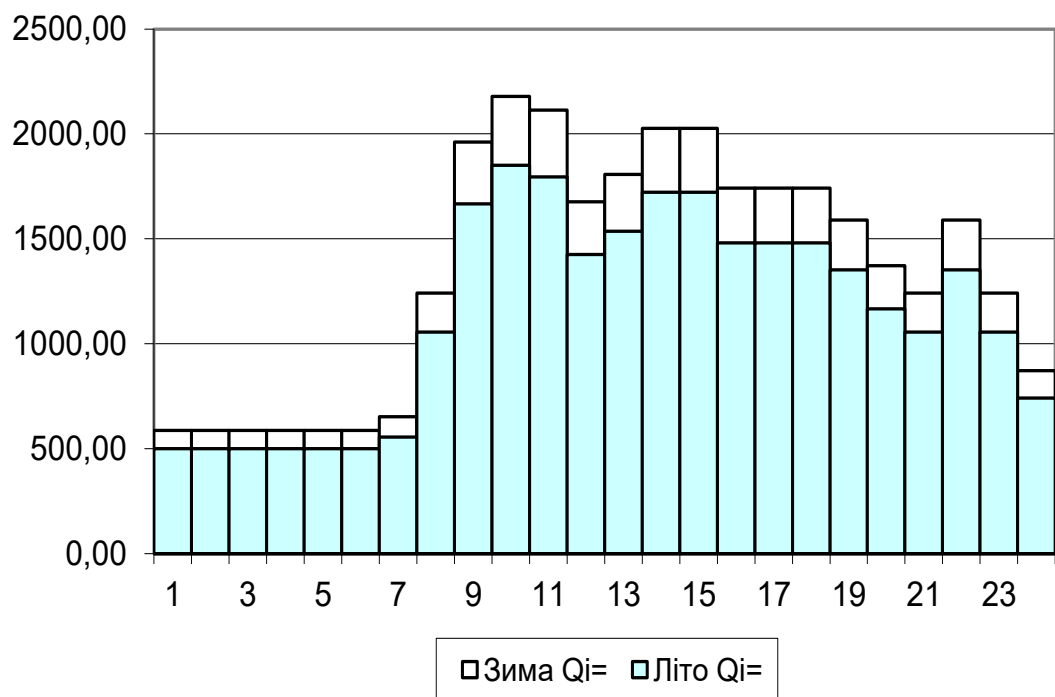


Рис 3.2 - Реактивне навантаження робочого дня

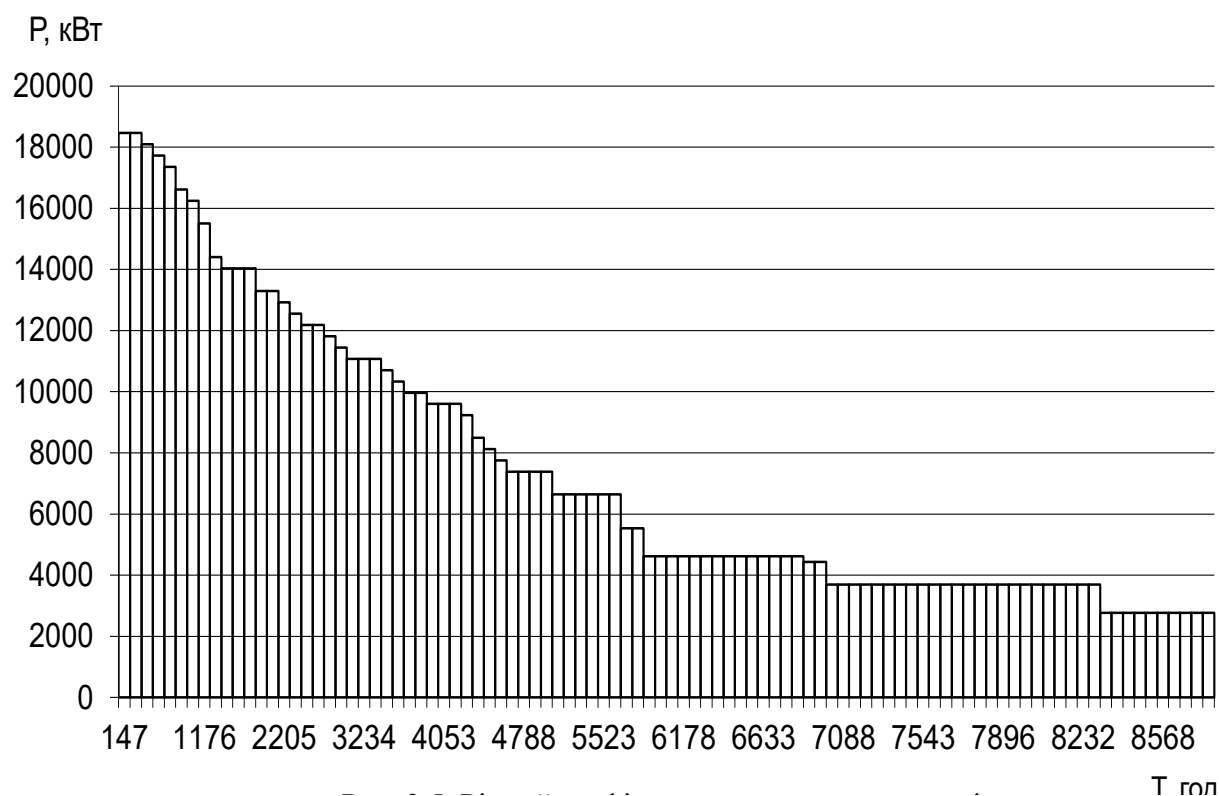


Рис 3.3 – Річний графік навантаження за тривалістю

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

Для побудови картограми навантажень підприємства визначають для кожного цеху радіуси R_i , площа $\pi * R_i^2$ котрих рівна навантаженню цеху P_i :

$$P_i = \pi * R_i^2 * m \quad (4.1)$$

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

Координати центра електронавантажень цехів P_i , м:

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

На картограмі центральний кут α сектора освітлювальне навантаження відвічає площі, яка рівна потужності освітлюваного навантаження:

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} * 360^\circ}{\pi * R_i^2} \quad (4.4)$$

Оптимальне положення РП/ТП буде в центрі навантажень, інакше це спричинить до зворотних перетоків енергії та збільшення втрат електроенергії. Зазвичай РП зміщене до джерела живлення та найбільшого навантаження.

Для прикладу наведено побудову для корпусу.

$$R = \sqrt{\frac{P_{\text{осв}} + P_{\text{сцл}}}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{963 + 10023}{3,14 * 0,5}} = 84 \text{ мм}$$

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

З генплану визначається центр об'єкту на координатній площині

$X_0 = 23,63$ см

$Y_0 = 12,21$ см

Аналогічні розрахунки проводять для всіх цехів. Результати зводимо до табл.

4.1 (Додаток).

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					14

5. ВИБІР НАПРУГИ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

У проекті джерелом електропостачання з розрахунковим навантаженням $S_p = 16305 \text{ кВА}$ є ГПП енергосистеми з 2-ма трансформаторами 150/35/10 кВ по 63 МВА. Відстань між заводом і підстанцією $L = 3 \text{ км}$.

Порівняємо два варіанти схем електропостачання:

- 1) наругою 35 кВ;
- 2) напругою 10 кВ.

Рішення обирають за порівнянням зведених витрат по i – му варіанту:

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

де E_H – нормативний коефіцієнт ефективності кап.вкладень;

K_i – капітальні інвестиції;

C_i – витрати по передачі електроенергії;

$C_{ВТР i}$ – вартість втрат;

Y_i – збиток від пауз в електропостачанні.

C_i визначають як суму витрат на ремонт і експлуатацію C_{ei} та амортизацію C_{ai} :

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

Вартість втрат електроенергії:

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

де C_o – вартість 1 кВт*год, грн.,

ΔE – втрати енергії в лініях;

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

де ΔP_{1KM} – втрати на 1 км лінії;

l_{Σ} – довжина лінії, км;

K_3 – коефіцієнт завантаження;

τ – число годин макс. втрат за рік.

Втрати в трансформаторі:

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

де $t_{екл}$ – число роботи трансформатора за рік.

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					15

При розрахунку збитку визначають параметр відмов одного ланцюга з двох паралельних ліній:

$$\lambda_a = \sum_1^n \lambda_{ai}, \quad (5.6)$$

де λ_{ai} – параметр відмов певного елемента системи електропостачання на рік.

Час відновлення однієї лінії

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

де T_{Bi} – час відновлення певного елемента.

Коефіцієнт плану простою одного ланцюга (найбільше значення):

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

коефіцієнт аварійного простою

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

коефіцієнт аварійного простою, коли один ланцюг – в плановому ремонті, а другий відключається через пошкодження

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

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 паузи в електропостачання

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

де Y_O – збиток від недовідпуску електроенергії;

P_{CT} – річне активне навантаження.

$\lambda_{ai}, T_{Bi}, K_{\Pi}, Y_O$ елементів схеми постачання є в [3].

Виконується техніко-економічне порівняння варіантів живиться від п/ст системи з класами напруги 10 і 35 кВ (рис 5.1).

Варіант №1. Живлення здійснюється напругою 10 кВ (рис 5.1б).

Струм в лінії

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{16381}{\sqrt{3} * 10,5} = 901,7 A$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

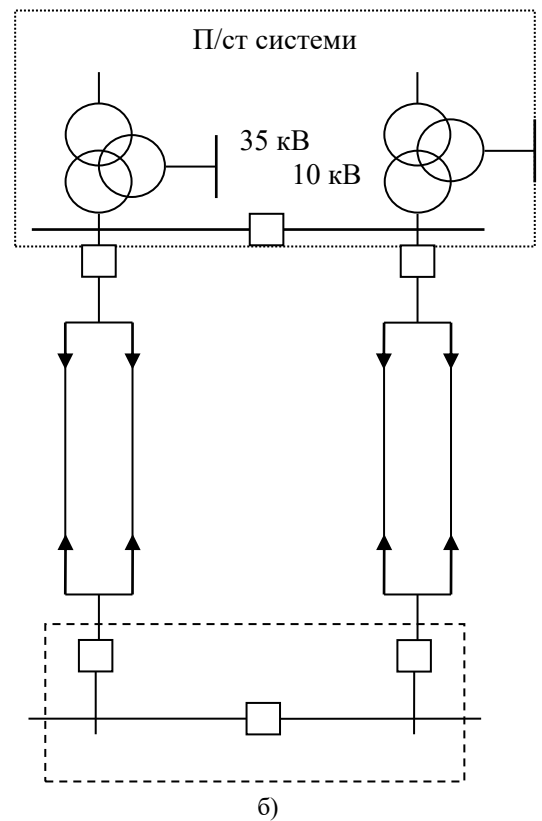
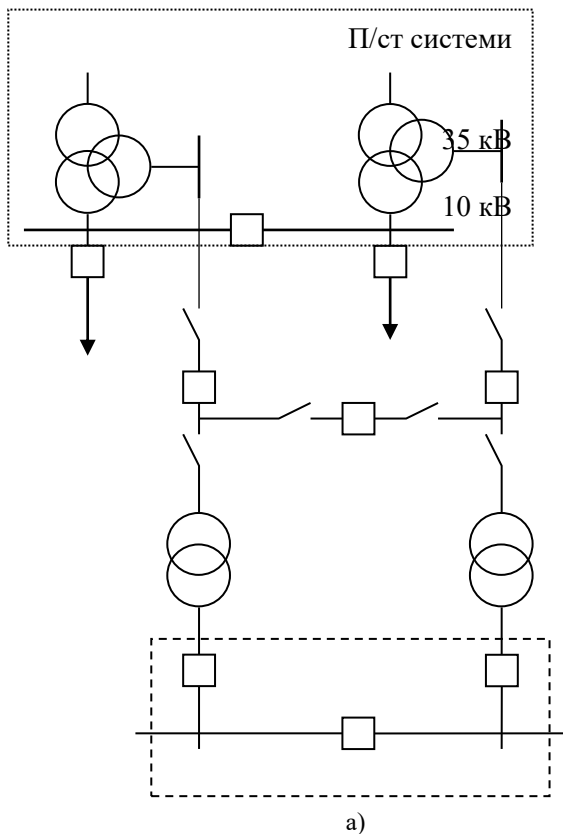


Рис 5.1 – Схеми зовнішнього постачання

Приймаємо до прокладання 4 кабельних лінії ААБ (3×185) з допустимим струмовим навантаженням $I_{\text{д}} = 310 \text{ А}$, втратами потужності $\Delta P_{1\text{км}} = 57 \text{ кВт}$ на 1 км.

Завантаження кабелю в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{I_p}{4 \cdot I_{\text{д}}} = \frac{901,7}{4 \cdot 310} = 0,73$$

При виході із ладу однієї КЛ, та, що залишається забезпечить навантаження $I = 2 \cdot I_{\text{д}} \cdot K_{\text{АП}} = 2 \cdot 310 \cdot 1,3 = 812,2 \text{ А}$.

Отже, в аварійному режимі живлення не порушується.

Втрати потужності в лінії при $T_{\text{МАХ}} = 4354 \text{ год}$

$$\Delta P_{\text{Л}} = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 57 \cdot 12 \cdot 0,73^2 = 364,5 \text{ кВт},$$

де l_{Σ} – довжина кабелю.

Втрати енергії ΔE в лінії

$$\Delta E = \Delta P_{\text{Л}} \cdot \tau = 364,5 \cdot 2741 = 999104,37 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де τ – час уживання максимального навантаження.

Вартість втрат енергії

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta E \cdot C_0 = 999104,4 \cdot 5,549 = 5543600 \text{ грн.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

Варіант №2. Живлення відбувається напругою 35 кВ (рис 5.1а).

Розрахунковий струм

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

Площа перерізу дротів ЛЕП, що обирають за економічною щільністю струму:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_P}{j_{\text{э}}} = \frac{270,5}{1,1} = 246 \text{ мм}^2.$$

Обираємо двокільну повітряну лінію на залізобетонних опорах з дротами АС перерізом 150 мм². Параметри: $\Delta P_{1\text{км}} = 149 \text{ кВт/км}$, $I_{\text{д}} = 445 \text{ А}$.

Завантаження ЛЕП в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{I_P}{2 \cdot I_{\text{д}}} = \frac{270,5}{2 \cdot 445} = 0,3$$

Передбачається встановлення На ГЗП двох трансформаторів потужністю по $S_H = 16 \text{ МВА}$, напругою 35/10 кВ. $I_{\text{х}} = 0,75\%$, $\Delta P_{\text{х}} = 20 \text{ кВт}$, $U_{\text{к}} = 10\%$ [5]. Завантаження трансформаторів в нормальному режимі

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

При відключенні одного трансформатора

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

Втрати в ЛЕП

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 149 \cdot 6 \cdot 0,3^2 = 80,46 \text{ кВт},$$

$$\Delta E_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 80,46 \cdot 2741 = 220540,86 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати в трансформаторах

$$\Delta E_{\text{тр}} = 2 \cdot (\Delta P_{\text{х}} \cdot t_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{к}} \cdot K_3^2 \cdot \tau) = 2 \cdot (20 \cdot 8760 + 105 \cdot 2741 \cdot 0,54^2) = 518247,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумарні втрати

$$\Delta E = \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_{\text{тр}} = 220540,86 + 518247,9 = 738788,76 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат

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

Розрахунок витрат наведено в таблицях 5.1 - 5.3.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

Таблиця 5.1. Розрахунок капітальних вкладень.

№ 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	218,5	2622
	Траншея	км	6	28,6	171,6
Разом					3194
II	ЛЕП 35 кВ		3	625	1875
	ВРП 35кВ	Комплект	1	81*5	404
	Трансформатори	шт.	2	780	1560
Разом					3839

Таблиця 5.2. Розрахунок поточних витрат.

№ вар.	Назва	K _j тис. грн.	P _{a j} %	C _{a j} тис. грн.	P _{э j} %	C _{э j} тис. грн.	C _j тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
I	Кабельна лінія	3190	5%	152	2%	44,8	156,8
	Шафи КРУ з вимикачами	400	15%	60	3%	6	36
	Разом						292,8
II	Лінія 35 кВ	1875	5%	92,3	0,14	1,74	64,04
	ВРП 35 кВ	404	15%	66,36	3	7,27	43,63
	Трансформатори	1560	15%	234	3	46,8	280,8
	Разом						418,5

Розрахунок збитку від пауз в електропостачанні.

Варіант № 1. Розрахункова схема живлення містить кабельну лінію довжиною 3 км і вимикач 10 кВ.

Параметр відмов одного ланцюга з двох паралельних:

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

Середній час відновлення ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{ai} * T_{Bi}}{\lambda_a} = \frac{0,01 * 1,1 * 10^{-3} + 0,48 * 7 * 10^{-3}}{0,49} = 6,88 * 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт простою одного ланцюга

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

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, коли один – в плановому ремонті, а другий відключається через пошкодження:

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

коефіцієнт аварійного простою обох ліній

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

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 паузи в електропостачанні

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

Розрахунок збитку від пауз в електропостачанні у вар. II реалізуємо аналогічно і записуємо до табл. 5.3.

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	7710	6260

З порівняння отримали, що обидва варіанти за Техніко-економічними показниками орієнтовно рівноцінні. Тому, виходячи із економічних й технічних міркувань – перевагу потрібно надати II-му варіанту, котрий є більш перспективним у разі подальшого розвитку підприємства і зростання навантажень системи електропостачання.

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					20

6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Електроприймачі у процесі роботи споживають крім активної потужності й реактивну. Передача реактивної потужності по лініях не вигідна, оскільки знижує якість електропостачання та ККД системи електропередачі.

При проектуванні компенсуючих пристроїв (КП) обирають одночасно з ін. елементами системи електропостачання, зважаючи на зниження струмів, що протікають в мережі, за рахунок використання компенсації.

Потужність КП:

$$Q_{КП} = Q_P - Q_E - Q_{CD}, \quad (6.1)$$

де Q_P – розрахункове реактивне навантаження;

Q_E – економічна реактивна потужність, котра може бути передана від системи споживачу в режимі найбільших активних навантажень;

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

Реактивну потужність Q_E розшукують за виразом:

$$Q_E = P_P * \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.2)$$

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

Потужність синхронного двигуна Q_{CD} :

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

де P_{CD} – ном. активна потужність СД.

КП потужністю $Q_{КП}$ можуть бути встановлені як у мережі 10 кВ, так і у мережі 0,4 кВ. Оптимальне розподілення КП визначається вартістю КП високої та низької напруги, витратами на встановлення додаткових трансформаторів КТП та вартістю втрат енергії.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

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

Звичайно аналізують варіанти компенсації з встановленням: 1. мінімальної кількості трансформаторів $N = N_0$, 2. збільшеної на один $N = N_0 + 1$ і 3. збільшеної на два $N = N_0 + 2$.

Мінімальна кількість трансформаторів визначається як:

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

де $P_{ном}$ – споживання активної потужності напругою до 1000 В;

β – завантаження трансформаторів;

$S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора.

Реактивна потужність, що може бути передана із мережі 10 кВ до 1000 В при встановленні N трансформаторів:

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

Розрахунок балансу:

$$P_n = \sum P_{П} = 13884,51 \text{ кВт},$$

$$Q_n = \sum Q_{П} = 12824,1 \text{ кВар}.$$

Високовольтні двигуни :

$$P_B = P_{CD} = 3200 \text{ кВт}.$$

Сумарне споживання по головному корпусу:

$$P_p = P_n + P_B = 13,884 + 3,2 = 17,085 \text{ МВт},$$

$$Q_p = Q_n = 12,824 \text{ МВар}.$$

Потужність Q_9

$$Q_9 = Q_9'' = P_p * \tan \varphi = 17084,51 * 0,15 = 2562,68 \text{ кВар}.$$

Потужність КП з урахуванням, що генерація СД потужності $Q_{CD} = 1548,8 \text{ кВар}$:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_9 - Q_{CD} = 12824,10 - 2562,68 - 1548,8 = 8712,62 \text{ кВар}.$$

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					22

Визначимо мінімальної кількості трансформаторів:

$$N_0 = \frac{13884,51}{0,7 * 1600} = 12,4 \approx 12 шт.$$

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

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

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

Потужність КП Q_{KH} , що встановлюється в мережі до 1000В, з умови балансу на шинах ТП:

$$Q_{KH} = Q_H - Q_1 = 12,824 - 0 = 12,824 \text{ Мвар.}$$

Потужність КП Q_{KB} в мережі 10 кВ з умови балансу:

$$Q_{KB} = Q_P - Q_{KH} - Q_3 = 12,824 - 12,824 - 2,562 = -2,562 \text{ Мвар.}$$

Q_{KB} від'ємне, тобто при $N = 10$ компенсації в мережі 10 кВ не потрібне.

Розрахунок при $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$ аналогічний.

6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Для кожного з ТП визначають: $Q_{ПП} = \sqrt{(n * K_3 * S_{ном})^2 - P_{роз}^2}$ та $Q_{КП} = Q_P - Q_{ПП}$.

Послугуючись дані таблиць 6.1 – 6.3 (Додаток Б), здійснюється розрахунок витрат для кожному з варіантів.

Варіант 1.

Втрати потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПІТ}^{KH} * Q_{KH} = 0,0045 * 12425 = 55,91 \text{ кВт}$$

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

Втрати потужності при передачі $Q_{ПП}$ через трансформатори:

$$\Delta P_{ПТ} = \frac{Q_{ПП}^2}{U_{ном}^2} * R_{СК} = \frac{760,44^2}{10^2} * 5,86 * 10^{-5} = 0,339 \text{ кВт,}$$

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

Вартість КП на 0,4 кВ:

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					23

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

Вартість КП на 10 кВ:

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

Вартість КТП:

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

Розрахункові витрати на компенсацію:

$$3 = (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) * E_H + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) * C_0 * \tau = (2531250 + 0 + 5766000) * 0,12 + (55,9125 + 0 + 0,3388) * 4,475 * 2741,02 = 13233100 \text{ грн}$$

Витрати на генерацію реактиву СД:

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

де 3_0 – витрати, що не залежать від потужності;

3_1 – питомі витрати на 1 МВар;

3_2 – питомі витрати на 1 МВар²;

Q – потужність, що генерує СД.

Витрати для N двигунів:

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

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

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

де K_p – ціна регулятора;

E_p – відрахування на регулятор;

D_1, D_2 – постійні, що залежать від параметрів двигуна.

Отже:

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

$$3_1 = C_0 * \left(\frac{D_1}{Q_H} + \frac{2 * D_2 * Q_{ПП}}{Q_{ном}^2 * N} \right) = 4,475 * \left(\frac{4,25}{6,27} + \frac{2 * 6,27 * 0}{1,5488 * 2} \right) = 25,831 \text{ грн}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

$$Z_2 = C_0 * \frac{D_2}{Q_{ном}^2 * N} = 4,475 * \frac{6,27}{1,5488 * 2} = 5,6 \text{ грн}$$

$$Z_{сд} = Z_0 + Z_1 * Q + Z_2 * Q^2 = 12000 + 25,831 * 0 + 5,8 * 0^2 = 12000 \text{ грн} .$$

Розрахунок інших варіантів аналогічний. Результати розрахунку показано в таблиці 6.1-6.3 (Додаток).

Розрахунок вказує, що найбільш економічним є вар. № 2 .

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ

7.1 Вибір кількості й потужності трансформаторів ГПП

Зазвичай ГПП виконують двотрансформаторними для надійне електропостачання споживачів. Потужність трансформаторів ГПП:

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

де S_p – розрахункова потужність підприємства,

$$S_{TP} = \frac{16371}{1,4} = 11693,6 \text{ кВА.}$$

Приймаємо до встановлення двох трансформаторів ТДН-16000/35/10 потужністю по $S_H = 16 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, напругою 35/10 кВ, $I_X = 0,75\%$, $\Delta P_X = 20 \text{ кВт}$, $U_K = 10\%$.

Завантаження трансформаторів

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

При відключенні одного з трансформаторів, забезпечується живлення

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

Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі

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

7.2. Вибір потужності трансформаторів та місця цехових трансформаторних підстанцій

Двотрансформаторні підстанції застосовують при перевазі I та II категорій електроприймачів, а також у цехах при великій густині навантаження $S_{ПНТ}$.

Число трансформаторів N_{TP} :

$$N_{TP} = \frac{S_p}{k_3 \cdot S_{НОМ.Э}}, \quad (7.3)$$

де $S_{НОМ.Э}$ – номінальна потужність трансформатора.

У залежності від питомої густини розрахункового навантаження:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

$$\text{при } S_{\text{пнт}} < 0,2 \text{кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$$

$$S_{\text{ном.э}} = 1000 \text{кВ} \cdot \text{А},$$

$$\text{при } S_{\text{пнт}} = 0,2 - 0,3 \text{кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$$

$$S_{\text{ном.э}} = 1600 \text{кВ} \cdot \text{А},$$

$$\text{при } S_{\text{пнт}} > 0,3 \text{кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$$

$$S_{\text{ном.э}} = 2500 \text{кВ} \cdot \text{А}.$$

При $S_{\text{пнт}} \geq 0,4 \text{кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$ доцільно застосовувати двотрансформаторні підстанції.

Оскільки питома потужність становить $S_{\text{пнт}} = 13454/50688 = 0,26 \text{кВА}/\text{м}^2$, то беремо до встановлення трансформатори потужністю $S = 1600 \text{кВА}$.

Потужність трансформаторів підстанції цеху визначається із системи нерівностей:

$$S_{\text{ном}} \geq 0,25 \cdot S_{\text{н1}} - \text{з умови штовхового навантаження.}$$

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{роз}}}{K_1} - \text{з умови частого перевантаження.}$$

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{роз}}}{K_2} - \text{з умови аварійного перевантаження.}$$

При двозмінному режимі $K_1 = 1,08$; річна температура $\Theta_{\text{охол}} = 10^\circ \text{C}$.

Коефіцієнт аварійного перевантаження $K_2 = 1,4$ за тривалості перевантаження 8...24 год.

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

Вибір ТП показано у вигляді таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Вибір трансформаторів

№ ТП	Марка	N, шт	S _{роз} , кВА	K _з	$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{роз}}}{K_2}$	$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{роз}}}{K_1}$	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

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

Початкове значення періодичної складової струму КЗ:

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

де E_{Σ}'' - надперехідна ЕРС, кВ;

$x_{рез.б.}$ - результируючий базисний опір, Ом.

Вважається, що КЗ живиться від джерела нескінченної потужності:

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

Ударний струм КЗ:

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

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

$x_{рез}, r_{рез}$ - індуктивний і активний опори кола КЗ.

Опори елементів схеми електропостачання:

- енергосистеми:

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

- генераторів, синхронних і асинхронних двигунів:

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

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

- трансформаторів:

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

- трансформаторів з розгалуженою обмоткою НН:

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

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

- трихобмоточних трансформаторів

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

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

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

- реакторів:

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

- ліній електропередачі:

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

де U_{δ} - базисна напруга; U_{cp} - середня номінальна напруга; $S_{ном}$ - номінальна, МВА; $I_{ном}$ - номінальний струм; $S_{кз}$ - потужність короткого з. системи, МВА; $x''_{d,\%}$ - надперехідний опір; $I_{пуск*}$ - кратність пускового струму; $x_{p,\%}$ - реактивний опір реактора; $U_{к,\%}$ - напруга КЗ трансформатора; x_o - питомий опір лінії.

Діюче струм КЗ дорівнює надперехідному.

Перед розрахунком струмів складаємо схему (рис. 8.1) на якій є точки, в яких треба рахувати струми КЗ. На схему заміщення (рис. 8.2) для обчислення струмів КЗ всі елементи представлено у виді опорів.

Вихідними даними для розрахунку слугують, по:

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

- повітряній лінії АС 150/19 $r_0 = 0,195 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$, $x_0 = 0,419 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ довжина $L = 3 \text{ км}$;
- трансформатору ТДНС 16000/35 $S_{\text{ном}} = 16 \text{ МВА}$, $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$, $U_{\text{к\%}} = 46,5$.

Розрахунок струмів коротких замкнень показано в Додатку.

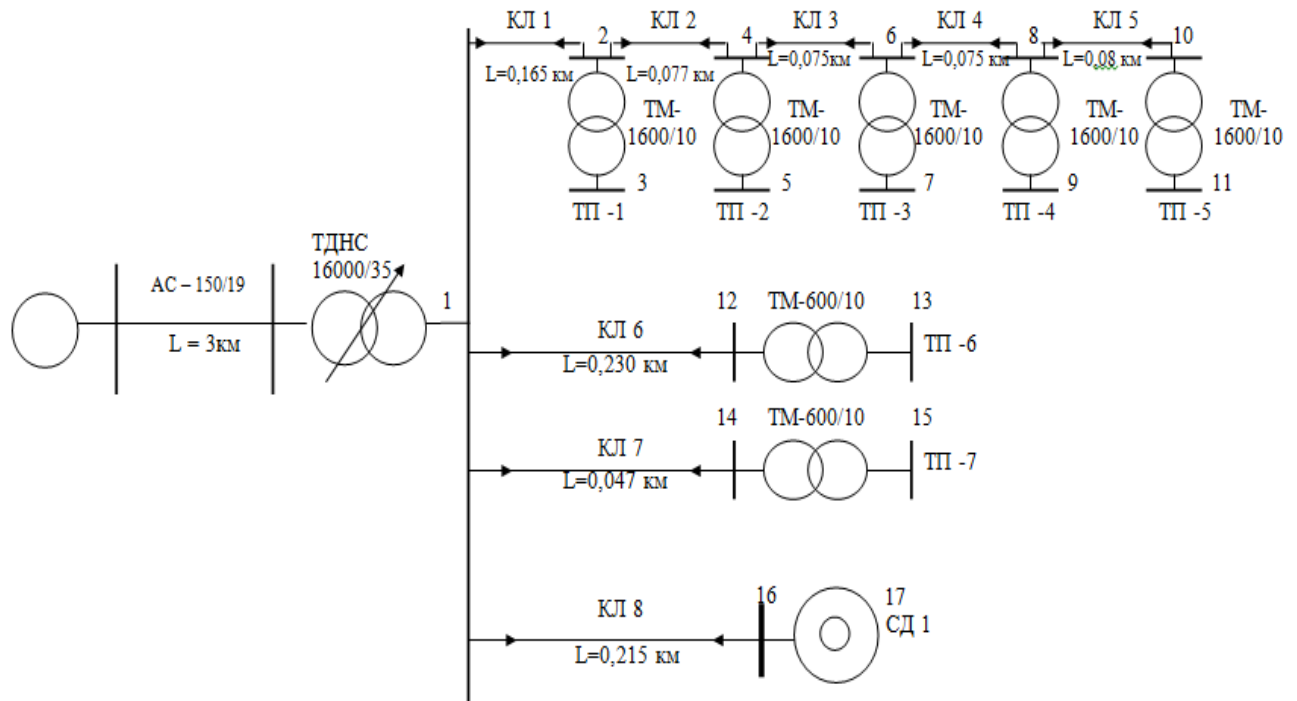


Рис. 8.1. Розрахункова схема для визначення струмів КЗ

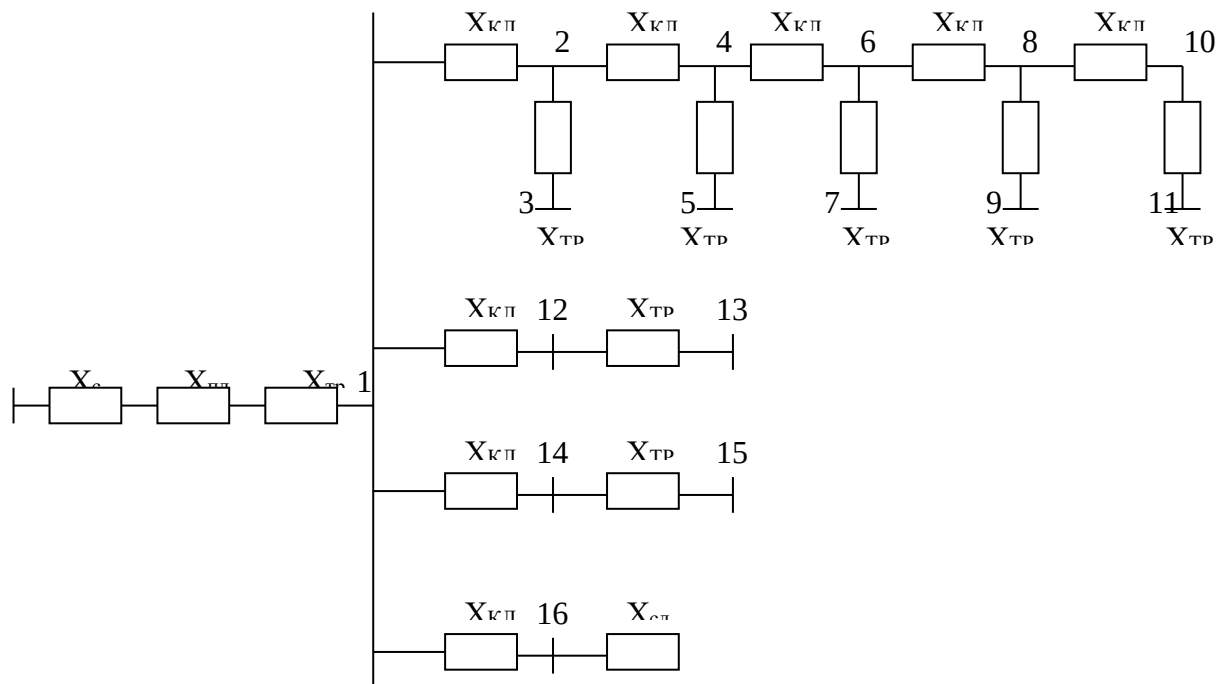


Рис.8.2. Схема заміщення для обчислення струмів КЗ.

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	30

8.1. Вибір кабелю напругою 10 кВ для високовольтної мережі

Економічно доцільний переріз кабелю:

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

де I_p – розрахунковий струм, А;

$j_{ек}$ - значення економічної щільності струму, А/мм²;

Прийнята площа перерізу мусить задовольняти вимогам по допустимому струмовому нагріву:

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

де $I_{дон}$ – тривалий допустимий струм по умовам нагріву;

K_n – поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд в землі.

Площа перерізу кабелю перевіряється за умові аварійному режимі:

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

де K'_n - коефіцієнт на кількість кабелів;

$K_{ан}$ - коефіцієнт аварійного перевантаження;

$I_{p.ав}$ - струм в аварійному режимі.

Площа перерізу кабелю, що відповідає законам термічної стійкості:

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

де C – термічний коефіцієнт для кабелів при напрузі 10 кВ, для алюмінієвих $C = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$, для кабелів з мідними жилами $C = 143 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k – тепловий імпульс.

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

Обирається кабель для лінії КЛ-1 від ГЗП до ТП-1 на рис. 8.1.

Площа перерізу:

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

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

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

Береться кабель ААШв (3×185) мм² з допустимим струмом $I_{\text{дон}} = 310 \text{ A}$.

Перевірка за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{\text{дон}},$$

$$I_{\text{дон}} = K_{\Pi} \cdot I'_{\text{дон}},$$

де K_{Π} – коефіцієнт, що враховує зниження допустимого струмового навантаження,

$$I_{\text{дон}} = 0,84 \cdot 310 = 260 \text{ A}$$

$$162 \text{ A} \leq 260 \text{ A}.$$

Перевірка за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{\text{ав}} \leq K_{\text{ан}} \cdot I_{\text{дон}},$$

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

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

При попередньому завантаженні

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

Площа перерізу за умовою термічної стійкості:

$$F_{\min} = F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{66,436 \cdot 10^6} = 86,7 \text{ мм}^2,$$

де B_k – тепловий імпульс: $B_k = I_{\text{н.о.}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a) = 7,341^2 (1,2 + 0,0328) = 66,436 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

Інші кабелі системи електропостачання обирають аналогічно, розрахунки зводяться до таблиці 8.1 (Додаток).

8.2. Вибір вимикачів

Вибір вимикачів виконується по:

- напрузі

$$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (8.16)$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

- тривалому струму

$$I_{норм} \leq I_{ном} \cdot I_{роб\,форс} \leq I_{ном} \cdot \quad (8.17)$$

Перевірка на струм відключення:

$$I_{н.т} \leq I_{відк.ном} \cdot \quad (8.18)$$

Відключення аперіодичної складової струму КЗ:

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

де $i_{а.ном}$ – номінальне періодичної в струмі відключення ;

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

τ - час від початку КЗ.

При розрахунках одержується, що за тепловим імпульсом обрані перерізи КЛ 5-8, не задовольняють, тому значення перерізів збільшують до 95 мм².

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

де $t_{з.мін} = 0,01$ с – мінімальний час релейного захисту ,

$t_{в.в}$ - час відключення вимикача.

Перевірка по відключаючій спроможності по повному струму КЗ:

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

Перевірка По включаючій здатності:

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

де i_y - ударний струм КЗ вимикача;

$I_{н.о.}$ - початкове періодичної складової струму КЗ;

$I_{вкл}$ - ном. струм включення;

$i_{вкл}$ - найбільший струм включення.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється по:

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

На термічну стійкість по тепловому імпульсу КЗ B_k :

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

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

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

На вводі 35 кВ ГЗП передбачається встановлення вимикачів ВМК-35Б.
Розрахунки по вибору вимикача приведені в таблиці 8.2 (Додаток).

$$I_{ном} = \frac{S_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17273}{\sqrt{3} \cdot 35} = 284,93 \text{ А},$$

$$I_{робфор} = 2 \cdot I_{ном} = 2 \cdot 284,93 = 569,86 \text{ А}.$$

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

Розрахунки по вибору вимикача приведені в таблиці 8.3 (Додаток).

$$I_{норм} = \frac{S_{розр}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17273}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 474,88 \text{ А}$$

$$I_{тех} = 2 \cdot I_{норм} = 2 \cdot 474,88 = 949,76 \text{ А}.$$

На лініях, що йдуть до ТП та РП встановлено такі самі вимикачі.

Вимикачі встановлено в комірки комплектних розподільчих пристроїв КУ-10 виробництва РЗВА внутрішньої установки.

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

Номинальна напруга - 10 кВ;

Номинальний струм - 1000 А;

Стійкість головних кіл при наскрізних струмах:

Термічна - 20 кА;

Електромеханічна - 51 кА;

Номинальний струм відключення - 20 кА.

8.3. Вибір роз'єднувачів

Вибір роз'єднувачів 35 кВ виконується у вигляді таблиці 8.4 (Додаток Б). До встановлення приймають роз'єднувачі типу РНДЗ-2-35/1000.

В комірках 10 кВ встановлюють роз'єднувачі РВО-10/1000.

8.4. Вибір вимикачів навантаження

Вибирається вимикач навантаження типу ВНПз-17 (запобіжник ПК-10/100).

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					34

Дані по вибору зведені до таблиці 8.5 (Додаток).

$$I_{\max} = 1,4 * \frac{S_{\text{номТР}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = 1,4 * \frac{1600}{\sqrt{3} * 10} = 92,38 A.$$

8.5. Вибір розрядників

Встановлення вентиляльних розрядників необхідне від атмосферних і внутрішніх перенапруг.

Зі сторони 35 кВ – встановлення розрядників типу РВМ-35 з параметрами:

- Номінальна напруга - $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ};$
- найбільша допустима напруга - $U_{\text{доп}} = 40,5 \text{ кВ};$
- пробивна напруга - $75 \leq U_{\text{пр}} \leq 90 \text{ кВ};$
- імпульсна пробивна напруга розрядника - $U_{\text{ім}} = 116 \text{ кВ}.$

На стороні 10 кВ – розрядники РВП-10 для захисту трансформаторів напруги з параметрами:

- Номінальна напруга - $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ};$
- найбільша допустима напруга - $U_{\text{доп}} = 12,7 \text{ кВ};$
- пробивна напруга - $26 \leq U_{\text{пр}} \leq 30,5 \text{ кВ};$
- імпульсна пробивна напруга розрядника - $U_{\text{ім}} = 50 \text{ кВ}.$

8.6. Вибір трансформаторів власних потреб

Розрахункове навантаження (табл.8.6):

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

де K_C – коефіцієнт попиту ($K_C = 0,8$).

Потужність трансформатора за умовою:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

Таблиця 8.6. Навантаження власних потреб.

№ п/п	Споживач	Потужність, кВт
1	Електродвигуни обдуву трансформаторів	4*1,5
2	Пристрої підігріву вимикачів	1,75*3
3	Обігрів комірок КРП	7*1
4	Освітлення і вентиляція КРП	8
5	Навантаження що споживають оперативні кола	2
Всього		28,25

Розрахункова потужність власних потреб:

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

Потужність трансформатора:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{28,25}{1,4} = 20,179 \text{ кВ} * \text{А}.$$

Обираємо трансформатор ТМ-40/10 з параметрами:

$$S_{ном} = 40 \text{ кВА}, U_{вн} = 10 \text{ кВ}, U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}, \Delta P_{xx} = 0,16 \text{ кВт}, \Delta P_k = 0,9 \text{ кВт}, U_k = 4,6\%,$$

$$I_{xx} = 3 \text{ \%}.$$

Коефіцієнт завантаження:

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

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					36

9. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

В країнах ЄС на освітлення витрачають 15-20% електроенергії, натомість в Україні, витрати електроенергії на світла в 1,5 рази вищі.

Джерела світла за принципом перетворення електроенергії в енергію видимих випромінювань класифікують на 3 групи (рис. 9.1).

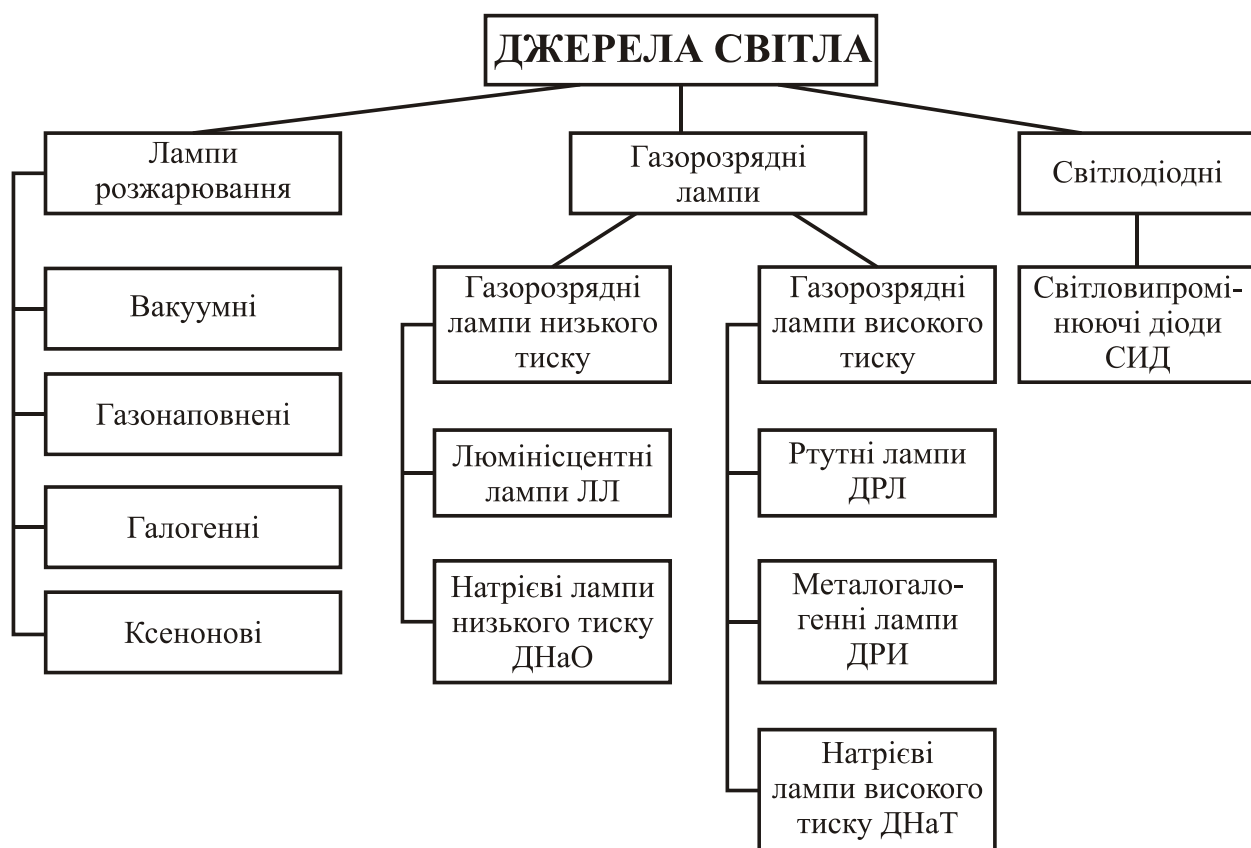


Рис. 9.1. Класифікація джерел світла

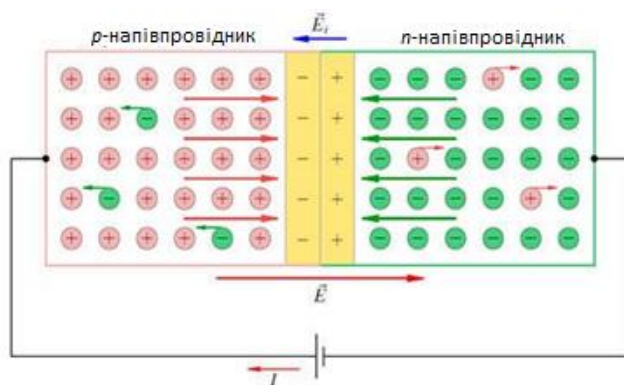
Кожне з джерел має особливості застосування. При проектуванні освітлення досліджують спрямування світлового випромінювання, розміщення освітлювальних приладів, управління роботою приладів.

Впровадженню енергоефективного освітлення світлодіодів (СД) має передувати комплекс досліджень з порівнянням техніко-економічних

характеристик. Виробництво світлодіодних освітлювальних пристроїв добилося рівня світлової віддачі 100...150 лм/Вт.

Принцип роботи напівпровідникових джерел світла

Найперспективнішим типом енергоефективних ламп є **світлодіодні** лампи. Світловипромінювальні діоди являють собою джерела світла, в яких випромінювання створюється на напівпровідниковому переході внаслідок рекомбінації «дірок» та електронів. Якщо до p – n переходу прикласти напругу прямої полярності (рис. 10,2 а), то поле переміщуватиме електрони і «дірки» і вони будуть рекомбінувати випускаючи фотони (рис. 9.2 б).



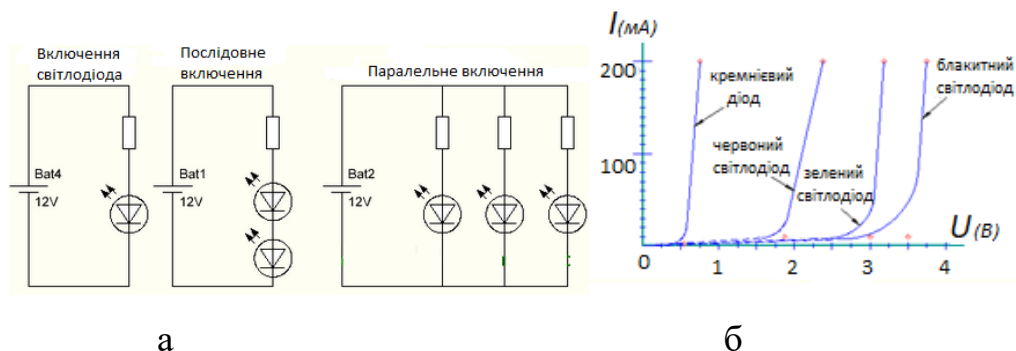
а



б

Рис. 9.2. Конструкція світлодіоду: а – включення p - n переходу; б – зовнішній вигляд та влаштування світло діоду

Схеми підключення світлодіодів зображені на рис. 9.3 а.



а

б

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

Червоні світлодіоди потребують близько 2 В, сині – близько 4 В (рис. 9.3 б). Всі світлодіоди потребують струму 20-30 мА.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) світлодіодів є нелінійною і повторює за формою ВАХ кремнієвого діода (рис. 9.3 б).

Конструкція світлодіодної лампи з вбудованим драйвером зображена на рис. 9.4.

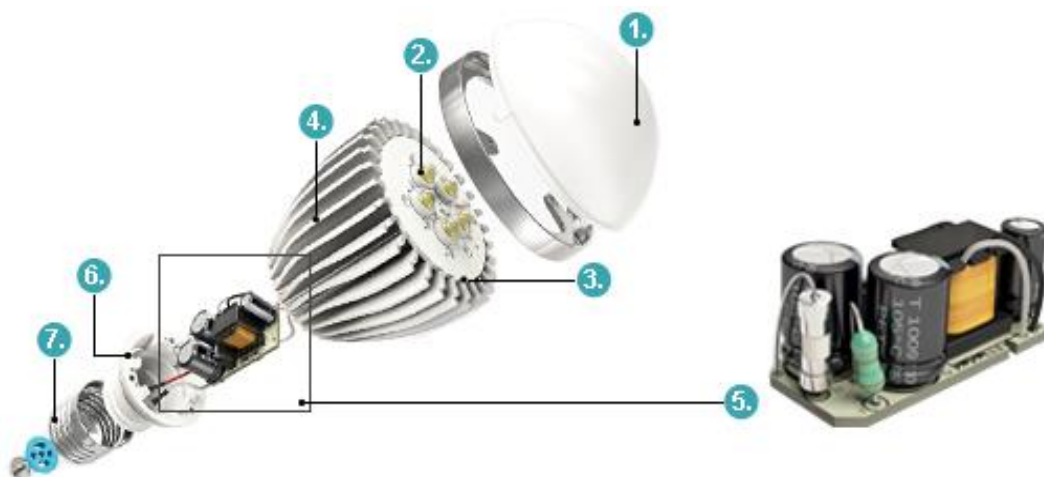


Рис. 9.4. Конструкція світлодіодної лампи: 1 – розсіювач; 2 – світлодіоди; 3 – плата світлодіодів; 4 – радіатор; 5 – драйвер, що Формує напругу для світлодіодів; 6 – корпус драйвера; 7 – цоколь.

При підключенні світлодіодів до мережі 220 В необхідно знизити напругу і перетворити зі змінної в постійну. Конденсатор на змінному струмі «гасить» напругу. На схемі 9.5. елементи C2, C3 і R1 призначені для зниження напруги.

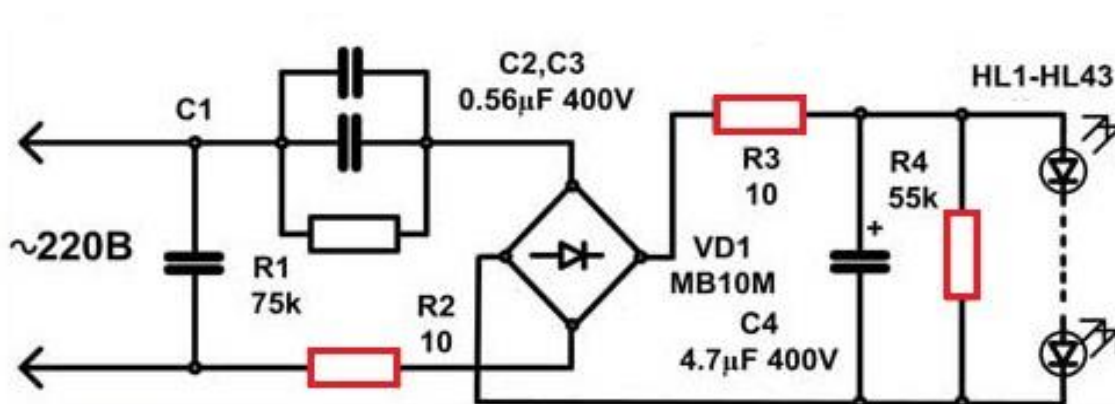


Рис. 9.5. Принципова схема драйвера світлодіодної лампи

Для випрямлення напруги використовують міст VD1, а для згладжування пульсацій – конденсатор C4. Резистори R2 і R3 необхідні для обмеження струму. Резистор R4 розряджає конденсатор C4 після відключення від мережі. Конденсатор C1 потрібен для запобігання проникнення завад від лампи до мережі.

Для отримання усякого кольору можна уживати як окремі світлодіоди різних кольорів, так й три-кристальні діоди білого світла, що сполучають кристали червоного, синього та зеленого свічення в одному корпусі.

Колірна температура та індекс перенесення кольорів вельми актуальні для білих світлодіодів, що використовують для освітлення. Виробники декларують індекс кольоропередачі Ra до 75 – 85.

Порівняння напівпровідникових ламп з традиційними джерелами світла

Під час розгляду питань щодо вибору джерел світла (рис. 9.6), потрібно аналізувати переваги та недоліки джерел.



а

б

в

Рис. 9.6. Зовнішній вид світлодіодних ламп: а – лампи розжарювання та люмінесцентні лампи: 1, 2 – лампи розжарювання 60Вт (720Лм / 2700К) та 40Вт (415Лм / 2700К); 3 – люмінесцентна спіраль в кулі 13Вт (780Лм / 2700К); 4 – люмінесцентна спіраль 15Вт (900Лм / 2700К); 5 – світлодіодна лампа 9Вт (800Лм / 3000К); 6 – світлодіодна лампа 7Вт (630Лм / 3015К); б – трубчасті лампи; в – цокольна лампа.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

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

Таблиця 9.2. Основні 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 -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
4. Компактність;
5. Високий рівень світловіддачі;
6. Використання оптичних аксесуарів (лінзи, рефлектори) дозволяють регулювати спрямованість свічення;
7. Мала інерційність;
8. Світлодіоди можуть забезпечити теплий, нейтральний, холодний, денний діапазон;
9. Відсутність пульсацій та мерехтіння;

11. Заощадження споживаної електроенергії та високий ККД.

Таблиця 9.3. Світлотехнічні характеристики джерел світла

Тип джерела світла	Світловіддача, лм/Вт	Індекс кольоропередачі, Ra	Термін дії, год
Лампи розжарювання	7 – 18	100	800 – 1000
Галогенні лампи розжарювання	13 – 30	100	3000
Компактні люмінесцентні лампи	40 – 80	85	6000 – 12000
Люмінесцентні лампи	50 – 80	60-85	10000 – 12000
Ртутні високого тиску	40 – 55	40 – 60	12000 – 20000
Натрієві лампи низького тиску	100 – 200	–	10000 – 15000
Натрієві лампи високого тиску	80 – 150	23 – 80	10000 – 15000
Ксенонові лампи	120 – 150	70 – 95	2000
Індукційні ртутні низького тиску	200	–	60000
Металогалогенові лампи	70 – 90	70 – 95	8000 – 10000
Світлодіодні лампи	100 – 140	75 – 85	100000

Світлодіодний драйвер – електронний пристрій, що перетворює джерело напруги в джерело струму і підтримує струм сталим. Світлодіодний драйвер захищає світлодіоди від коливань напруги, а також дозволяють регулювати світловий потік.

Регулюючий прилад – **димер**, регулює яскравість світіння Світлодіодної лампи. **Димер** формує частотні імпульси від яких залежить яскравість.

У навчальних закладах найбільшу частку електронавантаження становить освітлення, тому підвищення енергоефективності ускладнюється необхідністю

вирішення двох завдань – забезпечення гінкої освітленості у навчальних приміщеннях (освітленості робочої поверхні $E=400$ лк), та максимально можливе електроощадження.

Розглянуті питання оптимізації комбінованого освітлення при використанні ламп розжарювання, люмінесцентних і світлодіодних ламп.

Освітленості вимірювання за допомогою люксометру *LX1010BS* в аудиторії площею 6х6 м, висотою у 3,1 м. Обрано робочу поверхню парт (0,7 м від підлоги). На рис 9.7 зображені результати експериментальних вивчень розподілу освітленості поверхні парт при застосовуванні різних джерел світла.

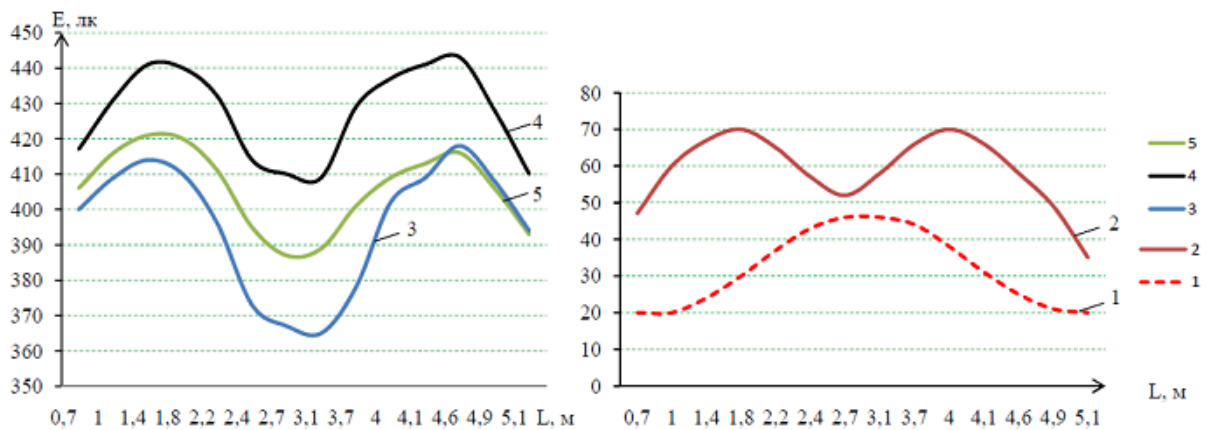
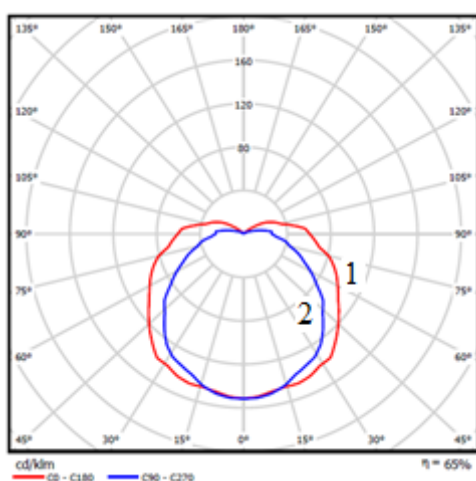


Рис. 9.7. Освітленість поверхні парт при вживанні різних ламп: 1 – лампи розжарювання (розташовані в один ряд по центру); 2 – лампи розжарювання, у два ряди; 3 – люмінесцентні лампи, у два ряди; 4 – комбіноване освітлення у два ряди; 5 – світлодіодні лампи у два ряди.

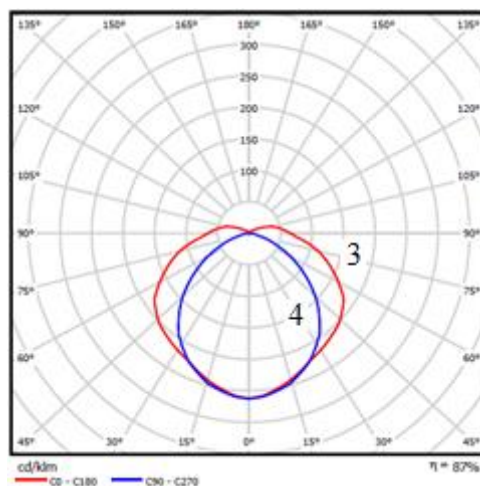
Дослідження проводили при закритих жалюзях, при вимкнених лампах освітленість склала 8лк. З рис. 9.8 очевидно, що освітленість від лампи розжарювання, розташованої по центру робочої поверхні має замале значення ($E_{\max1} < 50$ лк) і нерівномірне поле з розкидом освітленості $\Delta E_{\max1}$:

$$\Delta E_{\max1} = 2 \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \cdot 100 \% = 78,8 \%$$

Розташування ламп у два ряди покращує ситуацію (рис. 9.8, криву 2), $\Delta E_{\max 2}=32,1\%$, проте рівень освітленості є недостатнім ($E_{\max 2} \leq 70$ лк). Ситуація покращується при вживанні люмінесцентних ламп, у два ряди (рис. 9.8 крива 3), бо рівень освітленості має нормативне значення $E=390$ лк. Нерівномірність освітленості $\Delta E_{\max 3}=12,8\%$ менша від $\Delta E_{\max 1}$, що пояснюється довжиною 1,2 м.



a



б

Рис. 9.8. Розподіл сили світла залежно від кута світлового потоку (криві 1,3) та впоперек осі (криві 2,4): *a* – люмінесцентною лампою (ЛЛ); *б* – з світлодіодною лампою (СДЛ).

Недоліком люмінесцентного освітлення є мерехтіння з частотою 100 Гц.

Світлодіодні лампи мають більш рівномірне поле $\Delta E_{\max 5}=7,4\%$ (див. рис. 9.7, криву 5), що обумовлене лінз розсіювання (рис. 9.8 б).

З рис.9.8 а,б видно, що кутові характеристики світлопотоків від ЛЛ та СДЛ схожі за формою, але сила потоку світлодіодної лампи (130...260 кД) перевершує потік люмінесцентної лампи (80...155 кД) вдвічі. Особливістю СДЛ є те, що її світловий конус є ширшим.

Недоліком світлодіодних ламп є наявність у відбитому світлі блакитної складової. Крім того, світлодіодні лампи дорожчі за люмінесцентні.

За результатами досліджень спектрів світлодіодних ламп, виявлено складову блакитних та ультрафіолетових хвиль (рис. 9.9 – 9.10), яка є небезпечною для сітківки ока молоді до 25 років. Тому, застосовувати світлодіодні лампи в навчальних аудиторіях не рекомендують.

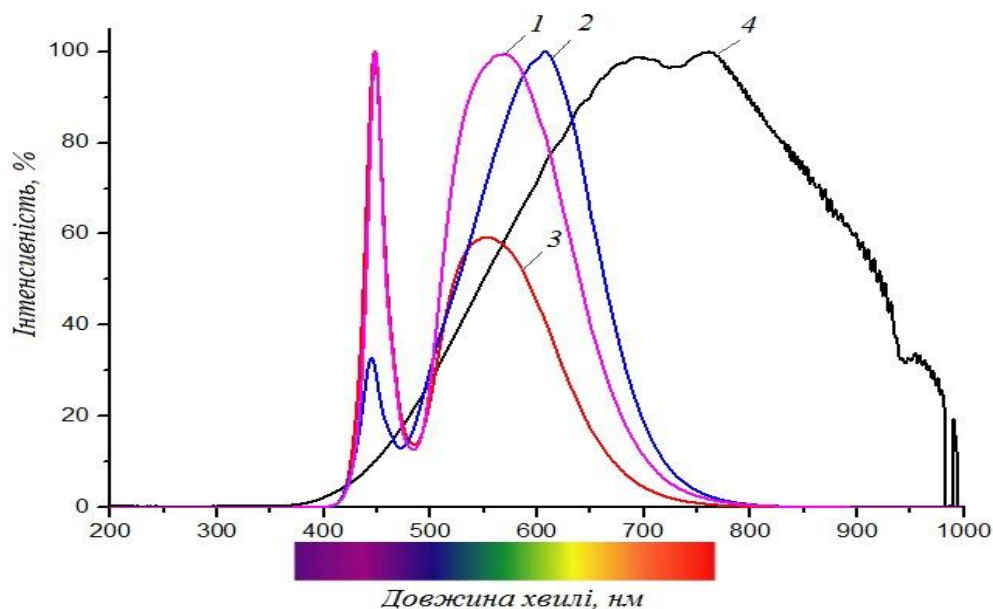


Рис. 9.9. Порівняння спектрів світлодіодних ламп та розжарювання:

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

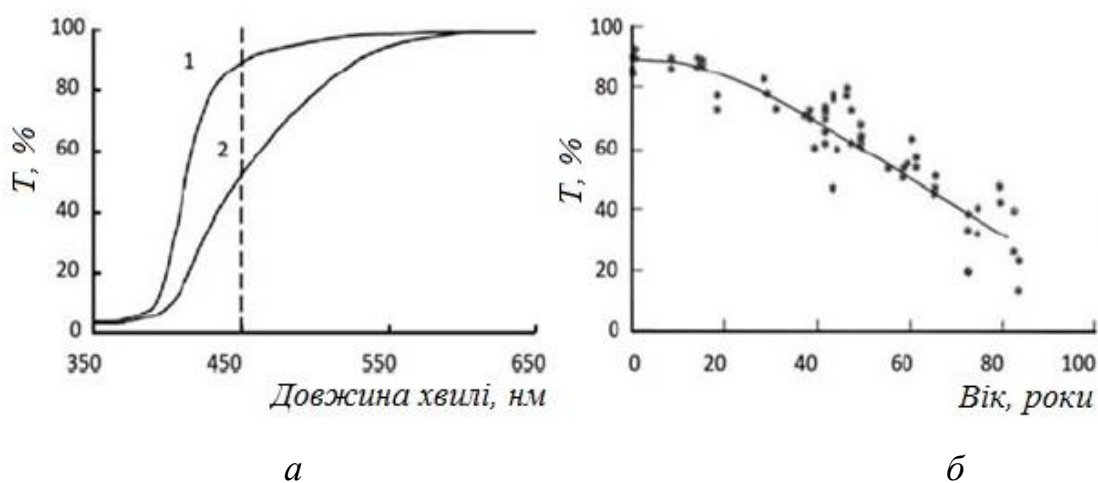


Рис. 9.10 – Спектральні залежності коефіцієнта проникнення кришталика очей:
а – кришталик 5...15-річних та 45...55 – річних, вертикальна мітка акцентує

різницю в проникненні молодих (1) та дорослих (2); $\bar{b}$ – вікова залежність коефіцієнта проникнення.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

10. ВИСНОВКИ

В роботі була зроблена розробка магістрально-радіальної системи електропостачання промзони головного корпусу.

Розрахункове навантаження на 0,4 кВ $P_p=12755$ кВт, на шинах 10 кВ – 16182 кВт.

В результаті проектування отримано результати:

1. Розраховано електричне навантаження, здійснено розподіл навантаження по 7 ТП (12х1600 кВт).

Побудовано картограму навантажень, обрано місце ГПП.

2. На основі техніко-економічного порівняння електропостачання обрано ПЛ-35кВ як більш економічний.

3. Виконано вибір кількості, потужності та місця встановлення КП (БК-0,4 та СД-10 кВ). У відповідності з КРП $\text{tg}\varphi = 0,15$.

4. Розрахунок струмів короткого замикання і визначення надперехідних та ударних складових струму в контрольних точках дозволив обрати відповідне високовольтне устаткування.

5. Обґрунтовано системи комерційного та технічного обліку електроспоживання. Вибрано схеми підключення лічильників і вибір трансформаторів струму та напруги.

6. У спеціальному розділі бакалаврської роботи досліджено шляхи економії електричної енергії за рахунок застосування напівпровідникових джерел світла: світлодіодні лампи мають більш рівномірне поле, що обумовлене уживанням лінз розсіювання. Кутові характеристики світлопотоків від ЛЛ та СДЛ схожі за формою, але сила потоку світлодіодної лампи (130...260 кД) перевершує потік люмінесцентної лампи (80...155 кД) вдвічі. Особливістю СДЛ є те, що її світловий конус є ширшим.

Недоліком світлодіодних ламп є наявність у відбитому світлі блакитної складової. Крім того, світлодіодні лампи дорожчі за люмінесцентні.

Виконано оцінку очікуваного економічного ефекту.

					Арк. 47
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	

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.
4. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград:КДТУ, 2004. – 133.с.
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.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

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 –

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

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.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

ДОДАТКИ

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В

№ п/п	Найменування устаткування	п	P _н , кВт		K _и	Cos	tg	Середнє		п _е	К _м	Розрахункове		
			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 _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВаар	S _p , 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		пе	Км	Розрахункове		
			Одног о	Сумар				Рср	Qср			Рр	Qр	Sp
	ТП 1,2,3,4,5													
1	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
	ТП 6,7													
3	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>m</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

$S_{н\ гр} = 1600$ кВ*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 8.1. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p.ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{дон}$, А	K_n	$K_n I_{дон}$	K_3	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{дон}$, А	B_k , кА ² ·с	F_{min} , 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	$I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$	1000 А
8,054 А	$I_K \leq I_{дин\,с}$	26 кА
16,989	$i_y \leq 1,8 * \sqrt{2} * I_{дин\,с}$	66,185 кА
8,054 А	$I_{нт} \leq I_{ном\,відкл}$	16 кА
$\sqrt{2} * 8,054 + 0,077 = 11,467$	$\sqrt{2} * I_{ном\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} * I_{н\,відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} * 16 * (1 + 0,3) = 29,416 \text{ кА}$
$B_k = I_k^2 * t_{сп\,зах} = 8,054^2 * 2,124 = 137,8 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$26^2 * 3 = 2028 \text{ кА}^2 * \text{с}$

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	$I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$	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	$I_{п\tau} \leq I_{ном\,відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} * 8,122 + 3,393 = 14,879 \text{ кА}$	$\sqrt{2} * I_{ном\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} * I_{н\,відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} * 20 * (1 + 0,5) = 42,426 \text{ кА}$
$B_K \leq I_K^2 * (t_{від} + t_{п3}) =$ $= 8,122^2 * (1,53 + 0,045) =$ $= 103,898 \text{ кА}^2 * c$	$B_K \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$I_{тер}^2 * t_{тер} = 20^2 * 3 = 1200 \text{ кА}^2 * c$

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	$I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$	1000 А
16,989	$i_y \leq i_{динс}$	64 кА
$B_K = I_K^2 * t_{спр\,зах} = 8,054^2 *$ $* 2,124 = 137,8 \text{ кА}^2 * c$	$B_K \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$25^2 * 4 = 2500 \text{ кА}^2 * c$

Таблиця 8.5. Вибір вимикачів навантаження.

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