

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛЄШКОВ

“___” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва високовольтної апаратури»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–22,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

Євгеній ГОЛОВКІН

«___» _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

Василь ЗІНЗУРА

«___» _____ 2026 р.

Рецензент _____

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

_____ Головкина Євгенія Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва високовольтної апаратури
Design of an electrical power supply system for a high-voltage equipment production enterprise

2. Керівник роботи Зінзура Василь Васильович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є проектування системи електропостачання підприємства з виробництва високовольтної апаратури. 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 КР</i>	<i>26.05-28.05</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>29.05-31.05</i>	

Дата видачі завдання
« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Василь ЗІНЗУРА

Завдання прийнято до виконання
« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Євгеній ГОЛОВКІН

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 70 с.; 16 рис.; 23 табл.; 5 джерел

Головкін Є. О. Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва високовольтної апаратури. – Рукопис.

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

Робота присвячена розробці надійної схеми електропостачання для підприємства з виробництва високовольтної апаратури.

Здійснено глибокий аналіз енергетичних потреб об'єкта, беручи до уваги особливості специфічних технологічних ліній. Додатково досліджено динаміку добового та змінного енергоспоживання. Важливим етапом проектування стало вивчення балансу реактивної енергії задля підвищення загального показника економічності, а також обчислення очікуваних струмів короткого замикання на кожній ділянці спроектованого розподільного ланцюга. Окрім цього, в рамках проекту запропоновано базові рішення щодо впровадження сучасних систем релейного захисту та автоматизованого обліку спожитого ресурсу.

Спираючись на здобуті математичні дані, здобувач виконав аргументований вибір силових елементів інфраструктури. Завдяки такому комплексному підходу вдалося сформуванати найбільш раціональну, безпечну та стабільну архітектуру живлення заводу, яка повністю відповідає актуальним нормативним стандартам.

Ключові слова: споживана потужність, схема енергопостачання, струми коротких замикань, силовий трансформатор.

ABSTRACT

Qualification work: 70 p.; 16 Fig.; 23 tables; 5 sources

Holovkin Y. Design of an electrical power supply system for a high-voltage equipment production enterprise. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The work is devoted to the development of a reliable power supply scheme for a high-voltage equipment manufacturing enterprise.

An in-depth analysis of the energy needs of the facility was carried out, taking into account the features of specific technological lines. Additionally, the dynamics of daily and variable energy consumption were studied. An important stage of the design was the study of the reactive energy balance in order to increase the overall efficiency index, as well as the calculation of expected short-circuit currents in each section of the designed distribution chain. In addition, the project proposed basic solutions for the implementation of modern relay protection systems and automated accounting of the consumed resource.

Based on the obtained mathematical data, the applicant made a reasoned selection of power infrastructure elements. Thanks to this comprehensive approach, it was possible to form the most rational, safe and stable power supply architecture of the plant, which fully complies with current regulatory standards.

Keywords: power consumption, power supply scheme, short-circuit currents, power transformer.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ	8
1.2 Освітлювальні електричні навантаження.....	9
1.3 Силові електричні навантаження вище 1 кВ	10
1.4 Графіки електричних навантажень заводу	15
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	20
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ	22
3.1 Схема зовнішнього електропостачання.....	22
3.2 Схема внутрішнього електропостачання	25
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	27
4.1 Баланс реактивної потужності.....	27
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв	28
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	31
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	32
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	32
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ.....	39
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	42
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	43
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ СКЛАДУ	44
7.1 Архітектурно-технологічні особливості терміналів зберігання	44
7.2 Принципи проектування світлотехнічного обладнання для логістичних терміналів	47
7.3 Математичне моделювання та обчислення світлотехнічних характеристик логістичного терміналу	50
7.4 Програмна симуляція електроосвітлення в DIALux	60
7.5 Електротехнічний розрахунок параметрів мережі системи освітлення.....	61
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Головкін Є.О.				Проекування системи електропостачання підприємства з виробництва високовольтної апаратури Design of an electrical power supply system for a high-voltage equipment production enterprise	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Зінзура В.В.						6	70
						ЦНТУ зр. ЕЕ-22		
Н. контр.	Зінзура В.В.							
Затвер.	Плешков П.Г.							

ВСТУП

Ця робота присвячена розробці ефективної системи електропостачання для підприємства, яке виготовляє електротехнічну апаратуру високого класу напруги.

Безперебійне живлення заводських цехів є ключовим аспектом успішного функціонування сучасного індустріального сектору. Електрика виступає головним рушієм, що гарантує безвідмовну дію специфічних агрегатів та багаторівневих конвеєрів. Лише за умови гарантованого надходження струму фабрика здатна демонструвати найвищі показники ефективності, уникаючи незапланованих простоїв.

Сьогодні на перший план виходить також питання жорсткої оптимізації витрат кіловат-годин. Впровадження новітніх технологій збереження енергії, комплексна модернізація наявного парку верстатів та перегляд етапів обробки дають змогу помітно знизити навантаження на мережу. Варто відзначити, що сучасні стандарти проектування додатково вимагають інтеграції автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів (АСКОЕ) та елементів Smart Grid. Такі комплексні заходи не лише покращують рентабельність бізнесу, але й повністю відповідають глобальним екологічним нормам сталого розвитку.

Підприємства, що конструюють силові трансформатори, елегазові вимикачі чи розподільні пристрої, належать до об'єктів з підвищеними вимогами до надійності (переважно це споживачі першої або другої категорії). Специфіка їхньої роботи така, що навіть мілісекундні просадки напруги чи раптові знеструмлення здатні спричинити критичні наслідки. Серед них: поява неліквідних виробів, поломка дороговартісних високовольтних випробувальних стендів, а також фатальний збій чутливих мікропроцесорних систем управління на автоматизованих лініях.

						Ар.
						7

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ

Далі представлено зразок обчислення потужностей електромереж (до 1 кВ), котрі живлять головну будівлю випробувального комплексу.

$$m = \frac{P_{н.мах}}{P_{н.мін}} = \frac{253}{1} = 253$$

$$P_{зм} = \Sigma P_{н} \cdot K_{в} = 8100 \cdot 0,4 = 3240 \text{ кВт}$$

$$Q_{зм} = P_{зм} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 3240 \cdot 1,02 = 3304,8 \text{ квар}$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{(\Sigma P_{н})^2}{\Sigma P_{н.i}^2} \approx 65$$

Відповідно до джерела [1], приймаємо значення коефіцієнта $K_{\{p\}} = 1,17$.
Таким чином, очікувані розрахункові параметри досліджуваного об'єкта становлять:

$$P_p = P_{зм} \cdot K_p = 3240 \cdot 1,17 = 3790,8 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{зм} = 3304,8 \text{ квар}$$

Підсумкові дані обчислень щодо решти споруд зведено у таблицю 1.1.

						Ар.
						8

Таблиця 1.1. Енергетичні показники цехів (мережі до 1000 В)

№	Назва підрозділу	Нспо ж, шт	Pm ⁱ n, кВт	Pmax , кВт	Pсум, кВт	m	Kв	cosφ	tgφ	Pзм, кВт	Qзм, квар	пєф	Kр	Pрозр, кВт	Qрозр, квар	Sрозр, кВА
1	Головна будівля випробувального комплексу	150	1	253	8100	253	0,4	0,7	1,02	3240	3304,8	65	1,2	3791	3305	5029,1
2	Головний складський термінал	15	3	20	203	6,7	0,2	0,68	1,08	42,63	46,04	15	1,6	69,49	46,04	83,36
3	Дослідницький центр спецпроектів	120	1	152	6090	152	0,4	0,7	1,02	2131,5	2174,13	80	1,2	2494	2174	3308,5
4	Зал машинного обладнання	100	3	101	4550	34	0,5	0,8	0,75	2275	1706,25	90	1,1	2525	1706	3047,6
5	Будівля електрофізичних досліджень	25	10	101	810	10	0,4	0,7	1,02	324	330,48	16	1,4	440,6	330,5	550,8
6	Кріогенна лабораторія	15	1	51	253	51	0,5	0,8	0,75	126,5	94,88	10	1,4	174,6	104,4	203,4
7	Станція пожежної охорони	5	10	10	51	1	0,4	0,68	1,08	19,38	20,93	5	1,8	34,69	23,02	41,63
8	Теплогенераторний цех	25	3	51	506	17	0,6	0,78	0,8	293,48	234,78	20	1,2	352,2	234,8	423,2
9	Блок високовольтних випробувань	150	10	101	6080	10	0,6	0,85	0,62	3648	2261,76	120	1,1	3903	2262	4511,3
10	Офісно-побутова будівля	17	1	10	71	10	0,8	0,88	0,54	55,38	29,91	14	1,1	60,92	29,91	67,86
11	Станція перекачування рідин	4	300	304	1216	1	0,6	0,7	1,02	729,6	744,19	4	1,5	1116	818,6	1384,3
12	Блок харчування	25	5	25	253	5	0,6	0,9	0,48	146,74	70,44	20	1,2	176,1	70,44	189,6
	Всього	651	1	304	28183	304	0,5	0,76	0,85	13032,2	11018,6	187	1,1	14075	11019	17875

1.2 Освітлювальні електричні навантаження

Зразок обчислення потужності систем штучного світла, що живляться від електромережі до 1 кВ, для головної будівлі експериментального комплексу показано далі.

$$P_{\text{BCT}} = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 4858 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 97,16 \text{ кВТ}$$

$$P_p = K_{\Pi} \cdot K_1 \cdot P_{\text{БСТ}} = 0,4 \cdot 0,95 \cdot 97,16 = 36,92 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 36,92 \cdot 1,02 = 37,66 \text{ квар}$$

Підсумкові дані обчислень щодо решти підрозділів зведено у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2. Енергетичні показники освітлення підприємства

№	Назва підрозділу	Гцеху, м ²	р0, Вт/м ²	Рвстан , кВт	Кп	К1	cosφ	tgφ	Ррозр, кВт	Qроз р, квар	Spрозр, кВА
1	Головна будівля експериментального комплексу	4858	20	97,16	0,4	1	0,7	1,02	36,92	37,7	52,74
2	Центральна база комплектації	1328	14	18,59	0,6	0,4	0,7	1,02	4,46	4,55	6,37
3	Відділ спеціалізованих досліджень	3724	22	81,93	0,6	0,4	0,7	1,02	17,21	17,6	24,58
4	Корпус механічного устаткування	5416	18	97,49	0,85	0,5	0,8	0,75	41,43	31,1	51,78
5	Павільйон електрофізики	2368	17	40,26	0,95	0,5	0,8	0,75	19,12	14,3	23,9
6	Центр кріогенних технологій	2263	20	45,26	0,8	0,5	0,8	0,75	18,1	13,6	22,63
7	Будівля пожежної частини	874	15	13,11	0,6	0,4	0,68	1,08	2,99	3,23	4,4
8	Комплекс генерації тепла	2137	13	27,78	0,95	0,6	0,78	0,8	15,31	12,3	19,61
9	Павільйон високовольтних систем	3020	19	57,38	0,95	0,6	0,85	0,62	32,71	20,3	38,5
10	Адміністративно-побутовий комплекс	2785	20	55,7	0,8	0,8	0,68	1,08	34,76	37,5	51,16
11	Насосний вузол	680	12	8,16	0,6	0,6	0,7	1,02	2,94	3	4,2
12	Комплекс громадського харчування	1295	15	19,43	0,8	0,6	0,9	0,48	9,02	4,33	10,01
13	Промислова зона підприємства	135001	1	135	0,1	1	0,98	0,2	13,5	2,7	13,77
-	Всього	-	-	416,8	-	-	-	-	429,1	438	613,3

1.3 Силові електричні навантаження вище 1 кВ

Результати розрахунків приведені в таб. 1.3.

						Ap.
						10

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

Назва	N _{спо} ж, шт	P _{мін} , кВт	P _{макс} , кВт	P _{сум} , кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар	пф	K _р	P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА
ТП1, ТП2															
Теплогенераторний цех															
силове:	25	3	51	506	17	0,6	0,78	0,8	293,48	234,78	20	1,2	352,18	234,78	423,2
освітлювальне:				27,78									15,31	12,25	
Всього:				321,26					235,45				368,2	247,73	443,78
Блок високовольтних випробувань															
силове:	150	10	101	6080	10,1	0,6	0,85	0,6	3648	2261,76	120	1,07	3903,36	2261,76	4511,3
освітлювальне:				57,38									32,71	20,28	
Всього:				3700,6					2257,85				3929,54	2278,13	4542,15
Офісно-побутова будівля															
силове:	17	1	10	71	10	0,8	0,88	0,5	55,38	29,91	14	1,1	60,92	29,91	67,86
освітлювальне:				55,7									34,76	37,54	
Всього:				110,95					29,82				95,45	67,28	116,78
Всього по ТП1, ТП2:															
силове:	194	1	101	6648,8	101	0,6	0,85	0,6	3991,93	2523,12	132	1,07	4256,35	2523,12	4948
освітлювальне:				140,87									82,77	70,02	
БК 0,4 кВ				-1670									-1669,8		
Всього на шинах 0.4 кВ ТП1, ТП2:				4132,8					853,32				4339,12	923,34	4436,27
Втрати в трансформаторах:													44,69	251,31	
Кількість трансформаторів: 4															
Номинальна потужність, кВА: 1600															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,688															
Всього на шинах 10 кВ ТП1, ТП2:													4383,81	1174,66	4538,46
ТП3, ТП4															
Кріогенна лабораторія															
силове:	15	1	51	253	51	0,5	0,8	0,8	126,5	94,88	10	1,38	174,57	104,37	203,4
освітлювальне:				45,26									18,1	13,58	
Всього:				171,75					94,87				192,39	117,93	225,66
Будівля електрофізичних досліджень															
силове:	25	10	101	810	10,1	0,4	0,7	1	324	330,48	16	1,36	440,64	330,48	550,8
освітлювальне:				40,26									19,12	14,34	
Всього:				364,09					330,38				460,98	344,73	575,65

Продовження табл. 1.3

Зал машинного обладнання															
силове:	100	3	101	4550	33,7	0,5	0,8	0,8	2275	1706,25	90	1,11	2525,25	1706,25	3047,6
освітлювальне:				97,49									41,43	31,07	
Всього:				2374,5					1707,75				2562,35	1738,81	3096,63
Промислова зона підприємства															
освітлювальне:				135					13,5	2,7			13,5	2,74	13,77
Всього:				135	0				13,5	2,74			13,5	2,74	13,77
Всього по ТПЗ, ТП4:															
силове:	142	1	101	5616,6	101	0,5	0,79	0,8	2727,34	2133,01	112	1,11	2996,93	2133,01	3678,49
освітлювальне:				318,01									92,16	61,74	
БК 0,4 кВ				-759									-759		
Всього на шинах 0.4 кВ ТПЗ, ТП4:				3045,4					1374,01				3089,1	1435,75	3406,45
Втрати в трансформаторах:													34,65	194,53	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1600															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,708															
Всього на шинах 10 кВ ТПЗ, ТП4:													3123,75	1630,29	3523,59
ТП5															
Дослідницький центр спецпроектів															
силове:	120	1	152	6090	152	0,4	0,7	1	2131,5	2174,13	80	1,17	2493,86	2174,13	3308,5
освітлювальне:				81,93									17,21	17,55	
Всього:				2207,1					2168,13				2493,81	2185,68	3316,07
Всього по ТП5:															
силове:	120	1	152	6090	152	0,4	0,7	1	2131,5	2174,13	80	1,17	2493,86	2174,13	3308,5
освітлювальне:				81,93									17,21	17,55	
БК 0,4 кВ				-2348									-2347,8		
Всього на шинах 0.4 кВ ТП5:				2207,1					-179,7				2493,81	-162,15	2499,07
Втрати в трансформаторах:													26,56	148,16	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1600															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,779															
Всього на шинах 10 кВ ТП5:													2520,37	-13,98	2520,41
ТП6, ТП7															
Головна будівля випробувального комплексу															
силове:	150	1	253	8100	253	0,4	0,7	1	3240	3304,8	65	1,17	3790,8	3304,8	5029,1

Продовження табл. 1.3

освітлювальне:				97,16									36,92	37,66	
Всього:				3335,6					3303,82				3811,47	3341,48	5068,81
Головний складський термінал															
силове:	15	3	20	203	6,7	0,2	0,68	1,1	42,63	46,04	15	1,63	69,49	46,04	83,36
освітлювальне:				18,59									4,46	4,55	
Всього:				61,09					45,83				73,91	50,38	89,46
Станція пожежної охорони															
силове:	5	10	10	51	1	0,4	0,68	1,1	19,38	20,93	5	1,79	34,69	23,02	41,63
освітлювальне:				13,11									2,99	3,23	
Всього:				32,34					20,73				37,44	26,02	45,6
Блок харчування															
силове:	25	5	25	253	5	0,6	0,9	0,5	146,74	70,44	20	1,2	176,09	70,44	189,6
освітлювальне:				19,43									9,02	4,33	
Всього:				166,17					71,07				185,45	75,43	200,21
Всього по ТП6, ТП7:															
силове:	197	1	253	8602	253	0,4	0,71	1	3446,87	3441,46	69	1,17	3997,59	3441,46	5274,88
освітлювальне:				148,28									53,38	49,79	
БК 0,4 кВ				-1451									-1451,2		
Всього на шинах 0.4 кВ ТП6, ТП7:				3595,2					1990,25				4050,97	2040,05	4535,66
Втрати в трансформаторах:													46,11	258,88	
Кількість трансформаторів: 4															
Номінальна потужність, кВА: 1600															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,708															
Всього на шинах 10 кВ ТП6, ТП7:													4097,09	2298,94	4698
ТП8															
Станція перекачування рідин															
силове:	4	300	304	1216	1,01	0,6	0,7	1	729,6	744,19	4	1,53	1116,29	818,61	1384,3
освітлювальне:				8,16									2,94	3	
Всього:				736,79					743,36				1115,61	820,7	1384,97
Всього по ТП8:															
силове:	4	1	300	1216	300	0,6	0,7	1	729,6	744,19	4	1,53	1116,29	818,61	1384,3
освітлювальне:				8,16									2,94	3	
БК 0,4 кВ				-761									-761		
Всього на шинах 0.4 кВ ТП8:				736,79					-17,65				1115,61	59,67	1117,21
Втрати в трансформаторах:													11,29	63,44	

Продовження табл. 1.3

Кількість трансформаторів: 1																
Номинальна потужність, кВА: 1600																
Коефіцієнт завантаження: $K_z = 0,698$																
Всього на шинах 10 кВ ТП8:													1126,91	123,11	1133,61	
Всього по об'єкту																
силове:	658	1	303	28153	303	0,5	0,97	0,3	13020	4020,25	187	1,09	14046,83	4020,25	14610,82	
освітлювальне:				697,25									248,45	202,09		
Всього:				13717					4020,25				14295,28	4222,34	14905,81	
Потужність КП 0,4 кВ:				-6989									-6988,8			
Втрати в трансформаторах:													163,31	916,36		
Всього по об'єкту:													14458,6	5138,71	15344,63	
Високовольтне навантаження																
АД1-АД4	4	720	720	2914,5		0,8	0,9	0,5	2185,92	1058,69			2185,92	1058,69	2428,8	
Всього високовольтного навантаження:									2185,92	1058,69			2185,92	1058,69	2428,8	
Всього по об'єкту 10 кВ:													16644,52	6197,4	17760,86	
КП 10 кВ:									-3946,8							
Всього 10 кВ з КП:									2250,6				16644,52	2250,6	16795,99	

1.4 Графіки електричних навантажень заводу

Даний підрозділ містить підсумки обчислення показників кривих споживання електроенергії, виконаних на базі джерела [1]. Отримані числові значення демонструються далі у вигляді зведеної інформації.

Таблиця 1.4. Вихідна інформація щодо визначення властивостей навантажувальних кривих

№	Робочі дні: P, %	Робочі дні: Q, %	Вихідні дні: P, %	Вихідні дні: Q, %
1	42,5	40,5	36,6	59,3
2	43,5	39,5	35,6	58,3
3	41,5	41,5	37,5	57,3
4	43,5	40,5	35,6	58,3
5	48,4	43,5	36,6	58,3
6	49,4	45,4	35,6	59,3
7	77,1	63,2	35,6	58,3
8	89,9	73,1	37,5	57,3
9	98,8	98,8	25,7	47,4
10	98,8	98,8	27,7	48,4
11	87,9	75,1	27,7	48,4
12	78,1	63,2	26,7	47,4
13	87,9	73,1	25,7	49,4
14	86,9	74,1	26,7	48,4
15	98,8	78,1	27,7	48,4
16	98,8	77,1	26,7	47,4
17	87,9	73,1	28,6	49,4
18	78,1	65,2	39,5	57,3
19	57,3	48,4	36,6	57,3
20	58,3	47,4	36,6	58,3
21	48,4	45,4	38,5	59,3
22	47,4	44,5	37,5	58,3
23	48,4	43,5	35,6	57,3
24	43,5	40,5	36,6	57,3

Таблиця 1.5. Розрахункові показники добових графіків електричних навантажень

№	Зимовий період						Літній період					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА	Рд, кВт	Qд, квар	Сд, кВА
1	7155	1024	7228	6157	1497	6336	6082	870	6144	5234	1273	5387
2	7321	998	7389	5991	1472	6169	6224	848	6282	5092	1251	5244
3	6989	1048	7067	6323	1448	6487	5940	891	6007	5375	1230	5514
4	7321	1024	7392	5991	1472	6169	6224	870	6285	5092	1251	5244
5	8154	1099	8228	6157	1472	6330	6931	934	6993	5234	1251	5381
6	8321	1148	8400	5991	1497	6175	7072	976	7139	5092	1273	5249
7	12979	1598	13077	5991	1472	6169	11032	1358	11115	5092	1251	5244
8	15143	1847	15255	6323	1448	6487	12871	1569	12966	5375	1230	5514
9	16640	2496	16827	4326	1198	4489	14145	2121	14303	3677	1019	3816
10	16640	2496	16827	4660	1223	4817	14145	2121	14303	3961	1040	4096
11	14810	1896	14930	4660	1223	4817	12588	1612	12692	3961	1040	4096
12	13146	1598	13244	4492	1198	4649	11174	1358	11256	3819	1019	3953
13	14810	1847	14925	4326	1247	4503	12588	1569	12686	3677	1061	3827
14	14644	1872	14763	4492	1223	4656	12447	1591	12548	3819	1040	3958
15	16640	1971	16758	4660	1223	4817	14145	1676	14244	3961	1040	4096
16	16640	1947	16755	4492	1198	4649	14145	1654	14241	3819	1019	3953
17	14810	1847	14925	4826	1247	4985	12588	1569	12686	4102	1061	4236
18	13146	1647	13250	6656	1448	6812	11174	1400	11261	5658	1230	5791
19	9651	1223	9728	6157	1448	6325	8203	1040	8269	5234	1230	5376
20	9818	1198	9891	6157	1472	6330	8345	1019	8407	5234	1251	5381
21	8154	1148	8234	6490	1497	6660	6931	976	6999	5516	1273	5661
22	7988	1123	8067	6323	1472	6492	6789	955	6856	5375	1251	5519
23	8154	1099	8228	5991	1448	6163	6931	934	6993	5092	1230	5239
24	7321	1024	7392	6157	1448	6325	6224	870	6285	5234	1230	5376

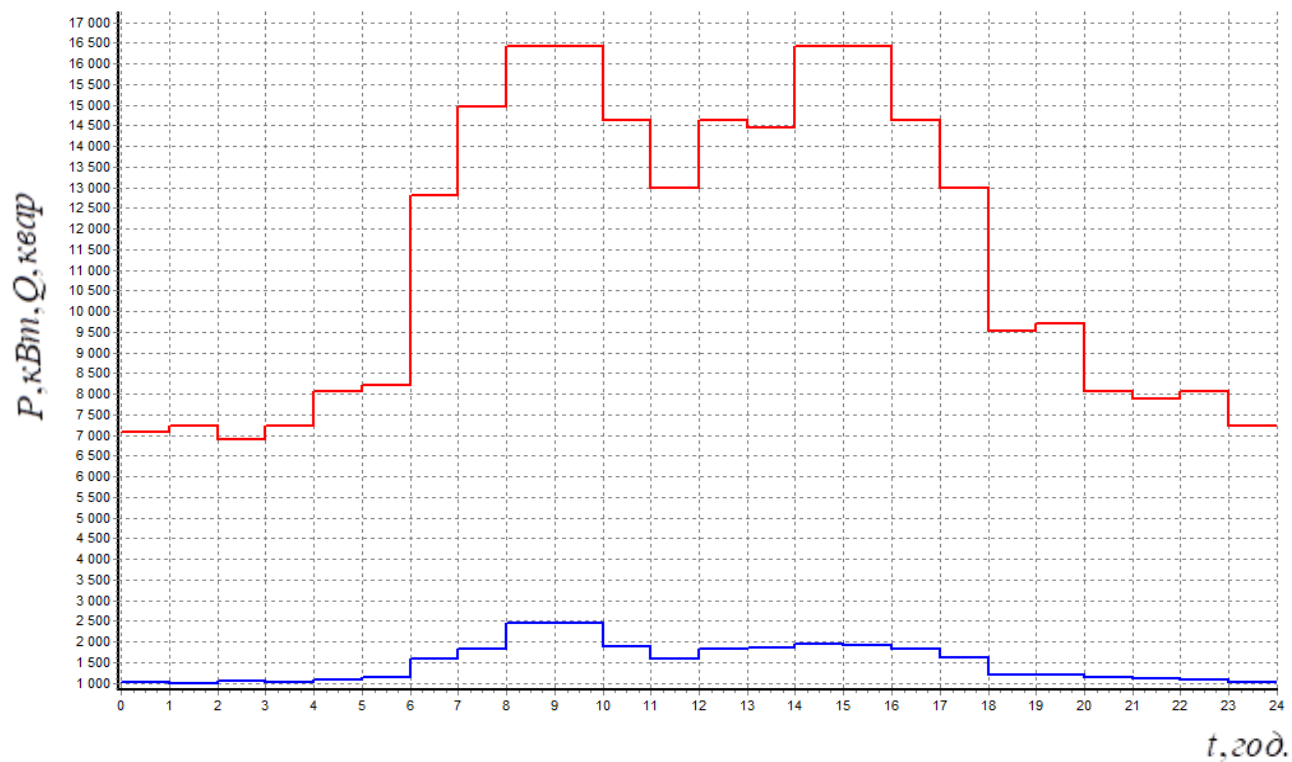


Рис. 1.1. Доб. графіки (зимові роб.)

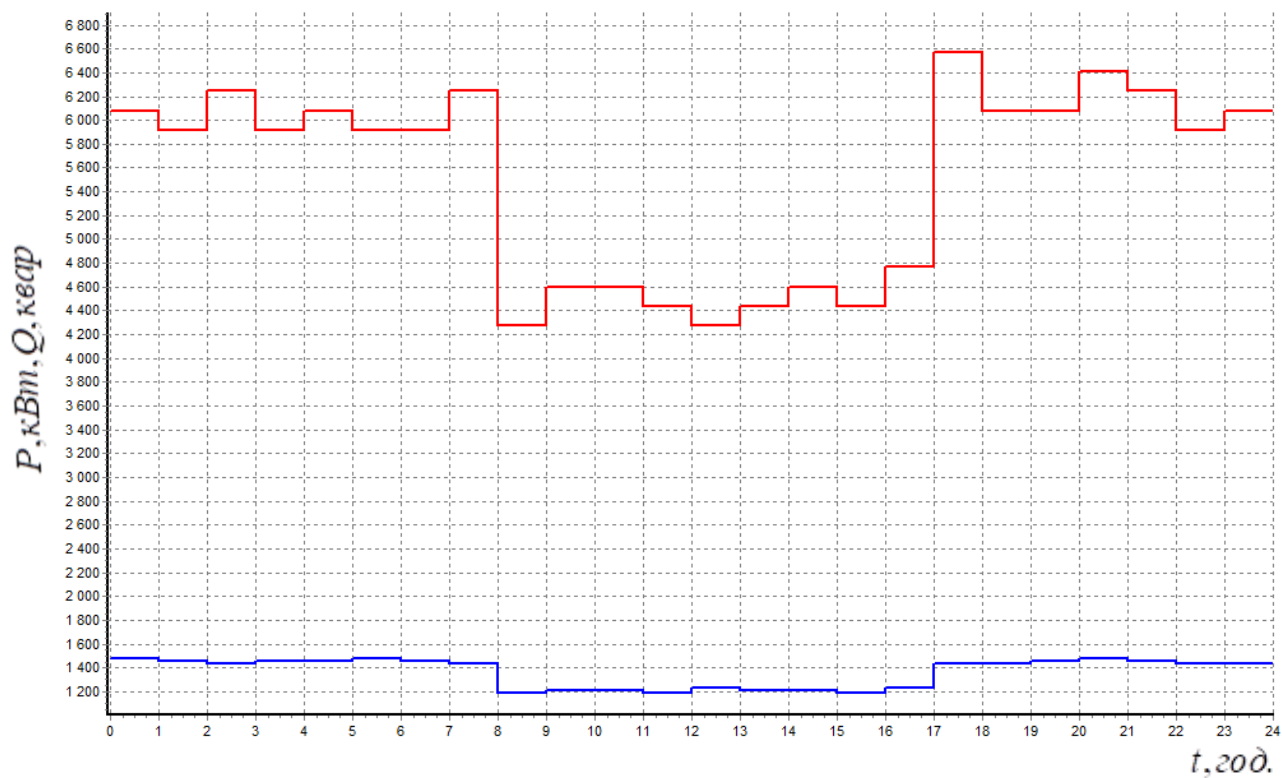


Рис. 1.2. Доб. графіки активн. (зимові вих.)

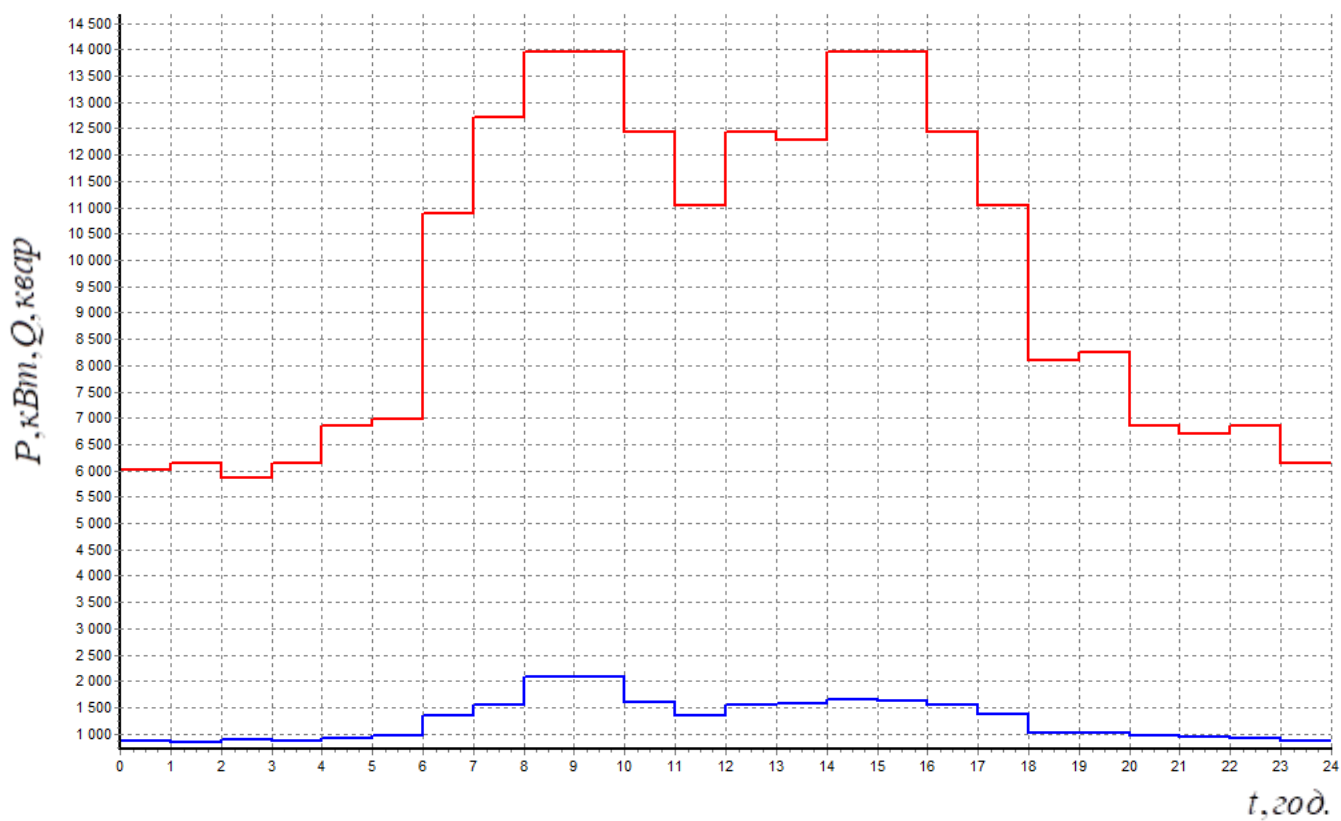


Рис. 1.3. Доб. графіки (літні роб.)

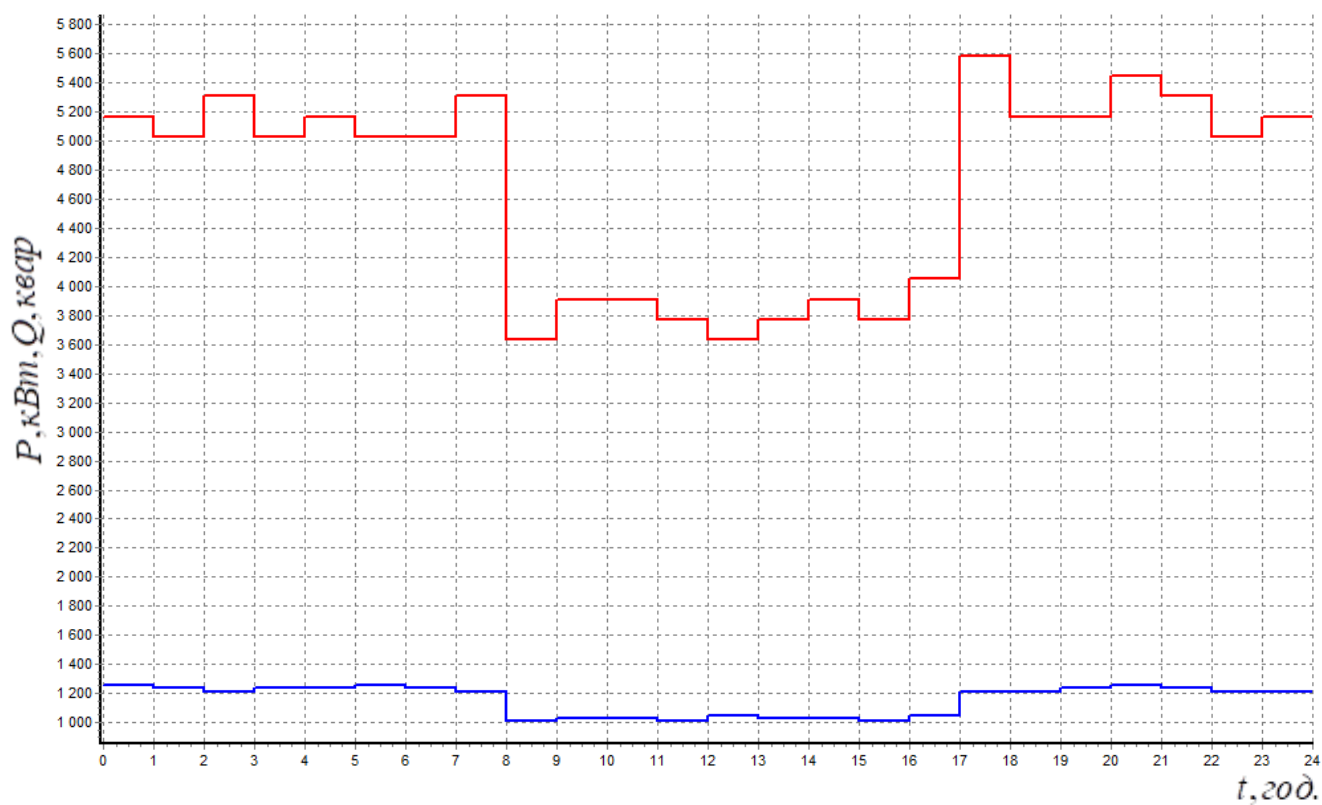


Рис. 1.4 Доб. графіки (літні вих.)

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Процедура визначення розмірів елементів кругової діаграми для головної будівлі випробувального комплексу демонструється далі:

$$R = \sqrt{\frac{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{3790,80 + 36,92}{3,14 \cdot 0,2}} = 78,07 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{\text{осв}}}{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}} = \frac{360 \cdot 36,92}{3827,72} = 3,47^\circ.$$

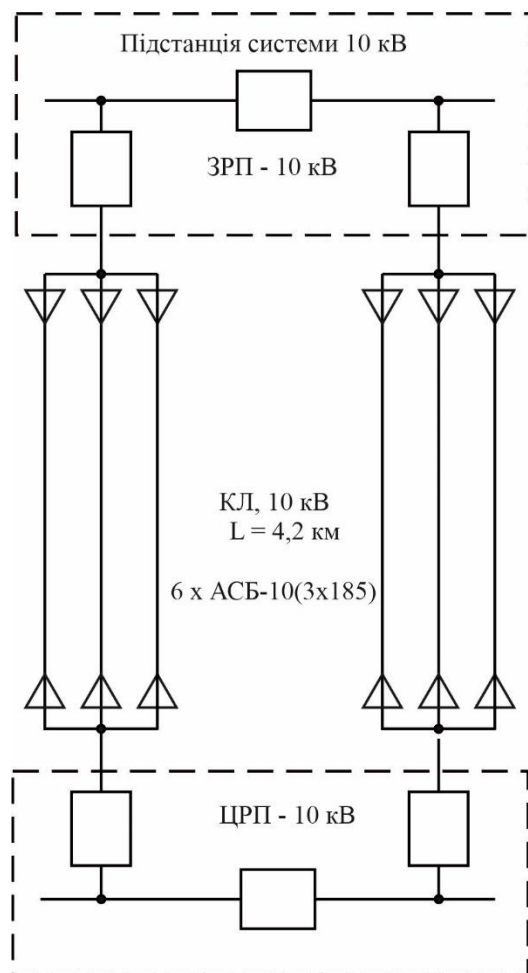
Координати умовного епіцентру електроспоживання підприємства:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^m X_j \cdot P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{3622177}{17526,38} = 206,67 \text{ м},$$

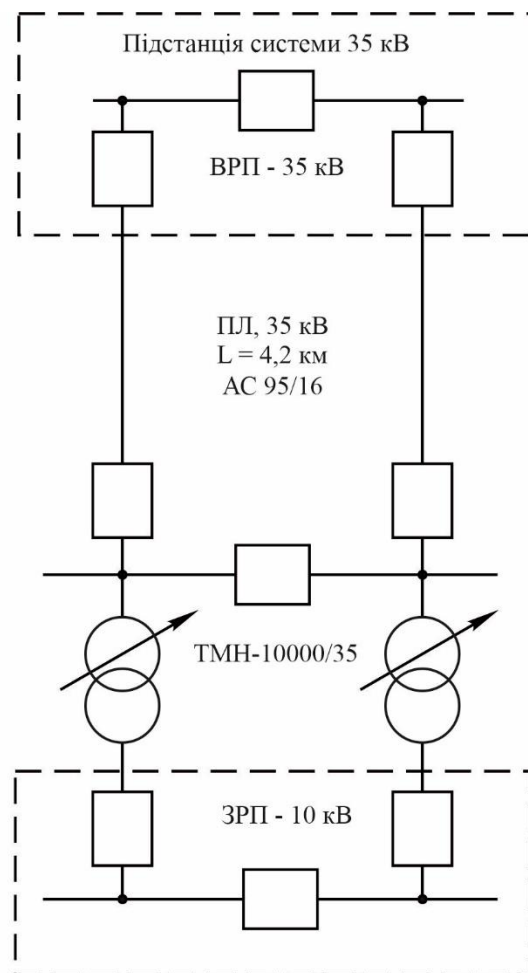
$$Y = \frac{\sum_{j=1}^m Y_j \cdot P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{2153040}{17526,38} = 122,84 \text{ м}.$$

Таблиця 2.1. Відомість розподілу навантаження підприємства

№	Назва підрозділу	Р _{сил} , кВт	Р _{осв} , кВт	Р ₁ , кВт	m	R, мм	α, град	x, м	y, м	Р ₁ ·х, кВт·м	Р ₁ ·у, кВт·м
1.	Головна будівля випробувального комплексу	3790,8	36,92	3827,72	0,2	78,07	3,47	251	42,5	960757,72	162678,1
2.	Головний складський термінал	69,49	4,46	73,95	0,2	10,85	21,71	333,6	131,4	24669,72	9717,03
3.	Дослідницький центр спецпроектів	2493,86	17,21	2511,07	0,2	63,24	2,47	263,1	131,6	660662,52	330456,81
4.	Зал машинного обладнання	2525,25	41,43	2566,68	0,2	63,93	5,81	97,1	46,5	249224,63	119350,62
5.	Будівля електрофізичних досліджень	440,64	19,12	459,76	0,2	27,06	14,97	170,2	147,9	78251,15	67998,5
6.	Кріогенна лабораторія				0,2			0	0		
	а) 0.38 кВ	174,57	18,1	192,67	0,2	17,52	33,82	56,7	149,8	10924,39	28861,97
	б) 10 кВ (АД)	2185,92	0	2185,92	0,2	58,99	0	56,7	149,8	123941,66	327450,82
7.	Станція пожежної охорони	34,69	2,99	37,68	0,2	7,75	28,57	378,1	107,2	14246,81	4039,29
8.	Теплогенераторний цех	352,18	15,31	367,49	0,2	24,19	15	299,6	230,7	110099,98	84779,94
9.	Блок високовольтних випробувань	3903,36	32,71	3936,07	0,2	79,17	2,99	204,4	220,6	804532,71	868297,04
10.	Офісно-побутова будівля	60,92	34,76	95,68	0,2	12,34	130,8	91	210,3	8706,88	20121,5
11.	Станція перекачування рідин	1116,29	2,94	1119,23	0,2	42,22	0,95	451,4	105,2	505220,42	117743
12.	Блок харчування	176,09	9,02	185,11	0,2	17,17	17,54	370	42,5	68490,7	7867,18
13.	Промислова зона підприємства	0	13,5	13,5	0,2	4,64	360	246,9	131,6	3333,15	1776,6
	Всього по об'єкту	17324,1	248,47	17572,53						3623062,44	2151138,4



а)



б)

Рис. 3.1. Схеми зовн. електропостач.

$$K_{\text{зав}} = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{159,9}{310} = 0,52$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{лкм}} l_{\text{сум}} K_{\text{зав}}^2 = 22 \cdot 25,2 \cdot 0,2704 = 149,91 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{кл}} \tau = 49,97 \cdot 3170,44 = 158426,89 \text{ кВт·год.}$$

$$C_{\text{втр.кл}} = \Delta W_{\text{сум}} C_0 = 158426,89 \cdot 8,87 \cdot 0,001 = 1405,25 \text{ тис.грн.}$$

Таблиця 3.1. Обчислення капітальних інвестицій щодо першого варіанта

№	Найменування елемента	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю	Загальна сума
1	КЛ 10 кВ	км	25,50	54,50	1389,75
2	Земляна траншея	км	4,25	14,45	61,41
3	Шафи КРП	шт.	2	10,82	21,64
Разом					

Таблиця 3.2. Експлуатаційні видатки першого проектного рішення

№	Найменування складової	Kj	Pa _j	Ca _j	Se _j	Cj
1	КЛ 10 кВ	1389,75	5,0	69,49	69,49	138,98
2	Земляна траншея	61,41	5,0	3,07	3,07	6,14
3	Шафи КРП	21,64	15,0	3,25	1,08	4,33
Разом						

Розрахунок збитку від недовідпуску електроенергії наведено нижче.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 1,008 = 1,012 \text{ 1/рік}$$

$$T_{\text{відн}} = \frac{\sum \lambda_i T_{\text{відн},i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 1,008 \cdot 0,000882)}{1,012} = 0,00088029 \text{ рік}$$

$$K_{\text{пр}} = 1,2 K_{\text{прmax}} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

$$K_{\text{а.п}} = \lambda T_{\text{відн}} = 1,012 \cdot 0,000880292490118577 = 0,000890856$$

$$K_{\text{а.пр}} = 0,5 \lambda K_{\text{пр}}^2 = 0,5 \cdot 1,012 \cdot 0,00000576 = 0,00000291456$$

$$K_{\text{а.пр}}^{(2)} = K_{\text{а.п}}^2 + 2K_{\text{а.пр}} = 0,00000079362441 + 2 \cdot 0,00000291456 = 0,0000066227$$

						Ар.
						24

$$T_{ав} = K_{а.пр}^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000066227 \cdot 8760 = 0,05801$$

$$3б = 3б_0 P_{ср} T_{ав} = 17,3 \cdot 8,96 \cdot 0,05801 = 8,99$$

Зведені витрати:

$$З = E_{\kappa} K + C + C_{втр} + 3б = 0,12 \cdot 1442,26 + 146,366 + 1405,25 + 8,99 = 1733,68$$

Аналогічним способом проводяться розрахунки і для II вар-ту (табл 3.3)

Таблиця 3.3 – Підсумки зіставлення конфігурацій зовнішньої мережі живлення

Найменування критерію	Варіанти схем	
	1	2
Капітальні інвестиції	1472,8	2414,61
Експлуатаційні видатки	149,45	453,93
Вартість втраченої електроенергії	1422,11	8277,33
Фінансові збитки	9,12	4,29
Зведені витрати	1757,95	9000,38

За результатами розрахунків приймаємо 1 варіант.

3.2 Схема внутрішнього електропостачання

Організація внутрішньозаводського розподілу електричної енергії базується на використанні радіальної топології мереж з номінальною напругою 10 кВ, які реалізовані за допомогою підземних та естакадних кабельних ліній. Прийняття саме такого інженерного рішення ґрунтується на глибокому аналізі техніко-економічних показників та беззаперечній перевазі цього варіанту щодо критеріїв безперебійності живлення, якщо порівнювати його з магістральними схемами.

Головна технічна перевага застосованої радіальної структури полягає в її високому рівні автономності та селективності. За такої конфігурації кожна цехова трансформаторна підстанція отримує струм по індивідуальному фідеру безпосередньо від головного розподільного пункту. Завдяки цьому, у випадку виникнення короткого замикання, пробою ізоляції чи іншої аварійної ситуації на окремій ділянці, пристрої релейного захисту миттєво локалізують пошкодження, відсікаючи виключно проблемний сегмент. Водночас усі інші виробничі цехи продовжують працювати у штатному режимі, що дозволяє уникнути каскадних відключень та масштабних зупинок технологічного процесу.

Застосування класу напруги 10 кіловольт дозволяє суттєво мінімізувати втрати активної потужності під час транспортування електроенергії розлогою територією підприємства. Це також дає змогу оптимізувати капітальні витрати на кольорові метали за рахунок зменшення площі перерізу струмопровідних жил.

Своєю чергою, виконання внутрішньозаводської мережі виключно у вигляді кабельних ліній гарантує найвищий ступінь захищеності комунікацій від випадкових механічних пошкоджень, агресивних викидів та несприятливих атмосферних явищ. Крім того, приховане або естакадне прокладання кабелів значно підвищує загальний рівень електробезпеки для персоналу, полегшує майбутнє технічне обслуговування та не перешкоджає руху великогабаритного вантажного транспорту між виробничими корпусами.

						Ар.
						26

Таблиця 4.4. Отримані результати визначення параметрів КП (16 шт.)

№ ТП	К-сть тр.	Ррозр, кВт	Qрозр, квар	Qпроп, квар	Qкомп, квар	Кількість та потужність конд. батарей, шт. · кВАр	QБКсум, квар	Qкп-Qб к, квар	Кзав	Срозр, кВА
1, 2	5	4382,47	2837,24	3593,21	0	0	0	0	0,65	5220,73
3, 4	3	3089,13	2194,72	1421,07	773,65	3·50; 3·200	750	23,65	0,71	3406,47
5	3	2520,28	2333,37	2282,62	50,75	1·50	50	0,75	0,71	3400,42
6, 7	4	4050,93	3491,3	2035,9	1455,4	2·50; 2·67; 4·300	1434	21,4	0,71	4535,64
8	1	1126,86	883,98	121,94	762,04	1·150; 1·200; 1·402	752	10,04	0,71	1133,55

Втрати потужності:

$$\Delta P_{\text{БКН}} = P_{\text{пит}}^{\text{БКН}} \cdot Q_{\text{БКН}} = 0,0045 \cdot 6906 = 31,08 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{БКВ}} = P_{\text{пит}}^{\text{БКВ}} \cdot Q_{\text{БКВ}} = 0,003 \cdot 3900 = 11,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{т}} = \frac{P_{\text{н}}^2 + Q_{\text{т}}^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{тр}} \cdot 10^{-3} = \frac{14765,89^2 + 5275,5^2}{10^2} \cdot 0,03 \cdot 0,001 = 73,76 \text{ кВт}$$

Вартість КП:

$$K_{\text{БКВ}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{БКВ}i} K_{\text{БКВ}i} = 2 \cdot 10,07 + 2 \cdot 23,63 = 67,4 \text{ тис.грн.}$$

Вартість ТП:

$$K_{\text{ТП}} = N_{\text{ТП2}} K_{\text{ТП2}} + N_{\text{ТП1}} K_{\text{ТП1}} = 6 \cdot 638 + 2 \cdot 337,5 = 4503 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати:

						Ар.
						29

$$\begin{aligned}
Z &= E_H (K_{БКН} + K_{БКВ} + K_{ПП}) + C_0 \tau (\Delta P_{БКН} + \Delta P_{БКВ} + \Delta P_{ПП}) = \\
&= 0,12 \cdot (188,93 + 67,4 + 4503) + 8,87 \cdot 3170 \cdot (31,08 + 11,7 + 73,76)^3 \cdot 10^{-3} = \\
&= 3847,98 \text{ тис.грн.}
\end{aligned}$$

В табл. 4.5 приведені розрахунки для інших варіантів

Таблиця 4.5. Оцінка приведених витрат на компенсаційні пристрої

№	Nт, шт.	Re, Ом	Спроп, кВА	Ктп, тис. грн.	QBКН, кВАр	ΔРБКН, кВт	КБКН, тис. грн.	QBКВ, квар	ΔРБКВ, кВт	КБКВ, тис. грн.	ΔРт, кВт	З, тис. грн.
1	14	0,03	15868,16	4557,04	6988,87	21,15	4691,63	4391,07	13,17	11,84	191,2	3894,18
2	15	0,03	17001,6	4898,59	4900,1	14,7	3021,83	7286,4	21,86	13,56	85,69	4077,35
3	16	0,03	18135,04	5240,14	3946,8	11,84	140,98	5464,8	16,39	76,83	74,65	3021,83

Базуючись на підсумках проведеного техніко-економічного аналізу, для подальшого проектування обирається перший варіант конфігурації.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Зразок обчислення параметрів трансформаторного обладнання для підстанції ТП-1:

$$n \cdot S_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{позр}}}{K_{\text{зав}}} = \frac{1420,73}{0,7} = 2029,61 \approx 2 \cdot 1000,$$

$$K_1 = \frac{S_{\text{порр}}}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{1420,73}{1000} \approx 1,42 \geq 1,08,$$

$$K_2 = \frac{S_{\text{розр}}}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{1420,73}{1000} \approx 1,42 \geq 1,4.$$

Підсумкові дані підбору трансформаторного устаткування для інших підстанцій зведені у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Підсумки підбору цехового трансформаторного устаткування

№	К-сть тр.	$S_{\text{розр}}, \text{кВА}$	$K_{\text{зав}}$	$\frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{розр}}/K_1} >$	$\frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{розр}}/K_2} >$
ТП-1	2	1420,73	0,70	1315,49	1014,81
ТП-2	2	1420,73	0,70	1315,49	1014,81
ТП-3	2	1415,71	0,70	1310,84	1011,22
ТП-4	1	1415,71	0,70	1310,84	1011,22
ТП-5	2	1415,71	0,70	1310,84	1011,22
ТП-6	2	1415,71	0,70	1310,84	1011,22
ТП-7	2	1423,96	0,70	1318,48	1017,11
ТП-8	1	1133,55	0,70	1049,58	809,68

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

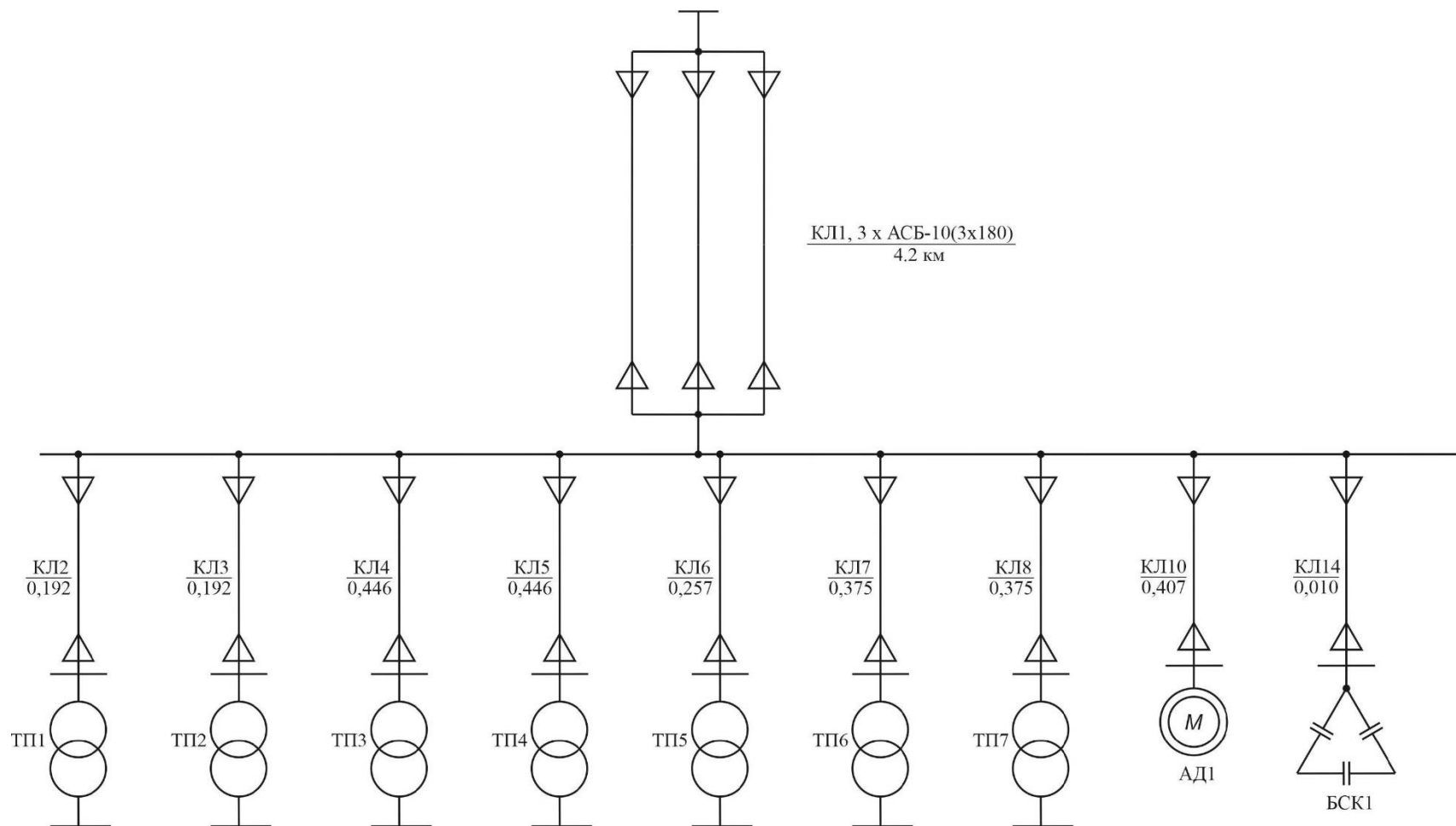


Рис. 6.1. Розрахункова схема

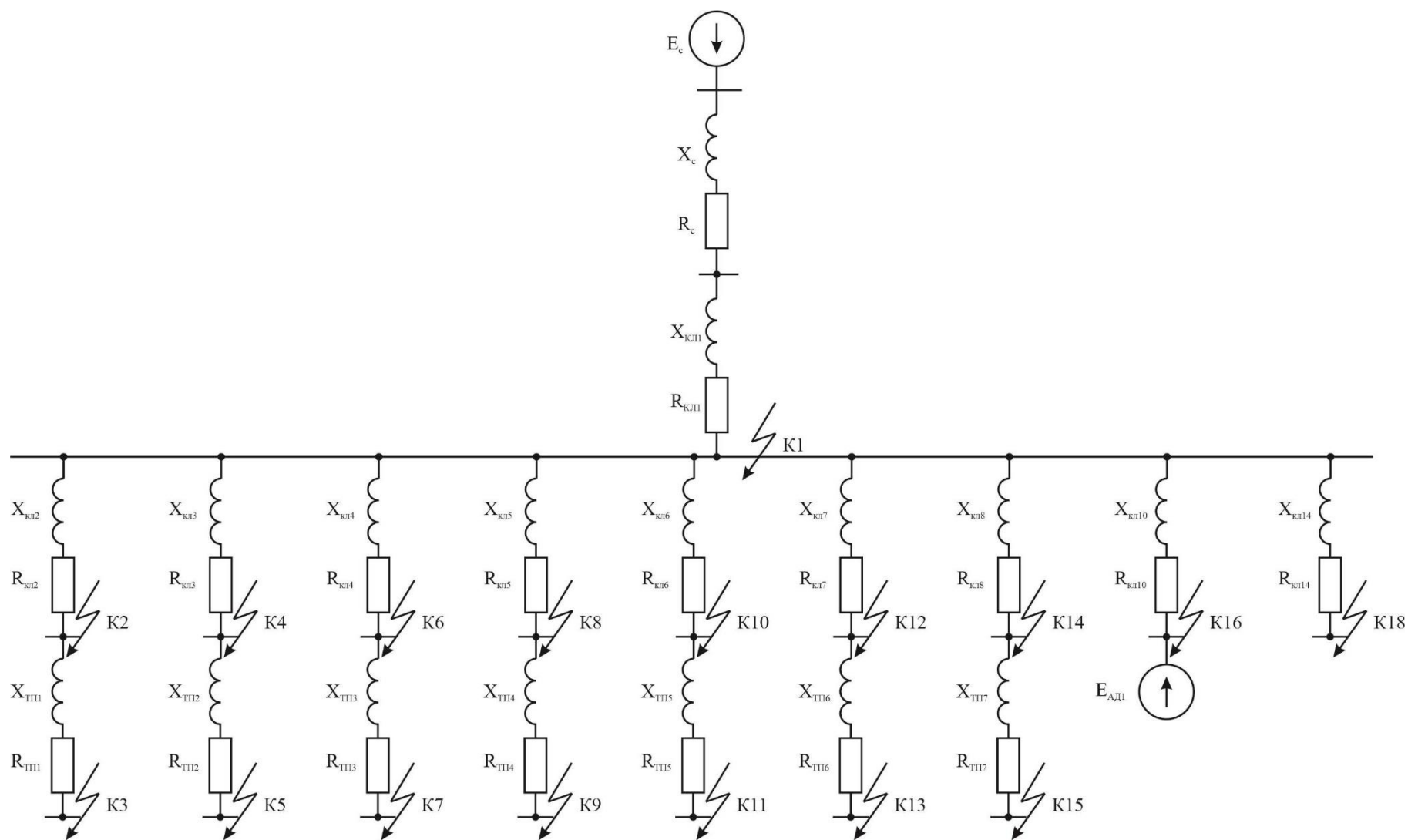


Рис. 6.2. Схема заміщення

Параметри струму к.з. в т. К1:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,244} = 4,87 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,213}{314 \cdot 0,278} = 0,0139 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0139}} = 1,487$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,487 \cdot 4,87 = 10,24 \text{ кА}$$

Струм підживлення від АД 10 кВ:

$$S_{ном.} = \frac{P_{ном.}}{\cos\varphi_{ном.} \cdot \eta} = \frac{0,72}{0,75 \cdot 0,92} = 1,043 \text{ МВА}$$

$$X_{АД} = \frac{1}{I_{пуск}} \frac{U_{cp.ном.}^2}{S_{ном.}} = \frac{10,5^2}{5,2 \cdot 1,043} = 20,33 \text{ Ом}$$

$$I''_{K1(АД)} = n_{АД} \frac{E_s \cdot U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}X_{АД}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 20,33} = 0,54 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1(АД)} = \sqrt{2}k_{y\partial(АД)}I''_{K1(АД)} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 0,54 = 1,3 \text{ кА}$$

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(АД)} = 4,87 + 0,54 = 5,41 \text{ кА}$$

						Ар.
						35

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(A\mathcal{I})} = 10,24 + 1,3 = 11,54 \text{ кА}$$

Параметри вибору КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{2240,8}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 61,61 \text{ А}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з. min} + T_a) = 5,41^2 (1,365 + 0,0139) = 40,36 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{40,36 \cdot 10^3} = 67,58 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70).

Опір КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,192 = 0,085 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,192 = 0,017 \text{ Ом}$$

Опори інших ліній наведено в табл. 6.1.

Параметри струму к.з. в т. К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,213 + 0,017 = 1,23 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,278 + 0,085 = 0,363 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,363^2 + 1,23^2} = 1,282 \text{ Ом}$$

						Ар.
						36

Таблиця 6.1. Розрахунок опорів КЛ

№	Протяжність l, км	Питомий акт. опір r0, Ом/км	Питомий реакт. опір x0, Ом/км	Акт. опір R, Ом	Реакт. опір X, Ом
1	4,25	0,169	0,078	0,237	0,109
2	0,194	0,448	0,087	0,086	0,017
3	0,195	0,448	0,087	0,086	0,017
4	0,451	0,448	0,087	0,2	0,038
5	0,451	0,448	0,087	0,2	0,038
6	0,26	0,448	0,087	0,115	0,022
7	0,38	0,448	0,087	0,168	0,032
8	0,38	0,448	0,087	0,168	0,032
41548	0,412	0,169	0,078	0,069	0,031
14-15	0,01	0,448	0,087	0,004	0,001

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,282} = 4,73 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,23}{314 \cdot 0,363} = 0,0108 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0108}} = 1,396$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,396 \cdot 4,73 = 9,34 \text{ кА}$$

Параметри струму к.з. в т. КЗ:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{6H}} \right)^2 = (1,23 + 3,79) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0073 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{6H}} \right)^2 = (0,363 + 0,5) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0013 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0013^2 + 0,0073^2} = 0,0074 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0074} = 31,21 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0073}{314 \cdot 0,0013} = 0,0179 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0179}} = 1,572$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,572 \cdot 31,21 = 69,38 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів к.з. в інших точках мережі наведено в табл. 6.2.

						Ар.
						38

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

№	Акт. опір R, Ом	Реакт. опір X, Ом	Струм Iк'', кА	Постійна часу Та, с	Ударний коэф. куд	Ударний струм іуд, кА
1	0,2810	1,2280	5,4800	0,0141	1,5060	11,6800
2	0,3670	1,2450	4,7900	0,0109	1,4130	9,4600
3	0,0013	0,0074	31,6000	0,0181	1,5920	70,2500
4	0,3670	1,2450	4,7900	0,0109	1,4130	9,4600
5	0,0013	0,0074	31,6000	0,0181	1,5920	70,2500
6	0,4820	1,2670	4,5900	0,0085	1,3200	8,4500
7	0,0014	0,0074	31,6000	0,0168	1,5660	69,1300
8	0,4820	1,2670	4,5900	0,0085	1,3200	8,4500
9	0,0014	0,0074	31,6000	0,0168	1,5660	69,1300
10	0,3970	1,2500	4,7400	0,0101	1,3850	9,1600
11	0,0013	0,0074	31,6000	0,0181	1,5920	70,2500
12	0,4490	1,2610	4,6500	0,0090	1,3420	8,7100
13	0,0014	0,0074	31,6000	0,0168	1,5660	69,1300
14	0,4490	1,2610	4,6500	0,0090	1,3420	8,7100
15	0,0014	0,0074	31,6000	0,0168	1,5660	69,1300
16	0,3500	1,2600	4,7500	0,0116	1,4370	9,5300
17	0,2850	1,2290	4,9200	0,0139	1,5010	10,3200

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Параметри вибору КЛ до ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{2240,8}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 61,61 \text{ А}$$

Обираємо ААШВ-10(3х70).

$$I_p = 61,61 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ А}$$

						Ар.
						39

$$I_{ас} = 123,22 \text{ A} \leq K_{an} \cdot K_n' \cdot I_{don} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ A}$$

$$B_{\kappa} = I_{Kl}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 5,41^2 (1,365 + 0,0139) = 40,36 \text{ KA}^2\text{c}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{40,36 \cdot 10^3} = 67,58 \text{ мм}^2$$

В табл. 6.3 наведено результати вибору КЛ.

						Ар.
						40

Таблиця .6.3. Вибір та перевірка перерізів кабельних ліній

№	nКЛ, шт	Spозр, МВА	Струм Ip, А	Струм Ip.ав., А	Тепл. імп. Вк, кА²с	Переріз Fmin, мм²	Марка КЛ	Струм Ідоп, А	Коеф. Кп	Кп·Ідоп, А	Коеф. Кап	Коеф. Кп'	Кап·Кп'·І доп, А
1	6	16796,16	153,93	307,85	40,84	68,39	6 х АСБ-10(3 х 185)	310	0,75	232,5	1,35	0,85	355,73
2	2	2267,69	62,35	124,7	40,84	68,39	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	2	2267,69	62,35	124,7	40,84	68,39	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
4	2	2271,03	62,44	124,88	40,84	68,39	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	1	1135,46	62,43	-	40,84	68,39	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
6	2	2520,28	69,29	138,58	40,84	68,39	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7	2	2267,79	62,35	124,7	40,84	68,39	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
8	2	2267,79	62,35	124,7	40,84	68,39	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
41548	1	728,64	40,07	-	40,84	68,39	1 х ААШВ-10(3х185)	310	1	310	-	-	-
14-15	1	1518	83,47	-	40,84	68,39	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Розрахункові параметри вибору ввідного вимикача наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача

Умова	Розрахункове значення	Каталожні дані
$U_{вст} \leq U_{ном}$	10	11
$I_{р.ф.} \leq I_{ном}$	969,67	1000
$I'' \leq I_{д.ст.}$	5,48	20
$i_{ат} \leq I_{ном.в.н.} \cdot \beta \tau$	0	11,31
$2I_{пт} + i_{ат} \leq 2I_{ном.в.н.}(1 + \beta)$	7,74	39,6
$I \leq I_{д.ст.}$	5,48	52
$i_y \leq 1,82I_{д.ст.}$	11,68	132,37
$B_k \leq I_{т.ном}^2 \cdot t_{т.ном}$	37,2	1200

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

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 5,41 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0139}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. \max} + T_a) = 5,41^2 (0,042 + 1,2 + 0,0139) = 36,76 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо ВР2-10-20/1000.

Інші вимикачі в схемі обираються аналогічно.

Для обмеження перенапруг обираємо ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схема приєднання ТВП до мережі наведена на рис. 6.3.

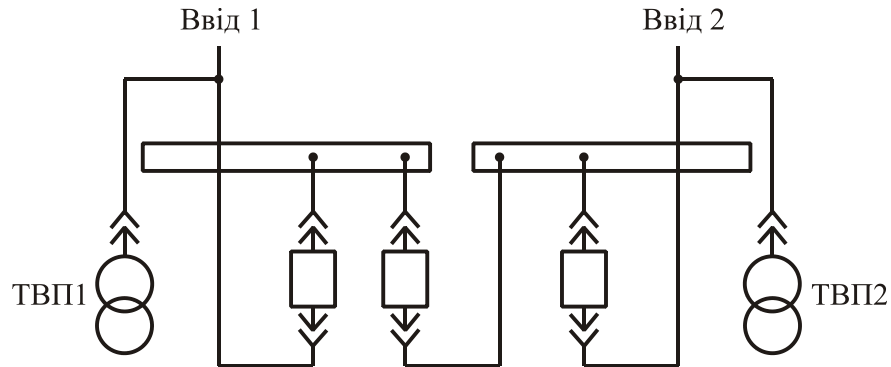


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП до мережі

Сумарне електр. навант. ТВП:

$$S_{\text{вст}} = \sqrt{P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2} = \sqrt{70,8^2 + 19^2} = 73,31 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{посп}} = K_{\text{п}} S_{\text{вст}} = 0,8 \cdot 73,31 = 58,65 \text{ кВА}$$

Обираємо ТМ-40/10.

$$K_{\text{заб}} = \frac{S_{\text{посп}}}{n_{\text{т}} S_{\text{н.т.}}} = \frac{58,65}{2 \cdot 40} = 0,73$$

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ СКЛАДУ

7.1. Архітектурно-технологічні особливості терміналів зберігання

Сучасні логістичні центри являють собою складні інженерно-технічні споруди, головна функція яких полягає у забезпеченні безперервного ланцюга постачання. До їхніх безпосередніх завдань входить безпечне вивантаження привезеної продукції, надійне збереження матеріальних цінностей протягом необхідного часу, а також сортування, комплектація замовлень і підготовка партій до фінального транспортування споживачам. Зазвичай інфраструктура подібних об'єктів не обмежується лише робочими ангарами. Вона обов'язково передбачає наявність офісних блоків для керівного та облікового персоналу, санітарно-побутових кімнат, а також технічних зон для обслуговування навантажувальної спецтехніки.

Організація внутрішнього простору безпосередньо залежить від обраного способу складування вантажів (варіанти наочно продемонстровано на рис. 7.1). Відповідно до актуальних стандартів складської логістики, виділяють наступні базові методики розміщення:

- безстелажне (підлогове) зберігання. У цьому випадку палети, ящики або негабаритні матеріали розташовуються прямо на промисловій підлозі, часто утворюючи багатоярусні штабелі. Такий підхід гарантує практично стовідсоткове заповнення корисної площі ангара. Проте він суттєво лімітує можливості раціонального використання вертикального простору будівлі та значно ускладнює оперативний доступ навантажувачів до нижніх ярусів товару.
- стелажне складування. Передбачає монтаж спеціальних багаторівневих металоконструкцій різноманітних типів (фронтальні, набивні, консольні чи гравітаційні). Впровадження подібних систем дозволяє максимально

ефективно задіяти весь кубатурний об'єм приміщення аж до перекриттів даху. Беззаперечною перевагою є можливість швидкого підходу техніки до будь-якої конкретної комірки без необхідності переміщення сусідніх вантажів.

- комбінований підхід. Поєднує елементи попередніх двох категорій, дозволяючи гнучко оптимізувати простір залежно від номенклатури. Наприклад, важкі деталі лежать внизу на підлозі, а дрібні запчастини сортуються по полицях вище.

Варто підкреслити, що обрана технологія розміщення безпосередньо диктує суворі вимоги до розрахунку майбутнього штучного освітлення. Наприклад, наявність високих металевих рядів створює ефект «глибокого колодязя» та сильні тіні у міжстелажних проїздах. Це вимагає застосування спеціалізованих лінійних світильників із вузьким кутом розсіювання світлового потоку. Натомість для відкритих підлогових зон найкраще підходять потужні джерела заливаючого світла типу «High Bay», які гарантують рівномірну видимість по всій відкритій території складу.

Підбір оптимального формату складування вантажів формується під впливом низки критичних обставин. До них належать фізико-хімічні властивості самих виробів, темпи руху товарних потоків, необхідна оперативність збирання заявок, архітектурні габарити ангара, а також технічні характеристики наявної спецтехніки. Крім того, сьогоденні логістичні хаби неможливо уявити без впровадження спеціалізованих програмних комплексів – WMS (Warehouse Management System). Такі цифрові рішення гарантують максимальну злагодженість етапів розвантаження, адресного сортування та фінальної видачі продукції споживачам.

Розподіл інфраструктурних терміналів на відповідні типи базується на комплексному аналізі їхніх базових характеристик. Експерти оцінюють загальне архітектурне виконання будівлі, рівень насиченості сучасними інженерними комунікаціями та сумарну корисну площу. Загальноприйнята світова практика, зафіксована у профільній нормативній базі [1, 2], передбачає чітку градацію таких

						Ар.
						45

приміщень на чотири фундаментальні категорії, яким традиційно присвоюють латинські літери:

- категорія «А»: Об'єднує інноваційні логістичні парки, збудовані за передовими технологіями. Вони володіють найсучаснішою автоматикою, високими стелями (понад 10 метрів), антипиловим покриттям ідеально рівної підлоги та розвиненою транспортною розв'язкою.
- категорія «В»: Солідні капітальні будівлі з базовою автоматизацією та дещо нижчими стелями (від 6 до 8 метрів). Часто це реконструйовані споруди, які пройшли якісну модернізацію.
- категорія «С»: Утеплені промислові ангари або капітальні цехи з асфальтованою чи бетонною підлогою без спеціального покриття. Кліматичний контроль тут зазвичай відсутній або зведений до мінімального опалення взимку.
- категорія «D»: Охоплює найпростіші, часто застарілі споруди (підвали, неопалювані ангари чи колишні сільськогосподарські будівлі), де інженерна складова зведена до абсолютного мінімуму.

Застосування цього літерного маркування суттєво полегшує діяльність девелоперів, орендарів та інвесторів. Це надійний орієнтир для формування адекватної орендної ставки та швидкого пошуку майданчика, який ідеально закрий потреби конкретного бізнесу. Приналежність до певної групи жорстко регламентує ключові параметри об'єкта: відстань від підлоги до ферм перекриття, несучу здатність перекриттів, наявність примусової вентиляції, встановлення спринклерних систем пожежогасіння та загальний потенціал для роботи роботизованого обладнання.

7.2 Принципи проєктування світлотехнічного обладнання для логістичних терміналів

Для закритих логістичних центрів традиційно обирають концепцію рівномірного загального заливаючого світла. Таке інженерне рішення полягає у фіксації джерел випромінювання на значному віддаленні від підлоги, під самою стелею чи фермами. При цьому обов'язково дотримуються суворо однакових дистанцій як між самими приладами в ряду, так і між сусідніми магістралями. Завдяки цій симетрії вдається практично повністю ліквідувати проблему виникнення глибоких тіней та «сліпих» ділянок поміж технологічним устаткуванням. Геометрія розташування ліній зазвичай прокладається паралельно, проте завжди базується на архітектурній специфіці ангара та конфігурації його внутрішніх просторів.

Останніми роками індустриальний стандарт неможливий без масового впровадження світлодіодних (LED) технологій. Вони генерують потужний та якісний потік світла за умови кардинально менших витрат електрики, якщо проводити паралель зі застарілими металогалогенними чи люмінесцентними аналогами. Глибока оптимізація споживання досягається шляхом інтеграції смарт-систем: детекторів руху, датчиків освітленості та сенсорів присутності. Завдяки розумній автоматизації рівень яскравості в певних секторах динамічно адаптується під поточну активність навантажувачів чи персоналу. Це робить експлуатацію всього комплексу максимально рентабельною.

У разі експлуатації багаторівневих стелажів діє жорстке правило: магістралі світильників підвішуються виключно вздовж центральної осі робочих проїздів [3, 5]. Водночас проєктувальники повинні враховувати специфічний фізичний нюанс: ступінь заповненості полиць товаром постійно змінюється. Напівпорожні або порожні металеві секції суттєво трансформують коефіцієнт відбиття світла у приміщенні, що може спровокувати локальне падіння нормативної освітленості. Цей фактор ризику обов'язково закладається в інженерні розрахунки на початковій стадії.

						Ар.
						47

Комплексний підхід до світлотехнічного розрахунку вимагає аналізу не лише топології полиць, але й максимальної висоти складування, специфіки щоденних маніпуляцій з вантажем та інтенсивності відвідування кожної ділянки. Там, де відбувається активне пакування замовлень, сортування дрібної номенклатури або перевірка якості товарів, загального фону недостатньо. Такі локації обов'язково посилюються місцевими джерелами з підвищеним рівнем інтенсивності. Стратегія грамотного зонування допомагає створити ідеальні ергономічні умови для зору працівників, водночас підтримуючи лише мінімальний черговий рівень світла у тих складських масивах, куди техніка заїжджає рідко.

Загальноприйняті нормативи не вимагають тотального оснащення кожної звичайної складської будівлі резервними джерелами світла, проте інженерна практика передбачає суворі обмеження та низку критичних винятків. Під час створення проєктної документації інженери зобов'язані скрупульозно аналізувати категорію пожежної та вибухової небезпеки ангара. Для приміщень, де зберігаються специфічні хімікати чи існує ризик утворення вибухонебезпечних повітряних сумішей, наявність безперебійного підсвічування є категоричною та безальтернативною вимогою. Раптове знеструмлення і наступна абсолютна темрява в таких специфічних умовах здатні спровокувати фатальні наслідки, адже персонал втрачає можливість візуального контролю за потенційно небезпечними процесами.

Що стосується масштабних логістичних терміналів, які відзначаються інтенсивним рухом навантажувальної спецтехніки та заплутаною геометрією проїздів, тут гостро постає питання безпеки людей. У таких комплексах обов'язково проєктується мережа евакуаційних вказівників та антипанічного підсвічування. Цікаво, що грамотно розрахована евакуаційна мережа здатна паралельно відігравати роль резервного живлення, дозволяючи операторам безпечно завершити розпочаті маніпуляції з вантажем та припаркувати техніку.

Актуальні вимоги охорони праці та оновлені державні будівельні норми (ДБН) все жорсткіше регламентують надійність таких систем. Найбільш розповсюдженим технічним рішенням на сьогодні є монтаж спеціалізованих

світильників, обладнаних індивідуальними акумуляторними батареями (АКБ) та інверторами. Ємність таких вбудованих накопичувачів розраховується таким чином, щоб гарантувати стабільне генерування світлового потоку протягом однієї-трьох годин з моменту аварії на трансформаторній підстанції.

Величезним технологічним проривом у цій сфері стало масове впровадження світлодіодних (LED) кристалів. Їхня безпрецедентна енергетична ефективність дозволяє в кілька разів подовжити тривалість роботи від батареї, зберігаючи при цьому мініатюрні габарити самих блоків живлення, які легко монтуються у стандартні корпуси. Крім того, передовим трендом сучасної промислової інженерії є глибока програмна синхронізація автономного освітлення із загальнозаводськими комплексами диспетчеризації. Миттєве включення резервних ламп, синхронізоване із запуском пожежної автоматики та голосового оповіщення, гарантує максимально швидке, безпанічне та організоване виведення працівників за межі небезпечної зони у разі виникнення будь-яких форс-мажорів.

Чинна нормативно-технічна база не забороняє використовувати в логістичних комплексах застарілі генератори світла, зокрема газорозрядні моделі чи класичні лампи розжарювання. Втім, зважаючи на гостру необхідність глобального зменшення витрат електроенергії, пріоритетним напрямком у сучасному проектуванні є тотальний перехід на світлодіодні (LED) технології. Впровадження надійних напівпровідникових рішень виводить загальну ефективність інфраструктури на принципово новий рівень.

Експлуатація твердотільних світлових пристроїв забезпечує власникам бізнесу цілий спектр беззаперечних переваг:

- Максимальна енергетична ефективність: світлодіоди здатні генерувати набагато інтенсивніший потік фотонів на кожен спожиту одиницю потужності, залишаючи далеко позаду всі попередні покоління ламп.
- Гігантський експлуатаційний ресурс: робочий потенціал якісного кристала вимірюється десятками тисяч годин безперервного світіння, що кардинально знижує частоту ремонтних робіт на великій висоті.
- Мінімізація сервісних витрат: ергономіка сучасних корпусів, поєднана з

високим ступенем захисту від пилу та вологи (зазвичай IP65 і вище), робить такі прилади практично необслуговуваними.

- Стабільність фотометричних показників: матриці не схильні до швидкого "вигорання" або втрати яскравості. Навіть через кілька років активної роботи рівень освітленості в ангарі залишатиметься в межах норми.
- Високий рівень візуального комфорту: наявність високочастотних драйверів живлення повністю ліквідує шкідливий стробоскопічний ефект (непомітне пульсування). Це гарантує відсутність зорової втоми у працівників, що особливо важливо під час читання маркування чи роботи зі сканерами штрих-кодів.
- Абсолютна екологічна безпека: у структурі світлодіода немає колб із парами ртуті, токсичних газів чи важких металів. Відповідно, підприємство уникає жорстких бюрократичних процедур та додаткових фінансових витрат, пов'язаних зі спеціалізованою утилізацією небезпечних відходів.

7.3. Математичне моделювання та обчислення світлотехнічних характеристик логістичного термінала

Базовою величиною під час виконання інженерних обчислень виступає інтегральний індекс U . Його фізичний зміст розкривається шляхом перемноження двох фундаментальних складових: оптичної ефективності самого випромінювача (позначається як η_c) та загального просторового показника будівлі. Відповідно, базова залежність набуває такого вигляду:

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

Точне знаходження цієї величини має критичне значення для всього алгоритму проєктування. Від коректно розрахованого числа U напряду залежить фінальна кількість замовлених світильників, здатних гарантувати досягнення нормативної яскравості в робочих зонах. Як наслідок, цей параметр

						Ар.
						50

фундаментально визначає загальну встановлену потужність електричної мережі та підсумкову економічну рентабельність об'єкта.

Якщо детально розглядати кожен складову, то оптичний ККД приладу демонструє пропорцію між реально випроміненим назовні світлом та сумарним номінальним потоком від внутрішніх генеруючих елементів. Своєю чергою, індекс ефективності ангара η_n акумулює в собі складний комплекс архітектурних даних. Сюди входить просторова геометрія будівлі (так званий індекс приміщення), а також здатність будівельних матеріалів (стін, перекриттів, підлоги) відбивати промені.

Сучасна промислова інженерія базується на масовому застосуванні LED-технологій. Їхня головна конструктивна відмінність полягає у відсутності внутрішніх оптичних втрат, оскільки матриця інтегрована в корпус і спрямована безпосередньо в освітлюваний простір. Завдяки такій інженерній специфіці, оптичний ККД напівпровідникового генератора завжди приймається за абсолютну одиницю ($\eta_c = 1$). З огляду на зазначений фізичний факт, кінцева розрахункова рівність максимально спрощується:

$$U = \eta_n$$

Базовим завданням інженерного розрахунку системи штучного освітлення логістичного комплексу є визначення оптимальної потужності та кількості світлових приладів, які здатні гарантувати нормативні показники видимості у робочих зонах. Залежно від конфігурації складського простору (наявності висотних стелажів, відкритих майданчиків для сортування тощо), застосовують різні методики математичного моделювання просторового розподілу світла.

Метод коефіцієнта використання світлового потоку. Цей алгоритм є фундаментальним для проектування загального заливаючого освітлення у приміщеннях з рівномірним розподілом робочих зон (наприклад, у зонах підлогового зберігання вантажів або на ділянках комплектації). Метод базується на визначенні сумарного світлового потоку, необхідного для створення заданої

						Ар.
						51

освітленості на певній горизонтальній площині, враховуючи відбиті промені від огорожувальних конструкцій.

Головне розрахункове рівняння для пошуку необхідного світлового потоку одного світильника Φ (вимірюється в люменах, лм) має такий вигляд:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot U}$$

де E_n – мінімально допустима нормативна освітленість для конкретного типу складських робіт (лк);

S – загальна площа підлоги логістичного термінала або його окремого сектору (м²);

K_z – експлуатаційний коефіцієнт запасу, який нівелює майбутнє зниження яскравості через деградацію LED-кристалів та осідання промислового пилу на оптичних лінзах (зазвичай приймається в межах 1.2–1.5);

Z – показник нерівномірності освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної, для діодних систем дорівнює близько 1.1–1.15);

N – сумарна кількість запланованих до монтажу освітлювальних приладів;

U – інтегральний коефіцієнт використання, що визначається за спеціальними світлотехнічними таблицями.

Для правильного знаходження величини U необхідно попередньо обчислити геометричний індекс приміщення i . Цей параметр описує просторові пропорції ангара:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}$$

де A та B – відповідно довжина та ширина складського приміщення (м);

h_r – розрахункова висота підвісу випромінювача над робочою поверхнею (м).

						Ар.
						52

Сама розрахункова висота H_p обчислюється як різниця між загальною висотою будівлі H , довжиною монтажного підвісу h_c та рівнем робочої поверхні h_r (для підлогового складу $h_r = 0$):

$$H_p = H - h_c - h_r$$

Після вибору конкретної моделі світильника з каталогу виробника (який має стандартний потік Φ_{cat}) проводиться обов'язкова перевірка відхилення реальної освітленості від нормативної. Умова вважається виконаною, якщо похибка ΔE лежить у межах від -10% до +20%:

$$\Delta E = \frac{\Phi_{cat} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%$$

Точковий метод просторового розрахунку. У випадках, коли склад обладнано багатоярусними стелажними масивами, метод коефіцієнта використання дає значну похибку, оскільки металеві конструкції екранують світло. Для вузьких міжстелажних проїздів застосовують точковий метод. Він дозволяє обчислити значення освітленості в будь-якій конкретній точці простору (як на підлозі, так і на вертикальних площинах полиць), куди падає пряме світло від найближчих генераторів.

Значення горизонтальної освітленості E_h від одного точкового джерела в заданій координаті визначається за законом зворотних квадратів:

$$E_h = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{H_p^2} \cdot K_z$$

де I_α – сила світла в напрямку розрахункової точки (кд), яка знімається з фотометричної кривої (кривої сили світла – КСС) обраного приладу;

α – просторовий кут між вертикальною віссю світильника та вектором напрямку на розрахункову точку (градуси).

						Ар.
						53

Для складів надзвичайно важливою є вертикальна освітленість E_v на фасадах стелажів (щоб працівники могли чітко бачити штрих-коди на верхніх ярусах). Вона розраховується за трансформованою формулою:

$$E_v = \frac{I_\alpha \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{H_p^2} \cdot K_z$$

Якщо в певну точку простору потрапляють промені від кількох сусідніх лінійних ламп, підсумкова освітленість знаходиться за принципом суперпозиції (алгебраїчного додавання):

$$E_\Sigma = \sum_{j=1}^n E_j$$

Енергетична оцінка за методом питомої потужності. На етапі попереднього техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) або для швидкої перевірки коректності складних комп'ютерних симуляцій часто використовують наближений метод питомої потужності. Цей підхід дозволяє миттєво оцінити загальне енергоспоживання об'єкта.

Нормативна питома потужність P_{sp} (Вт/м²) є довідковою величиною, яка залежить від типу ламп, необхідної освітленості та індексу приміщення. Сумарна електрична потужність освітлювальної установки P_Σ розраховується як:

$$P_\Sigma = P_{sp} \cdot S$$

Відповідно, орієнтовна кількість світильників N , необхідна для освітлення площі, становить:

$$N = \frac{P_{\Sigma}}{P_{lamp}}$$

де P_{lamp} – споживана електрична потужність одного обраного напівпровідникового приладу (Вт).

Використання вищезазначеного математичного апарату у комплексі гарантує створення безпомилкової, економічно обґрунтованої та надійної інфраструктури, яка повністю відповідатиме актуальним європейським та національним вимогам до умов праці на логістичних підприємствах.

Підбір номінальної потужності одного світильника (P_l) є класичною задачею інженерної оптимізації. Цей параметр не розглядається ізольовано, адже він безпосередньо корелює з кількістю точок підвісу, загальною енергоємністю мережі та якістю розподілу світла.

Збільшення потужності окремого приладу дозволяє пропорційно зменшити їх загальну кількість. Це суттєво економить капітальні інвестиції на закупівлю кабельно-провідникової продукції, лотків та оплати монтажних робіт. Проте, надмірне використання надпотужних прожекторів може призвести до появи сліпучого ефекту (дискомфортної блискості) та погіршення рівномірності освітлення (утворення темних зон між джерелами світла).

Ключовим показником енергетичної ефективності будь-якого напівпровідникового джерела є **його світлова віддача** (H_v), яка показує, скільки люменів генерується на кожен спожитий ват активної потужності:

$$H_v = \frac{\Phi_l}{P_l}$$

де Φ_l – номінальний світловий потік одного світильника (лм);

P_l – його електрична потужність (Вт).

Загальна кількість необхідних освітлювальних приладів (N) для конкретного

						Ар.
						55

приміщення перебуває у зворотній залежності від потужності та світлової віддачі обраного обладнання. Цю залежність можна виразити через базове рівняння світлового потоку:

$$N = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi_l} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{U \cdot H_v \cdot P_l}$$

де Φ_{Σ} – сумарний розрахунковий світловий потік (лм), необхідний для забезпечення нормативного рівня освітленості E_n на площі S , з урахуванням коефіцієнтів запасу (K_z), нерівномірності (Z) та використання (U).

Після визначення кількості ламп, обчислюється сумарна встановлена потужність освітлювальної установки (P_{inst}), яка стане основою для вибору перерізу живильних кабелів та номіналів захисних автоматів:

$$P_{inst} = N \cdot P_l$$

Практичний приклад оптимізаційного обчислення наведено нижче.

Вихідні дані: необхідно спроектувати освітлення для зони підлогового зберігання площею $S = 1000 \text{ м}^2$. Нормативна освітленість $E_n = 200 \text{ лк}$. Експлуатаційний коефіцієнт запасу $K_z = 1.4$, показник нерівномірності $Z = 1.1$. Розрахунковий коефіцієнт використання приміщення $U = 0.55$.

Крок 1. Визначення сумарного необхідного світлового потоку:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 1000 \cdot 1.4 \cdot 1.1}{0.55} = 560000 \text{ лм}$$

Крок 2. Порівняння двох варіантів LED-світильників різної потужності:

Варіант А (Базова потужність): Світильник $P_{\text{л}}=100$ Вт. Заявлена виробником світлова віддача становить $H_{\text{в1}} = 140$ лм/Вт.

- Потік одного приладу: $\Phi_{l1} = 100 \cdot 140 = 14\,000$ лм.
- Необхідна кількість: $N_1 = \frac{560\,000}{14\,000} = 40$ штук.
- Загальна встановлена потужність: $P_{inst1} = 40 \cdot 100 = 4\,000$ Вт = 4.0 кВт.

Варіант Б (Підвищена потужність): Світильник $P_{l2} = 200$ Вт. Завдяки кращій матриці світлова віддача вища: $H_{v2} = 150$ лм/Вт.

- Потік одного приладу:

$$\Phi_{l2} = 200 \cdot 150 = 30\,000 \text{ лм.}$$

- Необхідна кількість:

$$N_2 = \frac{560\,000}{30\,000} \approx 18.66 \rightarrow \text{приймаємо } 19 \text{ штук.}$$

- Загальна встановлена потужність:

$$P_{inst2} = 19 \cdot 200 = 3\,800 \text{ Вт} = 3.8 \text{ кВт.}$$

Застосування світильників більшої потужності (Варіант Б) є технічно доцільнішим. Воно дозволяє не лише скоротити кількість монтажних точок більш ніж удвічі (з 40 до 19 одиниць), що радикально зменшить кошторис на інсталяцію, але й забезпечує додаткову економію електроенергії (3.8 кВт замість 4.0 кВт) за рахунок вищої ефективності самих світлодіодних кристалів.

Результати проведеного комплексного моделювання просторового розподілу світла зведено у відповідну матрицю даних. Нижче наочно продемонстровано залежність ключових технічних та економічних параметрів електромережі від вибору номінальної потужності одного LED-генератора (30, 40 або 50 Вт), а також від конфігурації кривої сили світла (КСС).

Таблиця 7.1. Підсумки світлотехнічного розрахунку залежно від характеристик випромінювачів

Тип КСС	Характеристика	Варіант 1 (30 Вт)	Варіант 2 (40 Вт)	Варіант 3 (50 Вт)
К (Концентрована)	Необхідна кількість приладів, шт.	34	25	20
	Фактична розрахункова освітленість, лк	76,1	74,6	74,6
	Сумарна встановлена потужність, кВт	1,02	1	1
Г (Глибока)	Необхідна кількість приладів, шт.	36	27	22
	Фактична розрахункова освітленість, лк	74,1	74,1	75,4
	Сумарна встановлена потужність, кВт	1,08	1,08	1,1
Л (Напівширока)	Необхідна кількість приладів, шт.	46	34	28
	Фактична розрахункова освітленість, лк	75,1	74	76,2
	Сумарна встановлена потужність, кВт	1,38	1,36	1,4

Детальний розгляд зведених у таблиці 7.1 обчислень дозволяє зробити кілька важливих інженерних висновків щодо оптимізації проєктного рішення:

1. Вплив оптики (КСС): Найвищу енергетичну ефективність для заданого складського приміщення демонструють світильники з концентрованою (К) кривою сили світла. Їх застосування гарантує досягнення нормативної освітленості (~75 лк) при найменшому загальному споживанні електроенергії (близько 1,0 кВт). Натомість використання напівширокої оптики (Л) є економічно недоцільним, оскільки вимагає встановлення більшої кількості ламп та призводить до збільшення загального навантаження на мережу майже на 35-40% (до 1,4 кВт).

2. Вплив одиничної потужності: Збільшення номіналу одного приладу з 30 Вт до 50 Вт є технічно обґрунтованим кроком. Хоча сумарне споживання струму

(у розрізі однієї КСС) залишається практично незмінним, кількість фізичних точок підвісу скорочується майже вдвічі (наприклад, з 34 до 20 штук для концентрованої кривої). Таке рішення дозволить суттєво мінімізувати капітальні витрати на закупівлю кабельно-провідникової продукції, металевих лотків, а також значно здешевить монтажні роботи на висоті.

Окремої уваги під час проєктування заслуговує застосування світлотехнічного обладнання, яке має косинусну фотометричну діаграму (у нормативній документації маркується літерою «Д»). Така специфічна конфігурація вторинної оптики формує надзвичайно м'яке та об'ємне розсіювання променів. Завдяки цій властивості вдається досягти ідеально рівномірної видимості по всій площі логістичного центру, успішно долаючи проблему утворення глибоких тіней поміж масивними багатоярусними конструкціями для зберігання вантажів.

Як базовий генеруючий елемент спроектованої мережі обрано промислові напівпровідникові прилади серії ДСП77В. Зазначена лінійка апаратури вирізняється безпрецедентним рівнем оптичної ефективності та феноменальним робочим ресурсом. Завод-виробник декларує здатність кристалів безперебійно функціонувати в межах від п'ятдесяти до ста тисяч годин. Крім того, перехід на ці LED-модулі радикально скорочує майбутні фінансові витрати на сервісне обслуговування. Власникам складу більше не доведеться регулярно наймати висотні підйомники для заміни перегорілих колб, що було типовою проблемою застарілих газорозрядних систем.

Спираючись на результати проведеного математичного моделювання, можна впевнено констатувати високу ефективність розробленого рішення. Фіксація сумарного електричного навантаження освітлювальної установки на позначці рівно 1,0 кВт дозволяє повністю задовольнити суворі санітарні вимоги щодо рівня освітленості. При цьому така конфігурація демонструє еталонні показники раціонального споживання дефіцитних енергетичних ресурсів підприємства.

Щоб створити надійну систему базового підсвічування всередині логістичного термінала, проєктом передбачається інтеграція індустріальних світлодіодних пристроїв маркування ДСП77В. Дане технічне рішення спирається

						Ар.
						59

на чудові експлуатаційні якості цієї спеціалізованої лінійки. Завдяки масивному радіатору з алюмінієвого сплаву, такі апарати ефективно відводять надлишкове тепло від робочих LED-матриць. Це запобігає температурному пробою кристалів і гарантує відсутність деградації світлового потоку впродовж багатьох років інтенсивної експлуатації. Крім того, герметичне виконання корпусу надійно ізолює чутливу електроніку від складського пилу та вологості.

Вичерпну інформацію про просторову будову обраного генератора світла, конфігурацію його внутрішніх вузлів та способи кріплення винесено в окремий візуальний блок. Додатково, у кресленнях та схемах, що формують ілюстративну частину цієї кваліфікаційної роботи, наочно продемонстровано фотометричну діаграму (графік просторового розподілу сили світла) для спорідненої моделі ДСП37В. Детальний аналіз цих графічних додатків дає змогу членам комісії глибоко оцінити закономірності розповсюдження променів у просторі ангара та зрозуміти специфіку майбутніх висотних монтажних робіт.

7.4. Програмна симуляція електроосвітлення в DIALux

Класичні ручні алгоритми проєктування (зокрема, популярний метод коефіцієнта використання) характеризуються певними інженерними обмеженнями. Їх застосування стає математично некоректним у випадках, коли просторовий індекс будівлі виходить за регламентовані межі (від 0,5 до 6). Окрім цього, наявність специфічного технологічного устаткування чи висотних стелажів вимагає побудови складної тривимірної моделі розподілу променів. Зважаючи на ці фактори, для фінальної верифікації аналітичних розрахунків було прийнято рішення задіяти спеціалізований світлотехнічний програмний комплекс DIALux.

На першому етапі комп'ютерного моделювання була створена точна цифрова копія головного складського ангара. Базовим завданням цього експерименту стало проведення глибокого порівняльного аналізу трьох конфігурацій вторинної оптики: напівширокої (Л), глибокої (Г) та концентрованої (К). Для реалізації

						Ар.
						60

сценарію у віртуальному просторі було розставлено двадцять напівпровідникових випромінювачів серії ДСП77В. Подібний цифровий тест дозволяє безпомилково ідентифікувати найоптимальніший варіант лінзи, зважаючи на заплановану висоту монтажу трас та фактичну топологію розміщення вантажів.

Підсумкові фотометричні показники, згенеровані програмою після рендерингу сцени, наведені в графічних матеріалах роботи.

7.5. Електротехнічний розрахунок параметрів мережі системи освітлення

Постачання електричної енергії до змонтованих генераторів світла реалізовуватиметься завдяки спроектованій кабельній інфраструктурі. Головною точкою підключення цієї магістралі слугуватиме ввідно-розподільний пристрій (ВРП) логістичного центру.

Топологія електричної схеми базується на застосуванні чотирьох локальних групових вузлів, які просторово рознесені по будівлі для мінімізації втрат напруги:

- Нижній ярус (перший поверх): Заплановано монтаж двох апаратних шаф базового підсвічування, які у проєктній документації маркуються як ЩО1 та ЩРК.
- Верхній ярус (другий поверх): Обслуговуватиметься окремою розподільною панеллю ЩО2.
- Система безпеки: Інженерний план обов'язково включає встановлення незалежного щитка резервного та евакуаційного освітлення (ЩАО), який функціонуватиме окремо від робочих магістралей.

Особливості кабельного маршрутизації

Живлення безпосередньо до світлодіодних приладів підводитиметься через силові провідники ВВГнг. Використання виключно трижильного мідного виконання (розподіл на фазу, робочий нуль N та захисний РЕ-провідник) гарантує безперебійну подачу струму та створює надійний контур заземлення металевих корпусів апаратури. Такий підхід повністю відповідає жорстким правилам

						Ар.
						61

улаштування електроустановок (ПУЕ) щодо систем заземлення типу TN-S або TN-C-S.

Своєю чергою, транспортування потужності від головного ВРП до згаданих вище локальних шаф (ЩАО, ЩО1, ЩО2, ЩРК) здійснюватиметься за повноцінною трифазною схемою. Для цих магістралей обрано аналогічну мідну продукцію марки ВВГнг, проте вже з п'ятьма струмопровідними жилами (три фази, нейтраль та лінія заземлення). Важливо підкреслити, що індекс «нг» в аббревіатурі означає застосування спеціального полівінілхлоридного пластикату, який не підтримує горіння під час групового прокладання в лотках – це критично важлива вимога пожежної безпеки для закритих складських комплексів.

Наступний етап пояснювальної записки присвячено детальному математичному обчисленню перерізів провідників, перевірці їх на втрату напруги та підбору номіналів захисної автоматики. Демонстрацію цих обчислювальних алгоритмів буде проведено на прикладі двох ключових розподільних вузлів об'єкта – освітлювальних панелей ЩО1 та ЩО2.

Розрахункова схема мережі наведена в графічних матеріалах до роботи.

Проектування живильної мережі базується на параметрах раніше обраних світлодіодних приладів ДСП77В. Номінальна споживана потужність одного випромінювача становить 50 Вт. Оскільки напівпровідникова апаратура оснащена сучасними електронними драйверами (імпульсними блоками живлення), коефіцієнт потужності приймається на високому рівні: $\cos \varphi = 0,95$. Коефіцієнт попиту для загального освітлення складських ангарів, згідно з нормативними документами, становить $K_{pop} = 1,0$.

Електропостачання здійснюється від трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Для локального розподільного щита ЩО1 (перший поверх) проектом передбачено живлення 60 світильників. З метою рівномірного завантаження фаз (А, В, С), всі освітлювальні прилади розділено на 6 однофазних групових ліній (по 2 групи на кожен фазу). Відповідно, кожна магістраль живить рівно 10 генераторів світла.

						Ар.
						62

Активна розрахункова потужність однієї групової лінії P_{gr} (кВт) обчислюється за формулою:

$$P_{gr} = n \cdot P_l \cdot K_{пор}$$

де n – кількість приладів у групі (10 шт.); P_l – потужність одного світильника (0,05 кВт).

$$P_{gr} = 10 \cdot 0,05 \cdot 1,0 = 0,5 \text{ кВт}$$

Розрахунковий струм I_{gr} (А) в однофазній груповій мережі (напруга $U_f = 220 \text{ В}$) знаходимо як:

$$I_{gr} = \frac{P_{gr}}{U_f \cdot \cos \varphi}$$

$$I_{gr} = \frac{0,5 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,95} = 2,39 \text{ А}$$

Сумарна активна потужність всього щита ЩО1 становитиме:

$$P_{sh1} = N_{\Sigma} \cdot P_l = 60 \cdot 0,05 = 3,0 \text{ кВт}$$

Загальний ввідний трифазний струм для панелі ЩО1 ($U_l = 380 \text{ В}$) дорівнює:

$$I_{sh1} = \frac{P_{sh1}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \varphi}$$

$$I_{sh1} = \frac{3,0 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,95} = 4,8 \text{ А}$$

Відповідно до вимог ПУЕ, мінімально допустимий переріз мідних провідників для стаціонарних освітлювальних проводок становить 1,5 мм². Вибираємо для прокладання групових ліній кабель марки ВВГнг 3х1,5 (де три жили: фаза, нуль N та захисний PE -провідник).

						Ар.
						63

Тривало допустимий струм навантаження для такого кабелю під час прокладання у повітрі (в металевих лотках) становить $I_{dop} = 19$ А. Оскільки фактичний розрахунковий струм групи (2,39 А) значно менший за допустимий, умова термічної стійкості до нагріву виконується з величезним запасом: $2,39 \text{ А} < 19 \text{ А}$.

Для живлення самого щита ЩО1 від головного ВРП обираємо п'ятижильний кабель ВВГнг 5х2,5 ($I_{dop} = 25$ А). Умова нагріву ввідного фідера також успішно виконується: $4,8 \text{ А} < 25 \text{ А}$.

Вирішальним етапом проєктування протяжних складських мереж є перевірка обраних перерізів на втрату напруги. Якщо падіння напруги перевищить допустимі норми, світлодіодні драйвери можуть працювати нестабільно, що призведе до пульсації світла. Згідно з державними стандартами, сумарна втрата напруги від трансформаторної підстанції до найбільш віддаленого світильника не повинна перевищувати 5%.

Оскільки навантаження (світильники) розподілені вздовж кабельної лінії рівномірно, обчислення найзручніше виконувати за інженерним методом моментів навантаження. Відносне падіння напруги ΔU (%) визначається за залежністю:

$$\Delta U = \frac{M}{C \cdot S}$$

де M – електричний момент навантаження (кВт·м);

C – довідковий коефіцієнт, який залежить від матеріалу провідника та конфігурації мережі. Для мідних жил у трифазній мережі 380 В (з нулем) він дорівнює 77, а для однофазної 220 В становить 12,8;

S – площа поперечного перерізу жили, мм².

Момент навантаження для лінії з рівномірно розподіленими світильниками знаходиться як добуток сумарної потужності групи на відстань від щитка до «електричного центру» навантаження (середини ділянки з лампами):

$$M_{gr} = P_{gr} \cdot L_{ec}$$

Розрахуємо втрати для найбільш критичної (найдовшої) групової лінії №6 від щита ЩО1. Довжина траси від щитка до першого світильника становить 25 м. Далі 10 світильників змонтовані з кроком 3 метри (довжина ділянки з лампами $L_d = 27$ м).

Відстань до електричного центру складе:

$$L_{ec} = 25 + \frac{27}{2} = 38,5 \text{ м}$$

Момент навантаження найбільш віддаленої однофазної групи:

$$M_{gr6} = 0,5 \cdot 38,5 = 19,25 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Відповідно, втрата напруги у цій груповій лінії перерізом 1,5 мм² дорівнюватиме:

$$\Delta U_{gr} = \frac{19,25}{12,8 \cdot 1,5} = 1,00\%$$

Наступним кроком визначимо падіння напруги у живильному трифазному кабелі від ВРП до самого щита ЩО1. Фактична довжина цієї магістралі згідно з архітектурним планом становить $L_{vvd} = 55$ м.

Момент трифазного навантаження ($P_{sh1} = 3,0$ кВт):

$$M_{vvd} = 3,0 \cdot 55 = 165 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Втрата напруги у трифазному фідері перерізом 2,5 мм² (коефіцієнт $C = 77$):

						Ар.
						65

						Ap.
						66

Аналогічний комплекс математичних обчислень був проведений для щита робочого освітлення другого поверху (ЩО2), до якого підключено 40 світильників (розбитих на 4 групи). Щоб уникнути дублювання однотипних рівнянь, підсумкові електротехнічні параметри обох розподільних вузлів та обрані марки апаратури згруповано у зведеній таблиці 7.3.

Таблиця 7.3. Електротехнічні параметри щитів освітлення логістичного комплексу

Параметр мережі	Щит першого поверху (ЩО1)	Щит другого поверху (ЩО2)
Кількість підключених світильників, шт.	60	40
Кількість групових ліній, шт.	6	4
Сумарна встановлена потужність, кВт	3	2
Розрахунковий струм вводу, А	4,8	3,2
Переріз ввідного кабелю (ВВГнг), мм ²	5x2,5	5x2,5
Довжина ввідної магістралі від ВРП, м	55	85
Максимальний момент навантаження групи, кВт·м	19,25	16,5
Сумарна втрата напруги до кінця лінії (ΔU_{Σ}), %	1,85	1,74
Номінал ввідного автоматичного вимикача, А	16 (3-полюсний, х-ка С)	16 (3-полюсний, х-ка С)
Номінал групових автоматичних вимикачів, А	10 (1-полюсні, х-ка С)	10 (1-полюсні, х-ка С)

Проведені розрахунки беззаперечно доводять, що спроектована топологія кабельних ліній має значний запас міцності. Використання сучасного LED-обладнання генерує настільки низькі струмові навантаження, що дозволяє застосовувати кабелі мінімально дозволених перерізів, що зі свого боку суттєво мінімізує бюджет на побудову всієї інженерної інфраструктури об'єкта.

ВИСНОВКИ

У представленому кваліфікаційному проєкті успішно вирішено актуальне інженерне завдання щодо розробки надійної, безпечної та економічно вигідної системи електропостачання для сучасного заводу, який виготовляє електротехнічну апаратуру високих класів напруги. Враховуючи високу відповідальність об'єкта, головним орієнтиром під час проєктування було гарантування безперервності технологічних циклів та зведення до мінімуму будь-яких ризиків аварійних знеструмлень.

Для досягнення поставленої мети був проведений глибокий та всебічний комплекс обчислювальних робіт, який охопив наступні етапи:

- точне зведення розрахункових електричних навантажень по всіх цехах, спираючись на сучасні методики обчислень та враховуючи специфічні особливості верстатного парку і надчутливих випробувальних лабораторій підприємства.
- детальне моделювання добових та річних графіків споживання, що дало змогу виявити пікові години навантаження на трансформаторні підстанції та запропонувати ефективні заходи з їх вирівнювання.
- розв'язання проблеми компенсації реактивної потужності: розраховано необхідну ємність конденсаторних установок для підвищення загального коефіцієнта потужності, що дозволить суттєво знизити технічні втрати у мережах та уникнути штрафів від постачальника.
- ретельний аналіз струмів короткого замикання (симетричних та несиметричних) у ключових точках спроектованої мережі, результати якого стали базою для перевірки обладнання та майбутнього налаштування систем релейного захисту.

Базуючись на результатах математичного моделювання, виконано техніко-економічне обґрунтування вибору основного силового устаткування. Було коректно підібрано потужність головних знижувальних трансформаторів, перерізи кабельних магістралей, а також комутаційну апаратуру. Кожен елемент

						Ар.
						68

схеми пройшов жорстку перевірку на термічну та динамічну стійкість до аварійних струмів.

Підсумовуючи, варто зазначити, що запропонована в роботі електроенергетична інфраструктура має гнучку конфігурацію, стовідсотково задовольняє чинні нормативні вимоги (ПУЕ) та відповідає найвищим стандартам енергоефективності. Її впровадження гарантуватиме стабільний випуск конкурентоздатної продукції без ризиків виробничого браку.

						Ар.
						69

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.