

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛЄШКОВ

“___” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи електропостачання машинобудівного підприємства»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–20,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Максим ОВЕЧЕНКО

«___» _____ 2024 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Василь ЗІНЗУРА

«___» _____ 2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

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

Овеченка Максима Андрійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання машинобудівного підприємства

Design of a power supply system for an engineering enterprise

2. Керівник роботи Зінзура Василь Васильович, канд. техн. наук, доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розробка системи електропостачання заводу важкого машинобудування. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>08.04-19.04</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>20.04-23.04</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05-20.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>21.05-26.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>27.05-30.05</i>	

Дата видачі завдання
«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника _____

Василь ЗІНЗУРА

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

Максим ОВЕЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 70 с.; 17 рис.; 24 табл.; 6 джерел

Овечко М. А. Проектування системи електропостачання машинобудівного підприємства. – Рукопис.

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

Дослідження сконцентроване на створенні інтегрованої системи енергозабезпечення для комплексу важкого машинобудування. Цей виробничий гігант, що спеціалізується на випуску широкого спектру продукції – від потужних гірничих екскаваторів до високоточних верстатів з ЧПК, – потребує особливо надійного та гнучкого електропостачання. У роботі глибоко аналізуються електричні навантаження різноманітних виробничих підрозділів заводу. Це включає ливарний цех з його енергоємними індукційними печами, ковальсько-пресовий з гігантськими молотами та пресами, механообробні цехи з парками важких верстатів, складальні цехи з мостовими кранами великої вантажопідйомності. Врахування специфіки кожного виробництва – від циклічних навантажень прокатних станів до постійного споживання вентиляційних систем фарбувального цеху – дозволило точно спрогнозувати енергетичні потреби.

У спеціалізованому розділі роботи розглянуто комплексну задачу створення оптимальної системи освітлення для механічного цеху – серця заводу важкого машинобудування. На відміну від статичних складських приміщень, цей виробничий підрозділ характеризується динамічним середовищем з постійно змінюваними вимогами до освітлення.

Ключові слова: розрахункові навантаження, електрична мережа, освітлювальна мережа

ABSTRACT

Qualification work: 70 p.; 17 Fig.; 24 tables; 6 sources

Ovechenko M. Design of a power supply system for an engineering enterprise. – Manuscript.

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

The research focuses on creating an integrated energy supply system for a heavy machine-building complex. This industrial giant, specializing in a wide range of products – from powerful mining excavators to high-precision CNC machines – requires particularly reliable and flexible power supply. The work deeply analyzes the electrical loads of various production units of the plant. This includes a foundry shop with its energy-intensive induction furnaces, forging and pressing shop with giant hammers and presses, machining shops with parks of heavy machines, assembly shops with high-capacity bridge cranes. Considering the specifics of each production – from cyclic loads of rolling mills to constant consumption of ventilation systems in the painting shop – allowed to accurately predict energy needs.

In a specialized section of the work, a comprehensive task of creating an optimal lighting system for the mechanical shop – the heart of the heavy machine-building plant – is considered. Unlike static warehouse premises, this production unit is characterized by a dynamic environment with constantly changing lighting requirements.

Keywords: calculated loads, electrical network, lighting network

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	10
1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ	10
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень	11
1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1 кВ	12
1.4 Графіки електричних навантажень заводу	17
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	22
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ	24
3.1 Схема зовнішнього електропостачання.....	24
3.2 Схема внутрішнього електропостачання	27
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	28
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності	28
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв	29
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	32
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	33
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	33
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	40
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	43
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	43
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ СКЛАДУ	45
7.1 Вихідна інформація для світлотехнічних розрахунків системи освітлення механічного цеху	45
7.2 Обґрунтування вибору кривої сили світла світлових приладів та їх кількості	55
7.3 Розрахунок коефіцієнта запасу.....	58
7.4 Світлотехнічний розрахунок та моделювання системи освітлення виробничих приміщень механічного цеху.	61

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Овеченко М.А.			Проекткування системи електропостачання машинобудівного підприємства Design of a power supply system for an engineering enterprise	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Зінзура В.В.					6	70
						ЦНТУ зр. ЕЕ-20		
Н. контр.		Зінзура В.В.						
Затвер.		Плешков П.Г.						

ВСТУП

Робота присвячена проектуванню системи електропостачання машинобудівного підприємства. У сучасних умовах питання надійного постачання електроенергії виробничим об'єктам набуває критичного значення. Електрика стала невід'ємним компонентом, що забезпечує коректне функціонування широкого спектру промислових процесів та устаткування. Саме стабільне й безперервне надходження енергії гарантує високу продуктивність та оптимальну ефективність роботи підприємства.

Варто підкреслити, що попит на електроенергію в індустріальному секторі невинно зростає. Це зумовлено активним впровадженням інноваційних технологій та прогресивною автоматизацією виробничих ліній. Сучасне високотехнологічне обладнання, як-от верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), промислові роботи та автоматизовані конвеєрні системи, потребує значних обсягів електричної енергії для забезпечення своєї безперебійної роботи. З огляду на це, менеджменту підприємств необхідно скрупульозно проектувати й оптимізувати системи енергозабезпечення, беручи до уваги не лише поточні, а й перспективні потреби.

Окрім того, особливу увагу слід приділити раціональному використанню електроенергії. Інтеграція енергоефективних технологій, як-от світлодіодне освітлення, частотні перетворювачі для двигунів та системи рекуперації енергії, може істотно скоротити споживання електрики. Також важливу роль відіграє модернізація застарілого устаткування та оптимізація виробничих циклів, наприклад, шляхом зменшення часу простою обладнання. Ці заходи дозволяють зменшити енерговитрати без негативного впливу на продуктивність.

Більше того, впровадження інтелектуальних систем управління енергоспоживанням (EMS - Energy Management Systems) допомагає в реальному часі моніторити та регулювати використання електроенергії. Такі системи аналізують дані з лічильників та сенсорів, виявляючи аномалії та можливості для економії. Крім того, використання відновлюваних джерел енергії, таких як

						8

сонячні панелі на дахах виробничих приміщень або вітрові турбіни на території підприємства, може частково забезпечити власні енергетичні потреби.

Варто зазначити, що ефективне енергоспоживання не тільки позитивно впливає на фінансові показники підприємства, знижуючи витрати на електроенергію, але й сприяє підвищенню екологічної стійкості виробництва. Зменшення енергоспоживання безпосередньо корелює зі скороченням викидів парникових газів, оскільки значна частина електроенергії в Україні все ще генерується тепловими електростанціями, що працюють на викопному паливі.

Таким чином, проектування надійної та ефективної системи електропостачання машинобудівного підприємства є багатогранним завданням. Воно вимагає не лише технічних знань для забезпечення стабільного енергопостачання, але й стратегічного мислення для оптимізації енергоспоживання, впровадження інновацій та підтримки сталого розвитку.

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У першому розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядається питання обчислення електричних навантажень. Зокрема, тут проводяться розрахунки силових електричних навантажень до 1000 Вольт, освітлювальних електричних навантажень, а також силових електричних навантажень, напруга в яких перевищує 1000 Вольт.

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ

Силові електр. навант. до 1 кВ визначаються згідно з методом коефіцієнта розрахункової потужності.

Наведемо приклад розрахунку силових навант. до 1 кВ для механічного цеху № 1.

$$m = \frac{P_{H.max}}{P_{H.min}} = \frac{150}{1} = 150$$

$$P_{cm} = P_{sum} \cdot K_u = 6000 \cdot 0,25 = 1500 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1500 \cdot 0,75 = 1322,88 \text{ квар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H.max}} = \frac{2 \cdot 6000}{150} = 80$$

$$K_p = 1,21$$

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 1500 \cdot 1,21 = 1824,3 \text{ кВт}$$

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електр. навант. вище 1000 В

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosj	tgj	Середньозміне навантаження		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ТП 1,2															
Механічний цех															
силове:	450	1	150	6000	150	0,25	0,75	0,88	1500	1322,88	80	1,22	1824,32	1322,88	2253,48
освітлювальне:									50,62				57,71	27,93	
Всього:									1550,62	1322,88			1882,03	1350,81	2316,62
Насосна															
силове:	10	5	20	200	4	0,6	0,7	1,02	120	122,42	10	1,29	154,56	134,66	204,99
освітлювальне:									6,05				6,9	3,34	
Всього:									126,05	122,42			161,46	138	212,4
Всього по ТП 1,2:															
силове:	460	1	150	6200	150	0,26	0,75	0,89	1620	1445,3	83	1,2	1952,1	1445,3	2428,91
освітлювальне:									56,67				64,61	31,27	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1,2:									1676,67	1445,3			2016,71	1476,57	2499,48
Втрати в трансформаторах:													30,26	156,54	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,83															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1,2:													2046,97	1633,11	2618,61
ТП 3															
Ливарний цех															
силове:	100	2	40	1700	20	0,65	0,8	0,75	1105	828,75	85	1,07	1184,3	828,75	1445,47
освітлювальне:									59,67				68,02	32,92	
Всього:									1164,67	828,75			1252,32	861,67	1520,13
Територія заводу															
освітлювальне:									19,44				21,77	37,71	
Всього:									19,44	0			21,77	37,71	43,54
Всього по ТП 3:															
силове:	100	2	40	1700	20	0,65	0,8	0,75	1105	828,75	85	1,07	1184,3	828,75	1445,47

Продовження таблиці 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosj	tgj	Середньозмінне навантаження		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
освітлювальне:									79,11				89,79	70,63	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 3:									1184,11	828,75			1274,09	899,38	1559,55
Втрати в трансформаторах:													18,28	94,89	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,78															
Всього на шинах 10 кВ ТП 3:													1292,37	994,27	1630,58
ТП 4															
Модельний цех															
силове:	125	5	50	3000	10	0,35	0,55	1,52	1050	1594,41	120	1,13	1188,59	1594,41	1988,69
освітлювальне:									62,77				71,56	34,64	
Всього:									1112,77	1594,41			1260,15	1629,05	2059,56
Всього по ТП 4:															
силове:	125	5	50	3000	10	0,35	0,55	1,52	1050	1594,41	120	1,13	1188,59	1594,41	1988,69
освітлювальне:									62,77				71,56	34,64	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4:									1112,77	1594,41			1260,15	1629,05	2059,56
Втрати в трансформаторах:													28,23	144,65	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 1,03															
Всього на шинах 10 кВ ТП 4:													1288,38	1773,7	2192,24
ТП 5															
Малярний цех															
силове:	30	2	200	2500	100	0,4	0,6	1,33	1000	1333,33	25	1,28	1281,5	1333,33	1849,33
освітлювальне:									47,74				54,42	26,34	
Всього:									1047,74	1333,33			1335,92	1359,67	1906,14
Всього по ТП 5:															
силове:	30	2	200	2500	100	0,4	0,6	1,33	1000	1333,33	25	1,28	1281,5	1333,33	1849,33

Продовження таблиці 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosj	tgj	Середньозмінне навантаження		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
освітлювальне:									47,74				54,42	26,34	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 5:									1047,74	1333,33			1335,92	1359,67	1906,14
Втрати в трансформаторах:													24,88	127,92	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,95															
Всього на шинах 10 кВ ТП 5:													1360,8	1487,59	2016,11
ТП 6															
Цех оснащення															
силове:	30	2	200	2500	100	0,4	0,7	1,02	1000	1020,2	25	1,28	1281,5	1020,2	1638
освітлювальне:									43,87				50,01	24,2	
Всього:									1043,87	1020,2			1331,51	1044,4	1692,24
Всього по ТП 6:															
силове:	30	2	200	2500	100	0,4	0,7	1,02	1000	1020,2	25	1,28	1281,5	1020,2	1638
освітлювальне:									43,87				50,01	24,2	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 6:									1043,87	1020,2			1331,51	1044,4	1692,24
Втрати в трансформаторах:													20,65	106,75	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,85															
Всього на шинах 10 кВ ТП 6:													1352,16	1151,15	1775,81
ТП 7															
Компресорна станція															
силове:	10	10	150	800	15	0,65	0,85	0,62	520	322,27	10	1,25	647,47	354,5	738,17
освітлювальне:									20,25				23,08	11,17	
Всього:									540,25	322,27			670,55	365,67	763,77
Всього по ТП 7:															
силове:	10	10	150	800	15	0,65	0,85	0,62	520	322,27	10	1,25	647,47	354,5	738,17
освітлювальне:									20,25				23,08	11,17	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 7:									540,25	322,27			670,55	365,67	763,77

Продовження таблиці 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosj	tgj	Середньозмінне навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Втрати в трансформаторах:													8,87	46,08	
Кількість трансформаторів: 1															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,76															
Всього на шинах 10 кВ ТП 7:													679,42	411,75	794,45
Всього по об'єкту															
силове:	755	1	200	16700	200	0,38	0,69	1,04	6295	6544,26	167	1,1	6942,18	6544,26	9540,5
освітлювальне:									20,25				353,47	198,25	
Всього:									6605,41	6544,26			7295,65	6742,51	9934,18
Потужність КП 0,4 кВ:										0				0	
Втрати в трансформаторах:													131,16	676,82	
Всього по об'єкту:													7426,81	7419,33	10497,81
Високовольтне навантаження															
ДСП-5	2	2250	2250	4500		0,75	0,9	0,48	3375	1634,59			3375	1634,59	3750
АД 10 кВ	2	750	750	1500		0,8	0,9	0,48	1200	581,19			1200	581,19	1333,33
Всього високовольтного навантаження:													4575	2215,78	5083,34
Всього по об'єкту 10 кВ:													12001,81	9635,11	15390,87
КП 10 кВ:														0	
Всього 10 кВ з КП:													12001,81	9635,11	15390,87
tgf = 0,803															

1.4 Графіки електричних навантажень

У цьому параграфі було розраховано параметри графіків електр. навант.

Таблиця 1.4. Вихідні дані для розрахунку графіків електр. навант.

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %
1	81	92	66	84
2	81	92	66	84
3	81	92	66	84
4	81	92	66	84
5	81	92	66	84
6	81	92	66	84
7	81	92	66	84
8	81	92	66	84
9	98	99	52	73
10	98	99	52	73
11	98	99	52	73
12	81	92	52	73
13	81	92	52	73
14	98	99	52	73
15	98	99	52	73
16	98	99	52	73
17	93	98	52	73
18	93	98	52	73
19	93	98	66	84
20	93	98	66	84
21	93	98	66	84
22	93	98	66	84
23	81	92	66	84
24	81	92	66	84

Таблиця 1.5. Результати розрахунку графіків електр. навант.

№ з/п	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА
1	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
2	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
3	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
4	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
5	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
6	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
7	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
8	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
9	11762	9539	15144	6241	7034	9404	9998	8108	12872	5305	5979	7993
10	11762	9539	15144	6241	7034	9404	9998	8108	12872	5305	5979	7993
11	11762	9539	15144	6241	7034	9404	9998	8108	12872	5305	5979	7993
12	9721	8864	13156	6241	7034	9404	8263	7535	11183	5305	5979	7993
13	9721	8864	13156	6241	7034	9404	8263	7535	11183	5305	5979	7993
14	11762	9539	15144	6241	7034	9404	9998	8108	12872	5305	5979	7993
15	11762	9539	15144	6241	7034	9404	9998	8108	12872	5305	5979	7993
16	11762	9539	15144	6241	7034	9404	9998	8108	12872	5305	5979	7993
17	11162	9442	14620	6241	7034	9404	9487	8026	12427	5305	5979	7993
18	11162	9442	14620	6241	7034	9404	9487	8026	12427	5305	5979	7993
19	11162	9442	14620	7921	8093	11324	9487	8026	12427	6733	6879	9626
20	11162	9442	14620	7921	8093	11324	9487	8026	12427	6733	6879	9626
21	11162	9442	14620	7921	8093	11324	9487	8026	12427	6733	6879	9626
22	11162	9442	14620	7921	8093	11324	9487	8026	12427	6733	6879	9626
23	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626
24	9721	8864	13156	7921	8093	11324	8263	7535	11183	6733	6879	9626

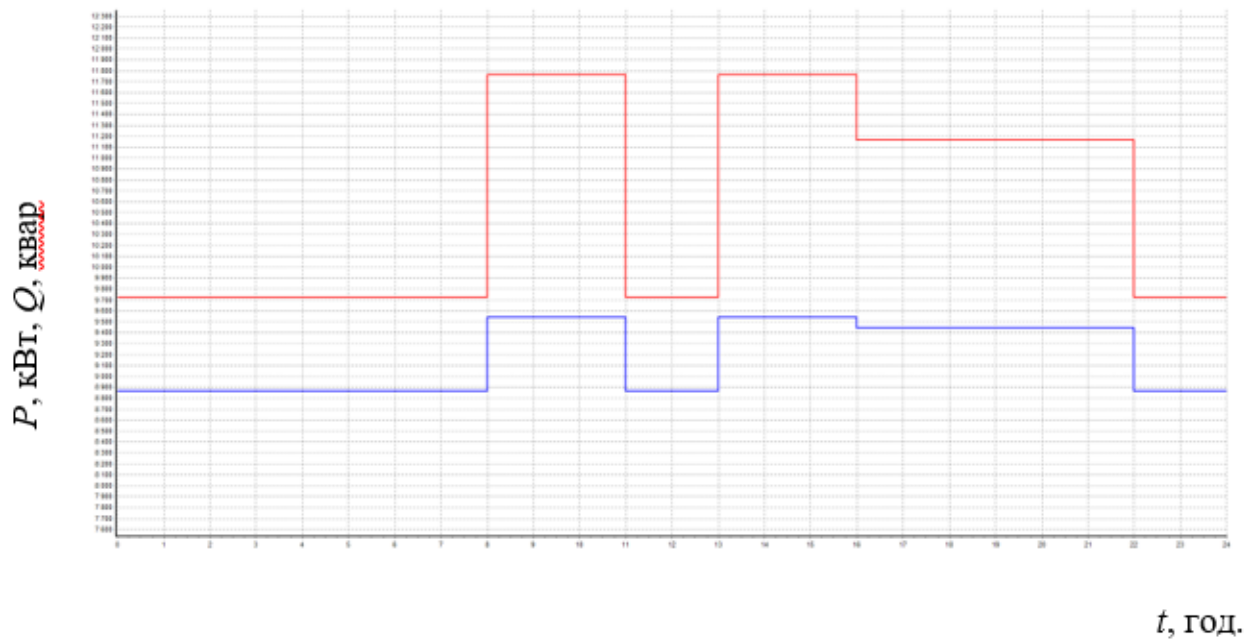


Рис. 1.1. Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (зим. роб. дні)

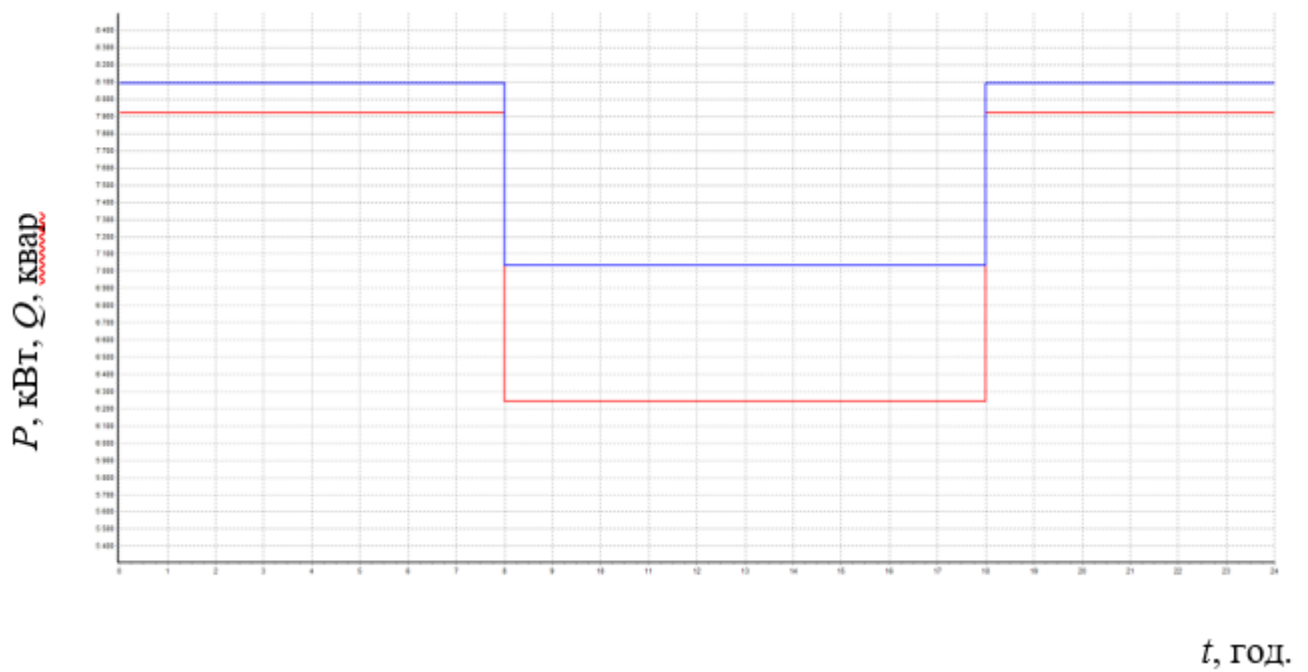


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (зим. вих. дні)

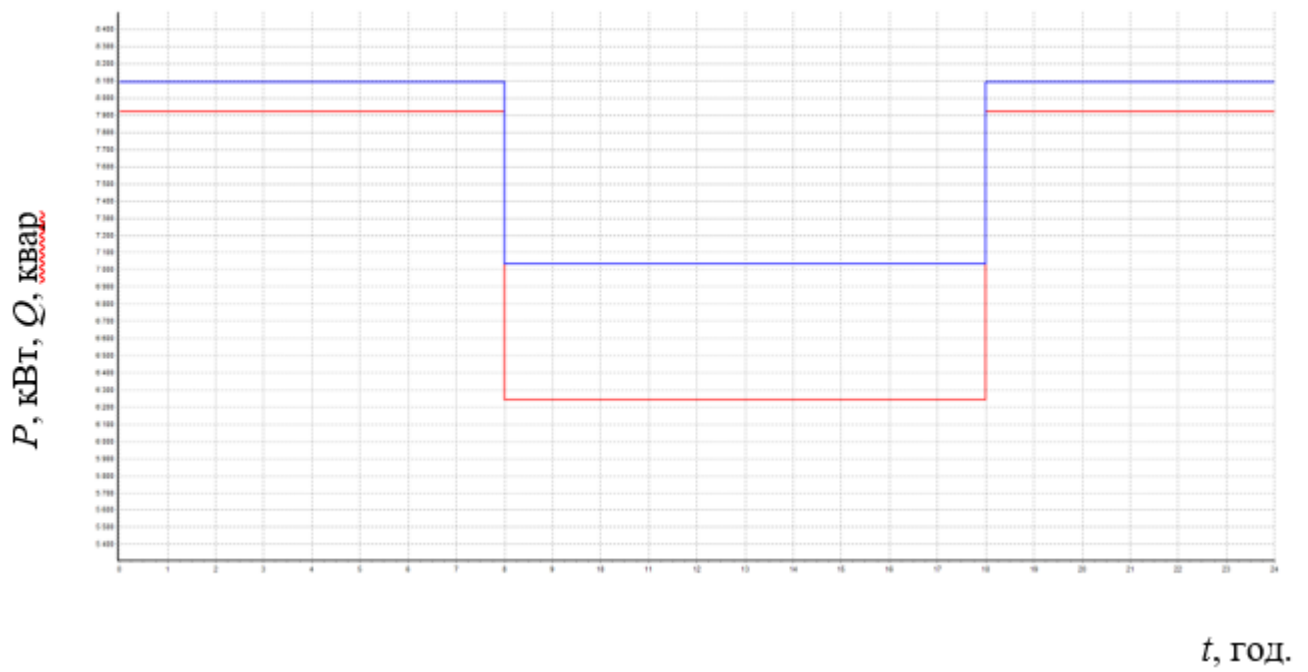


Рис. 1.3. Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (літн. роб. дні)

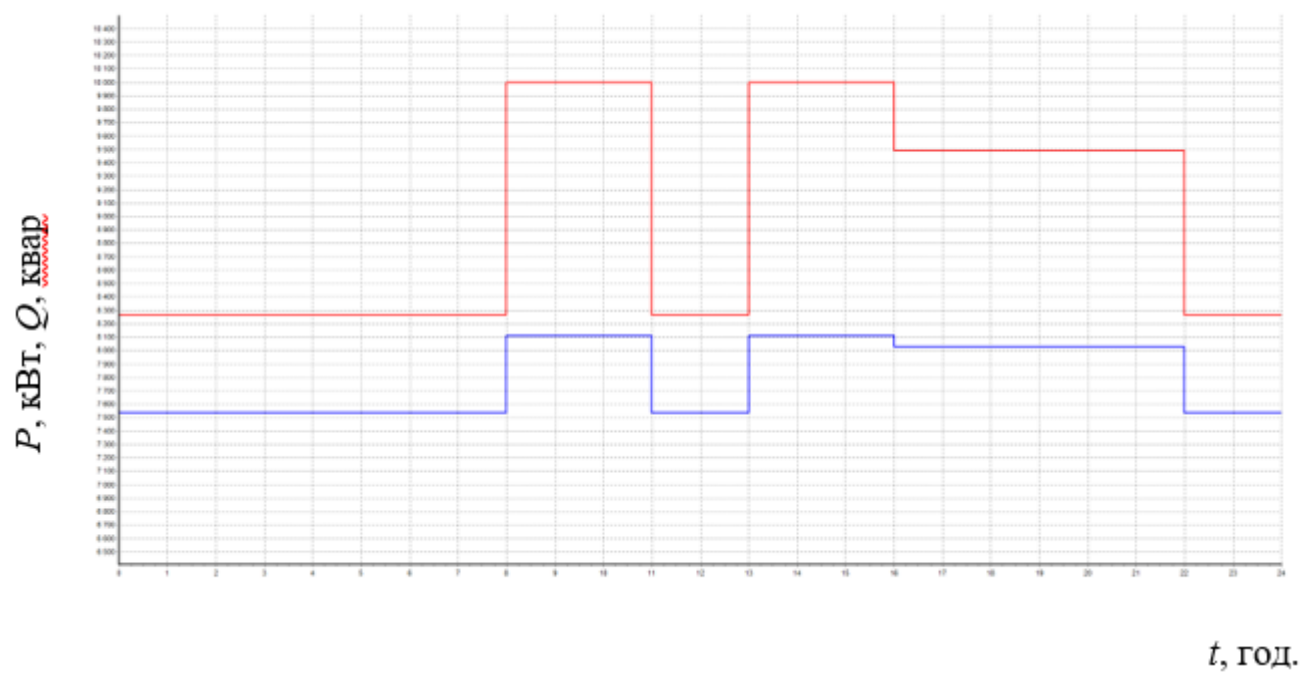


Рис. 1.4 Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (літн. вих. дні)

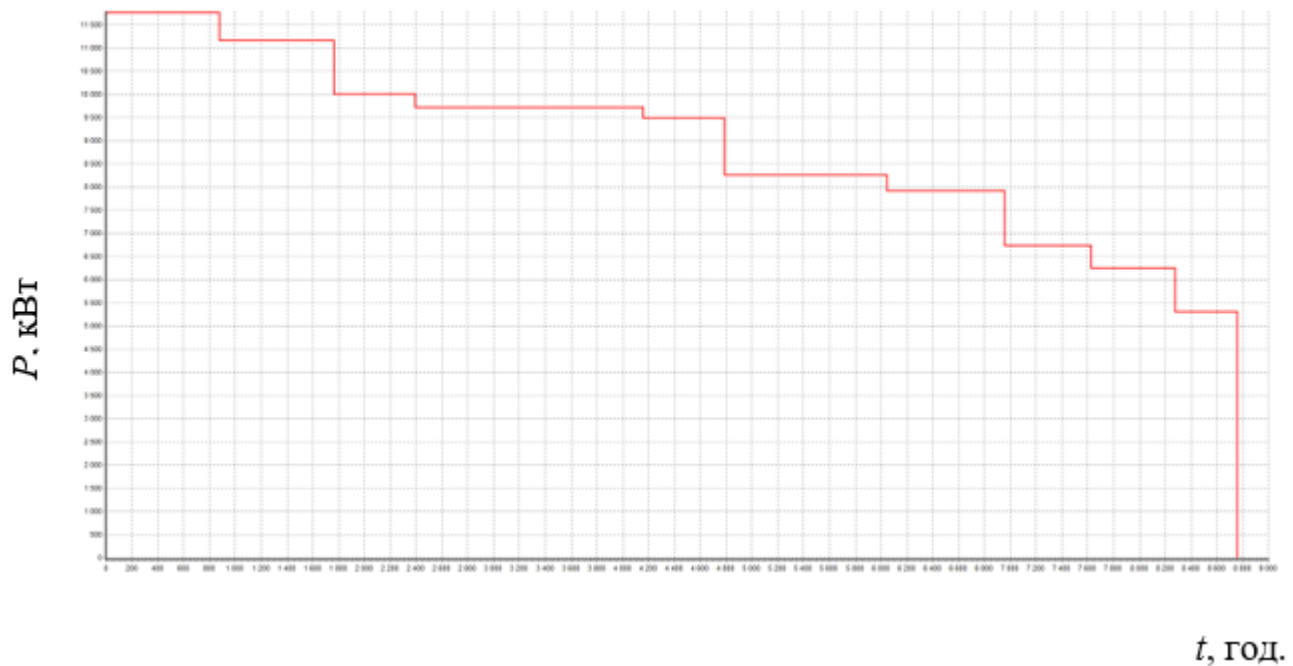


Рис. 1.5. Річний графік активн. потужн. (P) за тривалістю

Таблиця 1.6 Результати розрахунків графіків електр. навант.

№ з/П	Величина	Значення	Од. виміру
1	Розрах. повна потужн., S_p	15390,87	МВА
2	Річне спожив. активн. ел. енерг. (з.р.), $W_{з.р.}$	37366812	кВт·год
3	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (з.р.), $V_{з.р.}$	32377338	квар·год
4	Річне спожив. активн. ел. енерг. (з.в.), $W_{з.в.}$	11264760	кВт·год
5	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (з.в.), $V_{з.в.}$	11936730	квар·год
6	Річне спожив. активн. ел. енерг. (л.р.), $W_{л.р.}$	22686930	кВт·год
7	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (л.р.), $V_{л.р.}$	19658520	квар·год
8	Річне спожив. активн. ел. енерг. (л.в.), $W_{л.в.}$	7070976	кВт·год
9	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (л.в.), $V_{л.в.}$	7492608	квар·год
10	Сумарне річне спожив. акт. ел. енерг., W_p	78389478	кВт·год
11	Сумарне річне спожив. реакт. ел. енерг., V_p	71465196	квар·год
12	Час використ. макс. навантаж., T_m	6892,16	год
13	Час макс. втрат, t_m	5793,165	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок картограми електр. навант. проводиться за методикою, що описана в джерелі.

Наведемо приклад розрахунку картограми для механічного цеху № 1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.осв}} + P_{\text{р.сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1824.32 + 57.71}{3.14 \cdot 0.2}} = 54.73 \text{ мм}$$
$$a_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{P_i} = \frac{57.71 \cdot 360}{1882.03} = 11.04^\circ$$

Розрахунок параметрів для інших цехів проводиться подібним чином (табл. 2.1).

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 8.5 \cdot 30 = 255 \text{ м}$$
$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 8.2 \cdot 30 = 246 \text{ м}$$

Таблиця 2.1. Картограмма електр. на вант.

№ п/п	Найменування	$P_{P.сил}$ кВт	$P_{P.осв}$ кВт	P_p , кВт	m	R, мм	a	x, м	y, м	$P \cdot x$, кВт · м	$P \cdot y$, кВт · м
1.	Механічний цех	1824,32	57,71	1882,03	0,2	54,73	11,04	255,00	246,00	479917,65	462979,38
2.	Ливарний цех:										
	а) 0.4 кВ	1184,3	68,02	1252,32	0,2	44,64	19,55	435,00	285,00	544759,20	356911,20
	б) 10.5 кВ (ДСП-5)	3375	0	3375,00	0,2	73,29	0,00	435,00	285,00	1468125,00	961875,00
3.	Модельний цех	1188,59	71,56	1260,15	0,2	44,78	20,44	90,00	255,00	113413,50	321338,25
4.	Малярний цех	1281,5	54,42	1335,92	0,2	46,11	14,66	150,00	135,00	200388,00	180349,20
5.	Цех оснащення	1281,5	50,01	1331,51	0,2	46,03	13,52	45,00	135,00	59917,95	179753,85
6.	Насосна										
	а) 0.4 кВ	154,56	6,9	161,46	0,2	16,03	15,38	255,00	165,00	41172,30	26640,90
	б) 10.5 кВ (АД)	1200	0	1200,00	0,2	43,70	0,00	255,00	165,00	306000,00	198000,00
7.	Компресорна станція	647,47	23,08	670,55	0,2	32,67	12,39	315,00	135,00	211223,25	90524,25
8.	Територія заводу	0	21,77	21,77	0,2	5,89	360,00	435,00	285,00	9469,95	6204,45
	Всього по заводу	12137,24	353,47	12490,71						3434386,80	2784576,48

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Задача третього розділу роботи полягає в обґрунтуванні схеми зовнішнього та схеми внутрішнього електропостачання.

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

У випускній роботі проводиться аналіз та вибір оптимальної конфігурації системи зовнішнього електропостачання підприємства. Відповідно до прийнятої методології, оптимальний варіант визначається на основі мінімізації приведених витрат на спорудження та експлуатацію електричних мереж.

Згідно вихідних даних, джерелом живлення для підприємства може слугувати підстанція 35/10 кВ, розташована на відстані 6 кілометрів. У зв'язку з цим, доцільно розглянути та порівняти два можливі варіанти схем електропостачання.

1. Схема з ПЛ напругою 10 кВ.
2. Схема з ПЛ 35 кВ та ГЗП 35/10 кВ.

На рис. 3.1 наведено схеми для цих варіантів.

Варіант 1. Схема з ПЛ 10 кВ (рис. 3.1 а).

Розрах. Струм ПЛ, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{12091}{\sqrt{3} \cdot 10} = 698,07$$

Обираємо 4 КЛ АСБ (3х185) з такими технічними даними: $I_{доп} = 310$ А,
 $P_{1км} = 22$ кВт/км, $K_{КЛ} = 54$ тис. грн./км.

$$I_p = 174,52 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,84 \cdot 310 = 260,4 \text{ А}$$

$$I_{p.ас} = 2I_p = 2 \cdot 174,52 = 349,04 \text{ А} \leq K_{ан} K'_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 310 = 387,5 \text{ А}$$

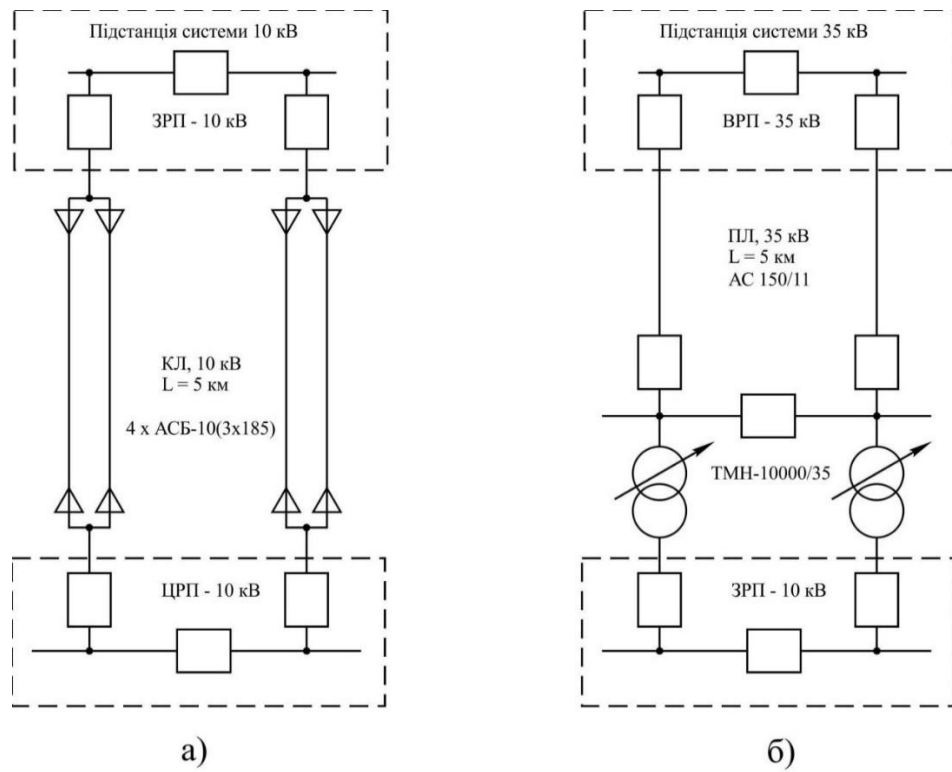


Рис. 3.1. Варіанти схем зовн. електропостачання

Вибрані ПЛ задовольняють умовам перевірки.

$$K_s = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{174,52}{310} = 0,56$$

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_s^2 = 22 \cdot 20 \cdot 0,3136 = 137,98 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma} \tau = 68,99 \cdot 5471,27 = 377462,92 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$C_{стр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 377462,92 \cdot 0,522 \cdot 0,001 = 197,04 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок капітальних вкладень 1-го варіанту наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень 1-го варіанту

						25

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	20	54	1080
	Траншея	км.	5	14,3	71,5
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,7	21,4
Всього					1172,9

В табл. 3.2 наведено розрахунок поточних витрат 1-го варіанту

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат для 1-го варіанту

№ вар	Назва елемента схеми	К _j , тис.грн.	Р _{aj} , %	С _{aj} , тис.грн.	Р _{эj} , %	С _{aj} , тис.грн.	С _j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	1080	5	54	5	54	108
	Траншея	71,5	5	3,575	5	3,575	7,15
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							119,43

Один ланцюг схеми складається з вимикача і ПЛ. Значення параметрів надійності цих елементів схеми:

- ПЛ: $T_B = 0,7 \cdot 10^{-3}$ рік, $= 0,8$ 1/рік, $K_n = 0,09 \cdot 10^{-3}$.

- вимикач: , $T_B = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік, $= 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік, $K_n = 2 \cdot 10^{-3}$.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,8 = 0,804 \text{ 1/рік}$$

$$T_\epsilon = \frac{\sum \lambda_i T_{ei}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,8 \cdot 0,0007)}{0,804} = 0,00069876 \text{ рік}$$

$$K_n = 1,2 K_{n\max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

$$K_a = \lambda T_\epsilon = 0,804 \cdot 0,000698756218905473 = 0,0005618$$

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,804 \cdot 0,00000576 = 0,00000231552$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 K_{an} = 0,00000031561924 + 2 \cdot 0,00000231552 = 0,0000049467$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000049467 \cdot 8760 = 0,04333$$

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 15,7 \cdot 9,09 \cdot 0,04333 = 6,18$$

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

У четвертому розділі випускної роботи виконуються розрахунки, пов'язані з аналізом режимів реактивної потужності в електричній мережі підприємства. Дане питання має вагоме значення для забезпечення якісного електропостачання та мінімізації втрат електроенергії. Розрахунки проводяться відповідно до загальноприйнятої методики, яка ґрунтується на використанні рівнянь балансу активних та реактивних потужностей у вузлах електричної мережі.

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon = 7888,93 + 86,49 + 4575 = 12550,42 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon = 6774,74 + 453,41 + 2215,78 = 9443,93 \text{ кВАр}$$

$$Q_\epsilon = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_\epsilon = 12550,42 \cdot 0,15 = 1882,56 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_\epsilon = 9443,93 - 1882,56 = 7561,37 \text{ кВАр}$$

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{7888,93}{0,7 \cdot 1000} = 11,27 \approx 12 \text{ шт.}$$

Варіант 1. $N = N_0 = 12$ шт.

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_n^2} = \sqrt{(12 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 7888,93^2} = 2885,27 \text{ кВАр}$$

Потужність компенс. пристроїв до 1 кВ:

$$Q_{\text{КН}} = Q_n - Q_1 = 6774,74 - 2885,27 = 3889,47 \text{ кВАр}$$

Потужність компенс. пристроїв 10 кВ:

$$Q_{\text{КВ}} = Q_p - Q_{\text{КН}} - Q_\epsilon = 9443,93 - 3889,47 - 1882,56 = 3671,9 \text{ кВАр}$$

Розрахунок компенс. пристроїв для $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ проводиться подібним чином (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Розрахунок балансу реакт. потужн.

						28

№ варіанту	Кількість тр-торів	$Q_1, \text{кВАр}$	$Q_{KH}, \text{кВАр}$	$Q_{KB}, \text{кВАр}$
1	12	2885,27	3889,47	3671,9
2	13	4535,94	2238,8	5322,57
3	14	5814,19	960,55	6600,82

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Розрахунок потужн. ком пенс. пристроїв 0,4 кВ, 10 кВ для 3-х варіантів зведено в табл. 4.2 - 4.4.

Таблиця 4.2. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_T = 12$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_z	$S_p, \text{кВА}$
1,2	3	2038,97	1593,13	502,59	1090,54	3·100; 3·268;	1104	-13,46	0,7	2096,82
3	2	1287,92	972,02	548,87	423,15	2·100; 2·112,5;	425	-1,85	0,7	1399,27
4	2	1273,78	1700,72	580,93	1119,79	2·166; 2·402;	1136	-16,21	0,7	1393,35
5	2	1350,64	1436,75	368,47	1068,28	2·133; 2·402;	1070	-1,72	0,7	1399,55
6	2	1346,16	1121,16	384,52	736,64	2·67; 2·300;	734	2,64	0,7	1400,73
7	1	677,95	404,4	174,31	230,09	1·100; 1·133;	233	-2,91	0,7	699,281

Батареї конд. 0,4 кВ: 4702 квар.; батареї конд. 10 кВ: 2х1500= 3000 квар.

Таблиця 4.3. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_T = 13$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_z	$S_p, \text{кВА}$
1,2	3	2038,97	1593,13	502,59	1090,54	3·100; 3·268;	1104	-13,46	0,7	2096,82
3	2	1287,92	972,02	548,87	423,15	2·100; 2·112,5;	425	-1,85	0,7	1399,27
4	3	1273,78	1700,72	1669,58	31,14	1·50;	50	-18,86	0,7	2085,04
5	2	1350,64	1436,75	368,47	1068,28	2·133; 2·402;	1070	-1,72	0,7	1399,55
6	2	1346,16	1121,16	384,52	736,64	2·67; 2·300;	734	2,64	0,7	1400,73
7	1	677,95	404,4	174,31	230,09	1·100; 1·133;	233	-2,91	0,7	699,281

квар.

Таблиця 4.4. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_T=14$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{БК}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1,2	3	2038,97	1593,13	502,59	1090,54	3·100; 3·268;	1104	-13,46	0,7	2096,82
3	2	1287,92	972,02	548,87	423,15	2·100; 2·112,5;	425	-1,85	0,7	1399,27
4	3	1273,78	1700,72	1669,58	31,14	1·50;	50	-18,86	0,7	2085,04
5	3	1350,64	1436,75	1608,03	0		0	0	0,66	1971,92
6	2	1346,16	1121,16	384,52	736,64	2·67; 2·300;	734	2,64	0,7	1400,73
7	1	677,95	404,4	174,31	230,09	1·100; 1·133;	233	-2,91	0,7	699,281

Батареї конд. 0,4 кВ: 2546 квар.; батареї конд. 10 кВ: $2 \times 2700 = 5400$ квар.

Втрати акт. потужн. Р в компенс. пристроях 0,4 кВ:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 4702 = 21,16 \text{ кВт}$$

Втрати акт. потужн. Р в компенс. пристроях 10 кВ:

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 3000 = 9 \text{ КВТ}$$

$$\Delta P_{III} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{7888,93^2 + 2885,27^2}{10^2} \cdot 0,07 \cdot 0,001 = 49,39 \text{ кВТ}$$

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{12 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,07 \text{ Ом}$$

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

$$= 2 \cdot 3,53 + 6 \cdot 3,67 + 2 \cdot 3,9 + 3 \cdot 4,1 + 2 \cdot 4,75 + 3 \cdot 6,14 + 2 \cdot 6,71 + 4 \cdot 8,18 = 123,24 \text{ тис.грн.}$$

Вартість компенс. пристроїв 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KBi} = 2 \cdot 23,63 = 47,26 \text{ тис.грн.}$$

Вартість трансформ. підстанцій 10/0,4 кВ:

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

$$= 5 \cdot 638 + 2 \cdot 337,5 = 3865 \text{ тис.грн.}$$

$$\begin{aligned} Z &= E_H(K_{KH} + K_{KB} + K_{KTH}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{TH}) = \\ &= 0,12 \cdot (123,24 + 47,26 + 3865) + 0,522 \cdot 5471 \cdot (21,16 + 9 + 49,39) \cdot 10^{-3} = \\ &= 711,44 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

В табл. 4.5 наведено результати розрахунку приведених витрат для 3-х варіантів компенс. реакт. потужн.

Таблиця 4.5. Розрахунок привед. витрат на компенсацію реакт. потужн.

№ вар.	$Q_{KH},$ <i>кВАр</i>	$\Delta P_{KH},$ <i>кВт</i>	$Q_{KB},$ <i>кВАр</i>	$\Delta P_{KB},$ <i>кВт</i>	$N_{TP},$ <i>шт.</i>	$R_{екв},$ <i>Ом</i>	$S_{пр},$ <i>кВА</i>	$\Delta P_{TP},$ <i>кВт</i>	$K_{KH},$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>	$K_{KB},$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>	$K_{KTP},$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>	$З,$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>
1	4702	21,2	3000	9	12	0,07	8400	49,39	123,24	47,26	3865	711,4
2	3616	16,3	3900	11,7	13	0,07	9100	57,97	100,66	67,4	4202,5	769,9
3	2546	11,5	5400	16,2	14	0,06	9800	57,62	76,1	75,92	4540	806,6

З розрахунків видно, що витрати 1-го варіанту є мінімальними. Тому його і приймаємо для подальших розрахунків.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Вибір трансформатора ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n_T \cdot S_{\text{ном Т}}} = \frac{1397.88}{1000 \cdot 2} = 0.7$$

$$S_{\text{ном Т}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1397.88}{1.08} = 1294$$

$$S_{\text{ном Т}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1397.88}{1.4} = 998$$

ТМ-1000/10/0,4 задовольняє умовам вибору.

В табл. 5.1 наведено вибір інших цехових підстанцій.

Таблиця 5.1. Вибір цехових ТП

№ ТП	К-сть	S _{роз} ,кВА	Марка	K ₃	S _{ном} > S _p /K ₁	S _{ном} > S _p /K ₂	Тип КТП
ТП-1	2	1397,88	ТМ-1000-10/0,4	0,70	1294	998	Вбудована
ТП-2	1	698,94	ТМ-1000-10/0,4	0,70	647	499	Вбудована
ТП-3	2	1399,27	ТМ-1000-10/0,4	0,70	1296	999	Вбудована
ТП-4	2	1393,35	ТМ-1000-10/0,4	0,70	1290	995	Вбудована
ТП-5	2	1399,55	ТМ-1000-10/0,4	0,70	1296	1000	Вбудована
ТП-6	2	1400,73	ТМ-1000-10/0,4	0,70	1297	1001	Вбудована
ТП-7	1	699,28	ТМ-1000-10/0,4	0,70	647	499	Вбудована

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

У шостому розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядаються питання, пов'язані з обчисленням струмів короткого замикання та вибором належного типу ліній електропередач і високовольтного устаткування. Дана проблематика має неабияке значення для забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок.

Розрахунки виконуються згідно із загальноприйнятою методикою, яка базується на законах електротехніки та відповідних нормативних документах. Визначення струмів короткого замикання є вкрай важливим, оскільки ці значення потрібні для правильного вибору комутаційної апаратури, захисту від струмів короткого замикання та перевірки електродинамічної і термічної стійкості провідників і шин. Вибір типу ліній електропередач здійснюється з урахуванням величини передаваної потужності, рівня напруги, умов прокладання трас.

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Вирішення задачі визначення струмів к.з. починається зі складання схеми для розрахунку (рис. 6.1), та схеми заміщення (рис. 6.2).

Визначимо опори елементів.

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{100} = 1,103 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_c}{25} = \frac{1,103}{25} = 0,044 \text{ Ом}$$

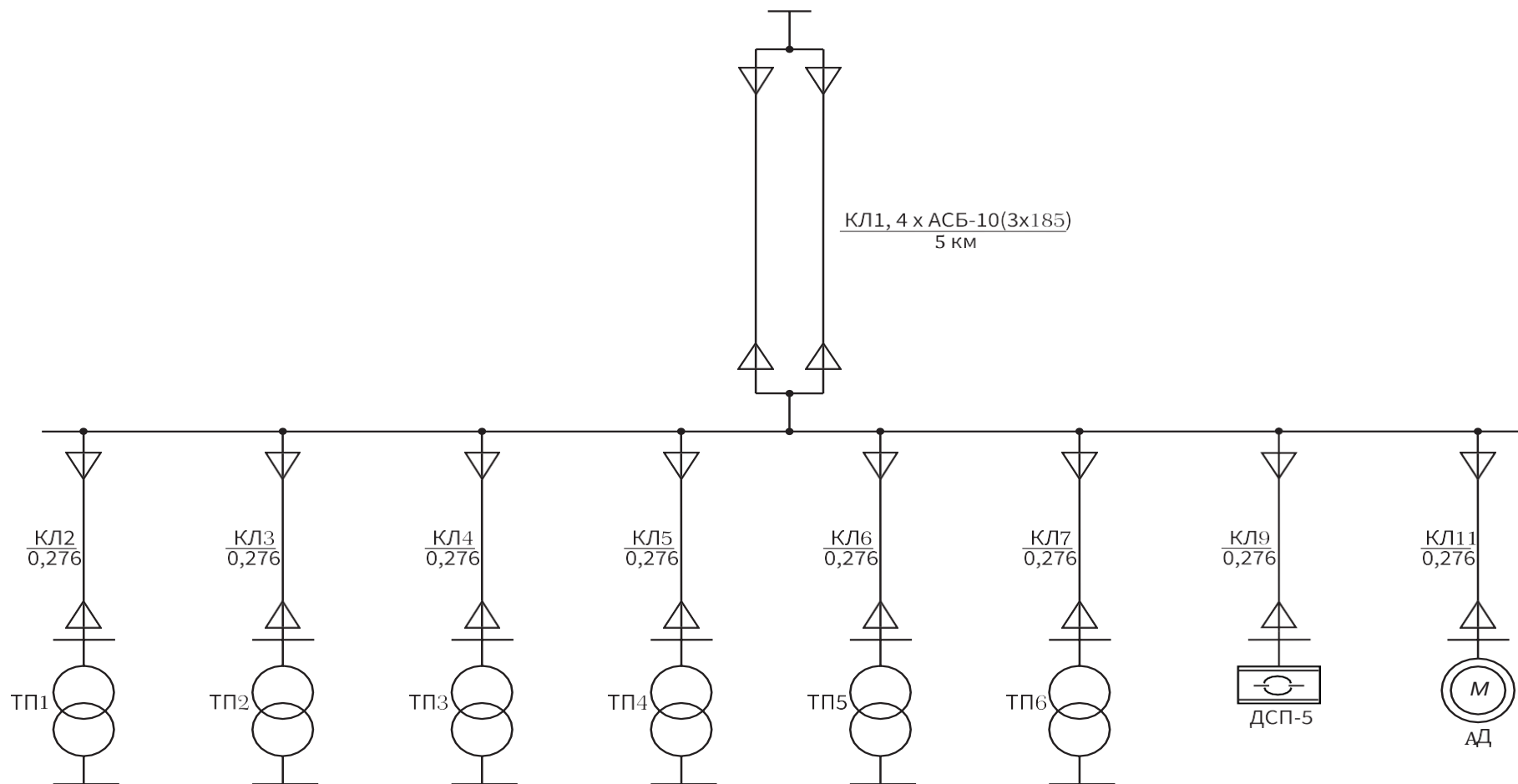


Рис. 6.1. Розрах. схема

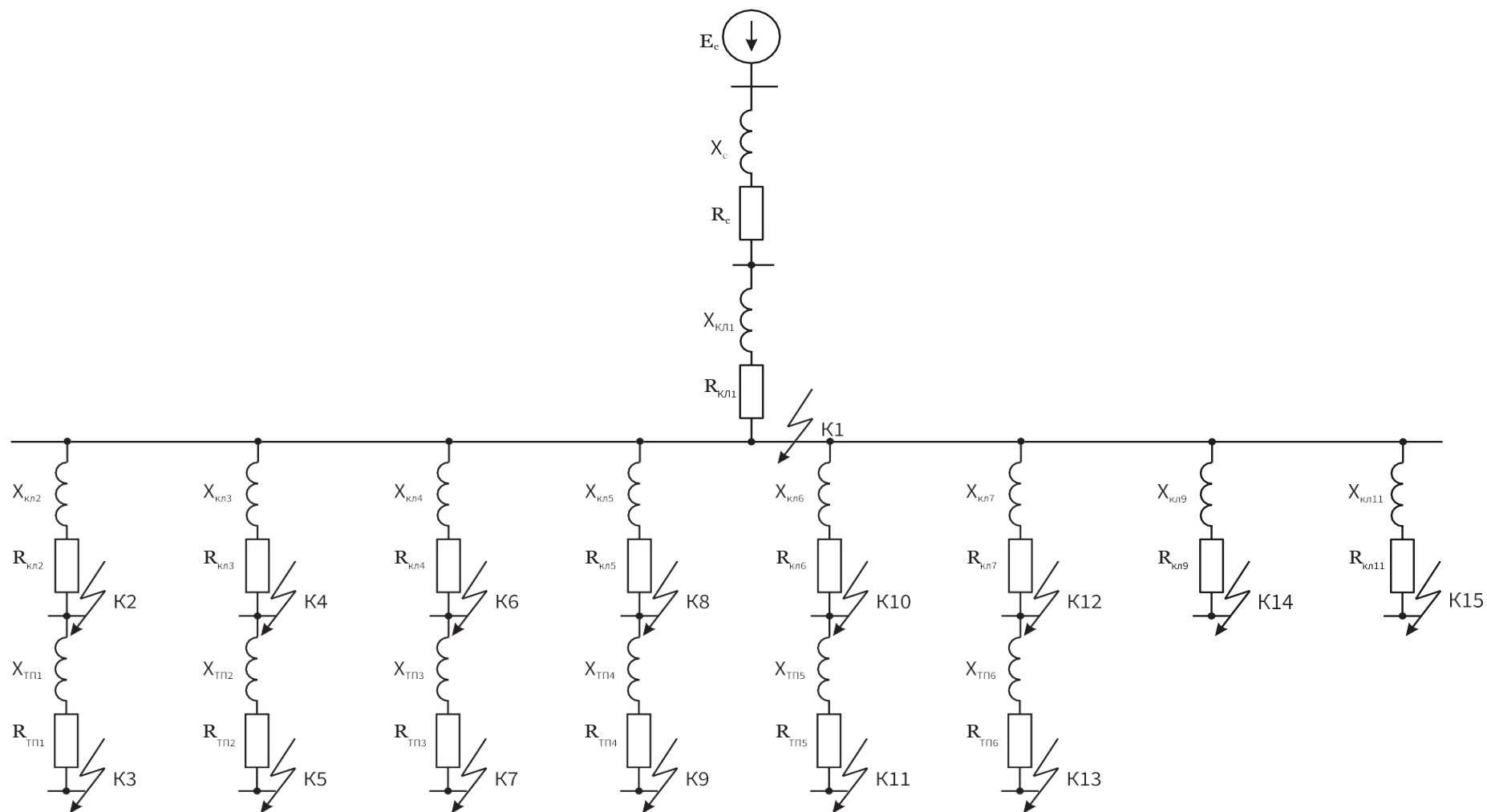


Рис. 6.2. Схема заміщ.

КЛ 10 кВ (2хАСБ-10(3х185), 5 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,167 \cdot 5}{2} = 0,4175 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,077 \cdot 5}{2} = 0,19 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_e + X_{кл} = 1,103 + 0,19 = 1,293 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_e + R_{кл} = 0,044 + 0,4175 = 0,462 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,462^2 + 1,293^2} = 1,373 \text{ Ом}$$

Розрахунок для точки К1:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,373} = 4,42 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,293}{314 \cdot 0,462} = 0,0089 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0089}} = 1,325$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,325 \cdot 4,42 = 8,28 \text{ кА}$$

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,75}{0,9 \cdot 0,92} = 0,906 \text{ МВА}$$

$$X_{АД} = \frac{1}{I_{пуск}} \frac{U_{ср.ном.}^2}{S_{ном}} = \frac{10,5^2}{5,2 \cdot 0,906} = 23,4 \text{ Ом}$$

$$I''_{K1(АД)} = n_{АД} \frac{E_* \cdot U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}X_{АД}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 23,4} = 0,47 \text{ кА}$$

Ударний струм в точці К1 (від АД), $k_{y\partial} = 1,7$:

$$i_{y\partial 1(AD)} = \sqrt{2} k_{y\partial(AD)} I''_{K1(AD)} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 0,47 = 1,13 \text{ кА}$$

$$I''_{K1} = I''_{K1(e)} + I''_{K1(AD)} = 4,42 + 0,47 = 4,89 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(e)} + i_{y\partial 1(AD)} = 8,28 + 1,13 = 9,41 \text{ кА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{cp.ном}} = \frac{1397,88}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,43 \text{ А}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{38,43}{1,2} = 32,03 \text{ мм}^2$$

$$B_{\kappa} = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 4,89^2 (1,365 + 0,0089) = 32,85 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{32,85 \cdot 10^3} = 60,97 \text{ мм}^2$$

Обираємо ААШВ-10(3 х 70) ($I_{доп\text{ кл}} = 165,0 \text{ А}$, $\chi_{0\text{ кл1}} = 0,086 \text{ Ом/км}$, $r_{0\text{ кл1}} = 0,44 \text{ Ом/км}$)

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,276 = 0,122 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \chi_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,276 = 0,024 \text{ Ом}$$

Для інших ліній параметри зведено в табл. 6.1.

						37

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	5,000	0,167	0,077	0,418	0,193
2	0,276	0,443	0,086	0,122	0,024
3	0,276	0,443	0,086	0,122	0,024
4	0,069	0,443	0,086	0,031	0,006
5	0,435	0,443	0,086	0,193	0,037
6	0,465	0,443	0,086	0,206	0,040
7	0,555	0,443	0,086	0,246	0,048
9, 10	0,060	0,206	0,079	0,012	0,005
11, 12	0,240	0,443	0,086	0,106	0,021

Розрахунок для точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кт} = 1,293 + 0,024 = 1,317 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кт} = 0,462 + 0,122 = 0,584 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,584^2 + 1,317^2} = 1,441 \text{ Ом}$$

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,441} = 4,21 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,317}{314 \cdot 0,584} = 0,0072 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0072}} = 1,249$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,249 \cdot 4,21 = 7,44 \text{ кА}$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном.}}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном.}}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

Розрахунок для точки К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = (1,317 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0107 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = (0,584 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0022 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0022^2 + 0,0107^2} = 0,0109 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0109} = 21,19 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0107}{314 \cdot 0,0022} = 0,0155 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0155}} = 1,525$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,525 \cdot 21,19 = 45,7 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів коротких зам. для інших точок показані в табл. 6.2.

						39

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів коротких замкнень

<i>№ точки к.з.</i>	<i>R, Ом</i>	<i>X, Ом</i>	<i>I_к^{''}, кА</i>	<i>T_а, с</i>	<i>k_{y0}</i>	<i>i_{y0}, кА</i>
1	0,4620	1,2930	4,89	0,0089	1,325	9,41
2	0,5840	1,3170	4,21	0,0072	1,249	7,44
3	0,0022	0,0107	21,19	0,0155	1,525	45,70
4	0,5840	1,3170	4,21	0,0072	1,249	7,44
5	0,0022	0,0107	21,19	0,0155	1,525	45,70
6	0,4930	1,2990	4,36	0,0084	1,304	8,04
7	0,0021	0,0107	21,19	0,0162	1,539	46,12
8	0,6550	1,3300	4,09	0,0065	1,215	7,03
9	0,0023	0,0107	21,19	0,0148	1,509	45,22
10	0,6680	1,3330	4,07	0,0064	1,210	6,96
11	0,0023	0,0107	21,19	0,0148	1,509	45,22
12	0,7080	1,3410	4,00	0,0060	1,189	6,73
13	0,0024	0,0107	20,99	0,0142	1,494	44,35
14	0,4740	1,2980	4,39	0,0087	1,317	8,18
15	0,5680	1,3140	4,23	0,0074	1,259	7,53

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Розрах. струм КЛ до ТП № 1:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} U_{ср.ном}} = \frac{1397,88}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,43 \text{ A}$$

Обираємо ААШВ-2х(3х70), $I_{дон} = 165 \text{ A}$.

$$I_p = 38,43 \text{ A} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ A}$$

$$I_{ae} = 76,86 \text{ A} \leq K_{an} \cdot K'_n \cdot I_{дон} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ A}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 4,89^2 (1,365 + 0,0089) = 60,97 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{32,85 \cdot 10^3} = 60,97 \text{ мм}^2$$

В табл. 6.3 приведені результати розрах. з вибору інших ліній.

						41

Таблиці 6.3 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

№ КЛ	$n, \text{шт}$	S_p, MBA	I_p, A	$I_{p.ав}, A$	$F_{ек}, \text{мм}^2$	$B_k, \text{кА}^2 \text{с}$	$F_{min}, \text{мм}^2$	Марка кабеля	$I_{дон}, A$	K_n	$K_n I_{дон}, A$	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{дон}, A$
1	4	13623,21	187,27	374,54	156,06	32,85	60,97	4 х АСБ-10(3 х 185)	310	0,8	248	1,35	0,9	376,65
2	2	1397,88	38,43	76,86	32,03	32,85	60,97	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	1	698,94	38,43	-	32,03	32,85	60,97	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
4	2	1399,274	38,47	76,94	32,06	32,85	60,97	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	2	1393,35	38,31	76,62	31,93	32,85	60,97	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
6	2	1399,548	38,48	76,96	32,07	32,85	60,97	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7	2	1400,728	38,51	77,02	32,09	32,85	60,97	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
9, 10	1	3027,1	166,45	-	138,71	32,85	60,97	1 х ААШВ-10(3х150)	275	1	275	-	-	-
11, 12	1	1009	55,48	-	46,23	32,85	60,97	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

В цьому підрозділі було здійснено розрахунки з вибору високовольтних вимикачів та ОПН згідно з методикою.

В табл. 6.4 приведені результати вибору ввідного вимикача

Таблиця 6.4 Вибір високовольного ввідного вимикача

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$0 \leq 400$
Динамічна стійкість:		
- симетричний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$	$4,89 \leq 10$
- ударний струм:	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$9,41 \leq 25,46$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$48,04 \leq 100$

$$B_x = I''^2 (t_{p3, \max} + T_a) = 4,89^2 (2 + 0,0089) = 48,04 \quad \text{кА}^2\text{с}$$

Обираємо ВНР10/400-10зУЗ.

Секційний вимикач та вимикачі на відхідних ПЛ обираються аналогічно.

Для захисту мережі від перенапруг обираємо ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

На рис. 6.3 приведена схема підключення ТВП.

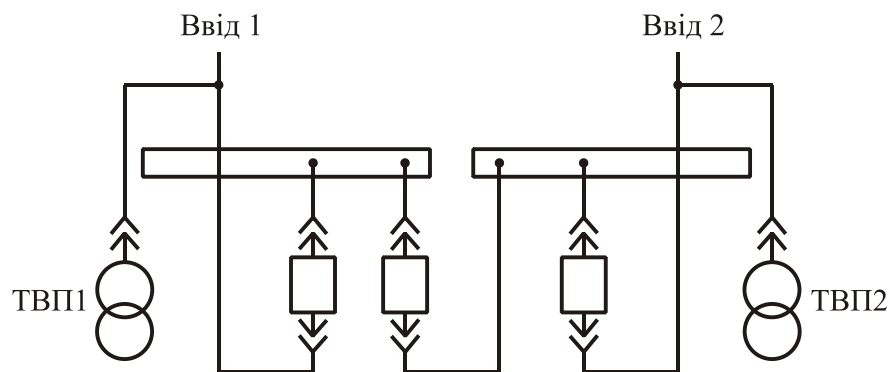


Рис. 6.3 Схема підключення ТВП

В табл. 6.5. приведено розрахунок електр. навант. ТВП

Таблица 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№ n/n	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{сум},$ кВт	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВА
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	24	14,4	0,97	0,25	14,4	4
2.	Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							68,4	19

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{68,4^2 + 19^2} = 70,99 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 70,99 = 56,79 \text{ кВА}$$

Обираємо ТВП ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаж.:

$$K_s = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{56,79}{2 \cdot 40} = 0,71$$

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

7.1. Вихідна інформація для світлотехнічних розрахунків системи освітлення механічного цеху

Вхідними даними, необхідними для проведення світлотехнічних розрахунків під час проектування систем освітлення, є:

- Тип і різновид освітлювальної системи;
- Світлотехнічні параметри, які необхідно забезпечити за допомогою освітлювальної системи (нормовані рівні освітленості, площини, на яких вони мають бути досягнуті, рівномірність їх розподілу);
- Світлові прилади, їхня кількість та розташування;
- Значення коефіцієнта запасу.

Освітлення поділяється на загальне та комбіноване. При загальному освітленні світлові прилади розміщуються біля стелі або на значній відстані від робочої поверхні. Залежно від розташування світильників у приміщенні, загальне освітлення може бути рівномірним (відстані між світильниками та/або їхніми рядами незмінні) або локалізованим (світлові прилади розміщуються відповідно до місцезнаходження робочих місць чи обладнання). У системах комбінованого освітлення світильники місцевого освітлення освітлюють безпосередньо робочі місця, а світильники загального освітлення використовуються для вирівнювання яскравостей та освітлення проходів між робочими місцями.

Враховуючи переваги загального освітлення, такі як можливість забезпечення високої рівномірності розподілу освітленості на робочих поверхнях, застосування світлових приладів одного типу й потужності, відсутність необхідності змінювати розміщення світлових приладів внаслідок зміни місця розташування обладнання та робочих місць, доцільно обрати систему загального освітлення.

						45

Варто зазначити, що при проектуванні систем освітлення важливо враховувати специфіку виробничих процесів, що відбуваються у механічному цеху, особливості розташування обладнання та робочих місць, а також забезпечувати належні умови праці та безпеку персоналу. Норми представлені в таблиці 7.1

Таблиця 7.1. Норми евакуаційного освітлення

Види евакуаційного освітлення	Освітленість горизонтальної поверхні не < ніж	Нерівномірність освітлення E_{max}/E_{min} не > ніж
Освітленість шляхів евакуації шириною до 2 м: - по осі проходу - по проходу	1 0,49	40:1 40:1
Антипанічне освітлення	0,49	40:1 40:1
Освітлення зон підвищеної небезпеки	14	10:1 10:1
Освітлення сходових прольотів	4	40:1 40:1
Біля пунктів першої мед. допомоги та місць з протипожежним снаряженням	4	40:1 40:1

Для забезпечення належного рівня безпеки та зручності у разі аварійних ситуацій у механічному цеху, доцільно передбачити такі види аварійного освітлення:

Для робочих зон, де здійснюються виробничі процеси, а також зон завантаження/розвантаження - антипанічне освітлення, що дозволить працівникам швидко й безпечно евакуюватися у випадку позаштатних обставин.

Для коридорів, сходових клітин та інших проходів - освітлення шляхів евакуації в поєднанні з антипанічним освітленням, що забезпечить чітку візуалізацію маршрутів евакуації та запобігатиме виникненню паніки.

Для приміщень з особливими вимогами, таких як котельня, необхідно передбачити резервне освітлення, що дозволить продовжувати роботу критичного обладнання протягом певного часу у випадку відмови основної системи освітлення.

Що стосується робочого освітлення, то для забезпечення належних умов праці та виконання виробничих завдань у механічному цеху, слід дотримуватися нормованих рівнів освітленості, які встановлюються залежно від характеру робіт та візуальних вимог. Ці нормативні значення зазвичай наводяться у відповідних галузевих стандартах та нормативних документах.

Під час проектування системи освітлення механічного цеху важливо також враховувати особливості розміщення обладнання, робочих зон та проходів, а також забезпечувати належну рівномірність розподілу освітленості на робочих поверхнях. Це дозволить створити оптимальні умови для безпечної та ефективної роботи персоналу. В таблиці 7.2 нормативні показники освітленості, які необхідно забезпечити системою робочого освітлення у приміщеннях механічного цеху.

						47

Таблиця 7.2. Нормативні показники освітленості

Зона/Робоче місце	Розряд зорової роботи	Нормована освітленість, лк
Зони обробки металів (токарні, фрезерні верстати та ін.)	IV	500
Зони складальних робіт	V	300
Контрольні операції	VI	500
Допоміжні приміщення (комори, службові приміщення)	VIII	100
Проходи, коридори	-	50
Сходові клітини	-	20

Вибір освітлювальних приладів тісно пов'язаний з вибором джерел світла, які будуть використовуватися для освітлення приміщень. За своєю природою джерела світла можна розділити на теплові (лампи розжарювання), газорозрядні (люмінесцентні лампи, натрієві лампи високого тиску, ртутні лампи) та напівпровідникові. Для освітлення механічного цеху в даній роботі доцільно застосувати світильники з напівпровідниковими джерелами світла, керуючись їхніми перевагами:

- Висока світлова віддача – від 160 лм/Вт, що забезпечує енергоефективність системи освітлення.
- Тривалий строк служби – від 30 тисяч годин, що зменшує витрати на обслуговування та заміну джерел світла.
- Широкий діапазон кольорової температури – від 3000 до 7000 К, що дозволяє підібрати оптимальний спектр випромінювання для різних зон цеху.

- Миттєве запалювання та перезапалювання, що забезпечує зручність експлуатації.
- Високий індекс кольоропередачі – від 80, що гарантує належну якість візуального сприйняття об'єктів та деталей.
- Відсутність необхідності в спеціальних методах утилізації через відсутність у складі сполук на основі ртуті, що спрощує процес утилізації та зменшує екологічний вплив.

Окрім того, слід зазначити, що напівпровідникові джерела світла є більш стійкими до вібрацій та ударів, що є важливим фактором для промислових приміщень, де присутні механічні навантаження.

Для забезпечення загального та аварійного освітлення в механічному цеху доцільно обрати світильники типу ЛПО/ПО 4x18 LED (рис. 7.1), характеристики якого представлено в таблиці 7.3. Цей тип світильника відповідає вимогам до освітлення промислових приміщень та забезпечує належний рівень світлорозподілу та механічної міцності.



Рисунок 7.1 – Зовнішній вигляд світильника ЛПО/ПО 4x18 LED

Таблиця 7.3 – Технічні характеристики світильника ЛПО/ПО 4x18 LED

Характеристика	Значення
Модель	ЛПО/ПО 4x18 LED
Потужність	72 Вт
Світловий потік	10800 лм
Ефективність	до 150 лм/Вт
Кольорова температура	4000K, 5000K, 6500K
Індекс кольоропередачі (Ra)	>80
Кут світлорозподілу	120°
Корпус	Алюмінієвий сплав
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	від -40°С до +50°С
Напруга живлення	170-265 В, 50 Гц
Клас енергоефективності	A++
Ресурс роботи світлодіодів	50 000 годин
Габарити	595x180x80 мм
Вага	2,8 кг
Кріплення	Монтажні кронштейни або підвіси

Для освітлення приміщень рамп механічного цеху доцільно застосувати сучасні світлодіодні світильники, що забезпечать належний рівень освітленості та відповідатимуть вимогам до експлуатації у промислових умовах. Зокрема, для освітлення автомобільної рампи можна використати Світильник Ledel L-industry 60 3000K IP65 (рис. 7.2 а), а для залізничної рампи – Світильник Ватра ПСХ 2x18 LED 5000K IP65 (рис. 7.2 б). Їх тех. характеристики представленні в таблиці 7.4.



а)



б)

Рисунок 7.2. Освітлювальні прилади для освітлення рамп

Таблиця 7.4. Технічні характеристики світильників для освітлення рамп

Характеристика	Світильник Ledel L-industry 60 3000K IP65	Світильник Ватра PCX 2x18 LED 5000K IP65
Потужність	60 Вт	36 Вт
Світловий потік	7800 лм	4800 лм
Кольорова температура	3000K (тепле біле світло)	5000K (нейтральне біле світло)
Корпус	Алюмінієвий сплав	Алюмінієвий сплав
Ступінь захисту	IP65	IP65
Ресурс роботи	50 000 годин	30 000 годин
Габарити	1292x96x66 мм	620x180x67 мм
Кріплення	Підвісне, настінне	Підвісне, настінне, стельове
Додаткові функції	-	-

Для освітлення службових приміщень, коридорних приміщень зупинимося на світильниках типу АРКЛАЙТ АРМСТРОНГ 36W (рис. 7.3 а), АWANTO 1x1200 38W 4000K (рис. 7.3 б) та ІЛАВ-Офіс-Армстронг ЕКО 36Вт 4000К (рис. 7.3 в), технічні характеристики яких представлені в табл. 7.5.

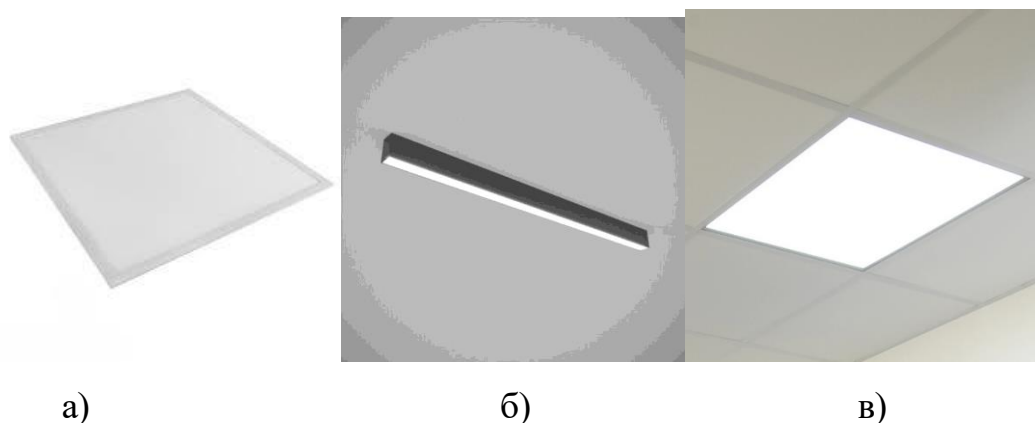


Рисунок 7.3 – Зовнішній вигляд освітлювальних приладів службових та коридорних приміщень

Таблиця 7.5 – Технічні характеристики світильників для службових та коридорних приміщень.

Характеристика	АРКЛАЙТ АРМСТРОНГ 36W	AWANTO 1x1200 38W 4000K	ІЛАВ-Офіс-Армстронг ЕКО 36Вт 4000К
Потужність	36 Вт	38 Вт	36 Вт
Світловий потік	2800 лм	4000 лм	3300 лм
Кольорова температура	4000К (нейтральне біле)	4000К (нейтральне біле)	4000К (нейтральне біле)
Розміри	600x600x40 мм	1200x300x50 мм	595x595x40 мм
Ступінь захисту	IP20	IP20	IP20
Тип монтажу	Вбудований (стеля "Армстронг")	Підвісний	Вбудований (стеля "Армстронг")
Індекс кольоропередачі (Ra)	-	-	Високий (>80)
Ресурс роботи	-	-	-
Вага	-	-	-
Додаткові функції	-	-	-

Для освітлення зони обробки металів (токарні, фрезерні верстати тощо) та допоміжних, коридорних приміщень, тамбурів, санвузлів та венткамери в механічному цеху рекомендовано обирати світильники, які забезпечують високий рівень освітленості та належні світлотехнічні характеристики. Наприклад світильник LED ПромЛЕД 90Вт 4000К IP65 (рис 7.4 а) також LED ОПАС 110Вт 5000К IP65 (рис 7.4 б) і LED RKU 150Вт 5000К IP65 (рис 7.4 в). Технічні характеристики наведені в таблиці 7.6

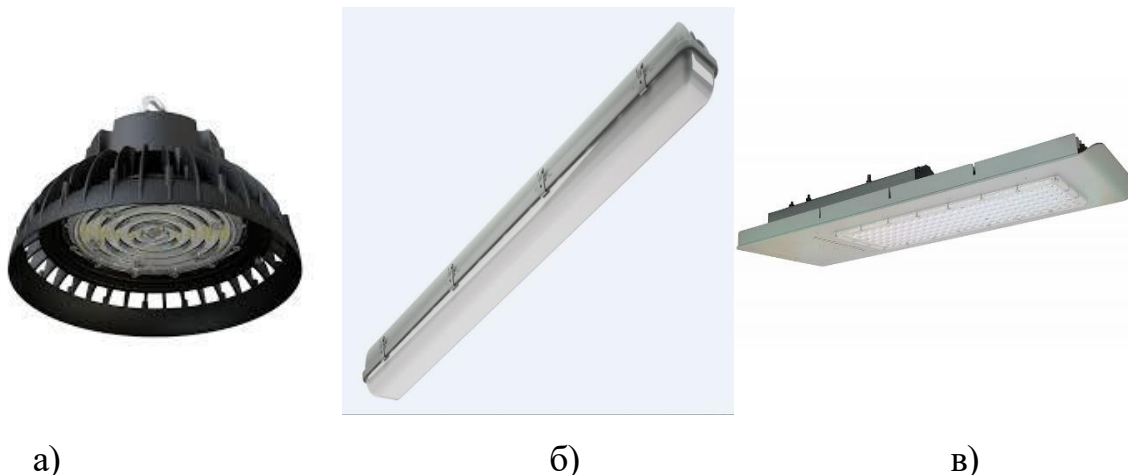


Рисунок 7.4 – Зовнішній вигляд освітлювальних приладів

Таблиця 7.6 – Технічні характеристики світильних приладів

Характеристика	LED ПромЛЕД 90Вт 4000К IP65	LED OPAC 110Вт 5000К IP65	LED RKU 150Вт 5000К IP65
Потужність	90 Вт	110 Вт	150 Вт
Світловий потік	11700 лм	13200 лм	19500 лм
Кольорова температура	4000К (нейтральне біле)	5000К (холодне біле)	5000К (холодне біле)
Ступінь захисту	IP65	IP65	IP65
Матеріал корпусу	Литий алюміній	Литий алюмінієвий сплав	Литий алюміній під тиском
Термін служби	50000 годин	60000 годин	50000 годин
Розміри	-	-	-
Вага	-	-	-
Додаткові функції	-	-	-

Для забезпечення належного рівня безпеки в механічному цеху під час евакуації персоналу у надзвичайних ситуаціях, необхідно встановити якісне евакуаційне освітлення та інформаційні покажчики. З цією метою доречно використати світлодіодні аварійні світильники для освітлення шляхів евакуації та спеціальні світлові покажчики для позначення основних евакуаційних виходів.

Для освітлення шляхів евакуації можна встановити світильники типу "Світильник аварійний LED-54" (рис 7.5 а). Їх конструкція забезпечує високу світловіддачу, енергоефективність та тривалий термін служби за рахунок використання світлодіодів. Такі світильники мають автономне живлення від акумуляторів та вмикаються автоматично при зникненні основного освітлення.

Для інформування щодо місцезнаходження евакуаційних виходів варто застосувати світлові покажчики типу "Оповіщувач комбінований С-03" (рис. 7.5 б). Ці пристрої поєднують світлову індикацію напрямку до виходу та звукову сигналізацію, що підвищує їхню ефективність. Вони також оснащені автономним джерелом живлення для забезпечення безперебійної роботи.

Використання сучасних світлодіодних світильників та оповіщувачів дозволить створити надійну та енергоефективну систему евакуаційного освітлення та інформування в механічному цеху. Це забезпечить безпеку персоналу у разі

виникнення надзвичайних ситуацій та відповідатиме вимогам чинних норм і стандартів.



a)

6)

Рисунок 7.5 – Світлотехнічне устаткування евакуаційного освітлення

Технічні характеристики світлотехнічного обладнання евакуаційного освітлення знаходяться в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 технічні характеристики авар. обл.

Характеристика	Світильник аварійний LED-54	Оповіщувач комбінований С-03
Тип джерела світла	Світлодіоди	Світлодіоди
Потужність	3 Вт	-
Світловий потік	270 лм	-
Тривалість роботи в аварійному режимі	3 години	1 година
Живлення	220 В, 50 Гц + акумулятор	220 В, 50 Гц + акумулятор
Акумулятор	Вбудований, 6 В, 4 А·год	Вбудований, 6 В, 1,2 А·год
Ступінь захисту	IP65	IP41
Габарити	350x120x65 мм	180x85x55 мм
Вага	1,6 кг	0,5 кг
Колір корпусу	Білий	Червоний
Монтаж	Настінний або стельовий	Настінний
Додаткові функції	-	Звукова сигналізація 85 дБ

7.2 Обґрунтування вибору кривої сили світла світлових приладів та їх кількості

Перед виконанням світлотехнічного розрахунку системи освітлення механічного цеху необхідно здійснити вибір кривої сили світла освітлювальних приладів, а також визначити їхню необхідну кількість. Продемонструємо процес вибору кривої сили світла на прикладі одного з основних виробничих приміщень цеху.

На основі наведених у довідковій літературі даних було отримано залежність відношення відстані між світильниками або їхніми рядами, за якої забезпечується рівномірність освітлення, до розрахункової висоти від коефіцієнта форми кривої сили світла. Цей коефіцієнт розраховується з урахуванням світлорозподілу світильника та геометричних параметрів приміщення.

Вибір оптимальної кривої сили світла має важливе значення для досягнення необхідного рівня освітленості та рівномірності її розподілу на робочих поверхнях. Невідповідний вибір може призвести до нерівномірного освітлення, утворення засліплюючих або затінених зон, що негативно вплине на умови праці та безпеку персоналу.

Крім того, під час проектування освітлювальної системи слід враховувати особливості технологічних процесів, що відбуваються у механічному цеху, розташування виробничого обладнання та робочих місць. Також важливо забезпечити належний рівень освітленості згідно з нормативними вимогами для різних зон та видів робіт.

Правильний вибір кривої сили світла та кількості світильників в поєднанні з урахуванням специфіки виробничого середовища дозволить створити оптимальну систему освітлення механічного цеху, що забезпечить комфортні та безпечні умови праці для персоналу. Крива сил світла зображена на рисунку 7.6.

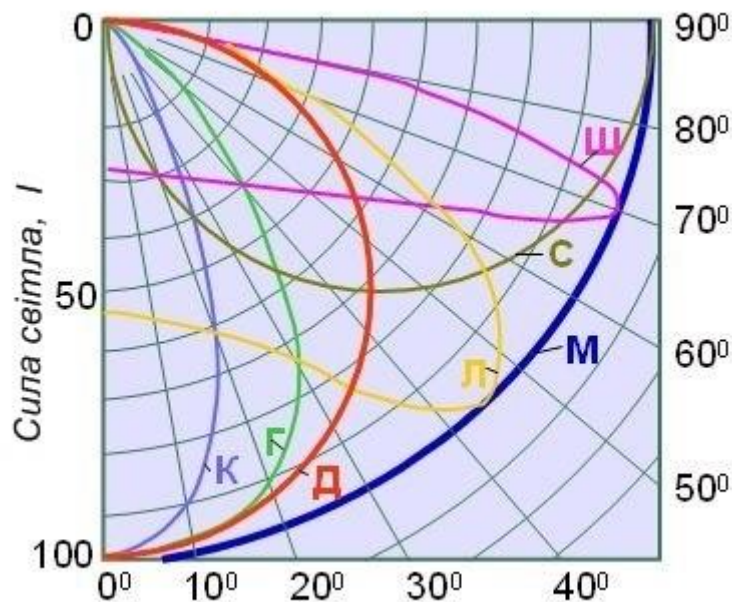


Рис. 7.6 Крива світла

Для світильників які ми обрали розрахунок коефіцієнта форми виконується за такою формулою:

$$K_{\phi} = \frac{I_{\max}}{\frac{1}{\alpha} I(\alpha)}$$

де $I_{\max}$ – максимальне значення сили світла.

Підставляючи значення для K_{ϕ} в формулу отримаємо всі криві світла.

7.3 Розрахунок коефіцієнта запасу

Під час проектування системи освітлення механічного цеху необхідно враховувати, що рівень освітленості на робочих поверхнях може знижуватися протягом експлуатації освітлювальних приладів. Це відбувається через зменшення світлового потоку джерел світла та забруднення світильників і запилення приміщень.

Для забезпечення нормованої освітленості наприкінці терміну служби світильників або перед їх черговим обслуговуванням, у світлотехнічних

розрахунках використовується коефіцієнт запасу (k), який визначається як відношення світлових потоків освітлювальних приладів на початку та наприкінці терміну експлуатації.

Коефіцієнт запасу є оберненим до коефіцієнта експлуатації (MF), який розраховується за формулою:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$$

Де:

LLMF – коефіцієнт зниження світлового потоку джерел світла в світильнику;

LSF – коефіцієнт, що враховує відношення кількості працюючих світильників до їх загальної кількості;

LMF – коефіцієнт експлуатації світильника певного типу;

RSMF – коефіцієнт експлуатації поверхонь, що обмежують освітлюваний простір.

Значення цих коефіцієнтів визначаються на основі довідкових даних з урахуванням типу приміщення, класу чистоти, періодичності обслуговування світильників, ступеня захисту їх корпусів та інших факторів.

Коефіцієнт запасу (k) обчислюється як:

$$k = \frac{1}{MF}$$

Наприклад, для запилених і вологих приміщень механічного цеху, таких як цехові приміщення, рампи, венткамери та котельні, коефіцієнт експлуатації MF може становити 0,64, що відповідає коефіцієнту запасу $k = 1,6$. Для офісних та адміністративних приміщень, де умови експлуатації світильників кращі, $MF = 0,72$, а $k = 1,4$.

Правильний вибір коефіцієнта запасу з урахуванням усіх факторів забезпечить надійну роботу системи освітлення механічного цеху та підтримання нормованого рівня освітленості протягом усього терміну експлуатації.

7.4 Світлотехнічний розрахунок та моделювання системи освітлення виробничих приміщень механічного цеху.

Виконаємо світлотехнічний розрахунок системи освітлення виробничих приміщень механічного цеху, використовуючи метод коефіцієнта використання. Згідно з цим методом, освітленість на робочій поверхні розраховується за формулою:

$$E = \frac{N \cdot F \cdot U}{S \cdot z \cdot k}$$

Де N - кількість світильників для освітлення приміщення;

F - світловий потік одного світильника;

U - коефіцієнт використання світлового потоку;

S - площа приміщення, що освітлюється;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості;

k - коефіцієнт запасу.

Із формули можна виразити світловий потік одного світильника:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot U}$$

Продемонструємо розрахунок на прикладі одного з виробничих приміщень механічного цеху. Припустимо, площа приміщення становить $S = 500 \text{ м}^2$. Коефіцієнт використання світлового потоку U можна визначити за формулою:

						58

Розрахункове значення освітленості E визначається за формулою:

$$E = \frac{F \cdot n \cdot U}{S \cdot z \cdot k}$$

Різниця між розрахунковим та нормованим значеннями освітленості повинна знаходитися в допустимих межах.

Для перевірки достовірності розрахунків виконується моделювання системи освітлення окремих приміщень за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє візуалізувати розподіл освітленості на робочих поверхнях.

У висновку можна зазначити, що для забезпечення належної освітленості у виробничих приміщеннях механічного цеху необхідно ретельно спланувати систему освітлення, використовуючи метод коефіцієнта використання. Цей метод дозволяє розрахувати необхідний світловий потік світильників з урахуванням площі приміщення, нормативних вимог до освітленості, коефіцієнтів корисної дії світильників та приміщення.

Ключовими кроками є визначення коефіцієнта використання світлового потоку на основі геометричних параметрів приміщення та коефіцієнтів відбиття поверхонь, а також розрахунок необхідної кількості світильників і їх потужності згідно з формулами, наведеними в тексті. Правильний підбір світильників та їх розташування забезпечать необхідний рівень освітленості на робочих поверхнях відповідно до норм і особливостей технологічних процесів у механічному цеху.

Для підвищення точності розрахунків рекомендовано використовувати спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє змоделювати розподіл освітленості та візуалізувати результати. Такий комплексний підхід допоможе створити ефективну та безпечну систему освітлення в механічному цеху.

7.5 Електрична освітлювальна мережа механічного цеху

Для живлення системи освітлення обрано систему TN-C-S (рис. 7.8), що відповідає нормативним вимогам. Ця система характеризується використанням спільного PEN-провідника на ділянці від трансформаторної підстанції до ввідного розподільчого пристрою (ВРП). У ВРП здійснюється розділення на нульовий PN та захисний PE провідники, а також повторне заземлення.

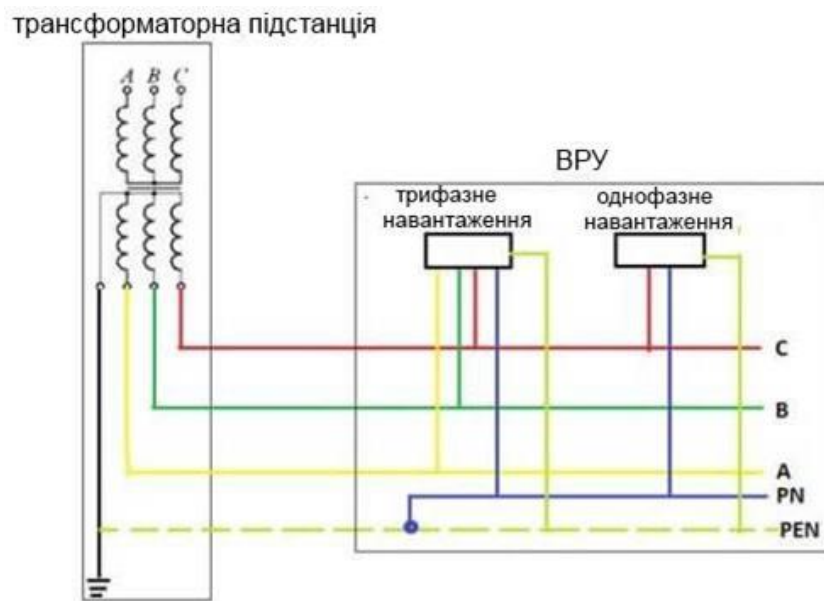


Рисунок 7.8 ілюструє схему системи заземлення TN-C-S.

Для під'єднання трифазних споживачів до електричної мережі використовуються п'ятижильні кабелі, а для однофазних - трижильні. Для електричної освітлювальної мережі механічного цеху обрано мідні кабелі з полівінілхлоридною ізоляцією марки ВВГнг.

Кабелі ВВГнг мають широкий діапазон робочих температур (-50...+50°C), при якому зберігається еластичність ізоляції та діелектричні властивості. Вони стійкі до вологи (можуть використовуватись при відносній вологості повітря 98% за температури 35°C) та до дії агресивних хімічних речовин. Ці характеристики роблять їх придатними для використання в умовах механічного цеху.

Живлення щитів освітлення передбачається від двох ВРП: робоче освітлення - від ВРП1, аварійне - від ВРП2. Щити освітлення для офісно-адміністративних, технічних та допоміжних приміщень розміщено в електрощитових на кожному

поверсі. Щити для живлення робочого та аварійного освітлення виробничих приміщень механічного цеху встановлено окремо для кожної ділянки ліворуч (або праворуч за відсутності місця) від входу.

Важливим аспектом є забезпечення належного захисту електричних кіл освітлення від струмів коротких замикань та перевантажень. Для цього слід передбачити встановлення автоматичних вимикачів відповідної потужності та характеристик спрацювання.

Належне проектування та монтаж освітлювальної мережі забезпечать безперебійне і безпечне живлення системи освітлення механічного цеху.

Нижче наведено перефразований та доповнений текст відповідно до вказаних вимог:

7.6 Розрахунок електричної освітлювальної мережі механічного цеху

Розрахунок електричних освітлювальних мереж передбачає визначення перерізів проводів, за яких забезпечується відсутність їх перегрівання, мінімізація витрат кабельної продукції та необхідний рівень напруги на світлових приладах .

Площі поперечних перерізів жил проводів та кабелів визначаються на основі розрахунків за такими критеріями:

- за допустимою втратою напруги;
- для мінімізації витрат провідникового матеріалу;
- за струмом навантаження.

Основною формулою для розрахунку електричної освітлювальної мережі за втратою напруги $\Delta U\%$ є:

$$k = \frac{\sum Mk}{S \cdot c}$$

						63

Тут M_k - сума моментів електричних навантажень ділянки мережі, c - коефіцієнт, що залежить від системи мережі, напруги та матеріалу проводів, S - площа перерізу жил кабелів.

Для мінімізації витрат провідникового матеріалу використовуються формули:

$$S = \frac{MP}{\Delta U\% \cdot c}$$

$$MP = \sum M + a \cdot \sum m$$

Де $\sum M$ - сума моментів розрахункової ділянки та всіх наступних, $\sum m$ - сума моментів ділянок з іншою кількістю проводів, a - коефіцієнт приведення моментів.

Формули для розрахунку за струмом навантаження:

Для двопровідної мережі:

$$I_p = \frac{P_p}{U_\phi \cdot \cos\varphi}$$

Для трифазної з рівномірним навантаженням фаз:

$$I_\lambda = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_\lambda \cdot \cos\varphi}$$

Тут P_p - розрахункова потужність навантажень, U_ϕ - фазна напруга, U_λ - лінійна напруга, $\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності.

З отриманих перерізів обирається найбільший. Важливим аспектом є вибір кабелів з достатньою струмовою навантажувальною здатністю та стійкістю до впливу зовнішніх факторів, таких як вібрації, агресивні середовища тощо, що є характерним для умов механічного цеху.

Проведемо розрахунок освітлювальної мережі механічного цеху за критеріями мінімізації провідникового матеріалу та струму навантаження,

дотримуючись вимог щодо допустимих витрат напруги та забезпечення належного захисту кабельних ліній.

7.7 Схеми керування системою освітлення механічного цеху

Для полегшення вмикання, вимикання та керування освітленням великих виробничих приміщень у механічному цеху обрано схеми управління групами світильників залежно від їх призначення.

Для систем робочого та аварійного освітлення використовуються схеми керування групами світлових приладів за допомогою контакторів з блоками кнопок "Стоп" та "Пуск". Як основні комутуючі пристрої застосовуються модульні контактори типу ESB 20 2н.о. призначені для роботи в щитах з модульними компонентами на DIN-рейці. Їх технічні характеристики наведено в табл. 7.8.

Таблиця 7.8 Основні тех. характер. ESB 20 2н.о

Характеристика	Значення
Номінальна робоча напруга, В	250
Номінальний робочий струм, А	20
Номінальна робоча потужність, кВт	1,1
Робочий діапазон котушки (в долях від номінальної напруги)	0,85...1,1
Середня споживана потужність котушки при втягуванні, ВА/кВт	8,0/5,0
Середня споживана потужність котушки при втримуванні, ВА/кВт	3,2/1,2

Схема керування групами світильників з контакторами ESB 20 2н.о. та блоками кнопок "Стоп" і "Пуск" працює наступним чином (рис. 3.3). При

натисканні "Пуск" замикаються допоміжні контакти, і струм подається на котушку контактора та групу світильників. При натисканні "Стоп" коло розривається, припиняється подача напруги на контактор, і силові контакти розмикаються.

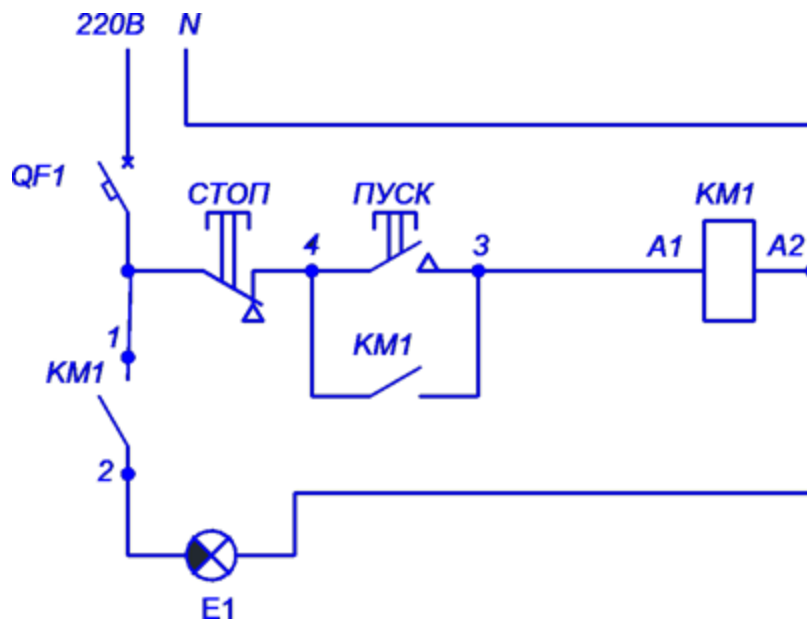


Рис. 7.9 Схема керування

Для вмикання груп світильників з різних місць використовується схема з імпульсним реле E251 та імпульсними кнопками без фіксації (рис. 7.10). Натиснення кнопок S1 або S2 подає струм на котушку реле, що призводить до замикання чи розмикання контактів, які залишаються в останньому положенні до наступного натиснення.

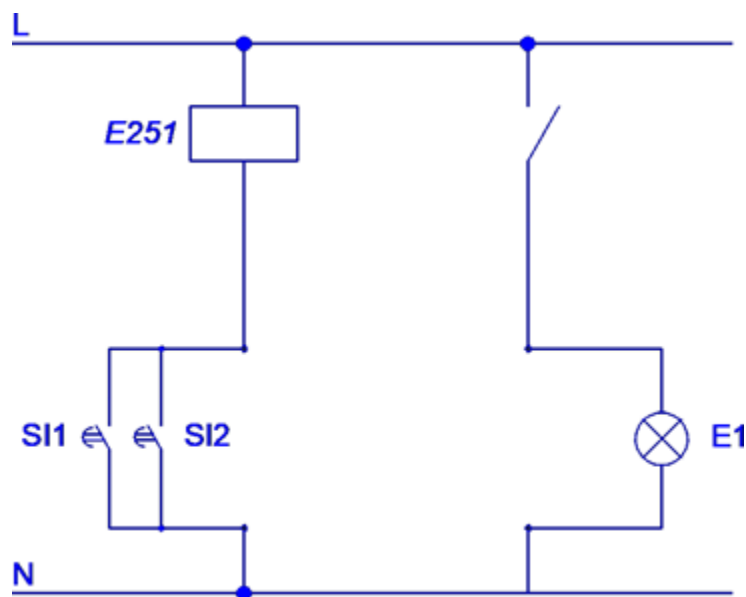


Рис. 7.10 Схема з імпульс. Реле

Важливим аспектом є вибір відповідних кнопок, реле та контакторів з урахуванням навантаження, напруги та умов експлуатації в механічному цеху. Рекомендується використовувати пристрої з підвищеною стійкістю до впливу зовнішніх факторів, таких як вібрації, висока запиленість тощо.

Для керування фасадним освітленням застосовується схема з контакторами ESB 24 4н.о. (рис. 7.11). Передбачено ручний режим керування для груп 1 та 3, а для груп 2 та 4 - ручний та автоматичний режими з використанням датчика освітленості та сутінкового вимикача. Перехід між режимами здійснюється перемикачем SA1.

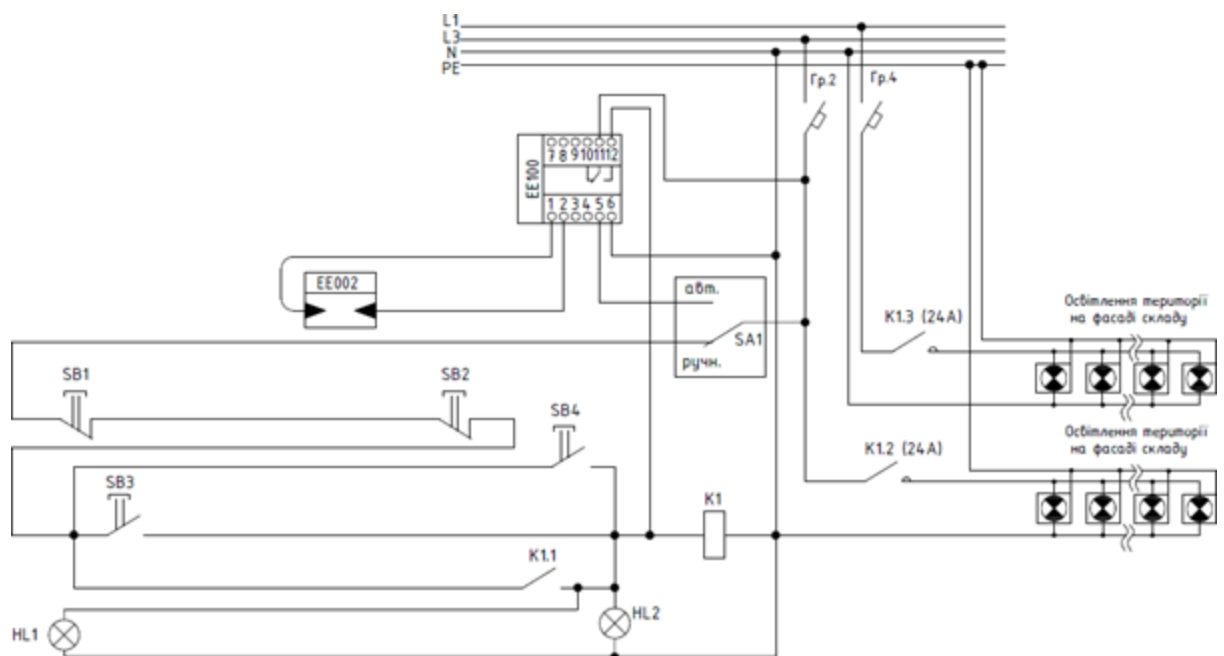


Рис 7.11 Схема с контакторами ESB 24 4н.о.

Належне проектування та монтаж систем керування освітленням забезпечать зручність експлуатації та ефективне використання енергетичних ресурсів у механічному цеху.

У розділі розглядаються питання проектування електричної освітлювальної мережі та систем керування освітленням для механічного цеху. Основні моменти можна підсумувати таким чином:

1. Для живлення системи освітлення обрано систему заземлення TN-C-S, яка відповідає нормативним вимогам. Вона передбачає використання спільного PEN-

провідника до ввідного розподільчого пристрою, а далі - розділення на нульовий та захисний провідники.

2. Для електричної освітлювальної мережі обрано мідні кабелі з полівінілхлоридною ізоляцією марки ВВГнг, які стійкі до вологи, агресивних середовищ та мають широкий діапазон робочих температур, що робить їх придатними для умов механічного цеху.

3. Розрахунок перерізів проводів освітлювальної мережі здійснюється за критеріями допустимої втрати напруги, мінімізації витрат провідникового матеріалу та струму навантаження з вибором найбільшого перерізу для забезпечення безпечної експлуатації.

4. Для керування освітленням застосовуються схеми з модульними контакторами ESB 20 2н.о. та блоками кнопок "Стоп" і "Пуск" для систем робочого та аварійного освітлення, а також схеми з імпульсним реле для вмикання груп світильників з різних місць.

5. Для керування фасадним освітленням використовується схема з контакторами ESB 24 4н.о. з можливістю ручного та автоматичного режимів з використанням датчиків освітленості.

6. Вибір компонентів систем керування (контактори, реле, кнопки) має враховувати навантаження, напругу та умови експлуатації в механічному цеху, зокрема стійкість до зовнішніх факторів, таких як вібрації та запиленість.

Належне проектування та монтаж освітлювальної мережі та систем керування освітленням забезпечать безперебійне та безпечне живлення системи освітлення, зручність експлуатації та ефективне використання енергетичних ресурсів у механічному цеху.

ВИСНОВКИ

У представленому дослідженні розглядається складна задача проектування ефективної системи енергозабезпечення для підприємства, що спеціалізується на виготовленні машинобудівного обладнання.

Ретельно виконані обчислення, які охоплюють аналіз електричних навантажень, характеристик графіків енергоспоживання, режимів реактивної потужності та сценаріїв короткого замикання (к.з.) в мережі, надали міцну основу для обґрунтованого вибору компонентів високовольтної електричної інфраструктури заводу.

Особливу увагу в роботі приділено комплексному підходу до проектування системи освітлення складського комплексу. У цьому розділі здійснено наскрізний розрахунок, який інтегрує світлотехнічні та електротехнічні аспекти. Такий холістичний підхід забезпечує не тільки належний рівень освітленості, але й оптимальне енергоспоживання.

Таким чином, завдяки проведеним дослідженням та розрахункам, була спроектована не лише надійна система електропостачання заводу важкого машинобудування, але й реалізовано інноваційне, енергоефективне рішення для освітлення складських приміщень. Такий підхід не тільки забезпечує комфортні та безпечні умови праці, але й сприяє значному зниженню експлуатаційних витрат, що підвищує економічну ефективність підприємства в довгостроковій перспективі.

						69

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
3. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: СДУ, 2019. – 521 с.
4. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2007. – 280 с.
5. 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.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.