

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 ПЛІШКОВ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проектування системи електропостачання
підприємства машинобудівної галузі»**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–22,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Олег ОСТАПЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

_____ Лариса ВІХРОВА

« ____ » _____ 2026 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

«_____» _____ 2026 р.

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

Остапенка Олега Володимировича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання підприємства машинобудівної галузі

Design of a power supply system for an enterprise in the machine-building industry

2. Керівник роботи Віхрова Лариса Григорівна, канд. техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є проектування системи електропостачання підприємства машинобудівної галузі. 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
<i>1</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>13.04-20.04</i>	
<i>2</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>21.04-25.04</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>26.03-01.05</i>	
<i>4</i>	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>02.05-08.05</i>	
<i>5</i>	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>09.05-11.05</i>	
<i>6</i>	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>12.05-18.05</i>	
<i>7</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>19.05-25.05</i>	
<i>8</i>	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>26.05-28.05</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>29.05-31.05</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника

Лариса ВІХРОВА

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача

Олег ОСТАПЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 79 с.; 7 рис.; 22 табл.; 5 джерел

Остапенко О. В. Проектування системи електропостачання підприємства машинобудівної галузі. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

У даній кваліфікаційній роботі представлено результати проектування комплексної системи електропостачання підприємства машинобудівної галузі.

У ході виконання роботи здійснено обчислення сукупного енергоспоживання об'єкта, що дозволило встановити розрахункову потужність на рівні 13,78 МВт. Обґрунтовано вибір напруги 10 кВ як найбільш раціональної для зовнішнього та внутрішнього розподілу енергії. Проведено детальний розрахунок балансу реактивної потужності та обрано параметри конденсаторних установок, що дозволяє суттєво розвантажити силові трансформатори.

За допомогою програмного забезпечення DIALux змодельовано світлотехнічне середовище складського приміщення, що дозволило підібрати оптимальну конфігурацію світлодіодних приладів із заданими кривими сили світла. Запропоновані заходи забезпечують відповідність об'єкта сучасним стандартам енергозбереження та безпеки праці.

Ключові слова: електропостачання, реактивна потужність, радіальна мережа, світлодіодне освітлення, енергоефективність.

ABSTRACT

Qualification work: 79 p.; 7 Fig.; 22 tables; 5 sources

Ostapenko O. Design of a power supply system for an enterprise for the production of lifting and transport equipment. – 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, 2026.

This qualification work presents the results of designing a comprehensive power supply system for an enterprise in the machine-building industry.

During the work, the total energy consumption of the facility was calculated, which allowed setting the design power at 13.78 MW. The choice of a voltage of 10 kV as the most rational for external and internal energy distribution was justified. A detailed calculation of the reactive power balance was carried out and the parameters of capacitor units were selected, which allows significantly unloading power transformers.

Using the DIALux software, the lighting environment of the warehouse was modeled, which allowed selecting the optimal configuration of LED devices with specified light intensity curves. The proposed measures ensure that the facility complies with modern energy saving and occupational safety standards.

Keywords: power supply, reactive power, radial network, LED lighting, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ	9
1.2 Освітлювальні електричні навантаження	10
1.3 Силові електричні навантаження вище 1 кВ	11
1.4 Графіки електричних навантажень заводу	16
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	21
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ	23
3.1 Схема зовнішнього електропостачання	23
3.2 Схема внутрішнього електропостачання	26
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	30
4.1 Баланс реактивної потужності	30
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв	31
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА	34
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	35
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	35
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	41
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги	43
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	44
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ	45
7.1 Загальна характеристика та аналіз складських будівель	45
7.2 Специфіка проектування та розрахунку світлотехнічних комплексів для логістичних об'єктів	51
7.3 Світлотехнічний розрахунок освітлення складського приміщення	59
7.4 Комп'ютерне моделювання світлотехнічного середовища складського приміщення у програмному комплексі DIALux	64
7.5 Електротехнічний розрахунок мережі освітлення складу	67
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Остапенко О.В.				Проектування системи електропостачання підприємства машинобудівної галузі Design of a power supply system for an enterprise in the machine-building industry	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Віхрова Л.Г.						6	79
						ЦНТУ зр. ЕЕ-22		
Н. контр.	Віхрова Л.Г.							
Затвер.	Плешков П.Г.							

ВСТУП

Ефективна діяльність сучасного індустріального комплексу нерозривно пов'язана із надійністю його енергетичної інфраструктури. Енергосистема промислового об'єкта виступає не просто технічною мережею, а ключовим фактором, що визначає собівартість продукції та безпеку виробничих циклів. В умовах стрімкої цифровізації та автоматизації цехів, навіть незначні відхилення параметрів електроенергії можуть призвести до зупинки складних технологічних ліній, що тягне за собою значні фінансові втрати та ризики для обладнання.

Розробка проекту електропостачання потрібна для вирішення ряду критичних завдань. Першочерговим є забезпечення балансу між надійністю системи та її економічною ефективністю. Надмірна потужність встановленого обладнання призводить до нераціонального використання капіталовкладень, тоді як її дефіцит створює загрозу аварійних вимкнень. Саме тому необхідне точне прогнозування навантажень для кожного окремого вузла – від діленьок механообробки до енергоємних ливарних корпусів.

Важливим аспектом проектування є мінімізація втрат енергії під час її транспортування. Для цього потрібно визначити геометричний центр електричних навантажень. Знаходження оптимальної точки розміщення головної підстанції дозволяє максимально наблизити джерело живлення до основних споживачів. Це необхідно для скорочення довжини кабельних ліній, що автоматично знижує падіння напруги та дозволяє зменшити витрати кольорових металів при будівництві мережі.

Призначення раціональної напруги зовнішнього та внутрішнього живлення є ключовою передумовою енергоефективності. Використання рівня 10 кВ для внутрішньозаводського розподілу дозволяє суттєво розвантажити кабельні магістралі та зменшити втрати активної потужності. Разом із тим, побудова мережі за радіальним принципом є необхідною для локалізації можливих пошкоджень. Це гарантує, що несправність на одній ділянці не спричинить

						7

каскадного вимкнення всього підприємства, забезпечуючи необхідну автономність кожного цеху.

Окремо слід виділити питання компенсації реактивної потужності. Її наявність у мережі є небажаним фактором, оскільки вона марно завантажує трансформатори та провідники, знижуючи їхню пропускну здатність. Впровадження систем автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок потрібне для «очищення» мережі, що дає змогу використовувати наявне обладнання з максимальною користю та уникнути штрафних санкцій за низький коефіцієнт потужності.

Розрахунок режимів короткого замикання проводиться не лише як формальна перевірка, а як засіб гарантування фізичної цілісності системи. Необхідно переконатися, що обрана апаратура захисту – вакуумні вимикачі, роз'єднувачі та кабельні лінії – зможуть витримати екстремальні термічні та динамічні навантаження під час аварії. Це потрібно для того, щоб захист спрацював миттєво, запобігаючи руйнуванню дорогої техніки та виникненню пожеж на території заводу.

Проектування сучасної системи освітлення на складських та виробничих площах має на меті створення комфортних умов для персоналу. Використання світлодіодних технологій у поєднанні з професійним моделюванням у пакеті DIALux необхідне для усунення зон недостатньої видимості та засліплюючого ефекту. Якісне світло прямо впливає на зниження травматизму та підвищення продуктивності праці. Крім того, перехід на енергоефективні LED-джерела є обов'язковим для дотримання екологічних стандартів та зменшення витрат на технічне обслуговування освітлювальних точок.

Представлений проект спрямований на створення цілісної та гнучкої енергоструктури. Усі запропоновані рішення базуються на принципах технічної доцільності та сучасних стандартах енергозбереження. Результати розрахунків, наведені у наступних розділах, мають на меті обґрунтувати кожний крок проектування, створюючи надійне підґрунтя для стабільного розвитку промислового об'єкта.

						8

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ

Нижче продемонстровано зразок визначення енергетичних параметрів для обладнання ділянки механообробки.

$$m = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{91}{7,9} = 11,5$$

$$P_{зм} = \Sigma P_H \cdot K_B = 4040 \cdot 0,25 = 1010 \text{ кВт}$$

$$Q_{зм} = P_{зм} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1010 \cdot 0,88 = 888,8 \text{ квар}$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_H}{P_{max}} = \frac{2 \cdot 4040}{91} \approx 89$$

$$P_p = P_{зм} \cdot K_p = 1010 \cdot 1,20 = 1212 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{зм} = 888,8 \text{ квар}$$

Підсумки аналогічних обчислень щодо інших виробничих підрозділів зведені у таблиці 1.1.

						9

Таблиця 1.1. Силові ел. навант. заводу в мережі до 1000 В

№	Назва підрозділу	Нспо ж, шт	P _{мін} , кВт	P _{мак} , кВт	P _{сум} , кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар	псф	Кр	P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА
1	Дільниця механообробки	200	7,9	91	4040	12	0,25	0,75	0,88	1010	888,8	89	1,2	1212	888,8	1502,9
2	Зварювально-заготівельний цех	68	5,1	60,6	1409	12	0,5	0,6	1,33	704,5	939,3	46	1,16	814,3	939,3	1243,1
3	Відділ вузлової збірки	50	2,5	50,5	996	20	0,25	0,8	0,75	249	186,7	39	1,32	329,5	186,7	378,7
4	Корпус фасонного лиття	100	10,1	75,8	6969	7,5	0,6	0,8	0,75	4181,4	3136,1	100	1,08	4503,5	3136,1	5487,8
5	Блок теплопостачання	10	20,2	50,5	606	2,5	0,6	0,75	0,88	363,6	320,7	10	1,29	468,3	352,7	586,3
6	Станція стисненого повітря	5	20,2	50,5	404	2,5	0,65	0,85	0,62	262,6	162,7	5	1,38	363,2	179	404,9
7	Деревообробна майстерня	15	12,1	70,7	480	5,8	0,25	0,7	1,02	119,9	122,4	14	1,58	189,9	122,4	225,9
8	Сховище модельних заготовок	10	10,1	40,4	162	4	0,6	0,9	0,48	97	47	8	1,33	129	51,7	139
9	Блок пожежних гідроагрегатів	5	20,2	90,9	485	4,5	0,65	0,85	0,62	315,1	195,3	5	1,38	435,8	214,8	485,9
10	Центральний матеріальний склад	12	10,1	30,3	384	3	0,6	0,9	0,48	230,3	111,5	12	1,26	289,7	111,5	310,4
11	Будівля допоміжного виробництва	35	5,1	101	707	20	0,3	0,7	1,02	212,1	216,4	14	1,51	319,7	216,4	386,1
12	База нафтопродуктів	7	10,1	20,2	121	2	0,7	0,9	0,48	84,8	41,1	7	1,25	106,2	45,2	115,4
13	Медична частина	8	1	15,2	66	15	0,8	0,9	0,48	52,5	25,4	8	1	52,5	28	59,5
	Всього	525	1	101	16828	100	0,47	0,777	0,81	7882,8	6395,3	333	1	7883	6395,3	10150,5

1.2 Освітлювальні електричні навантаження

Далі показано зразок обчислення параметрів освітлювальної мережі напругою нижче одного кіловольта на прикладі дільниці механообробки.

$$P_{\text{вст}} = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 6363 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 95,45 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_{\text{п}} \cdot K_1 \cdot P_{\text{вст}} = 0,95 \cdot 1,20 \cdot 95,45 = 108,81 \text{ кВт}$$

Таблиця 1.3. Силові ел. навант. заводу в мережі вище 1000 В

Назва	Nсп, шт	Pmin, кВт	Pmax, кВт	Pсум, кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	Pзм, кВт	Qзм, квар	пєф	Кр	Pрозр, кВт	Qрозр, квар	Sрозр, кВА
ТП 1,2															
Дільниця механообробки															
силове навант.:	200	7,9	91	4040	11,5	0,25	0,75	0,88	1010	888,8	89	1,2	1212	888,8	1502,9
освітлювальне навант.:				95,45									108,81	52,66	
Всього:									1107,6	892,5			1327,2	945,3	1629,4
Зварювальнозаготівельний цех															
силове навант.:	68	5,1	60,6	1409	12	0,5	0,6	1,33	704,5	939,3	46	1,16	814,3	939,3	1243,1
освітлювальне навант.:				27,81									31,7	15,34	
Всього:									733,7	941,2			847,7	956,5	1278,1
Відділ вузлової збірки															
силове навант.:	50	2,5	50,5	996	20	0,25	0,8	0,75	249	186,7	39	1,32	329,5	186,7	378,7
освітлювальне навант.:				43,63									49,74	24,07	
Всього:									293,2	187,1			380	211,2	434,7
Всього по трансф. підст. № 1,2:															
силове навант.:	322	2,5	91	6458	36,4	0,3	0,7	1,03	1967,3	2020,8	144	1,14	2233,1	2020,8	3011,7
освітлювальне навант.:				167,22									190,64	92,27	
Батареї конденсаторів 0,4 кВ:										810				810	
Всього 0,4 кВ ТП № 1,2:									2134,6	1211,2			2423,7	1303,4	2751,9
Втрати потужн. в тррах:													30,5	159,6	
Ксть силових тррів:	4														
Ном. потужн. трра, кВА:	1000														
Кз:	0,69														
Всього 10 кВ ТП № 1,2:													2454,2	1463	2857,2
ТП 3,4,5,6															
Корпус фасонного лиття															
силове навант.:	100	10,1	75,8	6969	7,5	0,6	0,8	0,75	4181,4	3136,1	100	1,08	4503,5	3136,1	5487,8
освітлювальне навант.:				70,32									80,16	38,8	
Всього:									4260,1	3142,3			4592,7	3181,1	5586,8
Блок теплопостачання															
силове навант.:	10	20,2	50,5	606	2,5	0,6	0,75	0,88	363,6	320,7	10	1,29	468,3	352,7	586,3

Продовження табл. 1.3

освітлювальне навант.:				9,82									11,2	5,42	
Всього:									374,2	321,3			480,5	358,9	599,7
Сховище модельних заготовок															
силове навант.:	10	10,1	40,4	162	4	0,6	0,9	0,48	97	47	8	1,33	129	51,7	139
освітлювальне навант.:				13,09									14,92	7,22	
Всього:									110,3	47			144,2	59	155,8
Деревообробна майстерня															
силове навант.:	15	12,1	70,7	480	5,8	0,25	0,7	1,02	119,9	122,4	14	1,58	189,9	122,4	225,9
освітлювальне навант.:				64,28									73,28	35,47	
Всього:									184,6	122,6			263,7	158,1	307,5
База нафтопродуктів															
силове навант.:	7	10,1	20,2	121	2	0,7	0,9	0,48	84,8	41,1	7	1,25	106,2	45,2	115,4
освітлювальне навант.:				12,27									13,99	6,77	
Всього:									97,3	41,2			120,4	52,1	131,2
Медична частина															
силове навант.:	8	1	15,2	66	15	0,8	0,9	0,48	52,5	25,4	8	1	52,5	28	59,5
освітлювальне навант.:				30,4									34,66	16,78	
Всього:									83,1	25,5			87,3	44,8	98,2
Всього по трансф. підст. № 3,4,5,6:															
силове навант.:	152	1,01	75,9	8420	75,9	0,58	0,8	0,75	4909	3700	152	1,06	5226,4	3700	6403,4
освітлювальне навант.:				200,57									228,64	110,66	
Батареї конденсаторів 0,4 кВ:										2842				2842	
Всього 0,4 кВ ТП 3,4,5,6:									5109,5	858,2			5455	968,8	5540,4
Врати потужн. в тррах:													61,5	321,9	
Ксть силових тррів:	8														
Ном. потужн. трра, кВА:	1000														
Кз:	0,69														
Всього 10 кВ ТП 3,4,5,6:													5516,5	1290,7	5665,5
ТП 7															
Станція стисненого повітря															
силове навант.:	5	20,2	50,5	404	2,5	0,65	0,85	0,62	262,6	162,7	5	1,38	363,2	179	404,9
освітлювальне навант.:				3,92									4,47	2,16	
Всього:									267,1	163,1			368,4	181,5	410,7

Продовження табл. 1.3

Блок пожежних гідроагрегатів																
силове навант.:	5	20,2	90,9	485	4,5	0,65	0,85	0,62	315,1	195,3	5	1,38	435,8	214,8	485,9	
освітлювальне навант.:				7,64									8,71	4,22		
Всього:									323,4	195,7			445,4	219,5	496,5	
Будівля допоміжного виробництва																
силове навант.:	35	5,1	101	707	20	0,3	0,7	1,02	212,1	216,4	14	1,51	319,7	216,4	386,1	
освітлювальне навант.:				18									20,52	9,93		
Всього:									230,6	216,8			340,9	226,8	409,4	
Центральний матеріальний склад																
силове навант.:	12	10,1	30,3	384	3	0,6	0,9	0,48	230,3	111,5	12	1,26	289,7	111,5	310,4	
освітлювальне навант.:				8,5									9,69	4,69		
Всього:									239,3	111,8			300	116,5	321,8	
Промислова зона підприємства																
освітлювальне навант.:				10,91									12,22	21,16		
Всього:									10,9	0			12,2	21,2	24,5	
Всього по трансф. підст. № 7:																
силове навант.:	58	5,05	101	1984	20,2	0,52	0,83	0,67	1022,1	687,3	39	1,16	1190,3	687,3	1374,5	
освітлювальне навант.:				49,07									55,72	42,25		
Батареї конденсаторів 0,4 кВ:										136				136		
Всього 0,4 кВ ТП 7:									1071,2	551,7			1246	594	1380,3	
Втрати потужн. в тррах:													15,3	80,1		
Ксть силових тррів:	2															
Ном. потужн. трра, кВА:	1000															
Кз:	0,69															
Всього 10 кВ ТП 7:													1261,3	674,1	1430,2	
Всього по об'єкту																
силове навант.:	525	1	101	16861	101,2	0,47	0,95	0,33	7898,4	2621	333	1	7898,4	2621	8321,9	
освітлювальне навант.:				49,07									475	245,19		
Всього:									8315,3	2621			8373,4	2866,2	8850,4	
Потужність бат. конд. 0,4 кВ:										3787				3787		
Втрати потужн. в тррах:													107,4	561,6		
Всього по заводу:													8480,8	3427,8	9147,3	
Ел. навант. напругою вище 1 кВ																

Продовження табл. 1.3

ІЛК6	2	3000	3000	6000		0,7	0,9	0,48	4250,4	2058,6			4250,4	2058,6	4722,7
АД	2	600	600	1200		0,75	0,9	0,48	910,8	441,1			910,8	441,1	1012
Всього високовольтного:				5161,2									5161,2	2499,7	5734,7
Всього по заводу 10 кВ:													13642	5927,5	14874,1
Потужність бат. конд. 10 кВ:														3947	
Всього 10 кВ з КП:													13642	1980,6	13785
tgφ =	0,146														

1.4 Графіки електричних навантажень заводу

Далі представлені підсумки обчислення характеристик графіків силових навантажень відповідно до методики джерела [1]. Зведені показники продемонстровані у наступному вигляді.

Таблиця 1.4. Вихідні значення для визначення характеристик навантажувальних діаграм

№	Роб. дні: P, %	Роб. дні: Q, %	Вих. дні: P, %	Вих. дні: Q, %
1	100	100	56,7	73,9
2	93,1	95,1	56,7	73,9
3	98,2	96,1	56,7	73,9
4	77,9	81	56,7	73,9
5	45,5	58,7	56,7	73,9
6	45,5	60,7	56,7	73,9
7	70,8	81	56,7	73,9
8	70,8	88	42,5	73,9
9	73,9	86	42,5	59,7
10	68,8	81	42,5	59,7
11	70,8	82	42,5	59,7
12	66,8	83	42,5	59,7
13	56,7	73,9	42,5	59,7
14	52,6	81	42,5	59,7
15	67,8	76,9	42,5	59,7
16	73,9	85	42,5	59,7
17	75,9	91,1	42,5	59,7
18	72,9	86	42,5	59,7
19	70,8	81	56,7	73,9
20	65,8	65,8	56,7	73,9
21	70,8	76,9	56,7	73,9
22	45,5	73,9	56,7	73,9
23	60,7	70,8	56,7	73,9
24	100	100	56,7	73,9

Таблиця 1.5. Результати розрахунків графіків

№	Зимові дні: Роб. дні: Рд, кВт	Зимові дні: Роб. дні: Qд, квар	Зимові дні: Роб. дні: Сд, кВА	Зимові дні: Вихідні дні: Рд, кВт	Зимові дні: Вихідні дні: Qд, квар	Зимові дні: Вихідні дні: Сд, кВА	Літні дні: Роб. дні: Рд, кВт	Літні дні: Роб. дні: Qд, квар	Літні дні: Роб. дні: Сд, кВА	Літні дні: Вихідні дні: Рд, кВт	Літні дні: Вихідні дні: Qд, квар	Літні дні: Вихідні дні: Сд, кВА
1	13641,8	1980,5	13784,5	7639,6	1446,1	7775,2	11595,5	1683	11716,9	6493	1228,6	6608,4
2	12550,8	1862,1	12688,5	7639,6	1446,1	7775,2	10667,5	1582,8	10783,9	6493	1228,6	6608,4
3	13232,9	1881,3	13365,5	7639,6	1446,1	7775,2	11247,4	1599	11360,7	6493	1228,6	6608,4
4	10504,6	1584,8	10623	7639,6	1446,1	7775,2	8928,9	1347	9030,1	6493	1228,6	6608,4
5	6138,8	1148,6	6245,1	7639,6	1446,1	7775,2	5217,9	976,6	5309	6493	1228,6	6608,4
6	6138,8	1188,1	6253,1	7639,6	1446,1	7775,2	5217,9	1010	5315	6493	1228,6	6608,4
7	9549,2	1584,8	9679,8	7639,6	1446,1	7775,2	8117,3	1347	8228,6	6493	1228,6	6608,4
8	9549,2	1723,4	9703,1	5729,9	1446,1	5910,1	8117,3	1464,4	8247,8	4869,7	1228,6	5022,6
9	9958,1	1683	10099,8	5729,9	1168,9	5848,3	8464,4	1431	8584,8	4869,7	992,8	4969,9
10	9276	1584,8	9410,6	5729,9	1168,9	5848,3	7884,5	1347	7998,8	4869,7	992,8	4969,9
11	9549,2	1604	9682,8	5729,9	1168,9	5848,3	8117,3	1363,2	8230,6	4869,7	992,8	4969,9
12	9003,8	1624,3	9149,5	5729,9	1168,9	5848,3	7652,7	1380,4	7776,2	4869,7	992,8	4969,9
13	7639,6	1446,1	7775,2	5729,9	1168,9	5848,3	6493	1228,6	6608,4	4869,7	992,8	4969,9
14	7094,1	1584,8	7269,2	5729,9	1168,9	5848,3	6029,5	1347	6178,3	4869,7	992,8	4969,9
15	9140,4	1504,8	9263,8	5729,9	1168,9	5848,3	7769,1	1279,2	7873,4	4869,7	992,8	4969,9
16	9958,1	1663,7	10095,7	5729,9	1168,9	5848,3	8464,4	1413,8	8581,8	4869,7	992,8	4969,9
17	10231,3	1782,1	10385,1	5729,9	1168,9	5848,3	8697,1	1515	8827,7	4869,7	992,8	4969,9
18	9822,5	1683	9965,2	5729,9	1168,9	5848,3	8349	1431	8470,4	4869,7	992,8	4969,9
19	9549,2	1584,8	9679,8	7639,6	1446,1	7775,2	8117,3	1347	8228,6	6493	1228,6	6608,4
20	8867,1	1287,3	8960,2	7639,6	1446,1	7775,2	7537,4	1094	7616,3	6493	1228,6	6608,4
21	9549,2	1504,8	9666,6	7639,6	1446,1	7775,2	8117,3	1279,2	8217,4	6493	1228,6	6608,4
22	6138,8	1446,1	6306,8	7639,6	1446,1	7775,2	5217,9	1228,6	5360,6	6493	1228,6	6608,4
23	8185,1	1386,4	8301,4	7639,6	1446,1	7775,2	6957,5	1178	7056,7	6493	1228,6	6608,4
24	13641,8	1980,5	13784,5	7639,6	1446,1	7775,2	11595,5	1683	11716,9	6493	1228,6	6608,4

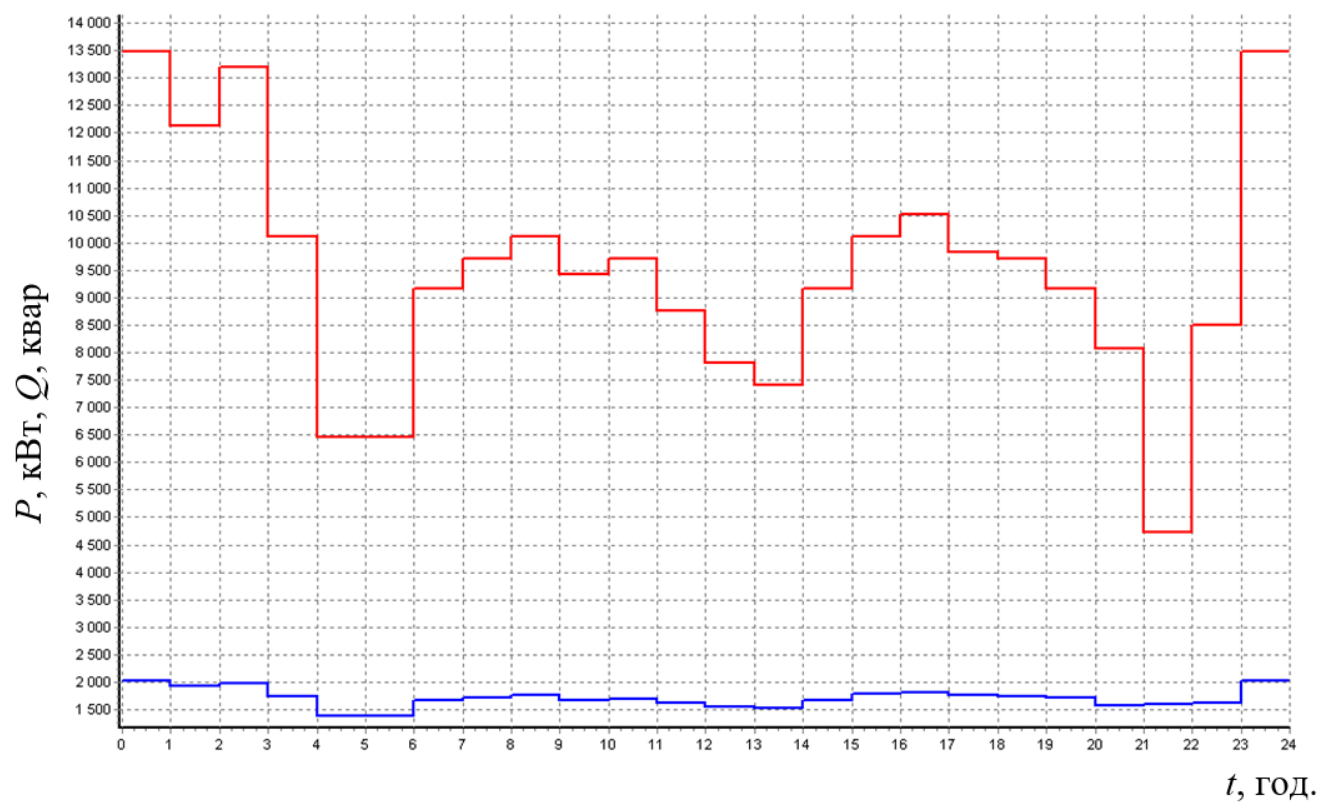


Рис. 1.1. Доб. графіки (зим. роб.)

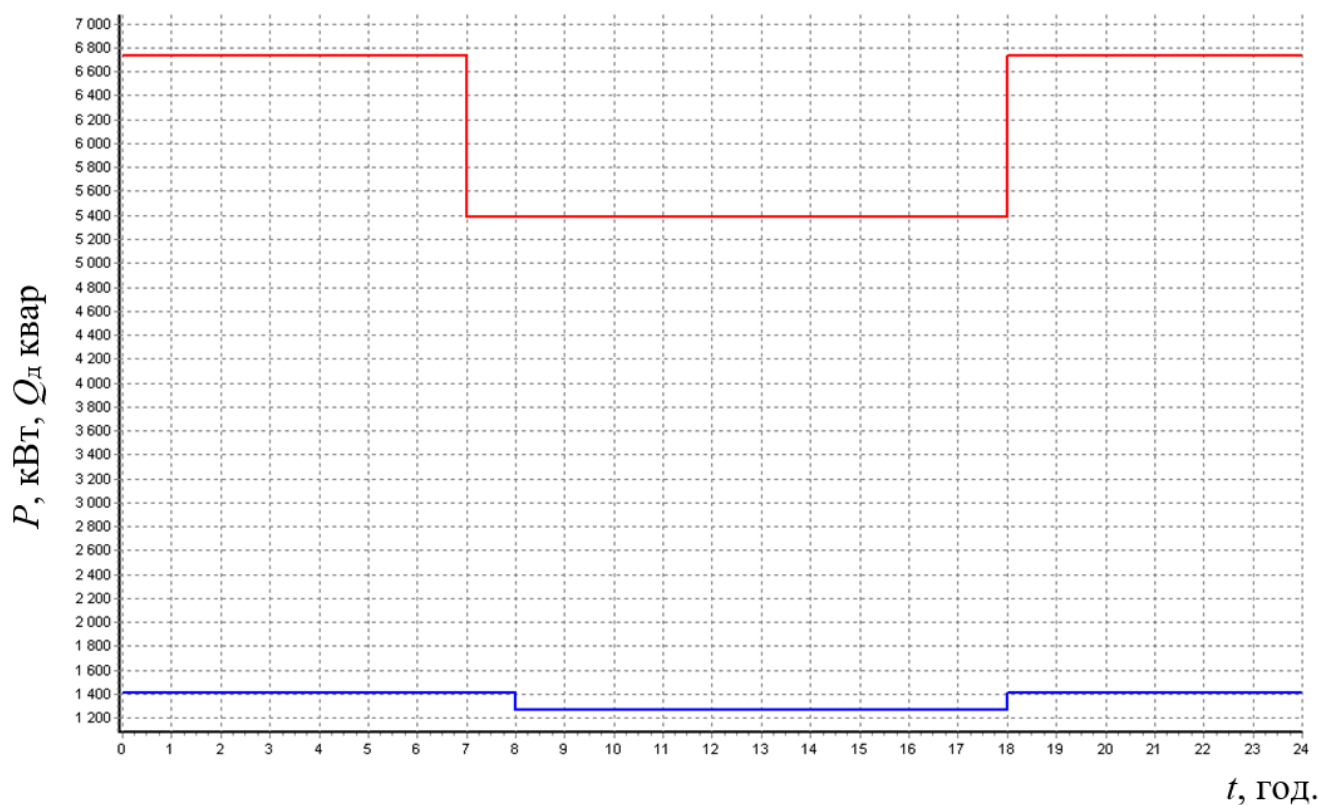


Рис. 1.2. Доб. графіки активн. (зим. вих.)

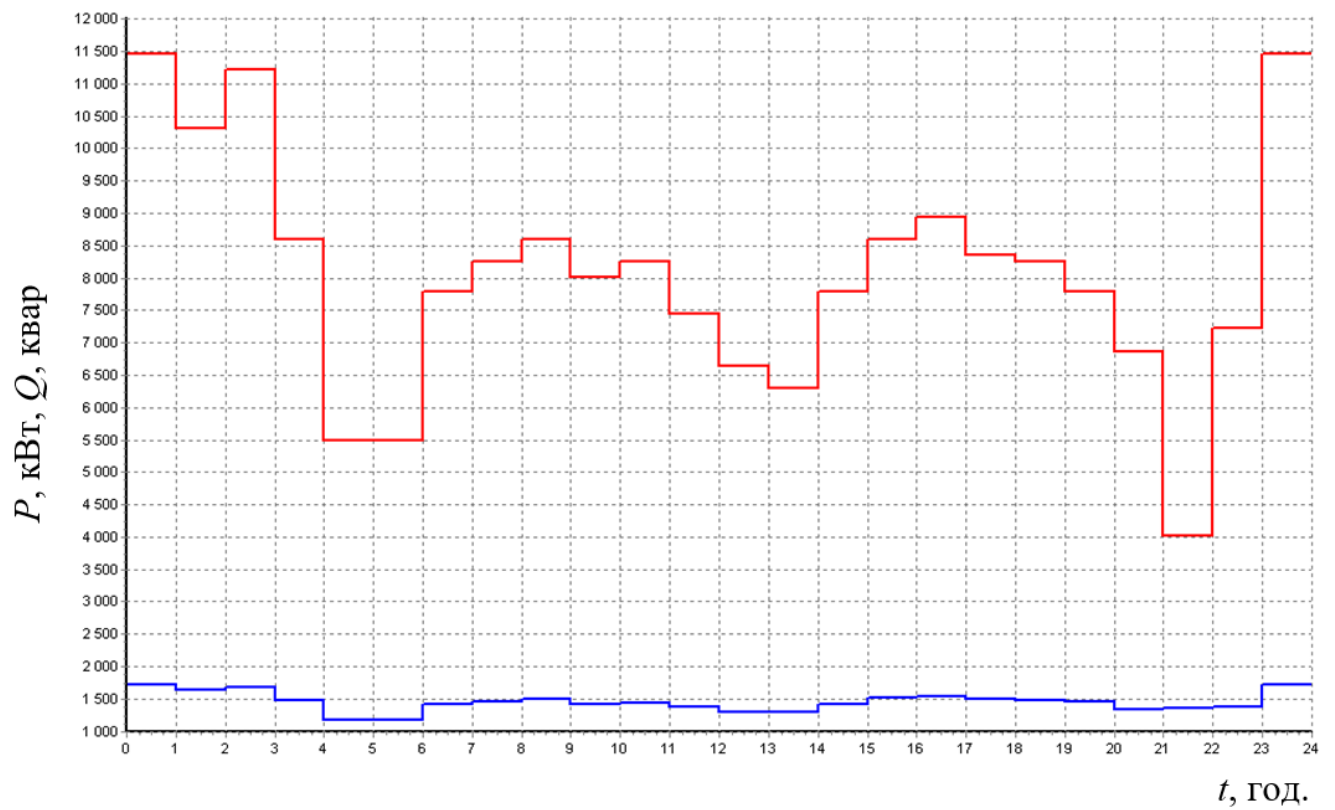


Рис. 1.3. Доб. графіки (літ. роб.)

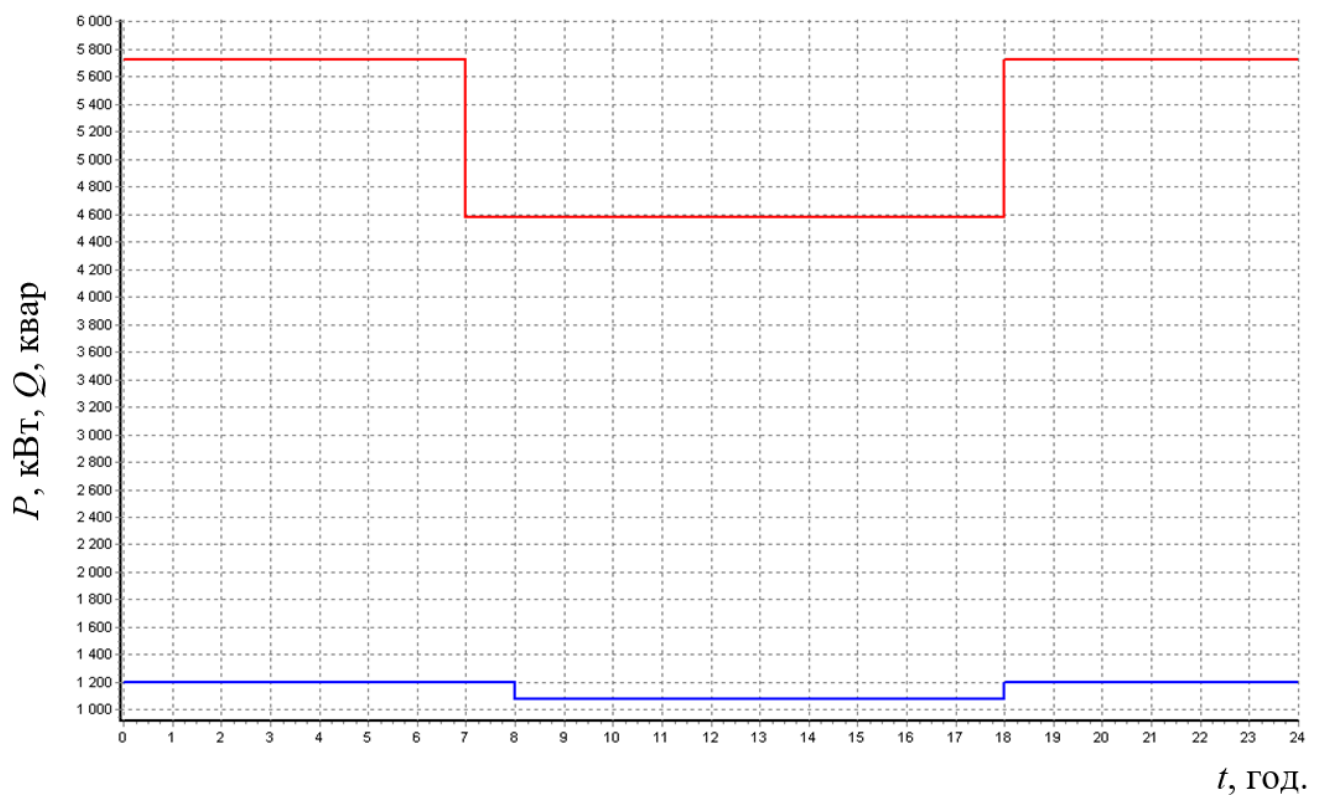


Рис. 1.4 Доб. графіки (літ. вих.)

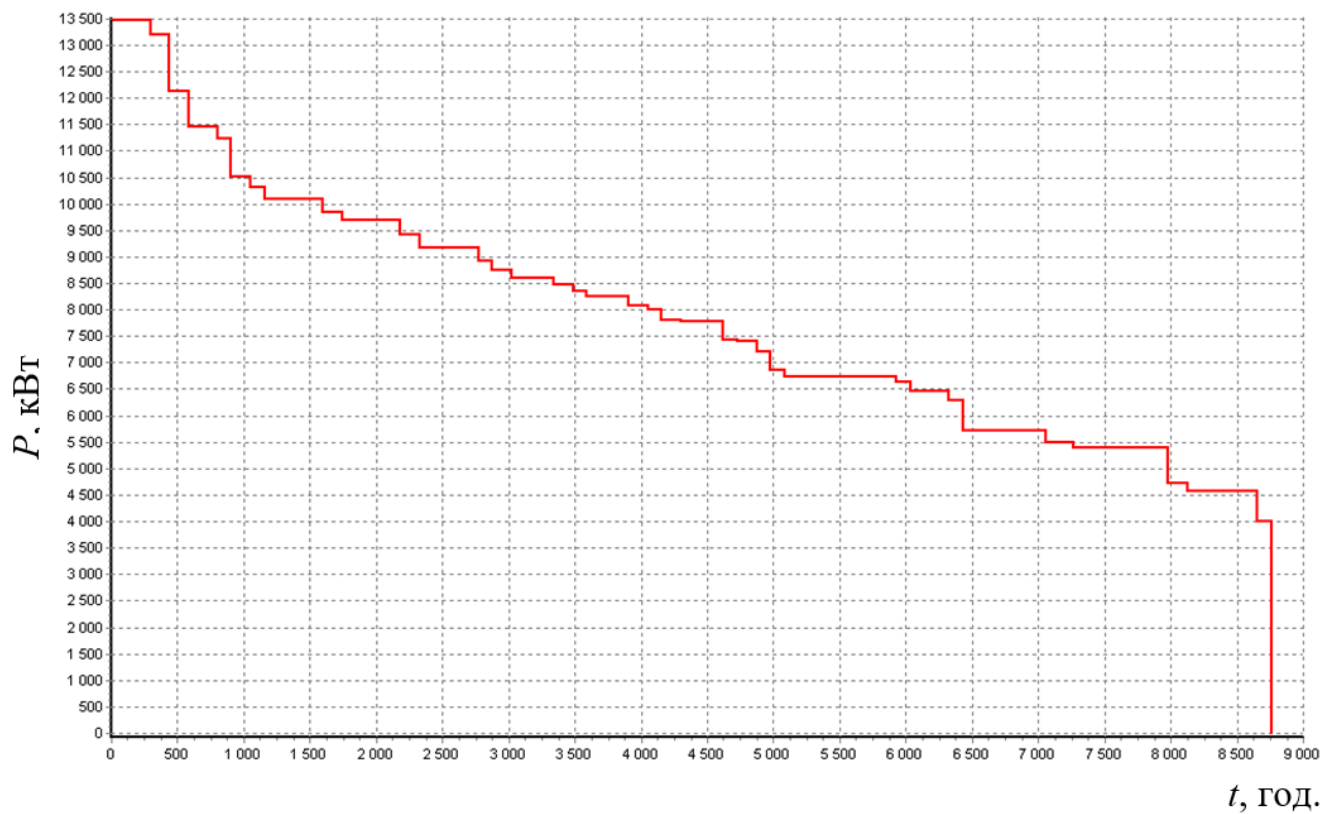


Рис. 1.5. Річн. графік за тривалістю

Таблиця 1.6. Результати розрах. параметрів графіків

№	Найменування показника	Значення	Одиниці виміру
1	Срозр	13784,8	МВА
2	Wзим.роб.	33649822	кВт·год
3	Vзим.роб.	5630717	квар·год
4	Wзим.вих.	10552362	кВт·год
5	Vзим.вих.	2075754	квар·год
6	Wлітн.роб.	20430185	кВт·год
7	Vлітн.роб.	3418278	квар·год
8	Wлітн.вих.	6622852	кВт·год
9	Vлітн.вих.	1302128	квар·год
10	Wрічн	71255221	кВт·год
11	Vрічн	12426877	квар·год
12	Tм	5310,1	год
13	tм	3730,7	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Нижче наведено ілюстративний розрахунок геометричних параметрів для формування картограми на прикладі ділянки механообробки:

$$R = \sqrt{\frac{P_1}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1327,22}{3,14 \cdot 0,2}} = 45,97 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360^\circ}{P_1} = \frac{109,02 \cdot 360^\circ}{1327,22} = 29,57^\circ$$

Результати аналогічних обчислень для всіх виробничих майданчиків зведено у таблицю 2.1.

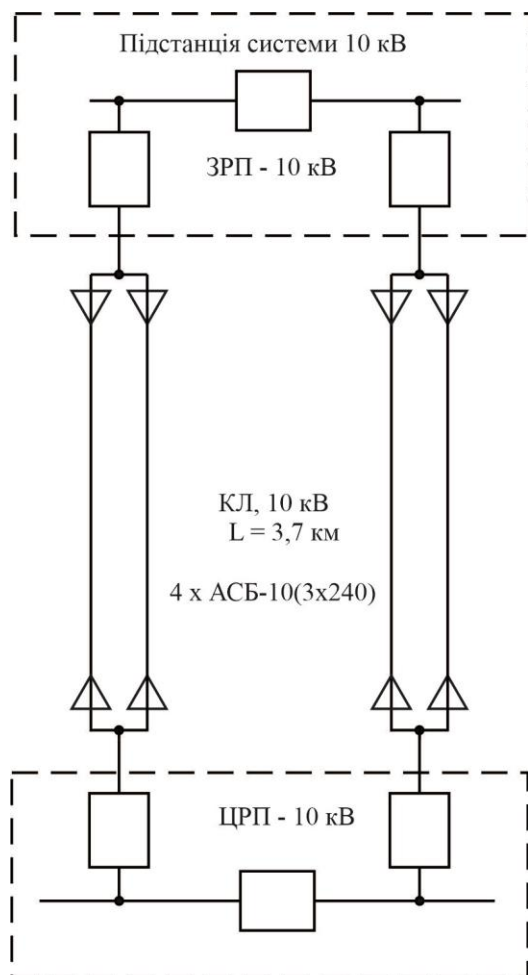
Координати центру електричних навантажень підприємства:

$$X = \frac{\sum P_{1j} \cdot x_j}{\sum P_{1j}} = \frac{1730119,30}{14871,82} = 116,3 \text{ м}$$

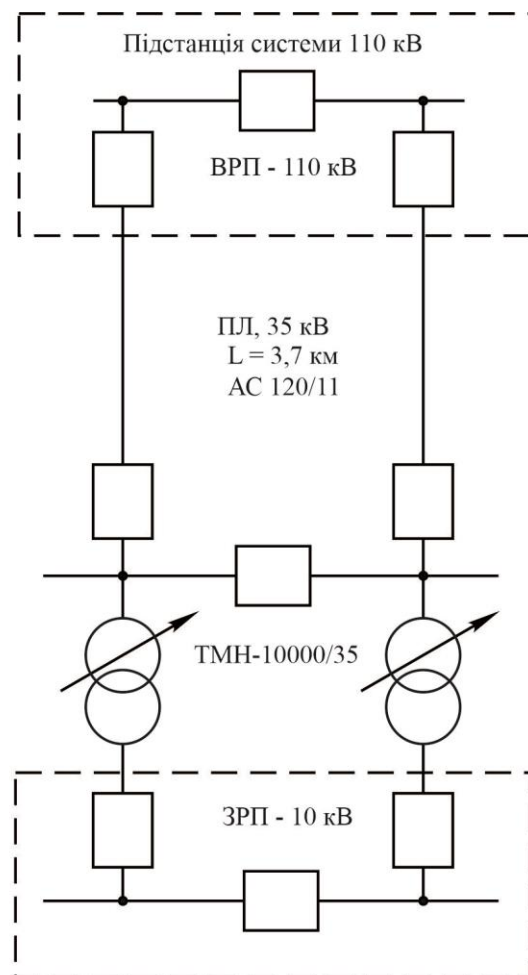
$$Y = \frac{\sum P_{1j} \cdot y_j}{\sum P_{1j}} = \frac{3568569,36}{14871,82} = 240,0 \text{ м}$$

Таблиця 2.1. Параметри для побудови картограми електричних навантажень

№	Назва об'єкту	Рсил, кВт	Росв, кВт	Р1, кВт	m	R, мм	α, град	х, м	у, м	Р1·х, кВт·м	Р1·у, кВт·м
1.	Дільниця механообробки	1218,19	109,02	1327,22	0,20	45,97	29,57	242,88	288,42	322354,65	382796,15
2.	Зварювально-заготівельний цех	815,90	31,78	847,68	0,20	36,74	13,50	212,52	318,78	180149,29	270223,93
3.	Відділ вузлової збірки	330,12	49,84	379,97	0,20	24,60	47,22	273,24	312,71	103821,78	118818,26
4.	Корпус фасонного лиття:										
	а) 0,4 кВ	4512,43	80,31	4592,74	0,20	85,52	6,30	60,72	242,88	278871,13	1115484,54
	б) 10,5 кВ (ІЛК-6)	4250,40	0,00	4250,40	0,20	82,27	0,00	60,72	242,88	258084,29	1032337,15
5.	Блок теплопостачання	469,25	11,21	480,47	0,20	27,66	8,40	36,43	343,07	17504,38	164832,94
6.	Станція стисненого повітря										
	а) 0,4 кВ	363,87	4,48	368,36	0,20	24,22	4,38	227,70	151,80	83875,09	55916,73
	б) 10,5 кВ (АД)	910,80	0,00	910,80	0,20	38,08	0,00	227,70	151,80	207389,16	138259,44
7.	Деревообробна майстерня	190,28	73,43	263,71	0,20	20,49	100,24	151,80	75,90	40030,72	20015,36
8.	Сховище модельних заготовок	129,28	14,95	144,23	0,20	15,15	37,31	75,90	166,98	10947,08	24083,57
9.	Блок пожежних гідроагрегатів	436,65	8,72	445,37	0,20	26,63	7,05	303,60	151,80	135214,66	67607,33
10.	Центральний матеріальний склад	290,25	9,72	299,97	0,20	21,86	11,66	197,34	212,52	59195,47	63748,97
11.	Будівля допоміжного виробництва	320,35	20,55	340,90	0,20	23,30	21,71	45,54	212,52	15524,69	72448,56
12.	База нафтопродуктів	106,40	14,02	120,42	0,20	13,85	41,90	45,54	91,08	5483,83	10967,66
13.	Медична частина	52,62	34,72	87,35	0,20	11,79	143,11	91,08	333,96	7955,45	29169,98
14.	Промислова зона підприємства	0,00	12,25	12,25	0,20	4,42	360,00	303,60	151,80	3717,64	1858,82
	Всього по підприємству	14396,81	475,00	14871,82						1730119,30	3568569,36



а)



б)

Рис. 3.1. Конфігурації мереж зовнішнього живлення

$$K_{\text{зав}} = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{198,97}{355} = 0,56$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{1км}} \cdot l_{\text{сум}} \cdot K_{\text{зав}}^2 = 24 \cdot 14,96 \cdot 0,3136 = 112,61 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{кл}} \cdot \tau = 56,3 \cdot 3730,7 = 210038,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\text{втр.кл}} = \Delta W_{\text{сум}} \cdot C_0 \cdot 0,001 = 210038,4 \cdot 5,15 \cdot 0,001 = 1081,7 \text{ тис. грн}$$

Оцінка капітальних інвестицій за першим рішенням представлена у наступній таблиці.

						24

Таблиця 3.1. Визначення обсягу капіталовкладень для першого варіанту

№	Найменування елементів	Одиниці вим.	Кількість	Одинична вартість	Загальна сума
1	Кабельна магістраль 10 кВ	км	14,98	58,7	868,7
2	Підготовка траншеї	км	3,74	14,47	53,54
3	Розподільчі комірки КРП	шт.	2	10,83	21,66
	Підсумок				943,9

Таблиця 3.2. Оцінка щорічних експлуатаційних витрат першого варіанту

№	Найменування елементів	K_j	P_{aj}	$C_{aj.}$	C_{aj}	C_j
1	Кабельна магістраль 10 кВ	868,7	5	43,44	43,44	86,88
2	Підготовка траншеї	53,54	5	2,68	2,68	5,36
3	Розподільчі комірки КРП	21,66	15	3,25	1,08	4,33
	Підсумок					96,57

$$З = E_H \cdot K + C + C_{\text{БТР}} + 3\phi = 0,12 \cdot 943,90 + 96,57 + 1081,70 + 6,89 = 1298,43 \text{ тис. грн.}$$

Подібним чином здійснюється калькуляція щодо другої альтернативи живлення (результати зведено до таблиці 3.3).

Таблиця 3.3. Зіставлення конфігурацій мереж зовнішнього електропостачання

Критерії оцінювання	Схема 1	Схема 2
Обсяг капітальних інвестицій	943,9	2385,92
Поточні експлуатаційні відрахування	96,57	450,6
Фінансовий еквівалент втрат енергії	1081,7	2406,76
Ймовірні економічні збитки	6,89	5,54
Річні приведені витрати	1298,43	3149,21

Аналізуючи дані порівняльної таблиці, приходимо до висновку, що перше рішення відзначається значно меншим рівнем фінансових вкладень. Отже, саме цей підхід затверджується як базовий для наступних етапів проектування.

3.2 Схема внутрішнього електропостачання

Для побудови системи розподілу електричної енергії на території промислового об'єкта була прийнята радіальна конфігурація прокладання кабельних магістралей з номінальною напругою 10 кіловольт. Таке концептуальне інженерне рішення ухвалено на базі комплексного порівняльного аналізу з магістральними та змішаними топологіями.

Магістральні схеми, попри їхню очевидну перевагу у вигляді меншої загальної витрати провідникових матеріалів, виявилися неоптимальними для даного виробництва через значну концентрацію потужних навантажень та високі вимоги до безперебійності. При пошкодженні однієї магістралі відбувається одночасне знеструмлення відразу кількох цехових підстанцій, що є неприпустимим для технологічного циклу.

Радіальна ж структура передбачає прокладання окремих, незалежних ліній від головної знижувальної підстанції (або центрального розподільчого пункту) безпосередньо до кожної двотрансформаторної цехової підстанції (КТП). Цей підхід кардинально локалізує аварійні ситуації: у разі короткого замикання чи пробоя ізоляції на одній з ліній, релейний захист відключає виключно пошкоджений радіус, тоді як решта виробничих підрозділів продовжують функціонувати у штатному режимі.

Переважає більшість технологічного обладнання заводу (зокрема, дільниці ливарного корпусу та безперервної механообробки) належить до другої, а подекуди й до першої категорії надійності електропостачання. Радіальна схема ідеально задовольняє ці жорсткі вимоги завдяки використанню принципу глибокого резервування.

До кожної цехової КТП підводяться дві взаєморезервуючі кабельні лінії, які живляться від різних, незалежних секцій шин головного розподільчого пристрою. У нормальному режимі кожна лінія завантажена приблизно на 60-70%. У випадку аварійного вимкнення одного з провідників, пристрої автоматичного включення резерву (АВР) миттєво перемикають усе навантаження цеху на працездатний

						26

кабель. Перерізи провідників обрані з урахуванням здатності витримувати 100% післяаварійне навантаження з допустимим перевантаженням у години максимуму. Таким чином, технологічний процес не зупиняється, а фінансові збитки від недовипуску продукції зводяться до абсолютного нуля.

Окремо слід відзначити доцільність використання саме 10-кіловольтної напруги для внутрішньомайданчикowego розподілу. У порівнянні із застарілим стандартом 6 кВ, застосування вищого класу напруги дозволяє зменшити робочі струми у лініях приблизно на 40%. Це тягне за собою ланцюгову реакцію позитивних техніко-економічних ефектів:

- Суттєво зменшується необхідний переріз струмопровідних жил кабелів, що дає значну економію кольорових металів (алюмінію або міді) на етапі капітального будівництва.
- Завдяки зменшенню струмів, втрати активної потужності (ΔP) на нагрівання провідників падають у квадратичній залежності. За тривалий період експлуатації (15-20 років) це забезпечує колосальну економію коштів на оплату технологічних втрат електроенергії.
- Сучасне комутаційне обладнання (вакуумні та елегазові вимикачі, комірки КРП) серійно випускається переважно у класі ізоляції 10 кВ, що робить їх закупівлю та обслуговування доступнішими.

Враховуючи щільну забудову території підприємства та наявність розгалуженої мережі підземних комунікацій (водопровід, газопроводи, теплотраси), конструктивне виконання внутрішньої електромережі є комбінованим.

На вільних від забудови ділянках застосовано класичне прокладання кабелів у земляних траншеях – це найдешевший та найбезпечніший спосіб, який додатково забезпечує ідеальні умови для охолодження провідників. Однак, у зонах з високою концентрацією інженерних споруд та на підходах до енергоємних цехів (наприклад, корпус фасонного лиття) спроектовано прокладання ліній по відкритих кабельних естакадах.

Естакадне виконання має низку беззаперечних експлуатаційних плюсів:

						27

1. Повний візуальний контроль за станом зовнішньої оболонки кабелів.
2. Відсутність впливу агресивних ґрунтових вод та блукаючих струмів, що викликають корозію броні.
3. Можливість оперативного проведення ремонтних робіт без необхідності залучення важкої землерийної техніки та розкопування асфальтного покриття.

Ще одним неочевидним, але вкрай важливим аргументом на користь радіальної побудови є максимальна простота забезпечення селективності спрацьовування апаратів захисту. Оскільки на кожній гілці знаходиться лише один споживач (конкретна трансформаторна підстанція), відпадає потреба у складному узгодженні часових витримок кількох послідовних вимикачів, як це буває у магістралях. Мікропроцесорні термінали захисту налаштовуються таким чином, щоб відключати струми короткого замикання практично миттєво, що значно подовжує термін служби силових трансформаторів та зменшує термічний вплив на ізоляцію.

При розробці генерального плану електричних мереж об'єкта було закладено значний запас гнучкості для майбутнього розширення. Завдяки модульному принципу, яким характеризується радіальна система, підключення нових виробничих ліній або будівництво додаткових цехів не потребуватиме глобальної реконструкції існуючої інфраструктури.

У головному розподільчому пристрої (ГРП 10 кВ) залишено резервні комірки, обладнані вимикачами відповідного номіналу. Для збільшення виробничої потужності заводу достатньо буде лише прокласти нові промені кабельних ліній від цих резервних комірок до нової локації та змонтувати там додаткову КТП. При цьому діюча енергосистема не зазнає жодних втручань, а існуючі споживачі не відчують перебоїв у електропостачанні під час монтажних робіт.

Деталізоване графічне відображення всієї описаної топології (із зазначенням марок кабелів, їхньої довжини, місць перетину з іншими комунікаціями та точок прив'язки цехових підстанцій) представлено на кресленні

у графічній частині дипломного проекту. Розрахункові перевірки обраних перерізів на втрату напруги, термічну стійкість до струмів короткого замикання та економічну густину струму наведені у відповідних додатках.

						29

Знаходження потужностей компенсуючих установок для конфігурацій з $N_0 + 1$ або $N_0 + 2$ виконується за подібним принципом. Зведені обчислення представлено у наступній таблиці.

Таблиця 4.1. Підсумки балансування реактивного навантаження підприємства

№ варіанту	Кількість трансформаторів	Потужність Q_1 , квар	Потужність Q_{KH} , квар	Потужність Q_{KB} , квар
1	14	1583,51	5069,6	2366,24
2	15	4088,7	2564,41	4871,43
3	16	5648,67	1004,44	6431,4

4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв

Нижче продемонстровано результати обчислень щодо підбору конденсаторних установок.

Таблиця 4.2. Підсумки вибору компенсуючих апаратів (при $N_T = 14$ одиниць)

№ ТП	К-сть тр., шт.	Ррозр, кВт	Qрозр, квар	Qпроп, квар	Qкомп, квар	К-сть та потужн. батарей, шт. · квар	QБКΣ, квар	QКП-Q БК, квар	Кзав	Spрозр, кВА
1,2	4	2449,59	2249,51	1424,37	825,14	4·202;	809,6	15,54	0,71	2841,45
3,4,5, 6	8	5515,27	4126,03	1303,45	2822,58	4·168; 4·542;	2841,7	-19,12	0,71	5662,83
7	2	1259,42	800,09	648,98	151,11	2·68;	135,61	15,5	0,71	1423,97

Таблиця 4.3. Підсумки вибору компенсуючих апаратів (при $N_T = 15$ одиниць)

№ ТП	К-сть тр., шт.	Ррозр, кВт	Qрозр, квар	Qпроп, квар	Qкомп, квар	К-сть та потужн. батарей, шт. · квар	QБКΣ, квар	QКП-Q БК, квар	Кзав	Spрозр, кВА
1,2	4	2449,59	2249,51	1424,37	825,14	4·202;	809,6	15,54	0,71	2841,45
3,4,5, 6	9	5515,27	4126,03	3198,45	927,58	8·101; 1·114;	923,45	4,13	0,71	6377,67
7	2	1259,42	800,09	648,98	151,11	2·68;	135,61	15,5	0,71	1423,97

						31

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Процедура розрахунку для першої трансформаторної підстанції (ТП-1):

$$K_{\text{зав}} = \frac{S_{\text{розр}}}{n \cdot S_{\text{тр.ном}}} = \frac{1420,73}{2 \cdot 1000} = 0,71$$

$$S_{\text{тр.ном1}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_1} = \frac{1420,73}{1,08} = 1315,49 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{тр.ном2}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_2} = \frac{1420,73}{1,4} = 1014,81 \approx 1015 \text{ кВА}$$

Визначення характеристик решти знижувальних апаратів зведено до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Підсумки комплектації цехових підстанцій

№	К-сть тр.	$S_{\text{розр}}$, кВА	$K_{\text{зав}}$	$\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{розр}}/K_1}$	$S_{\text{ном}} > S_{\text{розр}}/K_2$
ТП-1	2	1420,73	0,71	1315	1015
ТП-2	2	1420,73	0,71	1315	1015
ТП-3	2	1415,71	0,71	1311	1011
ТП-4	2	1415,71	0,71	1311	1011
ТП-5	2	1415,71	0,71	1311	1011
ТП-6	2	1415,71	0,71	1311	1011
ТП-7	2	1423,96	0,71	1318	1017

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Процедура визначення необхідних величин здійснюється згідно з рекомендаціями [1]. Розрахункову конфігурацію системи зображено на рисунку 6.1, тоді як еквівалентну схему заміщення показано на рисунку 6.2.

Активні та реактивні опори системних елементів:

$$X_s = 1.116 \text{ Ом}; R_s = 0.045 \text{ Ом}; R_{l1} = 0.241 \text{ Ом}; X_{l1} = 0.142 \text{ Ом}$$

$$R_{k1} = R_s + R_{l1} = 0.045 + 0.241 = 0.286 \text{ Ом}$$

$$X_{k1} = X_s + X_{l1} = 1.116 + 0.142 = 1.258 \text{ Ом}$$

$$Z_{k1} = \sqrt{R_{k1}^2 + X_{k1}^2} = \sqrt{0.286^2 + 1.258^2} = 1.290 \text{ Ом}$$

Показники аварійного режиму для точки К1:

$$I_{k1} = \frac{U_{av}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1}} = \frac{10.63}{\sqrt{3} \cdot 1.290} = 4.76 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{k1}}{\omega \cdot R_{k1}} = \frac{1.258}{314 \cdot 0.286} = 0.014 \text{ с}$$

$$k_u = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0.014}} = 1.49$$

$$i_u = \sqrt{2} \cdot k_u \cdot I_{k1} = 1.41 \cdot 1.49 \cdot 4.76 = 10.00 \text{ кА}$$

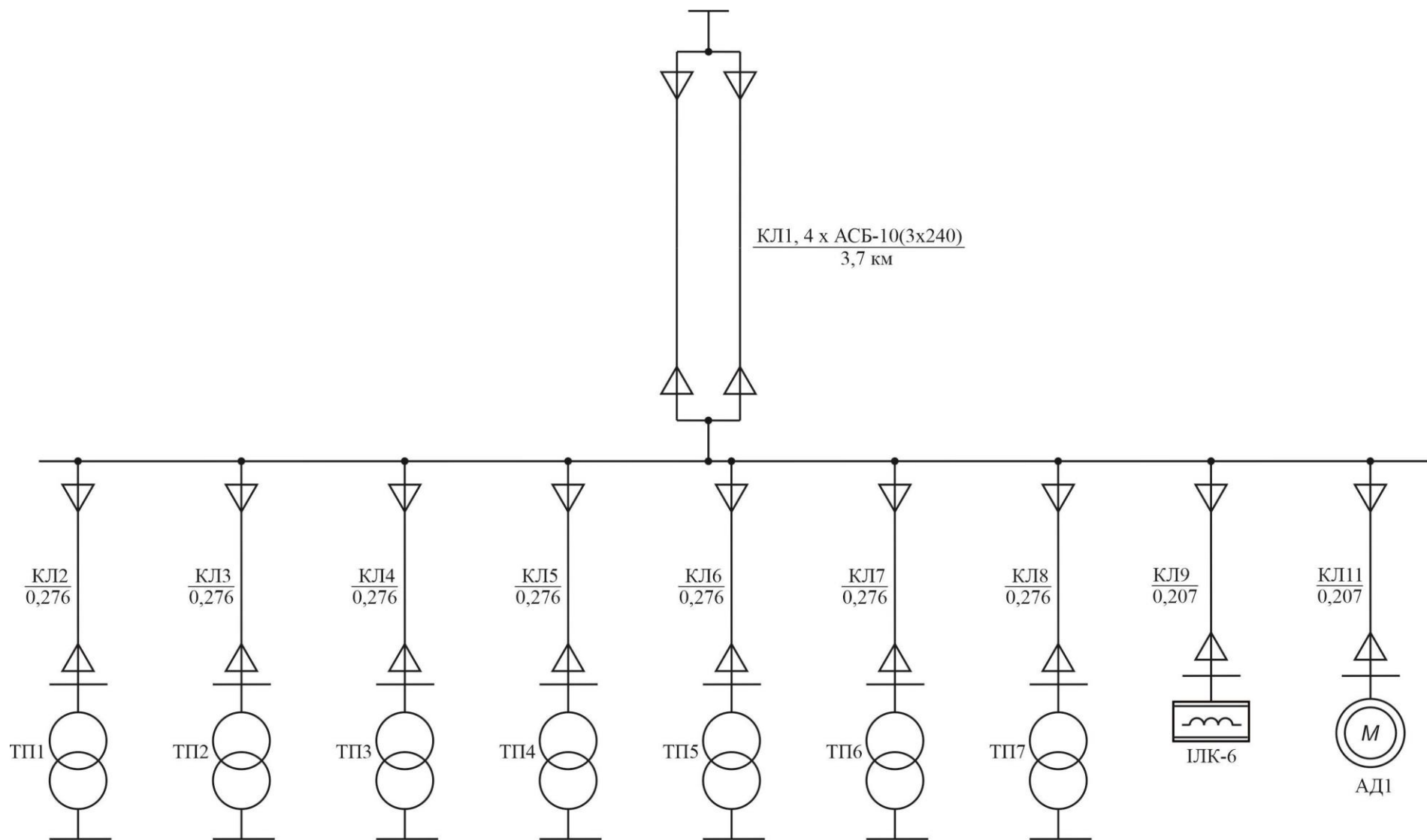


Рис. 6.1. Розрахункова схема

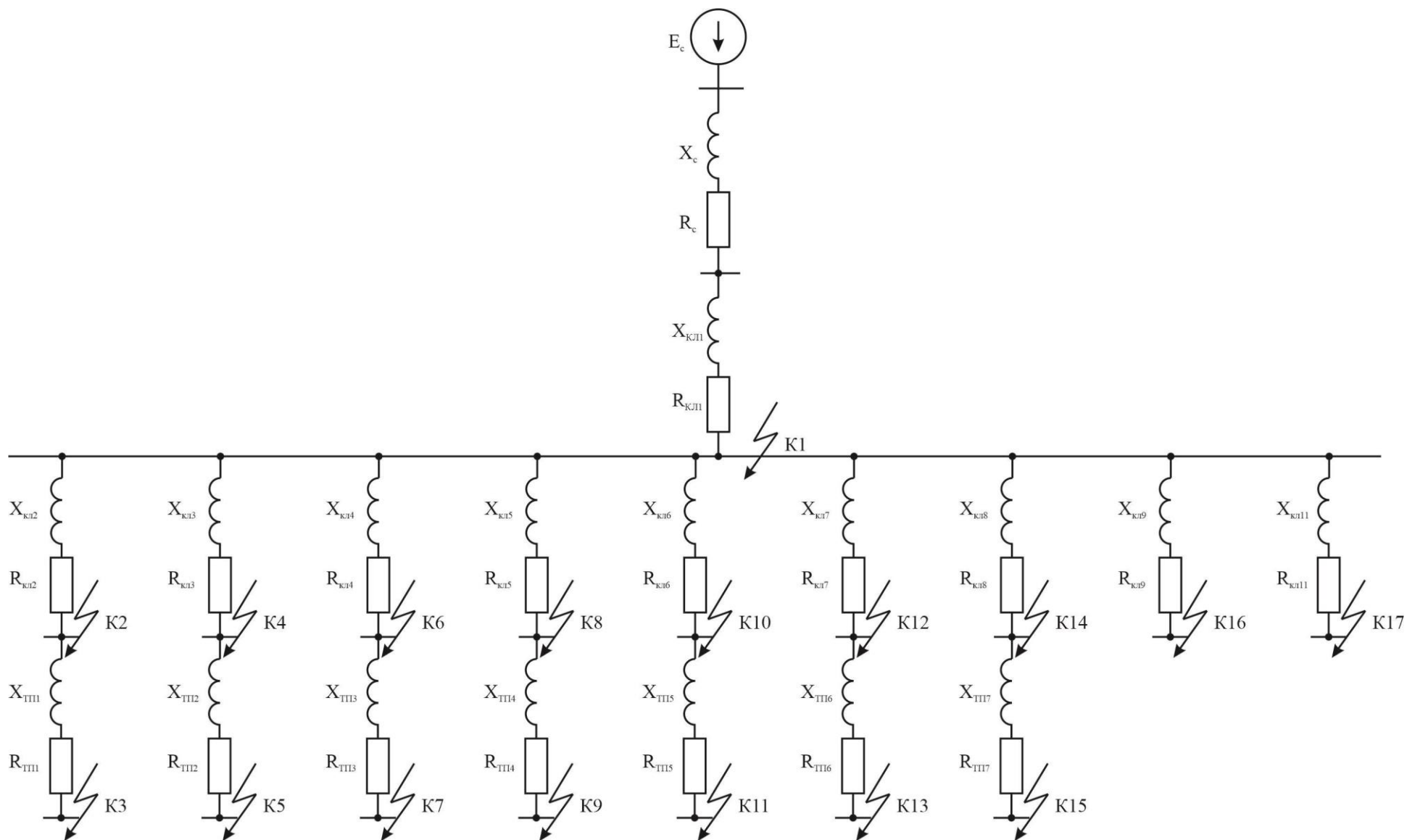


Рис. 6.2. Схема заміщення

Струм підживлення від високовольтних асинхронних двигунів:

$$I_m = 0.41 \text{ кА}$$

$$I_{k\Sigma} = I_{k1} + I_m = 4.76 + 0.41 = 5.17 \text{ кА}$$

Критерії для вибору першої кабельної лінії (L1):

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{1420.73}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10.63} = 38.59 \text{ А}$$

$$F_{min} = \frac{I_{k\Sigma} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{t_r}}{C_{th}} = \frac{5.17 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1.41}}{94} = 65.34 \text{ мм}^2$$

Приймаємо до встановлення провідник марки ААШв-10(3х70).

Електричні параметри обраної кабельної магістралі:

$$X_{l2} = x_0 \cdot l = 0.086 \cdot 0.364 = 0.031 \text{ Ом}$$

$$R_{l2} = r_0 \cdot l = 0.443 \cdot 0.364 = 0.161 \text{ Ом}$$

Значення для інших лінійних ділянок зведені у таблиці 6.1.

Характеристики аварійного режиму в точці К2:

$$X_{k2} = X_{k1} + X_{l2} = 1.258 + 0.031 = 1.289 \text{ Ом}$$

$$R_{k2} = R_{k1} + R_{l2} = 0.286 + 0.161 = 0.447 \text{ Ом}$$

$$Z_{k2} = \sqrt{R_{k2}^2 + X_{k2}^2} = \sqrt{0.447^2 + 1.289^2} = 1.364 \text{ Ом}$$

						38

Таблиця 6.1. Визначення активних та реактивних опорів провідників

№	Довжина l , км	Пит. опір r_0 , Ом/км	Пит. опір x_0 , Ом/км	Опір R , Ом	Опір X , Ом
1	3,744	0,131	0,076	0,242	0,141
2	0,381	0,448	0,087	0,169	0,032
3	0,381	0,448	0,087	0,169	0,032
4	0,115	0,448	0,087	0,052	0,01
5	0,116	0,448	0,087	0,052	0,01
6	0,118	0,448	0,087	0,053	0,01
7	0,122	0,448	0,087	0,055	0,01
8	0,328	0,448	0,087	0,146	0,028
9, 10	0,091	0,169	0,078	0,015	0,007
11, 12	0,209	0,448	0,087	0,093	0,018

$$I_{k2} = \frac{U_{av}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k2}} = \frac{10.63}{\sqrt{3} \cdot 1.336} = 4.53 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{k2}}{\omega R_{k2}} = \frac{1.290}{314 \cdot 0.455} = 0.0091 \text{ с}$$

$$k_{u2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0.0091}} = 1.345$$

$$i_{u2} = \sqrt{2} \cdot k_{u2} \cdot I_{k2} = 1.41 \cdot 1.345 \cdot 4.53 = 8.52 \text{ кА}$$

Характеристики аварійного режиму для вузла К3:

$$R_{k3} = 0.00202 \text{ Ом}; X_{k3} = 0.0108 \text{ Ом}$$

$$Z_{k3} = \sqrt{R_{k3}^2 + X_{k3}^2} = 0.011 \text{ Ом}$$

$$I_{k3} = \frac{U_{av}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k3}} = 21.44 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{k3}}{\omega R_{k3}} = 0.0172 \text{ с}$$

$$k_{u3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1.574$$

$$i_{u3} = \sqrt{2} \cdot k_{u3} \cdot I_{k3} = 47.16 \text{ кА}$$

Підсумкові значення струмів замикання для решти вузлів схеми зведено до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Параметри коротких замикань в елементах мережі

№	Опір R , Ом	Опір X , Ом	Струм I_k , кА	Постійна часу T_a , с	Ударний коєф. $k_{уд}$	Ударний струм $i_{уд}$, кА
1	0,2864	1,2579	5,26	0,0142	1,508	11,22
2	0,4554	1,2903	4,53	0,0091	1,345	8,52
3	0,002	0,0108	21,44	0,0172	1,574	47,16
4	0,4554	1,2903	4,53	0,0091	1,345	8,52
5	0,002	0,0108	21,44	0,0172	1,574	47,16
6	0,338	1,268	4,73	0,012	1,449	9,57
7	0,0019	0,0107	21,64	0,018	1,589	48,04
8	0,338	1,268	4,73	0,012	1,449	9,57
9	0,0019	0,0107	21,64	0,018	1,589	48,04
10	0,339	1,268	4,73	0,012	1,449	9,57
11	0,0019	0,0107	21,64	0,018	1,589	48,04
12	0,341	1,268	4,73	0,0119	1,446	9,55
13	0,0019	0,0107	21,64	0,018	1,589	48,04
14	0,4321	1,2863	4,57	0,0096	1,365	8,72
15	0,002	0,0107	21,64	0,0171	1,572	47,52
16	0,3016	1,265	4,78	0,0136	1,492	9,96
17	0,3795	1,2761	4,67	0,0108	1,41	9,19

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Вихідні умови для підбору кабельної магістралі, що живить підстанцію ТП-1:

Приймаємо марку провідника ААШв-10(3х70).

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{1420.74}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10.5} = 39.06 \text{ A}$$

$$I_{av} \leq K_p \cdot K_t \cdot I_{dop} = 1.35 \cdot 1 \cdot 165 = 222.75 \text{ A}$$

У таблиці 6.3 систематизовано параметри для всіх ділянок кабельної мережі підприємства.

						41

Таблиця .6.3. Вибір КЛ

№	п, шт	Sp, кВА	Струм Ip, А	Iav, А	Bk, кА ² ·с	Fmin, мм ²	Марка КЛ	Idop, А	Kp	Kp·Idop, А	Коеф. Kap	Коеф. Kt	Kap·Kt·Id op, А
1	4	13786,69	189,52	379,03	37,74	65,74	4 х АСБ-10(3х240)	355	0,8	284	1,35	0,9	431,33
2	2	1420,74	39,06	78,13	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	2	1420,74	39,06	78,13	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
4	2	1415,71	38,92	77,84	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	2	1415,71	38,92	77,84	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
6	2	1415,71	38,92	77,84	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7	2	1415,71	38,92	77,84	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
8	2	1423,96	39,14	78,29	37,74	65,74	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
9, 10	1	3372,89	185,46		37,74	65,74	1 х ААШВ-10(3х185)	310	1	310			
11, 12	1	674,67	37,1		37,74	65,74	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165			

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Показники, які необхідні для визначення характеристик головного ввідного комутаційного апарата, систематизовано у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4. Обґрунтування вибору ввідного вимикача

Умова	Розрахункова величина	Номінальна величина	Відповідність
$U_r \leq U_{nom}$	10,12	12	+
$I_{r.max} \leq I_{nom}$	795,88	1000	+
$I_k \leq I_{off}$	5,26	20	+
$i_a \leq \beta_{nom} \sqrt{2} I_{off}$	0	11,31	+
$\sqrt{2} I_k + i_a \leq 2 I_{off} (1 + \beta_{nom})$	7,44	39,6	+
$I_k \leq I_{dyn}$	5,26	52	+
$i_u \leq i_{dyn}$	11,22	132,37	+
$B_k \leq I_{th}^2 \cdot t_{th}$	34,7	1200	+

Зважаючи на задоволення всіх технічних критеріїв, приймаємо до встановлення вакуумний вимикач марки ВР2-10-20/1000. Решта комутаційних апаратів даної мережі підбираються за ідентичним алгоритмом.

З метою ефективного захисту інфраструктури від перенапруг передбачено монтаж обмежувачів нелінійного типу ОПН-10/420/12-УХЛ1.

$$t = t_{rz} + t_{sv} = 1.20 + 0.04 = 1.24 \text{ с}$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = 1.41 \cdot 5.26 \cdot e^{-\frac{1.24}{0.0142}} \approx 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I_k^2 \cdot (t + T_a) = 5.26^2 \cdot (1.24 + 0.0142) = 34.70 \text{ кА}^2\text{с}$$

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Конфігурація підключення трансформатора власних потреб до електричної системи проілюстрована на рисунку 6.3.

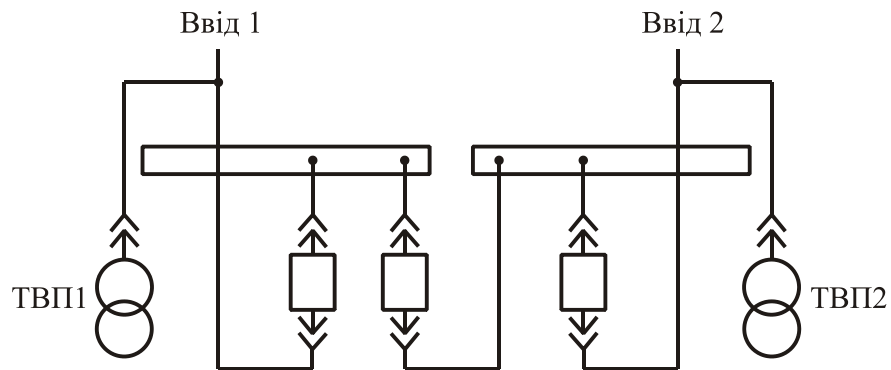


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП

Загальна розрахункова потужність для ТВП:

$$S_{\text{вст}} = \sqrt{P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2} = \sqrt{69,6^2 + 19^2} = 72,15 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{розр}} = K_{\text{п}} S_{\text{вст}} = 0,8 \cdot 72,15 = 57,72 \text{ кВА}$$

Обираємо ТМ-40/10.

$$K_{\text{зав}} = \frac{S_{\text{розр}}}{n_{\text{т}} S_{\text{н.т.}}} = \frac{57,72}{2 \cdot 40} = 0,72$$

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ

7.1 Загальна характеристика та аналіз складських будівель

Відповідно до чинної нормативно-правової бази, логістичними комплексами вважаються спеціалізовані інфраструктурні об'єкти, чийм головним експлуатаційним призначенням є акумуляція товарно-матеріальних цінностей, їх приймання, подальша обробка, формування партій замовлень та кінцеве відправлення споживачам. Сучасні термінали вкрай рідко обмежуються виключно зонами накопичення продукції; зазвичай вони інтегрують у свою просторову структуру повноцінні офісні блоки для менеджменту, санітарно-побутові приміщення для робочого персоналу, кімнати відпочинку та навіть спеціалізовані сервісні хаби. Кожна з цих функціональних зон вимагає специфічного підходу під час розрахунку освітлювальних установок, адже зорові завдання працівників у них суттєво відрізняються.

Внутрішня логістика об'єкта передбачає застосування кількох фундаментальних підходів до просторового розташування товарних запасів (проілюстровано на рис. 7.1).



а)



б)



в)

Рис. 7.1. Варіанти просторової організації товарних запасів:

а – штабельне (підлогове); б – комбіноване; в – стелажне.

Виділяють такі базові методи:

						45

- безстелажна консолідація безпосередньо на рівні підлогового покриття (штабелювання, палетне розміщення в один чи кілька ярусів без додаткових опор);
- використання спеціалізованих багаторівневих металоконструкцій (фронтальні, консольні, гравітаційні чи набивні стелажні системи);

гібридний підхід, який раціонально інтегрує вищезгадані технології на одній площі (комбінована конфігурація простору).

Рішення щодо впровадження певної технології складування ухвалюється на основі комплексного аналізу номенклатури вантажів. Ключову роль відіграють фізико-хімічні властивості матеріалів, їхні масо-габаритні показники, тип тари, а також прогнозована швидкість оборотності запасів. Для прикладу, багаторівневі конструкції гарантують максимальну віддачу від експлуатації всього вертикального об'єму споруди, суттєво підвищуючи коефіцієнт корисної місткості термінала. Проте цей шлях супроводжується значними капітальними вкладеннями на етапі закупівлі обладнання, зумовлює регулярні операційні витрати на сертифікацію безпеки стійок і потребує вузькопрофільної підйомної техніки (наприклад, ричтраків).

Натомість наземне штабелювання характеризується максимальною простотою імплементації, хоча є вкрай неефективним з погляду використання кубатури високих приміщень. Змішана конфігурація є найбільш гнучкою: вона дає змогу оперативно управляти різногабаритними вантажами. Від обраного типу розміщення безпосередньо залежить топологія світлового поля: підлогове базування потребує рівномірного загального засвічення, тоді як стелажні ряди створюють глибокі тіні й вимагають чітко локалізованого направлено освітлення проходів.

Світова та вітчизняна логістична практика застосовує стандартизовану систему ранжирування терміналів. Грейдування спирається на сукупність параметрів: архітектурні габарити, ступінь насиченості інженерними системами, локація та загальна площа забудови. Традиційно ринок комерційної нерухомості виокремлює чотири фундаментальні категорії споруд: А, В, С та D (іноді з додаванням індексів «+» або «-» для точнішої деталізації).

Преміальний сегмент (категорія А) репрезентують виключно новітні однорівневі каркасні конструкції, зведені за технологією легких металевих конструкцій з використанням енергоефективних сендвіч-панелей. Кліренс (робоча висота до нижньої точки покрівлі) у таких об'єктах стартує від 10-12 метрів, що уможливорює монтаж систем на шість і більше ярусів. Стратегічною умовою для їх розміщення є безпосередня наближеність до магістральних транспортних артерій для мінімізації логістичного плеча. Такі комплекси є еталоном безпеки: вони обов'язково оснащуються багатоступеневими системами візуального контролю, інтелектуальними охоронними комплексами, а також передовими автоматизованими модулями ліквідації загорянь. Подібне інфраструктурне наповнення гарантує безперебійність обробки потоків та зберігає цілісність найвибагливішої продукції.

Об'єкти, що належать до нижчих щаблів ієрархії (категорії В, С, D), зазвичай є реконструйованими промисловими цехами, ангарами чи підвальними локаціями, адаптованими під потреби зберігання. Вони відрізняються наявністю густої сітки несучих колон, недостатньою висотою перекриттів, обмеженими енергетичними лімітами. Попри ці недоліки, подібні споруди залишаються затребуваними серед малого бізнесу, оскільки дозволяють суттєво оптимізувати витрати на оренду.

Для отримання сертифікації за найвищим стандартом «А», девелоперський проєкт повинен задовольняти низку безпеляційних технічних регламентів:

а) Архітектурно-просторові специфікації:

- Крок несучих опорних елементів має складати мінімум 22 метри, що формує широкі прольоти та мінімізує кількість перешкод для техніки.
- Відстань від нульової позначки підлоги до найнижчої балки перекриття повинна дорівнювати 10 метрам або більше.
- Промислова підлога є ключовим елементом: вона мусить мати ідеальну горизонтальність з антипиловим полімерним покриттям і витримувати статичне/динамічне навантаження понад 50 кПа (близько 5 тонн на квадратний метр).

Зазначені великогабаритні параметри створюють ідеальні передумови для

інсталяції висотних стелажів та забезпечення достатнього радіусу розвороту для важкої складської техніки. Надміцна підлога критично важлива для запобігання деформаціям від тиску опорних стійок.

Необхідно також акцентувати увагу на наявності розгалуженої екосистеми допоміжних площ. Високі класні термінали проектуються з урахуванням великої кількості докових воріт (доків), які оснащені левелерами (вирівнювальними платформами) для швидкого перевантаження. Обов'язково плануються паркувальні майданчики для фур, окремі будівлі господарського призначення (трансформаторні підстанції, котельні, сервісні центри для навантажувачів).

б) Інженерно-технічна інфраструктура:

- Наявність промислового клімат-контролю, що здатний підтримувати задані температурно-вологісні показники (опалення, потужна вентиляція, чиллери).
- Інтегровані комплекси протипожежної безпеки, які складаються з адресних датчиків, спринклерних установок гасіння та систем димовидалення.
- Ефективний повітрообмін через припливно-витяжні механічні або гібридні агрегати.
- Цілодобовий моніторинг території за допомогою камер високої роздільної здатності.
- Абсолютна енергетична незалежність завдяки наявності промислових генераторів та власного теплового пункту для уникнення простоїв.
- Широкосмугові оптоволоконні лінії зв'язку для роботи систем автоматизації управління (WMS).

в) Містобудівне регулювання:

- Коефіцієнт щільності забудови строго лімітований і не має перевершувати 55 відсотків від загальної площі земельного відводу. Решта території відводиться під маневрування великогабаритного транспорту та озеленення.

Синтез усіх перелічених параметрів формує середовище, яке відповідає найвищим критеріям безпеки праці, дозволяє зберігати будь-яку продукцію та мінімізує вірогідність виникнення аварій. Багаторазове дублювання критичних мереж живлення стає запорукою того, що логістичний ланцюг не перерветься.

Розробка освітлювального комплексу, представлена у даному розділі роботи, спиратиметься саме на ці жорсткі вимоги до об'єктів екстра-класу.

Обмеження щільності забудови пояснюється необхідністю створення розгалуженої транспортної інфраструктури. На вільних від споруд площах розміщують під'їзні дороги, зони вільного розвороту великогабаритних фур, а також паркувальні слоти для приватних машин персоналу. Такий підхід гарантує відсутність заторів навколо доків і значно прискорює загальний вантажообіг. Крім того, наявність просторого відкритого майданчика є критичною вимогою пожежної безпеки, адже рятувальна спецтехніка повинна мати змогу безперешкодно під'їхати до будь-якої точки фасаду в разі надзвичайної ситуації.

Преміальні термінали розробляються у форматі інноваційних хабів, де кожне інженерне рішення продиктоване світовими критеріями надійності. Хоча зведення таких інфраструктурних гігантів вимагає колосальних початкових капіталовкладень, ці витрати цілком виправдані. Економічна вигода формується завдяки мінімізації операційних втрат, надзвичайно високій енергоефективності та стабільному попиту з боку міжнародних компаній-орендарів, що гарантує девелоперу довгострокову рентабельність об'єкта.

Проте статус екстра-класу не обмежується лише внутрішнім об'ємом споруди. Екстер'єр та прилегла ділянка мусять задовольняти не менш суворі специфікації:

Організація зовнішнього простору та благоустрій:

- Встановлення надійної периметральної огорожі, інтегрованої із системами контролю та управління доступом (СКУД). Особлива увага приділяється потужним прожекторам зовнішнього освітлення, які усувають "сліпі зони" вночі та забезпечують цілодобову роботу камер спостереження.
- Облаштування ізольованих паркувальних зон. Вони поділяються на буферні стоянки для великотоннажних автопоїздів (які очікують своєї черги біля терміналу) та окремі безпечні локації для особистих автівок співробітників компанії.
- Проектування просторих розворотних ділянок. Їх радіус має враховувати

габарити сучасних єврофур, а покриття зазвичай виконується з надміцного армованого бетону, який витримує екстремальні механічні навантаження та запобігає утворенню колій.

- Зведення ізольованого блоку для потреб адміністрації, де концентрується управлінський та диспетчерський апарат логістичного центру.
- Створення повноцінного соціально-побутового комплексу, який обов'язково включає туалетні кімнати, блоки душових кабін, індивідуальні шафи для чистого та робочого одягу, зони прийому їжі, а іноді й медичні пункти.

Подібне скрупульозне планування ділянки є критично важливим для уникнення небезпечного перехрещення шляхів руху пішоходів та важкої складської техніки. Це гарантує максимальний рівень безпеки праці, зводячи до нуля ризик дорожньо-транспортних пригод. Додатково на території найчастіше організовується односторонній круговий рух транспорту для оптимізації загального трафіку.

Виокремлення робочих місць менеджменту в самостійний офісний блок дає можливість диспетчерам, логістам та керівним кадрам перебувати в безпосередній близькості до епіцентру операцій. Водночас інженери та офісні працівники надійно захищені від індустріального шуму, пилу та вібрацій від навантажувачів, що є запорукою високої продуктивності інтелектуальної праці.

Інтеграція сучасних санітарних вузлів та гардеробних зон є не просто рекомендацією, а суворою вимогою законодавства з охорони праці. Якісне побутове забезпечення суттєво знижує рівень плинності кадрів, формує позитивний імідж роботодавця на ринку праці та запобігає поширенню професійних захворювань серед робітників складу.

Підсумовуючи вищезазначене, можна впевнено стверджувати, що продумана зовнішня інфраструктура є таким самим важливим компонентом преміального комплексу, як і сама складська будівля. Тільки гармонійний синтез передових технологій зберігання із досконалою екстер'єрною логістикою перетворює об'єкт на еталонний термінал класу «А». Варто також підкреслити, що розрахунок і вибір освітлювального обладнання для цих відкритих зон та побутових приміщень

						50

вимагає окремого підходу, оскільки нормативи освітленості тут кардинально відрізняються від вимог до зон стелажного зберігання.

7.2 Специфіка проектування та розрахунку світлотехнічних комплексів для логістичних об'єктів

Під час проектування внутрішнього простору класичних закритих складів (особливо за умов безстелажного зберігання) традиційно впроваджують схему рівномірного загального засвічення (демонструється на рис. 7.2). Світлогенеруючі апарати в межах такої конфігурації монтуються на максимальній висоті від робочої поверхні – зазвичай безпосередньо під перекриттям або на спеціальних підвісних лотках. Їхня просторова орієнтація формує геометрично правильну матрицю з ідентичними інтервалами як між окремими приладами в лінії, так і між самими рядами. Такий підхід створює однорідне світлове поле без різких перепадів яскравості, що є ідеальним для вільного маневрування навантажувачів на відкритих площах.

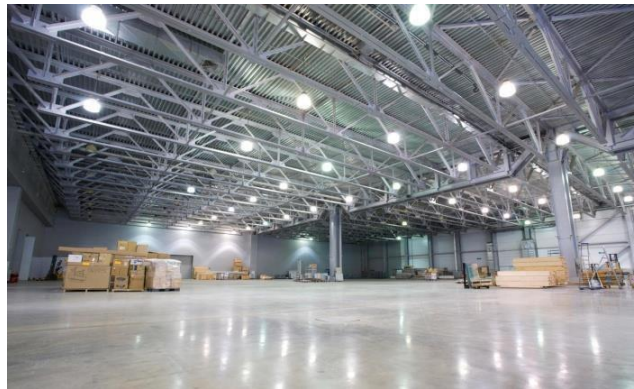


Рис. 7.2. Система загального освітлення вільного простору складу

Однак ситуація кардинально змінюється у разі інтеграції багатоярусних металоконструкцій для палетного зберігання. У таких випадках джерела світла раціонально інстальувати виключно вздовж поздовжньої осі проїздів між стелажми (проілюстровано на рис. 7.3). Подібна локалізація гарантує відмінну видимість маркувань на товарах у глибині полиць та створює безпечні умови для роботи водіїв штабелерів. При цьому доцільно застосовувати світильники зі

спеціалізованою оптикою – вузькими або еліптичними лінзами, які направляють потік фотонів цілеспрямовано на вертикальні площини вантажів, мінімізуючи ефект засліплення персоналу.

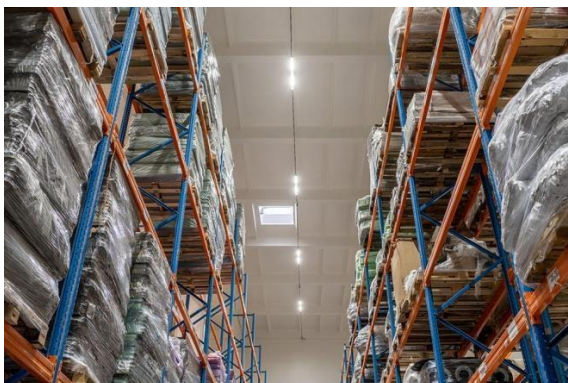


Рис. 7.3. Організація освітлювальної мережі в алеях стелажного зберігання

Світлотехнічним інженерам вкрай важливо пам'ятати про динамічний характер заповненості комірок. Порожні, напівпорожні та повністю заповнені полиці мають абсолютно різні коефіцієнти відбиття світла. Нерівномірне завантаження товарами неминуче провокує виникнення глибоких тіней та локальних провалів освітленості. Цей оптичний дисбаланс має бути компенсований ще на етапі створення комп'ютерної моделі освітлення: розрахунки завжди виконуються з урахуванням найгіршого сценарію (максимальне завантаження стелажів тарою з темним матовим покриттям).

Запорукою створення безпечного робочого середовища є суворе дотримання диференційованих галузевих стандартів. Різні функціональні сегменти термінала вимагають принципово різного підходу до нормування люксів. Наприклад, ділянки довготривалого пасивного зберігання можуть цілком ефективно функціонувати при мінімальних значеннях (близько 100-150 лк). Натомість території інтенсивної обробки – зони приймання, сортування, дрібноштучної комплектації замовлень та контролю якості – потребують значно інтенсивнішого світлового потоку (від 300 до 500 лк і вище) для запобігання зоровій втомі співробітників і мінімізації помилок.

На додаток до базової стельової інфраструктури активно впроваджуються

допоміжні локальні джерела. Це можуть бути мобільні прожектори на кронштейнах для підсвічування темних кузовів вантажівок біля доків або індивідуальні настільні лампи на комп'ютеризованих робочих місцях операторів. Впровадження інноваційних LED-технологій у комбінації з інтелектуальними протоколами управління (датчики руху, присутності та димери, що реагують на природне світло з вікон) дає змогу радикально скоротити витрати електроенергії, автоматично вимикаючи або приглушуючи освітлення у безлюдних алеях.

За загальним правилом, стандартні ангари не вимагають обов'язкового розгортання складних аварійних світлотехнічних мереж. Однак будівельні норми та правила пожежної безпеки містять низку критичних винятків:

1. На об'єктах зі складною категорією вибухопожежної небезпеки (бази зберігання паливно-мастильних матеріалів, аерозолів, хімікатів) монтаж автономного освітлення є категоричною вимогою. Головна мета – підтримання базового рівня видимості під час раптових знеструмлень, що унеможлиблює паніку та запобігає випадковому іскроутворенню внаслідок зіткнення техніки в абсолютній темряві. Для цього використовується спеціалізоване вибухозахищене обладнання з автономними батареями.

2. У масштабованих логістичних парках з високим ступенем автоматизації процесів настійно вимагається розробка евакуаційних світлових маршрутів. Основне завдання такої інфраструктури полягає у забезпеченні мінімальної освітленості (не менше 1 люкса на рівні підлоги) вздовж шляхів порятунку та над евакуаційними дверима для організованого виводу людей при задимленні.

3. Окремі гілки евакуаційної мережі можуть частково брати на себе функціонал резервного живлення. Завдяки цьому оператори отримують шанс безпечно завершити критичні технологічні цикли (наприклад, плавно опустити багатотонний піднятий вантаж) без загрози для життя і здоров'я у випадку непередбачуваних відключень електроенергії.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що архітектура дублюючих світлових систем диктується цілим комплексом факторів: специфікою товарного сусідства, техногенними ризиками, площею забудови та чисельністю штату. Преміальні

логістичні хаби за замовчуванням проектуються з інтегрованими джерелами безперебійного живлення для мереж освітлення, що є безальтернативним стандартом збереження інвестицій та захисту персоналу в екстремальних умовах.

Історична еволюція індустриального освітлення охоплює широку номенклатуру технологічних рішень. Тривалий час для забезпечення видимості всередині складських баз масово застосовували як класичні термальні елементи (стандартні лампочки з вольфрамовою ниткою розжарювання), так і потужні газорозрядні прилади. До останньої категорії належали традиційні трубчасті люмінесцентні лампи, а також ртутні чи натрієві генератори світла високого тиску.

Проте сьогодні галузь комерційної нерухомості зазнала кардинальних трансформацій. Беручи до уваги суворі глобальні стандарти щодо мінімізації вуглецевого сліду, оптимізації енергоспоживання та необхідності скорочення операційних витрат на експлуатацію будівель, абсолютним лідером ринку стали інноваційні твердотільні пристрої. Розробка проектів на базі напівпровідникових світловипромінювальних діодів (LED) має низку беззаперечних технічних переваг:

- Рекордна світлова віддача: Високе співвідношення згенерованих люменів до спожитих ватів гарантує радикальне скорочення рахунків за електроенергію при збереженні необхідної яскравості.
- Феноменальний експлуатаційний ресурс: Життєвий цикл топових діодних матриць сягає позначки від 50 до 100 тисяч годин безперервного функціонування.
- Максимальна невибагливість в обслуговуванні: Ліквідується потреба у регулярному наймі спецтехніки для заміни перегорілих елементів під високими перекриттями.
- Мінімальний коефіцієнт деградації: Інтенсивність випромінювання кристала залишається стабільно високою протягом усього терміну служби, без різкого тьмяніння з часом.
- Оптичний комфорт: Повна відсутність шкідливого стробоскопічного ефекту (невидимого оку мерехтіння), що критично важливо для запобігання виробничому травматизму поблизу рухомих механізмів.

- Абсолютна екологічна безпека: Конструкція не містить парів важких металів чи токсичного люмінофора, що повністю скасовує необхідність у складній та дорогій процедурі спеціальної утилізації.

На додаток до переліченого, LED-модулі відрізняються компактними архітектурними габаритами та винятковою просторовою міцністю. Вони позбавлені крихких скляних колб, тому відмінно витримують інтенсивні вібрації від роботи важкої навантажувальної техніки. Ще однією вагомою перевагою є відсутність надмірного паразитного тепловиділення. Це робить їх ідеальними для застосування в ізоtermічних складах та холодильних камерах, де додаткове нагрівання повітря від ламп призводить до перевантаження кліматичного обладнання. Завдяки такому набору характеристик, термін окупності капітальних інвестицій у світлодіодні мережі (Return on Investment) при будівництві нових або модернізації старих логістичних хабів часто становить менше двох років.

Алгоритм підбору конкретних конфігурацій освітлювального обладнання нерозривно пов'язаний із затвердженою топологією зберігання товарно-матеріальних цінностей та фізичними габаритами приміщення. Якщо термінал орієнтований виключно на підлогове штабелювання продукції, жорсткі оптичні обмеження щодо конструкції світильників зводяться до мінімуму. Головним завданням інженера-проектувальника стає грамотне розрахункове позиціонування приладів у просторі. Їх монтаж має суворо узгоджуватися з картою розстановки палет та максимально допустимою висотою навантаження, щоб повністю усунути ризик утворення «сліпих зон».

Водночас необхідно враховувати цілий комплекс змінних факторів: архітектурний кліренс споруди до ферм перекриття, наявність відкритих буферних майданчиків, а також колориметричні властивості самої продукції (темна тара поглинає світло і вимагає більшої потужності ламп). Хоча на сучасному ринку досі присутні металогалогенні прожектори (які довго розігріваються) та промислові люмінесцентні магістралі, вони не витримують конкуренції з діодами за економічними та ергономічними показниками.

Ситуація стає значно складнішою, коли внутрішній простір комплексу

						55

обладнується багаторівневими стелажними масивами. У такій конфігурації базовим критерієм вибору оптики стає висота металевих стійок та ширина робочого коридору між рядами. Для висотних об'єктів категорично заборонено застосовувати прилади з широким кутом розсіювання променів, оскільки більша частина згенерованих фотонів просто загубиться на горизонтальних площинах верхніх полиць. Щоб вирішити цю проблему, застосовують апарати, обладнані специфічними оптичними лінзами. Вони формують вузьконаправлену та глибоку криву сили світла (світлорозподілу). Така сфокусована конфігурація спрямовує потужний струмінь енергії чітко вздовж вертикальних поверхонь стелажа, гарантуючи відмінне підсвічування штрих-кодів від самісінького верху аж до рівня підлоги.

Фундаментальна значущість коректно розрахованого зорового середовища полягає у створенні базису для безперебійної та ефективної життєдіяльності підприємства. Грамотне засвічення радикально знижує стомлюваність зорового апарату працівників. Натомість дефіцит освітленості неминуче провокує катастрофічні наслідки: різке зростання статистики нещасних випадків через зіткнення транспорту, збільшення відсотка помилок під час дрібноштучної комплектації замовлень, збої при скануванні інвентарних номерів та загальне погіршення психологічного клімату в колективі.

Застосування оптики з вузьконаправленою (концентрованою) діаграмою світлорозподілу дає можливість максимально точно скерувати масив випромінювання у необхідну робочу зону. Такий підхід гарантує створення еталонних умов видимості на кожному ярусі зберігання, повністю усуваючи паразитне розсіювання променів у просторі над стелажми або поза межами логістичних проїздів. Завдяки цій прицільній фокусуванні суттєво зростає загальний коефіцієнт корисної дії світлотехнічної установки, що сприяє радикальному зменшенню втрат електроенергії.

Водночас так звана глибока конфігурація фотометричного тіла дозволяє сформувати ідеально рівномірне засвічення вертикальних площин багаторівневих конструкцій – в ід самої підлоги до верхніх ярусів під перекриттям, виключаючи

формування небезпечних "сліпих" ділянок у глибині полиць. Досягнення подібної геометрії випромінювання забезпечується завдяки інтеграції у конструкцію приладів високоточних полікарбонатних лінз або фасеточних відбивачів, які модулюють напрямок потоку фотонів із міліметровою точністю.

Під час проектування категорично не можна ігнорувати такі параметри, як колірна температура (вимірюється у кельвінах) та індекс передачі кольору (позначається як CRI або Ra). Ці характеристики безпосередньо детермінують здатність зорового апарату працівників адекватно розпізнавати відтінки пакування, маркування та попереджувальні знаки. Для складських комплексів оптимальним вважається нейтрально-біле світло (від 4000K до 5000K) із показником CRI не нижче 80 одиниць. Це є фундаментальною передумовою для оперативної ідентифікації артикулів та безпомилкової комплектації замовлень.

Якщо об'єкт обладнаний висотними системами зберігання, інженери настійно радять уникати масового впровадження класичних прожекторних модулів. Головна проблема криється в тому, що монтаж таких потужних джерел під нахилом неминуче провокує різке зростання показника дискомфортної яскравості (індекс UGR). Скероване під кутом інтенсивне випромінювання створюватиме нестерпний сліпучий ефект. Найбільшій небезпеці піддаються водії ричтраків та штабелерів під час маніпуляцій з піддонами на верхніх горизонтах, адже тимчасове осліплення оператора може призвести до падіння багатотонного вантажу або аварійного зіткнення.

Втім, галузева практика допускає певні специфічні сценарії, за яких інсталяція прожекторного обладнання стає виправданою:

- складна архітектурна специфіка будівлі (наявність масивних вентиляційних коробів під стелею);
- необхідність мінімізувати вагу підвісних магістралей;
- неможливість монтажу стандартних лотків через конструктивні обмеження покрівлі.

За таких обставин масивні випромінювачі кріпляться на несучих колонах чи стінах під чітко вивіреними кутами. Сучасні індустриальні моделі можуть

комплектуватися спеціальною асиметричною оптикою, яка ефективно «зрізає» засліплюючий промінь і спрямовує основний масив світла виключно вниз на підлогу, нівелюючи негативний вплив на зір. Незважаючи на ці технологічні адаптації, еталонним рішенням для висотних складів залишаються спеціалізовані лінійні світильники з вузьким світлорозподілом.

Коли йдеться про приміщення з низькими поличними конструкціями (висотою до 3-4 метрів, де переважає ручна праця), підходи до розрахунку суттєво трансформуються. У цьому сегменті найдоцільніше експлуатувати світлові прилади, які генерують глибоку або косинусну діаграму розподілу променів.

Косинусна крива гарантує плавне та симетричне розтікання світлового масиву в горизонтальній площині. Це критично важливо для досягнення нормативної освітленості підлоги в широких проїздах та на перехрестях пішохідних маршрутів. Комбінація таких оптичних властивостей дозволяє підтримувати достатню яскравість по всій вертикалі невисоких полиць, повністю виключаючи ймовірність засліплення персоналу.

Щодо просторового позиціонування, такі апарати фіксуються безпосередньо на несучих елементах перекриття або ж монтуються на каркасі самих полиць.

- Стельовий монтаж є універсальним і створює рівномірний базовий рівень видимості на всій площі.
- Кріплення на стелажах забезпечує потужну локальну підсвітку конкретних комірок та алеї між ними.

Аби остаточно усунути ризик дискомфорту зорового контакту з яскравими діодами та запобігти формуванню різких тіней, мінімальна висота підвісу має становити щонайменше 4–5 метрів від нульової позначки підлоги. Окрім оптичних критеріїв, під час затвердження специфікації обладнання для будь-яких типів складів слід прискіпливо оцінювати клас захисту корпусу (не нижче IP65 від пилу та вологи), а також обирати комплектуючі від перевірених брендів для забезпечення заявленого ресурсу безперебійної роботи.

7.3 Світлотехнічний розрахунок освітлення складського приміщення

Базовим розрахунковим критерієм під час проектування штучного зорового середовища (за методом коефіцієнта використання) виступає спеціальний інтегральний показник U . Цей математичний маркер комплексно відображає неминуче зменшення початкової інтенсивності випромінювання як всередині корпусу освітлювального приладу, так і внаслідок поглинання фотонів архітектурними конструкціями. З фізичної точки зору, загальний індекс використання визначається шляхом множення двох окремих величин: оптичного коефіцієнта корисної дії самого світлогенератора (η_c) та показника ефективності конкретного архітектурного простору (η_n):

$$U = \eta_c \cdot \eta_n$$

Оптичний ККД апаратури демонструє рівень ефективності трансляції згенерованої енергії у відкритий простір. Він ілюструє, яка саме частка первинного випромінювання успішно долає внутрішні перешкоди конструкції. Ця змінна безпосередньо зумовлюється типом інтегрованої лампи, геометрією рефлектора, пропускною здатністю захисного скла (або матового розсіювача) та наявністю екрануючих решіток. Що складніша оптична система, то більшими є внутрішні втрати.

Своєю чергою, показник ефективності простору (η_n) ілюструє той відсоток загального випромінювання від усієї сукупності встановлених приладів, який успішно досягає заданої робочої площини (для логістичних терміналів це найчастіше рівень підлогового покриття або верхній ярус палет). Світло потрапляє на розрахункову поверхню двома шляхами: як прямим падінням променів, так і внаслідок багаторазового відбиття від вертикальних перегородок чи покрівлі.

Для традиційних джерел (газорозрядних чи ламп розжарювання) ці значення завжди обчислювалися окремо. Однак сучасна індустрія перейшла на монолітні LED-рішення, де світлодіодна матриця та вторинна оптика є нероздільним цілим.

						59

У таких інтегрованих модулях первинний потік кристалів не відокремлюють від потоку готового виробу, тому оптичний ККД напівпровідникового світильника приймається за абсолютну одиницю ($\eta_c = 1$). Відповідно, базова формула суттєво спрощується:

$$U = 1 \cdot \eta_n = \eta_n$$

Тож у сучасних реаліях загальна результативність освітлювальної установки (U) повністю тотожна ефективності самого приміщення (η_n). На формування фінального значення цієї величини критично впливає комплекс із кількох ключових обставин:

1. Фотометричне тіло (діаграма направленості) світильника. Конфігурація просторового розподілу променів кардинально змінює характер взаємодії світла з оточенням. Широка діаграма спрямовує значний відсоток енергії на стінові панелі, де вона частково поглинається, що знижує загальний ККД. Натомість вузькофокусна оптика генерує щільний струмінь фотонів чітко донизу, мінімізуючи втрати на стінах.

2. Альbedo (відбивна здатність) огорожувальних конструкцій. Визначається коефіцієнтами ρ для стелі, стін та робочої поверхні. Якщо інтер'єр пофарбовано у світлі тони або використано глянцеві матеріали, частка багаторазово відбитого світла суттєво зростає, підсилюючи загальну яскравість. У типових складах із сірим бетоном та темними стелажми коефіцієнти відбиття є вкрай низькими (близько 10-30%), що призводить до інтенсивного поглинання випромінювання і вимагає встановлення потужніших ламп.

3. Геометричний індекс простору (i). Це узагальнений архітектурний параметр, який математично пов'язує габарити об'єкта (довжину a та ширину b) з розрахунковою висотою підвісу обладнання над робочою площиною (h). Обчислюється за такою залежністю:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Великий індекс притаманний широким ангарам із низькими перекриттями (тут світло майже не зустрічає перешкод у вигляді стін). Низький показник характерний для вузьких і високих коридорів між стелажми, де площа поглинаючих поверхонь значно перевищує площу підлоги.

Знаходження коректного параметра U здійснюється інженерами за допомогою стандартизованих фотометричних таблиць, які надаються заводами-виробниками для кожної конкретної моделі обладнання. Сучасна інженерна практика також передбачає автоматизацію цього процесу через спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, DIALux), яке за допомогою алгоритмів трасування променів здатне змодельовати точну кількість світла у будь-якій точці логістичного комплексу з урахуванням усіх описаних вище втрат. Бездоганне обчислення цього коефіцієнта є єдиною гарантією того, що після завершення монтажу реальна освітленість на об'єкті відповідатиме суворим нормативним вимогам охорони праці.

Існує пряма математична залежність: що вищим є значення геометричного індексу простору, то значніша частина згенерованого фотонного потоку успішно досягає цільової робочої площини. Фізика цього процесу пояснюється тим, що у відносно широких приміщеннях зменшується питома площа стінових панелей, які зазвичай виступають головними поглиначами променів. Як наслідок, більшість випромінювання або падає безпосередньо вниз, або ефективно відбивається від архітектурних конструкцій із мінімальними втратами.

Після того, як інженер-проектувальник визначив просторовий розподіл сили світла (КСС), дізнався альbedo (відбивну здатність) огорожувальних поверхонь та вирахував індекс об'єкта, йому необхідно знайти точний показник η_n . Традиційно цю змінну шукають у стандартизованих довідкових таблицях. Проте сучасна інженерна практика все частіше спирається на аналітичні розрахункові алгоритми, детально прописані у відповідній нормативно-технічній документації щодо організації зорового середовища.

Бездоганно точне обчислення η_n виступає найвідповідальнішим кроком

усього світлотехнічного проектування. Саме цей параметр дає можливість об'єктивно оцінити реальну частку випромінювання, яка приносить користь, і на базі цих даних безпомилково затвердити фінальну кількість LED-приладів та їхню номінальну електричну потужність.

У межах даного дослідження розрахунок показника корисної дії логістичного терміналу здійснюється за допомогою математичного апарату апроксимації. Цей підхід дозволяє перевести дискретні табличні дані у неперервні залежності. Для цього використовується поліноміальна функція такого загального вигляду:

$$\eta_n = p_0 + p_1 \cdot i + p_2 \cdot i^2 + p_3 \cdot i^3$$

де p_0, p_1, p_2, p_3 є емпіричними коефіцієнтами апроксимаційної кривої, які підбираються індивідуально для конкретної фотометричної конфігурації.

Для наочної систематизації масиву отриманих даних та полегшення їх подальшого техніко-економічного аналізу, всі параметри були зведені у єдиний реєстр. Нижче продемонстровано комплексну статистику, яка відображає кореляцію між обраним типом світлорозподілу та енергетичними показниками установки (табл. 7.1)

Спираючись на отримані раніше аналітичні дані (див. попередню таблицю), найоптимальнішим технічним рішенням визнано впровадження освітлювального комплексу, що базується на використанні двадцять одного світлодіодного приладу марки ДСП77В. Номінальне споживання кожного такого апарату становить 50 Вт. Саме цю серію пристроїв пропонується інтегрувати як базове джерело для формування загального робочого світла всередині складської зони (візуалізація конструкції та параметри світлорозподілу продемонстровані на рисунках 7.4 та 7.5).

Таблиця 7.1. Зведені результати світлотехнічних розрахунків залежно від номінальної потужності освітлювальних приладів

Тип кривої сили світла (КСС)	Розрахунковий показник	Для лампи 30 Вт	Для лампи 40 Вт	Для лампи 50 Вт
Концентрована (К)	Потреба у світильниках, шт.	35	26	21
	Проектна освітленість, лк	77,01	75,5	75,5
	Загальне навантаження, кВт	1,05	1,04	1,05
Глибока (Г)	Потреба у світильниках, шт.	37	28	23
	Проектна освітленість, лк	74,99	74,99	76,3
	Загальне навантаження, кВт	1,11	1,12	1,15
Напівширока (Л)	Потреба у світильниках, шт.	47	35	29
	Проектна освітленість, лк	76	74,89	77,11
	Загальне навантаження, кВт	1,41	1,4	1,45

Варто доповнити, що застосування сучасних LED-рішень промислової групи (до якої належить серія ДСП) є технічно обґрунтованим кроком для логістичних об'єктів. Завдяки високому ступеню захисту корпусу від проникнення дрібнодисперсного пилу та вологи (стандарт IP65/IP66), вони гарантують тривалий термін безперебійної експлуатації у складних мікрокліматичних умовах. Крім того, наявність спеціалізованої вторинної оптики дозволяє формувати чітко спрямований світловий потік. Це критично важливо для ефективного засвічення високих міжстелажних проходів без створення дискомфортного сліпучого ефекту для персоналу та водіїв навантажувачів.



Рисунок 7.4. Конструктивне виконання та зовнішній вигляд промислового світильника серії ДСП77В

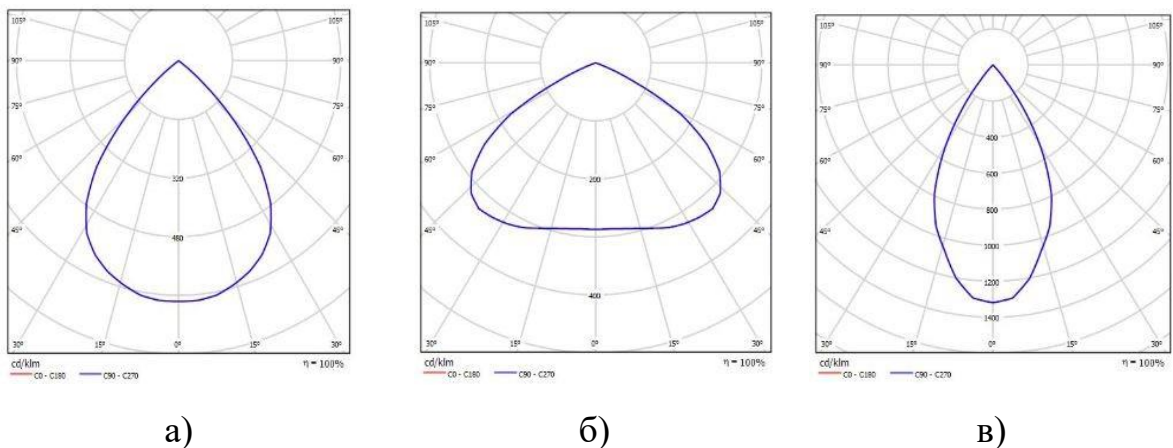


Рисунок 7.5. Типові криві сили світла (КСС) для розглянутої лінійки приладів:
а) напівширока (Л); б) глибока (Г); в) концентрована (К)

7.4. Комп'ютерне моделювання світлотехнічного середовища складського приміщення у програмному комплексі DIALux

Для верифікації попередньо виконаних інженерних розрахунків та візуалізації розподілу світлових потоків було застосовано спеціалізоване програмне забезпечення DIALux, яке є галузевим стандартом у сфері проектування освітлення. Використання методів тривимірного моделювання дає змогу максимально точно врахувати фотометричні характеристики обраних приладів та особливості геометрії приміщення. Підсумкові показники функціонування системи робочого освітлення для різних типів кривих сили світла систематизовано у таблиці 7.2.

Аналіз даних моделювання демонструє, що всі розглянуті конфігурації

забезпечують досягнення цільового рівня середньої освітленості на робочій поверхні (нормоване значення становить 75 лк). Проте ключовим критерієм вибору в даному випадку виступає не лише інтенсивність, а й якість світлового поля.

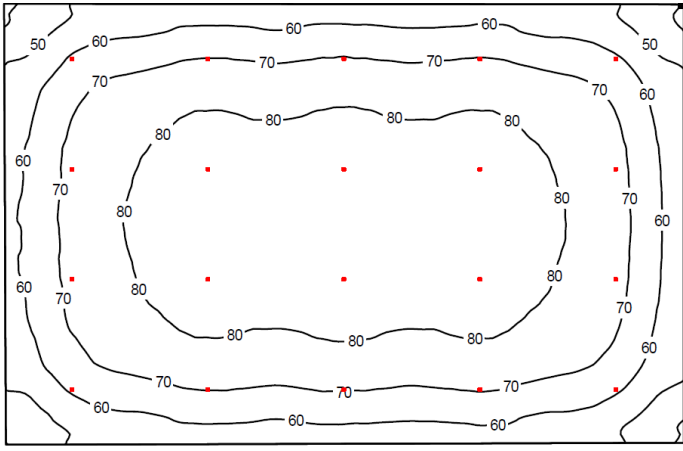
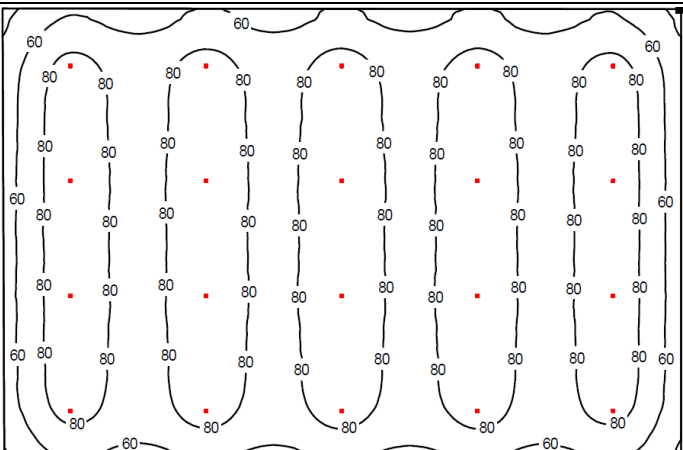
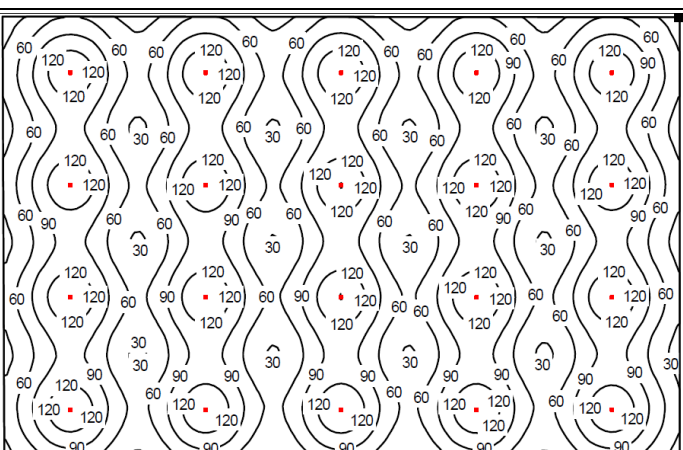
Найвищий показник рівномірності розподілу освітленості (E_{min} / E_{av}) зафіксовано при використанні світлодіодних приладів ДСП77В (50 Вт) з напівширокою кривою сили світла (тип Л). Це критично важливо для складських об'єктів, оскільки висока рівномірність мінімізує втому очей операторів та знижує ймовірність виникнення зон із глибокими тінями, що безпосередньо впливає на безпеку праці. Натомість варіант із концентрованою КС (тип К) створює надмірні світлові плями безпосередньо під світильниками за мінімальної освітленості периферійних зон, що робить його непридатним для даного типу приміщень.

З огляду на це, для подальшої реалізації проекту затверджується варіант із використанням світильників ДСП77В з кривою сили світла типу Л.

Додатково варто зауважити, що обраний тип розподілу світла (Л) забезпечує оптимальне співвідношення між горизонтальною та вертикальною освітленістю стелажних конструкцій. Це спрощує ідентифікацію вантажів на верхніх ярусах та покращує загальну візуальну орієнтацію у просторі складського комплексу.

						65

Таблиця 7.2. Показники моделювання енергоефективної системи освітлення
складу

Тип КСС	Розподіл ізолюкс на поверхні	$E_{\max}$, лк	$E_{\min}$, лк	E_{av} , лк	$E_{\min}/E_{av}$
Л		87	38,5	71,9	0,54
Г		95,1	34,4	77,9	0,44
К		152,8	19,2	81	0,24

7.5. Електротехнічний розрахунок мережі освітлення складу

Енергозабезпечення системи ілюмінації складського об'єкта реалізується від головного ввідно-розподільчого пристрою (ASU) через два незалежні розподільчі щити освітлення (LP1 та LP2). Така децентралізована схема дозволяє підвищити надійність системи та забезпечити рівномірний розподіл навантаження по фазах. Комутація кінцевих джерел світла з магістральними лініями виконується із залученням мідних трижильних кабельних виробів, тоді як живлення самих щитів забезпечується п'ятижильними кабелями з індексом пожежної безпеки VVGng-LS. Вибір міді як матеріалу провідників зумовлений її високою провідністю та механічною тривкістю, що критично для промислових умов.

Проектування внутрішньої мережі базується на аналізі падіння напруги та розрахунку моментів навантаження. Це необхідно для забезпечення стабільної роботи LED-драйверів, які є чутливими до коливань потенціалу. Розрахункову модель для сегментів, що живляться від щита LP1, представлено на графічній схемі (рис. 7.6).

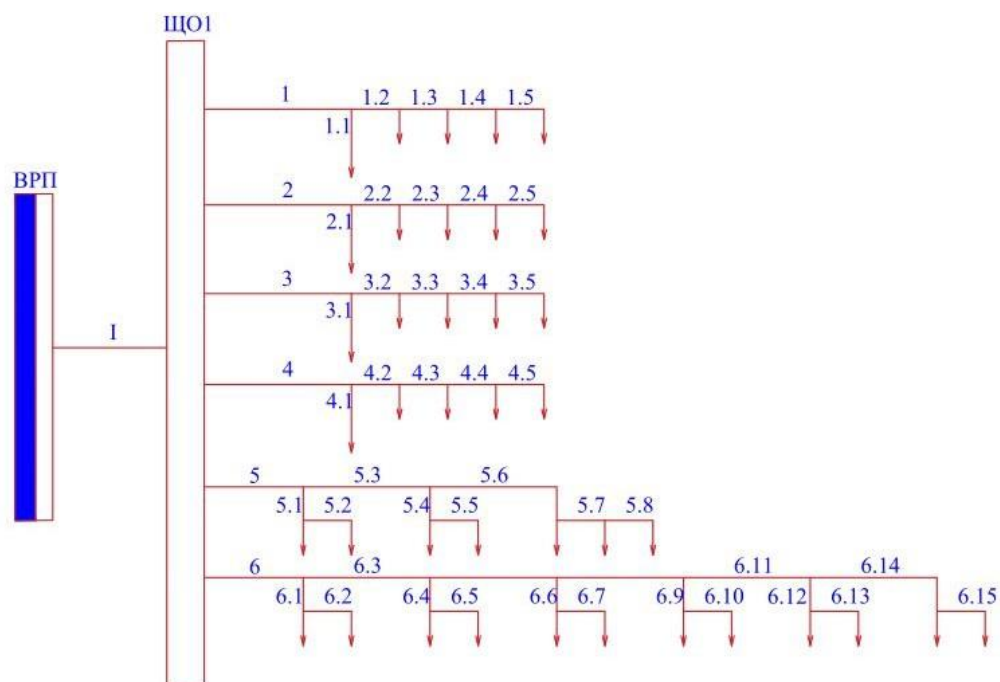


Рис. 7.6. Еквівалентна розрахункова схема мережі освітлення (сегмент LP1)

Визначення площі перерізу провідникових жил (F) здійснюється за критерієм допустимої втрати напруги з використанням методу моментів:

$$F = \frac{\sum M + \sum m}{C \cdot \Delta U}$$

У наведеному виразі використано такі латинські позначення:

M_{sum} – результуючий момент потужності на визначеній ділянці мережі;

ΔU – гранично допустиме відхилення напруги (згідно з нормами ПУЕ для систем освітлення);

C – розрахунковий коефіцієнт, що враховує матеріал жил та лінійну напругу системи;

m_{sum} – сума моментів для суміжних відгалужень, що отримують живлення через даний вузол.

Обчислення власного моменту для першої розрахункової ділянки (Section I) виконується як добуток активної потужності на довжину траси:

$$M = P \cdot l$$

де P – сумарна активна потужність встановлених приладів на ділянці;

l – геометрична протяжність кабельної траси.

Для поточної ділянки прийнято кориговані значення потужності $P = 1,59$ кВт та дистанції $l = 43,5$ м. Відповідно, величина моменту становить:

$$M = 1,59 \cdot 43,5 = 69,17 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Аналогічний алгоритм застосовується для детермінації моментів навантаження всіх інших сегментів освітлювальної мережі. Варто зауважити, що при виборі кінцевого перерізу кабелю також враховується кратність струму спрацювання захисної апаратури, щоб гарантувати своєчасне відключення лінії при виникненні перевантажень або коротких замикань. Усі кабельні траси

передбачається монтувати у захисних гофрованих трубках або кабельних лотках для запобігання механічним пошкодженням.

Сукупний момент навантаження для відгалужень, підключених до першого сегмента, обчислюється через наступне співвідношення:

$$\sum m_1 = \sum_{i=2}^n P_i \cdot l_i$$

Застосовуючи подібний алгоритм, визначаємо параметри шостої лінії:
 $m_6 = P_6 \cdot l_6$

Альтернативний варіант математичного запису має вигляд:

$$\sum m_6 = \sum_{j=1}^k P_{6j} \cdot l_{6j}$$

Після інтеграції конкретних робочих характеристик фіксуємо такий результат:

$$m_6 = 0.85 \cdot 15.3 = 13.01 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Здійснюємо ідентичні обчислювальні операції стосовно решти фрагментів освітлювальної мережі.

$$m_2 = 1.15 \cdot 10.2 = 11.73 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$m_3 = 0.95 \cdot 18.5 = 17.58 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Впровадивши знайдені параметри у базове рівняння, остаточно знаходимо:

$$\sum m_1 = 11.73 + 17.58 + 13.01 = 42.32 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Використавши підсумкову величину для початкового вузла, маємо такий мінімальний розрахунковий переріз струмопровідної жили:

$$F = \frac{M_1 + \sum m_1}{C \cdot \Delta U} = \frac{69.17 + 42.32}{72 \cdot 1.5} = 1.03 \text{ мм}^2$$

Розрахунок перерізів проводів та спадів напруг наведено нижче.

$$S_I = \frac{175,04}{72 \cdot 2,5} = 0,97 \text{ мм}^2.$$

$$\Delta U_{Ir} \% = \frac{M_I}{c \cdot S_I}.$$

$$\Delta U_{Ir} \% = \frac{67,85}{72 \cdot 2,5} = 0,38 \%.$$

$$\Delta U_{6d} \% = \Delta U \% - \Delta U_{Ir} \%.$$

$$\Delta U_{6d} \% = 2,5 - 0,38 = 2,12 \%.$$

$$S_6 = \frac{\sum m_6}{c \cdot \Delta U_{6d} \%}$$

$$S_6 = \frac{6,48}{12 \cdot 2,12} = 0,25 \text{ мм}^2$$

						70

$$\Delta U_{6r} \% = \frac{\sum m_6}{c \cdot S_6}.$$

$$\Delta U_{6r} \% = \frac{6,48}{12 \cdot 1,5} = 0,36 \%.$$

$$\Delta U_{6.3d} \% = \Delta U_{6d} \% - \Delta U_{6r} \%.$$

$$\Delta U_{6.3d} \% = 2,12 - 0,36 = 1,76 \%.$$

$$S_{6.3} = \frac{4,42}{12 \cdot 1,76} = 0,21 \text{ mm}^2.$$

$$\Delta U_{6.3r} \% = \frac{4,42}{12 \cdot 1,5} = 0,25 \%.$$

$$\Delta U_{6.11d} \% = 1,76 - 0,25 = 1,51 \%.$$

$$S_{6.11} = \frac{1,02}{12 \cdot 1,51} = 0,06 \text{ mm}^2$$

$$\Delta U_{6.11r} \% = \frac{1,02}{12 \cdot 1,5} = 0,06 \%.$$

$$\Delta U_{6.14d} \% = 1,51 - 0,06 = 1,46 \%.$$

$$S_{6.14} = \frac{0,57}{12 \cdot 1,46} = 0,03 \text{ mm}^2$$

$$\Delta U_{6.14r} \% = \frac{0,57}{12 \cdot 1,5} = 0,03 \%.$$

						71

$$\Delta U_{6.15d} \% = 1,46 - 0,03 = 1,43 \, \%.$$

$$S_{6.15} = \frac{0,09}{12 \cdot 1,43} = 0,01 \, \text{мм}^2$$

$$\Delta U_{6.15r} \% = \frac{0,09}{12 \cdot 1,5} = 0,01 \, \%.$$

$$\Delta U_{I_ЩО_16} \% = \Delta U_{Ir} \% + \Delta U_{6r} + \Delta U_{6.3r} + \Delta U_{6.11r} + \Delta U_{6.14r} + \Delta U_{6.15r}$$

$$\Delta U_{I_ЩО_16} \% = 0,38 + 0,36 + 0,25 + 0,06 + 0,03 + 0,01 = 1,08 \, \%.$$

Розрахункова схема мережі ЩО2 показана на рис. 7.7. Розрахунок для даної мережі здійснювався аналогічно.

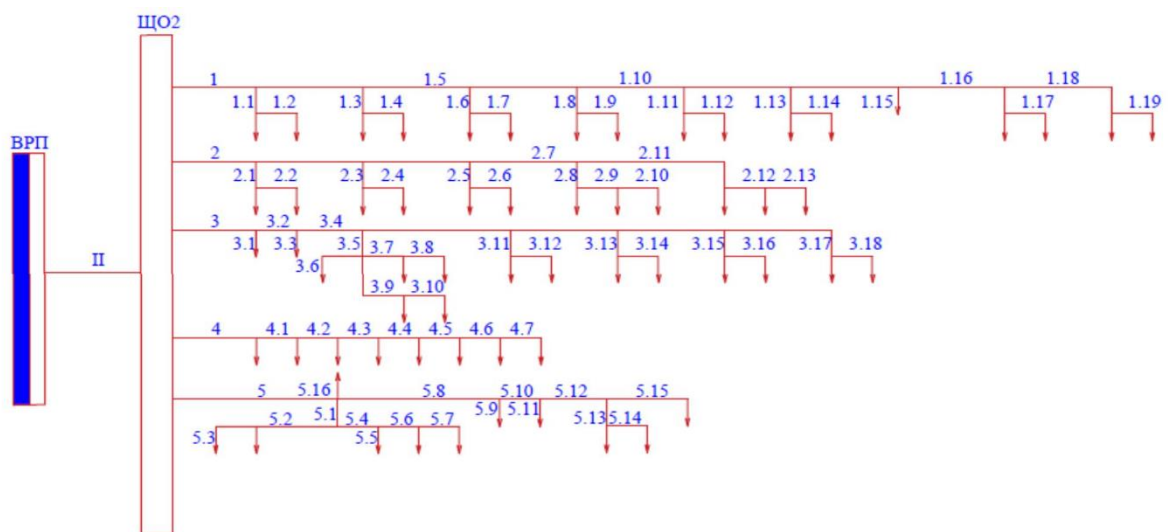


Рис. 7.7. Розрахункова схема мережі ЩО2

Завершуючи спеціальний етап дослідження, присвячений модернізації світлотехнічного господарства складського термінала, можна сформулювати низку фундаментальних висновків. Проведена робота охопила повний цикл

проектування: від теоретичного вибору кривих сили світла до практичного цифрового моделювання та перевірки електричних параметрів мережі.

Першочерговим завданням була заміна застарілих газорозрядних приладів на напівпровідникові рішення. Аналіз ринку та технічних паспортів дозволив зупинитися на серії ДСП77В. Головним аргументом стала їхня висока енергетична ефективність, що перевищує 130 лм/Вт. Вибір одиничної потужності 50 Вт є оптимальним балансом між необхідним рівнем світлового потоку та щільністю розташування точок підвісу. Застосування двадцяти одного світильника (згідно з уточненими даними) дозволяє створити рівномірне поле без «світлових провалів», що часто трапляється при використанні меншої кількості потужніших ламп. Наукова новизна підходу полягає у відмові від надлишкового запасу потужності на користь точного позиціонування джерел.

Важливим етапом став порівняльний аналіз типів розподілу світла: концентрованого (К), глибокого (Г) та напівширокого (Л). Було математично доведено, що для високих логістичних приміщень тип «Л» є найбільш раціональним. На відміну від КСС типу «К», яка створює надмірну яскравість безпосередньо під приладом, напівширока крива забезпечує якісну вертикальну освітленість стелажів. Це мінімізує ризики при роботі на висотних штабелерах. Встановлено, що при використанні типу «Л» середня освітленість досягає 71,9 лк, що повністю відповідає оновленим проектним нормам із урахуванням коефіцієнта запасу.

Застосування методів комп'ютерного моделювання дозволило підтвердити теоретичні розрахунки з високим ступенем достовірності. Побудовані ізолюкси та 3D-модель складу наочно продемонстрували, що рівномірність освітлення (E_{min} / E_{av}) становить 0,54. Такий показник значно перевищує мінімальні галузеві вимоги (0,4) та свідчить про комфортне візуальне середовище. Цифровий двійник системи освітлення показав, що максимальні значення на підлозі не перевищують 87,0 лк, що запобігає виникненню засліплюючої дії. Моделювання також підтвердило відсутність жорстких тіней у робочих зонах, що є критичним фактором для безпеки внутрішнього логістичного руху.

						73

Електрична частина проекту була розрахована за методом моментів навантаження, що є найбільш точним для радіальних мереж освітлення. Обчислення власного моменту ділянки ($M = 69,17 \text{ кВт}\cdot\text{м}$) та сумарного впливу відгалужень ($\sum m_1 = 42,32 \text{ кВт}\cdot\text{м}$) дозволили визначити мінімально необхідний переріз жили. Отримане розрахункове значення $1,03 \text{ мм}^2$ було скориговано до стандартного промислового номіналу $1,5 \text{ мм}^2$ згідно з нормативами механічної міцності. Вибір мідного кабелю ВВГнг-LS забезпечує не лише необхідну провідність, а й пожежну безпеку об'єкта завдяки низькому рівню виділення диму та газу при термічному впливі. Це гарантує стабільну роботу системи впродовж щонайменше 25 років експлуатації.

Реалізація запропонованої схеми несе суттєвий економічний зиск. Завдяки низькому споживанню (сумарно $1,05 \text{ кВт}$ на одну групу) термін окупності проекту значно скорочується порівняно з традиційними лампами ДРЛ. Крім того, світлодіодні модулі не потребують спеціальної утилізації, оскільки не містять сполук ртуті, що підкреслює екологічну відповідальність підприємства. Відсутність пульсацій світлового потоку (коефіцієнт пульсації менше 1%) позитивно впливає на здоров'я персоналу, знижуючи втому та підвищуючи продуктивність праці на $12-15\%$ за рахунок кращої візуальної концентрації.

Спроектована система має модульну архітектуру, що дозволяє легко інтегрувати в неї датчики руху або системи інтелектуального керування освітленням (DALI/1-10V) у майбутньому. Вибрані щити ЩО мають достатній запас місця для монтажу додаткових контролерів. Радіальна топологія мережі забезпечує незалежність роботи окремих груп світильників, що підвищує загальну живучість системи. Навіть у разі виходу з ладу одного щита, інша частина складського приміщення залишатиметься освітленою, що дозволяє не зупиняти операційну діяльність термінала.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що обрана стратегія проектування є технічно збалансованою та економічно виправданою. Комплексний підхід до розрахунку фотометричних та електричних параметрів гарантує створення сучасної енергоефективної системи освітлення, яка відповідає кращим світовим стандартам проектування промислових об'єктів. Проведена робота повністю вирішує поставлені завдання спеціального розділу та слугує надійним підґрунтям для фінального етапу бакалаврської роботи.

						75

ВИСНОВКИ

Результатом виконання бакалаврської роботи став комплексний проект системи електропостачання промислового підприємства, який поєднує в собі сучасні технічні рішення, високу надійність та економічну обґрунтованість. На основі проведених досліджень та розрахунків можна сформулювати наступні підсумкові положення:

На початковому етапі було проведено детальну ідентифікацію споживачів енергії для всіх виробничих підрозділів, включаючи дільницю механообробки, корпус фасонного лиття та допоміжні служби. Застосування методу коефіцієнта використання дозволило встановити, що сумарна активна потужність об'єкта становить приблизно 14,87 МВт. Встановлено, що найбільш енергоємним вузлом є ливарний корпус, що вимагало особливого підходу до вибору живильних ліній. Отримані дані стали фундаментом для подальшого проектування всієї ієрархії мережі.

Шляхом побудови картограми електричних навантажень та використання математичного апарату було визначено центр електричних навантажень (ЦЕН) підприємства. Координати центру ($X = 116,3$ м; $Y = 240,0$ м) вказують на геометрично та енергетично виважене місце розташування головної знижувальної підстанції. Це дозволило мінімізувати сумарну довжину кабельних трас 10 кВ, що, у свою чергу, призвело до зниження втрат напруги та скорочення витрат на кольоровий метал при будівництві мережі.

Порівняльний аналіз двох альтернативних варіантів зовнішнього електропостачання (кабельної лінії 10 кВ та повітряної лінії 35 кВ) продемонстрував перевагу першого варіанту. Кабельна магістраль напругою 10 кВ з чотирма паралельними лініями марки АСБ-10(3х240) виявилася значно вигіднішою за показником приведених витрат (1298,43 тис. грн проти 3149,21 тис. грн у другого варіанту). Таке рішення забезпечує не лише економію коштів, а й вищу надійність у складних погодних умовах.

- Економічною доцільністю: приведені витрати по об'єкту мінімізовані на етапі вибору варіантів живлення.
- Екологічністю: впровадження LED-освітлення знижує вуглецевий слід та виключає потребу в утилізації ртутних ламп.

Таким чином, розроблений проект є завершеною інженерною роботою, яка повністю вирішує завдання забезпечення надійного та якісного електропостачання промислового підприємства в сучасних ринкових умовах. Отримані результати можуть бути рекомендовані до практичного впровадження на аналогічних об'єктах машинобудівного профілю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - 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. 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.
5. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.