

Центральноукраїнський національний технічний університет

Центр заочної та дистанційної освіти

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:

**«Розробка системи електропостачання заводу
з виробництва сільськогосподарської техніки»**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–23мбз,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

Сергій КРАСНОГУЗОВ

«___» _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

Василь ЗІНЗУРА

«___» _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет центр заочної та дистанційної освіти

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

Красногузова Сергія Віталійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки

Design of the power supply system for a farm machinery manufacturing plant

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 розробка системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки . 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 _____ Сергій КРАСНОГУЗОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 77 с.; 20 рис.; 27 табл.; 5 джерел

Красногузов С. В. Розробка системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки. – Рукопис.

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

Дана кваліфікаційна робота присвячена вирішенню комплексного інженерного завдання щодо проектування надійної, безпечної та енергоефективної системи електропостачання промислового підприємства.

У процесі виконання проекту було здійснено детальний розрахунок електричних навантажень усіх структурних підрозділів заводу. На основі отриманих даних обґрунтовано вибір радіальної конфігурації внутрішньозаводської мережі напругою 10 кВ. Значна увага приділена оптимізації балансу реактивної потужності: розроблено комбіновану систему компенсації з використанням високовольтних та низьковольтних конденсаторних батарей. Виконано розрахунок струмів короткого замикання з урахуванням підживлення від високовольтних двигунів, що дозволило здійснити перевірку та вибір кабельних ліній і комутаційного обладнання (зокрема, вакуумних вимикачів) на термічну та електродинамічну стійкість.

У спеціальній частині роботи розроблено економічно обґрунтований проект глибокої модернізації світлотехнічного господарства підприємства (виробничих, адміністративних та зовнішніх зон) із застосуванням інноваційних світлодіодних технологій, що підтвердило високий потенціал енергозбереження.

Ключові слова: система електропостачання, електричні навантаження, радіальна мережа, компенсація реактивної потужності, енергозбереження, світлодіодне освітлення.

ABSTRACT

Qualification work: 77 p.; 20 Fig.; 27 tables; 5 sources

Krasnohuzov S. Design of the power supply system for a farm machinery manufacturing plant. – Manuscript.

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

This qualification work is dedicated to solving a complex engineering task of designing a reliable, safe and energy-efficient power supply system for an industrial enterprise.

During the project, a detailed calculation of the electrical loads of all structural divisions of the plant was carried out. Based on the data obtained, the choice of a radial configuration of the 10 kV intra-plant network was justified. Considerable attention was paid to optimizing the reactive power balance: a combined compensation system using high-voltage and low-voltage capacitor banks was developed. Short-circuit currents were calculated taking into account the supply from high-voltage motors, which allowed checking and selecting cable lines and switching equipment (in particular, vacuum switches) for thermal and electrodynamic stability.

In a special part of the work, an economically sound project for a deep modernization of the lighting equipment of the enterprise (production, administrative and external areas) using innovative LED technologies was developed, which confirmed the high potential for energy saving.

Keywords: power supply system, electrical loads, radial network, reactive power compensation, energy saving, LED lighting.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	10
1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ	10
1.2 Освітлювальні електричні навантаження.....	11
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	29
4.1 Баланс реактивної потужності.....	29
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв	31
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ	34
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	36
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	36
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ.....	42
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	45
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	46
РОЗДІЛ 7. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ	47
7.1 Базові принципи та напрямки формування стратегії енергоефективності.....	48
7.2 Техніко-економічне обґрунтування реконструкції освітлювальних комплексів підприємства	50
7.2.1. Проектування нової системи штучного освітлення у відділенні збірки двигунів.....	52
7.2.2. Реконструкція освітлювального комплексу адміністративного корпусу	59
7.2.3. Реконструкція мереж зовнішнього освітлення території підприємства .	66
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Красногузов С.В.				Розробка системи електропостачання заводу з виробництва сільськогосподарської техніки Design of the power supply system for a farm machinery manufacturing plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Зінзура В.В.						6	77
						ЦНТУ гр. ЕЕ-23мбз		
Н. контр.								
Затвер.	Плешков П.Г.							

ВСТУП

Сучасний етап розвитку національної економіки неможливо уявити без потужного машинобудівного комплексу. Зокрема, сектор виробництва сільськогосподарської техніки відіграє стратегічну роль, забезпечуючи аграрну промисловість необхідним обладнанням для підтримання продовольчої безпеки та нарощування експортного потенціалу. Функціонування такого підприємства є надзвичайно складним процесом, який об'єднує безліч енергоємних технологічних ліній, верстатних парків, зварювальних постів та допоміжних систем. У цих умовах організація безперебійного, надійного та економічно виправданого електропостачання стає не просто технічною задачею, а фундаментальною основою для забезпечення рентабельності всього виробництва. Будь-які збої в подачі електроенергії або відхилення її параметрів від нормативних значень неминуче призводять до зупинки конвеєрів, випуску бракованої продукції та значних фінансових збитків.

Водночас промисловість сьогодні стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними з постійним зростанням вартості енергоносіїв на комерційному ринку та вичерпанням традиційних джерел генерації. Екстенсивні підходи до проектування електричних мереж, які домінували ще кілька десятиліть тому і передбачали закладання величезних запасів потужності без огляду на втрати, остаточно втратили свою актуальність. На зміну їм прийшла концепція енергетичної ефективності та сталого розвитку. Жорсткі екологічні вимоги та міжнародні стандарти, такі як ISO 50001, спонукають підприємства докорінно переглядати свої енергетичні баланси, шукати приховані резерви та мінімізувати будь-які непродуктивні витрати електричної енергії.

Однією з найгостріших проблем для заводів машинобудівного профілю є раціональне управління режимами реактивної потужності. Наявність великої кількості асинхронних електродвигунів, зварювальних трансформаторів та індукційних печей зумовлює генерацію значних реактивних струмів. Ці струми не виконують корисної механічної роботи, але суттєво завантажують живильні

						7

Поряд із оптимізацією силового електрообладнання, колосальний і часто недооцінений потенціал для енергозбереження криється в системах штучного освітлення підприємства. На багатьох вітчизняних заводах досі масово експлуатуються морально застарілі джерела світла: дугові ртутні лампи у виробничих цехах, електромагнітні люмінесцентні світильники в адміністративних корпусах та неефективні консольні ліхтарі на території. Окрім надмірного споживання електроенергії, такі системи створюють низку санітарно-гігієнічних та екологічних проблем. Вони характеризуються високим коефіцієнтом пульсації, поганою передачею кольору та містять токсичну ртуть, що вимагає складних і дорогих процедур утилізації. Перехід на інноваційні світлодіодні (LED) технології є об'єктивною вимогою часу. Це дозволяє не лише радикально, у кілька разів, скоротити витрати на освітлення, але й створити комфортні, безпечні умови праці, що безпосередньо впливає на продуктивність персоналу та зниження рівня виробничого травматизму.

У процесі виконання проекту здійснюється детальний аналіз вихідних даних та розрахунок електричних навантажень для кожного цеху та підрозділу заводу. Це дозволяє обґрунтовано підійти до вибору топології розподільчої мережі

						8

напругою 10 кВ, віддавши перевагу надійній радіальній схемі. Важливим етапом роботи є розрахунок балансу реактивної потужності, на основі якого обираються оптимальні параметри та місця встановлення компенсуючих пристроїв. Наступні кроки включають вибір кількості та номінальної потужності цехових силових трансформаторів, здатних забезпечити як нормальний, так і післяаварійний режими роботи з урахуванням допустимих перевантажень.

Для забезпечення безпеки та надійності функціонування спроектованої системи виконується аналіз симетричних коротких замикань у критичних точках мережі. Результати цих розрахунків слугують фундаментом для перевірки термічної та електродинамічної стійкості обраних кабельних ліній та сучасного високовольтного комутаційного обладнання, зокрема вакуумних вимикачів.

Особливе місце в проекті відведено спеціальному розділу, який має яскраво виражене науково-практичне спрямування. У ньому розробляється комплексний проект модернізації світлотехнічного господарства підприємства. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для фотометричного моделювання проводиться віртуальна заміна застарілих освітлювальних приладів на вітчизняні світлодіодні аналоги у виробничих, офісних та зовнішніх зонах. Детальне техніко-економічне порівняння базового та запропонованого варіантів дозволяє наочно продемонструвати високу рентабельність таких інвестицій, підкріплену розрахунком термінів окупності та чистої фінансової економії.

У підсумку, матеріали та розрахунки, наведені у даній кваліфікаційній роботі, формують цілісну картину сучасного підходу до електрифікації промислових об'єктів. Запропоновані рішення можуть бути використані як готовий базис для реального проектування або реконструкції діючих підприємств, сприяючи підвищенню їхньої енергетичної незалежності, екологічної безпеки та економічної ефективності.

						9

Таблиця 1.3. Розрахунок навантажень вище 1000 В

Назва групи споживачів	К сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозміне навантаження		n _{эф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ТП 1, 2															
Центральна виробнича будівля															
силове:	152	2	51	6090	25,5	0,4	0,75	0,88	2436	2143,68	149	1,1	2679,6	2143,68	3431,56
освітлювальне:				139,77									159,34	76,48	176,74
Всього:									2575,76	2148,34			2846,53	2225,46	3613,23
Всього по ТП 1, 2:															
силове:	152	2	51	6090	25,5	0,4	0,75	0,88	2436	2143,68	149	1,1	2679,6	2143,68	3431,56
освітлювальне:				139,77									159,34	76,48	176,74
Всього:									2575,76	2148,34			2846,53	2225,46	3613,23
БК 0,4 кВ										2582,16				2582,16	
Всього по шинах 0,4 кВ ТП 1, 2:									2575,76	433,82			2846,53	356,69	2868,94
Втрати в трансформаторах													32,16	166,92	
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2													2874,44	13,23	2878,52
ТП 3															
Комплекс підсобних приміщень															
силове:	203	1	30,5	3045	30,5	0,3	0,7	1,02	913,5	931,77	203	1,11	1014	931,77	1377,08
освітлювальне:				66,6									70,86	122,59	141,65
Всього:									980,09	931,95			1087,91	1075,07	1515,08
Корпоративний заклад харчування															
силове:	15	5	15,2	152	3,04	0,6	0,9	0,48	91,2	43,78	15	1,23	112,18	43,78	120,42
освітлювальне:				49,41									56,33	27,04	62,5
Всього:									140,75	44,24			168,32	71,89	183,33
Автотранспортний парк															
силове:	15	1	28,4	142	28,4	0,4	0,7	1,02	56,8	57,94	10	1,48	84,06	63,73	105,49
освітлювальне:				14,25									16,25	7,8	18,03
Всього:									71,7	57,98			100,51	71,44	123,64
Прилегла заводська зона															
освітлювальне:				12,78									14,31	24,76	28,6
Всього по ТП 3:															

Продовження табл. 1.3

силове:	203	1	30,5	3339	30,4	0,32	0,72	0,97	1061,69	1034,18	219	1	1061,69	1034,18	1482,13
освітлювальне:				143,04									157,73	181,68	
Всього:									1204,71	1215,86			1219,46	1215,86	1720,06
БК 0,4 кВ										288,26				288,26	
Всього по шинах 0,4 кВ ТП 3:									1204,71	927,6			1219,46	927,6	1368,81
Втрати в трансформаторах													14,23	79,26	
Всього на шинах 10 кВ ТП 3													1234,56	1006,86	1420,55
ТП 4															
Дільниця литва металів															
силове:	51	10,1	28,3	1420	2,8	0,6	0,8	0,75	852	639	51	1,11	945,72	639	1141,36
освітлювальне:				76,74									81,65	141,25	163,15
Всього:									928,72	639,45			1030,94	780,4	1293,28
Сховище балонів під тиском															
силове:	6	5	20,3	101,5	4,06	0,6	0,9	0,48	60,9	29,23	6	1,4	85,26	32,15	91,12
освітлювальне:				8,77									5,26	0	5,26
Всього:									66,6	29,5			90,3	32,45	96
Друга станція водопостачання															
силове:	6	5	15,2	61	3,04	0,6	0,7	1,02	36,6	37,33	6	1,4	51,24	41,06	65,66
освітлювальне:				2,63									3	1,44	3,33
Всього:									39,18	37,28			54,07	42,12	68,75
Всього по ТП 4:															
силове:	63	5	28,3	1522,5	5,6	0,6	0,8	0,74	949,6	706,13	62	1,1	1045,66	706,13	1260,65
освітлювальне:				88,14									87,31	142,87	
Всього:									1036,9	849			1083,58	849	1378,1
БК 0,4 кВ										101,5				101,5	
Всього по шинах 0,4 кВ ТП 4:									1033,22	604,63			1083,58	747,5	1319,47
Втрати в трансформаторах													14,99	78,28	
Всього на шинах 10 кВ ТП 4													1048,21	682,91	1319,47
ТП 5															
Відділення збірки двигунів															
силове:	51	0,5	50,5	1215	101	0,5	0,75	0,88	607,5	534,6	49	1,17	710,78	534,6	889,38
освітлювальне:				54,66									62,31	29,91	69,13
Всього:									603,95	463,11			694,13	493,02	852,12

Продовження табл. 1.3

Всього по ТП 5:															
силове:	51	0,5	50,5	1215	101	0,5	0,75	0,88	607,5	534,6	49	1,17	710,78	534,6	889,38
освітлювальне:				54,66									62,31	29,91	69,13
Всього:									666,26	493,02			756,44	493,02	903,65
БК 0,4 кВ										121,8				121,8	
Всього по шинах 0,4 кВ ТП 5:									756,44	371,22			756,44	371,22	843,43
Втрати в трансформаторах													7,29	64,12	
Всього на шинах 10 кВ ТП 5													763,73	435,34	881,15
ТП 6															
Дослідно конструкторська ділянка															
силове:	30	1	20,2	760	20,2	0,2	0,7	1,02	152	155,04	30	1,44	218,88	155,04	268,22
освітлювальне:				73,66									83,97	40,31	93,15
Всього:									225,44	156,41			293,18	197,02	361,17
Адміністративно побутовий корпус															
силове:	20	1	20,3	81,2	20,3	0,8	0,9	0,48	64,96	31,18	8	1,18	76,65	34,3	83,98
освітлювальне:				38,48									43,87	21,06	48,66
Всього:									93,28	30,13			117,54	53,68	135,5
Контрольно пропускний пункт															
силове:	2	2	3,05	5,05	1,52	0,8	1	0	4,04	0	2	1	4,04	0	4,04
освітлювальне:				9,87									11,25	5,4	12,48
Всього:									13,93	0			15,3	5,44	16,24
Головний дослідницький центр															
силове:	25	5	30,5	203	6,1	0,7	0,8	0,75	142,1	106,58	13	1,17	166,26	106,58	197,49
освітлювальне:				42,75									48,74	23,4	54,06
Всього:									154,4	106,57			215,26	130,16	251,55
Столярно механічний підрозділ															
силове:	25	1	15,2	203	15,2	0,2	0,7	1,02	40,6	41,41	25	1,49	60,49	41,41	73,3
освітлювальне:				31,36									35,75	17,16	39,66
Всього:									71,94	41,42			96,13	58,4	112,64
Всього по ТП 6:															
силове:	102	1	30,5	1252,25	30	0,32	0,77	0,83	207,06	331,9	92	1,18	470,48	331,9	576,29
освітлювальне:				196,12									223,57	108,23	
Всього:									606,17	303,58			694,06	68,52	697,63
БК 0,4 кВ										372,5				372,5	
Всього по шинах 0,4 кВ ТП 6:									606,17	68,92			694,06	304	697,63

Продовження табл. 1.3

Втрати в трансформаторах													7,55	60,91	
Всього на шинах 10 кВ ТП 6													701,61	109,01	618,88
Всього по об'єкту															
силове:	594	0,5	51	13478,7	100	0,4	0,86	0,13	5395,7	4704,4	531	1	5395,7	4704,4	7159,3
освітлювальне:				621,73					692,8	546,6			692,8	546,6	916,4
Всього:									6017,4	5249			6084,5	5249	8150,2
Потужність БК 0,4 кВ:										3036,4				3036,4	
Втрати в трансформаторах													77,72	406,42	
Всього по об'єкту:													6166,8	2620	6800,2
Високовольтне навантаження															
АД (10 кВ)	2	750	750	1500		0,7	0,9	0,48	1065,7	516,1			1065,7	516,1	1184,1
Всього високовольтного:													1065,7	516,1	1184,1
Всього по об'єкту 10 кВ:													7232,5	2178	7554,8
КУ 10 кВ:										1218				1218	
Всього 10 кВ з КУ:													7232,5	960	7295,9

1.4 Графіки електричних навантажень

Підсумкові показники обчислень для формування часових режимів енергоспоживання підприємства представлені в наступному блоці.

Таблиця 1.4. Початкові відомості для визначення характеристик експлуатаційних графіків

№ з/п	P, % (робочі дні)	Q, % (робочі дні)	P, % (вихідні дні)	Q, % (вихідні дні)
1	100	100	50,8	71,1
2	91,4	96,4	50,8	71,1
3	99,5	99,5	50,8	71,1
4	76,1	87,3	50,8	71,1
5	48,7	69	50,8	71,1
6	48,7	69	50,8	71,1
7	69	83,2	50,8	71,1
8	73,1	86,3	40,6	71,1
9	76,1	88,3	40,6	63,9
10	71,1	84,2	40,6	63,9
11	73,1	85,3	40,6	63,9
12	66	81,2	40,6	63,9
13	58,9	77,1	40,6	63,9
14	55,8	76,1	40,6	63,9
15	69	83,2	40,6	63,9
16	76,1	89,3	40,6	63,9
17	79,2	90,3	40,6	63,9
18	74,1	88,3	40,6	63,9
19	73,1	87,3	50,8	71,1
20	69	86,3	50,8	71,1
21	60,9	79,2	50,8	71,1
22	35,5	80,2	50,8	71,1
23	64	81,2	50,8	71,1
24	100	100	50,8	71,1

Таблиця 1.5. Розрахунок графіків електричних навантажень

№ з/П	Р, кВт (зима, роб.)	Q, квар (зима, роб.)	S, кВА (зима, роб.)	Р, кВт (зима, вих.)	Q, квар (зима, вих.)	S, кВА (зима, вих.)	Р, кВт (літо, роб.)	Q, квар (літо, роб.)	S, кВА (літо, роб.)	Р, кВт (літо, вих.)	Q, квар (літо, вих.)	S, кВА (літо, вих.)
1	7232	960	7296	3615	672	3677	6147	816	6201	3073	571	3126
2	6508	912	6572	3615	672	3677	5533	775	5587	3073	571	3126
3	7087	941	7149	3615	672	3677	6024	800	6077	3073	571	3126
4	5424	826	5487	3615	672	3677	4610	702	4663	3073	571	3126
5	3471	653	3532	3615	672	3677	2951	555	3002	3073	571	3126
6	3471	653	3532	3615	672	3677	2951	555	3002	3073	571	3126
7	4918	788	4981	3615	672	3677	4180	669	4233	3073	571	3126
8	5207	816	5271	2893	672	2970	4425	693	4479	2458	571	2524
9	5424	835	5488	2893	605	2956	4610	711	4665	2458	515	2511
10	5063	797	5125	2893	605	2956	4303	677	4355	2458	515	2511
11	5207	807	5269	2893	605	2956	4425	685	4478	2458	515	2511
12	4700	768	4762	2893	605	2956	3996	653	4049	2458	515	2511
13	4194	730	4257	2893	605	2956	3566	620	3619	2458	515	2511
14	3978	721	4043	2893	605	2956	3381	612	3436	2458	515	2511
15	4918	788	4981	2893	605	2956	4180	669	4233	2458	515	2511
16	5424	844	5489	2893	605	2956	4610	719	4666	2458	515	2511
17	5641	855	5705	2893	605	2956	4795	727	4850	2458	515	2511
18	5279	835	5345	2893	605	2956	4487	711	4543	2458	515	2511
19	5207	826	5272	3615	672	3677	4425	702	4481	3073	571	3126
20	4918	816	4985	3615	672	3677	4180	693	4237	3073	571	3126
21	4339	749	4403	3615	672	3677	3689	636	3743	3073	571	3126
22	2531	758	2642	3615	672	3677	2152	645	2246	3073	571	3126
23	4556	768	4620	3615	672	3677	3872	653	3927	3073	571	3126
24	7232	960	7296	3615	672	3677	6147	816	6201	3073	571	3126



Рис. 1.1. Діаграми зміни активного (P) та реактивного (Q) навантаження протягом
робочої доби взимку

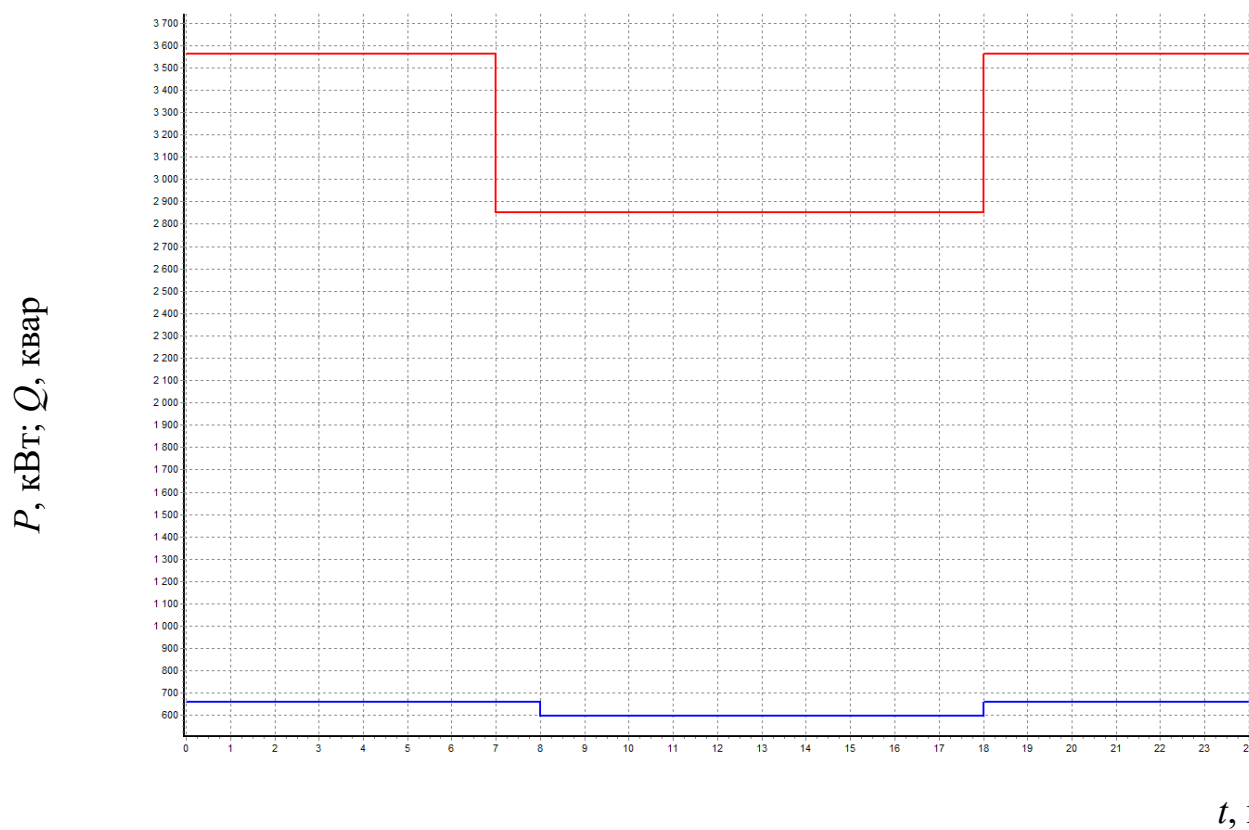
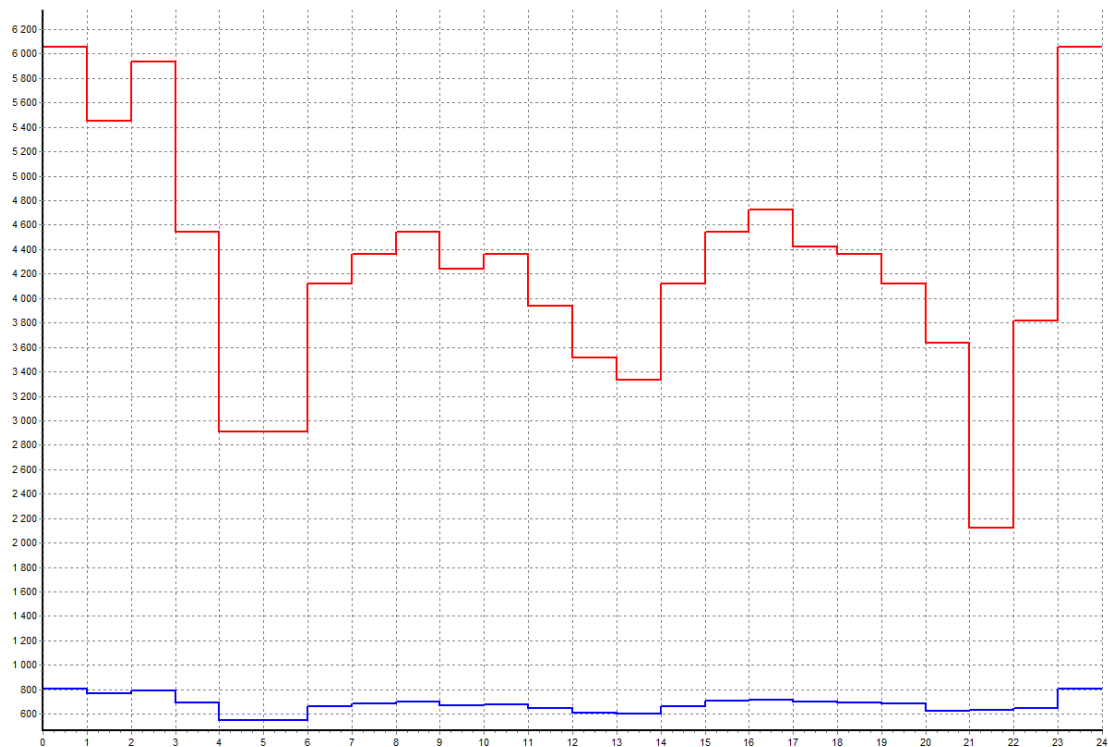


Рис. 1.2. Діаграми зміни активного (P) та реактивного (Q) навантаження протягом
вихідної доби взимку

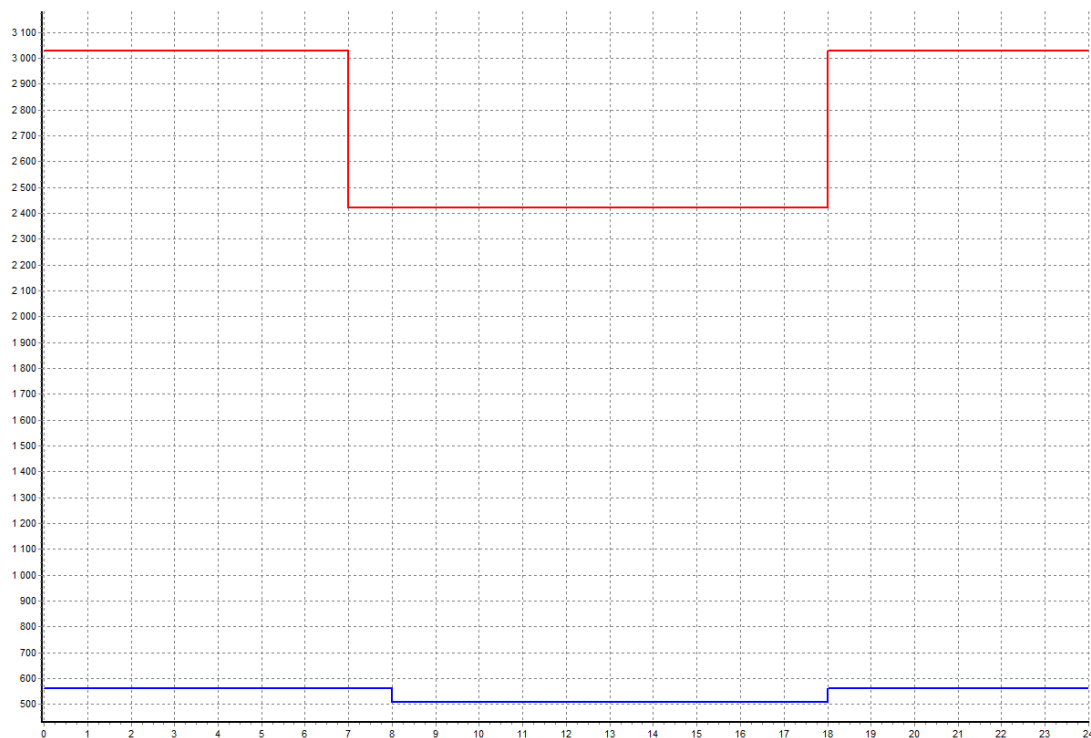
$P, \text{ кВт}; Q, \text{ квар}$



$t, \text{ год.}$

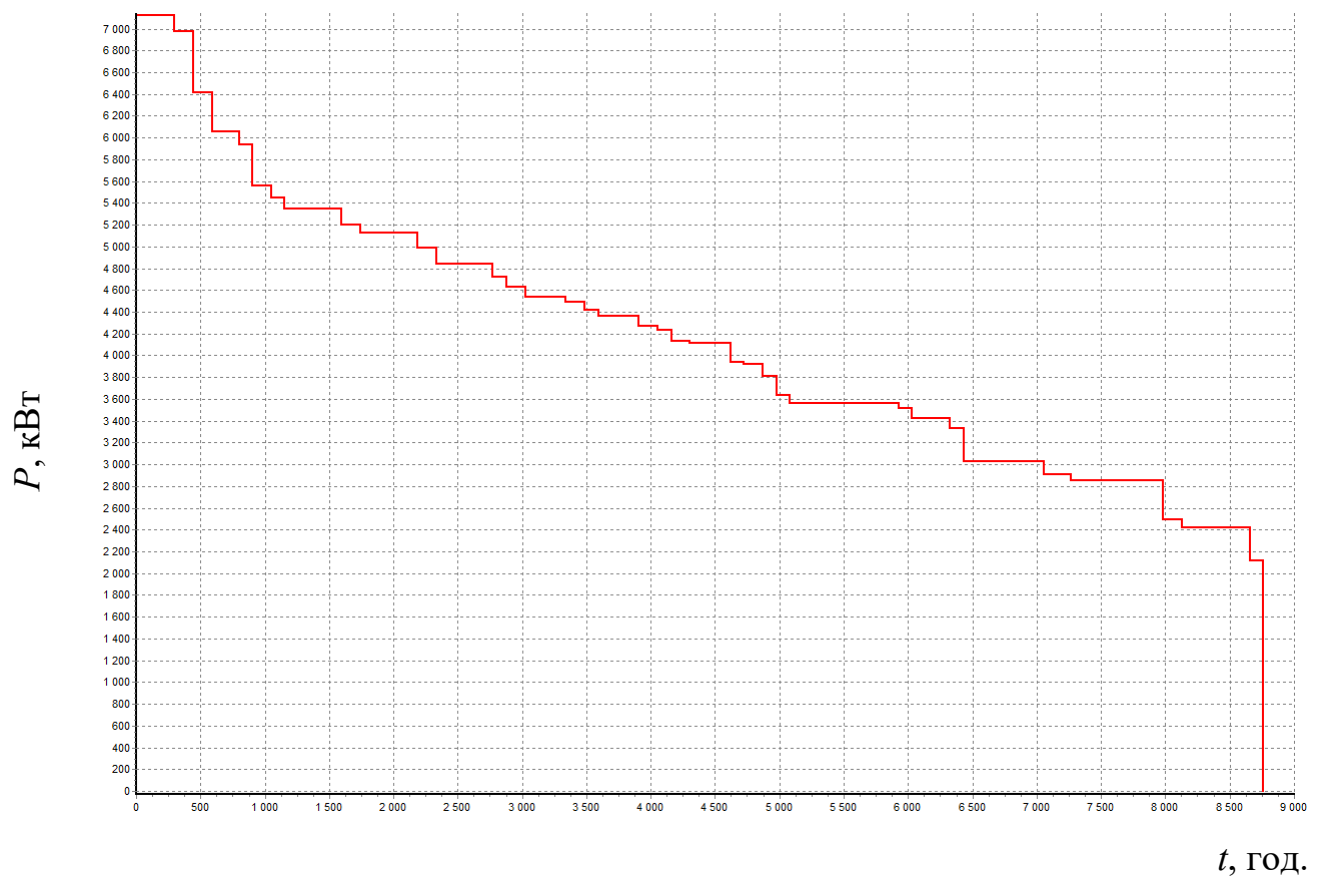
Рис. 1.3. Діаграми зміни активного (P) та реактивного (Q) навантаження протягом робочої доби влітку

$P, \text{ кВт}; Q, \text{ квар}$



$t, \text{ год.}$

Рис. 1.4 Діаграми зміни активного (P) та реактивного (Q) навантаження протягом вихідної доби влітку



Таблиця 1.6. Результати розрахунку параметрів графіків навантаж.

№ з/п	Величина	Значення	Од. виміру
1	Розрахункова повна потужність, S_p	7295,34	кВА
2	Річне споживання активної електроенергії (з.р.), $W_{з.р.}$	17923700	кВт·год
3	Річне споживання реактивної електроенергії (з.р.), $V_{з.р.}$	2852800	квар·год
4	Річне споживання активної електроенергії (з.в.), $W_{з.в.}$	5123355	кВт·год
5	Річне споживання реактивної електроенергії (з.в.), $V_{з.в.}$	1004667	квар·год
6	Річне споживання активної електроенергії (л.р.), $W_{л.р.}$	10881947	кВт·год
7	Річне споживання реактивної електроенергії (л.р.), $V_{л.р.}$	1731844	квар·год
8	Річне споживання активної електроенергії (л.в.), $W_{л.в.}$	3215812	кВт·год
9	Річне споживання реактивної електроенергії (л.в.), $V_{л.в.}$	631021	квар·год
10	Сумарне річне споживання акт. електроенергії, W_p	37144814	кВт·год
11	Сумарне річне споживання реакт. електроенергії, V_p	6220332	квар·год
12	Час використання максимуму навантаження, T_m	5239,92	год
13	Час максимальних втрат, t_m	3644,74	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Нижче продемонстровано алгоритм обчислення просторових параметрів на базі центральної виробничої будівлі.

Радіус кола, що символізує загальне навантаження:

$$R = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{2838,94}{3,14 \cdot 0,1}} = 95,06 \text{ мм}$$

Кут сектора, який відображає частку освітлення:

$$\alpha = \frac{P_{p.\text{осв}} \cdot 360^\circ}{P_p} = \frac{159,34 \cdot 360^\circ}{2838,94} = 20,21^\circ$$

Координати умовного центру електричних навантажень усього підприємства визначаються наступним чином:

$$X = \frac{\sum (x_i \cdot P_i)}{\sum P_i} = \frac{1351622,77}{7967,75} = 169,64 \text{ м}$$

$$Y = \frac{\sum (y_i \cdot P_i)}{\sum P_i} = \frac{1419195,53}{7967,75} = 178,12 \text{ м}$$

Зведені підсумки проведених розрахунків систематизовано та відображено у таблиці нижче.

						21

Таблиця 2.1. Розрахункові дані для побудови картограми навантажень

№ п/п	Найменування	$P_{P.сил},$ кВт	$P_{P.осв},$ кВт	$P_{P.},$ кВт	m	$R,$ мм	α	$x,$ м	$y,$ м	$P \cdot x,$ кВт · м	$P \cdot y,$ кВт · м
1.	Центральна виробнича будівля	2679,6	159,34	2838,94	0,1	95,06	20,21	191,8	188,8	544508,69	535991,87
2.	Комплекс підсобних приміщень	1014	70,86	1084,86	0,1	58,76	23,51	54,8	191,8	59450,33	208076,15
3.	Відділення збірки двигунів	710,78	62,31	773,09	0,1	49,6	29,02	313,6	194,9	242441,02	150675,24
4.	Дільниця лиття металів	945,72	81,65	1027,37	0,1	57,18	28,61	167,5	79,2	172084,48	81367,7
5.	Дослідно-конструкторська ділянка	218,88	83,97	302,85	0,1	31,05	99,82	252,7	280,1	76530,19	84828,28
6.	Столярно-механічний підрозділ	60,49	35,75	96,24	0,1	17,5	133,73	377,6	197,9	36340,22	19045,9
7.	Сховище балонів під тиском	85,26	5,26	90,52	0,1	16,97	20,92	295,4	79,2	26739,61	7169,18
8.	Друга станція водопостачання										
	а) 0,4 кВ	51,24	3	54,24	0,1	13,14	19,91	57,9	121,8	3140,49	6606,43
	б) 10,5 кВ (АД)	1065,7	0	1065,7	0,1	58,24	0	57,9	121,8	61704,03	129802,26
9.	Корпоративний заклад харчування	112,18	56,33	168,51	0,1	23,16	120,35	100,5	313,6	16935,25	52844,74
10.	Адміністративно-побутовий корпус	76,65	43,87	120,52	0,1	19,59	131,04	191,8	319,7	23115,74	38530,24
11.	Контрольно-пропускний пункт	4,04	11,25	15,29	0,1	6,98	264,88	261,9	325,8	4004,45	4981,48
12.	Головний дослідницький центр	166,26	48,74	215	0,1	26,16	81,61	328,9	319,7	70713,5	68735,5
13.	Автотранспортний парк	84,06	16,25	100,31	0,1	17,87	58,32	130,9	277,1	13130,58	27795,9
14.	Прилегла заводська зона	0	14,31	14,31	0,1	6,75	360	54,8	191,8	784,19	2744,66
	Всього по заводу	7274,86	692,89	7967,75	-	-	-	-	-	1351622,8	1419195,5

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Щоб підібрати найкращий спосіб підключення підприємства до загальної енергосистеми, варто проаналізувати два можливих концептуальних рішення, які проілюстровано на рисунку 3.1.

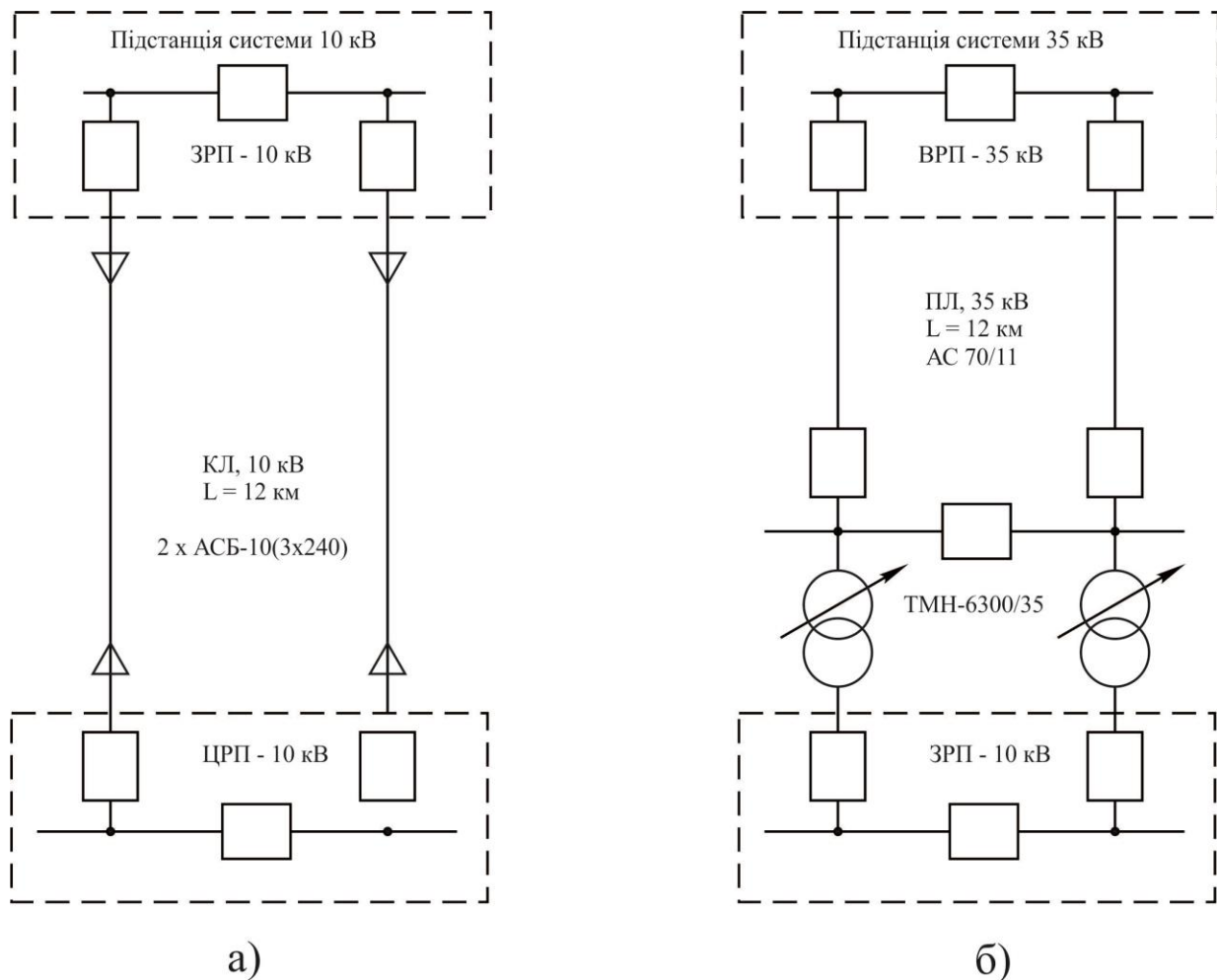


Рис. 3.1. Альтернативні топології ліній живлення

Перша альтернатива: використання кабельних ліній (КЛ) напругою 10 кВ (рис. 3.1, а).

Максимальне значення струму навантаження обчислюється так:

$$I_{max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{7295,34}{1,732 \cdot 10} = 421,21 \text{ A}$$

Струм однієї гілки (при двох лініях):

$$I_p = \frac{I_{max}}{2} = 210,61 \text{ A}$$

Приймаємо до встановлення дві паралельні кабельні магістралі типу АСБ-10 (з перерізом жил 3х240 мм²).

Нормальний режим експлуатації:

$$I_p \leq K_{II} \cdot I_{доп} \Rightarrow 210,61 \text{ A} \leq 0,92 \cdot 355 = 326,6 \text{ A}$$

Післяаварійний стан (у разі відключення одного ланцюга):

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 421,22 \text{ A}$$

$$I_{p.ав} \leq K_{ап} \cdot K_{II} \cdot I_{доп} \Rightarrow 421,22 \text{ A} \leq 1,25 \cdot 1 \cdot 355 = 443,75 \text{ A}$$

Запроектовані кабельні лінії повністю задовольняють технічні вимоги.

Фактичний коефіцієнт завантаження мережі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{210,61}{355} = 0,593$$

Сумарні втрати активної потужності:

						24

$$\Delta P_{\Sigma} = 24 \cdot 24,36 \cdot 0,3481 = 203,52 \text{ кВт}$$

Обсяг втраченої енергії за рік (з урахуванням оновленого часу $\tau_m = 3644,74$ год):

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau_m = 203,52 \cdot 3644,74 = 741777,48 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Фінансові збитки від втрат (приймаючи тариф $C_0 = 5,17$ грн/кВт·год):

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} \cdot C_0 \cdot 10^{-3} = 741777,48 \cdot 5,17 \cdot 0,001 = 3834,99 \text{ тис. грн}$$

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень для 1-го варіанту схеми

Найменування складової	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за од., тис. грн	Загальна сума, тис. грн
Кабельні магістралі 10 кВ	км	24	58,87	1412,88
Кабельна земляна траншея	км	12	14,51	174,12
Комірки КРП типу КУ-10	шт.	2	10,86	21,72
Підсумок інвестицій	-	-	-	1608,72

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат для 1-го варіанту

Найменування складової	K_j , тис. грн	P_{aj} , %	C_{aj} , тис. грн	P_{ej} , %	C_{ej} , тис. грн	C_j , тис. грн
Кабельні магістралі 10 кВ	1412,88	5	70,64	5	70,64	141,28
Кабельна земляна траншея	174,12	5	8,71	5	8,71	17,42
Комірки КРП типу КУ-10	21,72	15	3,26	5	1,09	4,35
Загальна сума витрат	-	-	-	-	-	163,05

прямий вибір є цілком обґрунтованим, зважаючи на низку беззаперечних переваг обраної структури для конкретних топологічних умов нашого заводу.

Перш за все, радіальна конфігурація гарантує максимально високий рівень експлуатаційної надійності електроживлення споживачів. Оскільки кожна цехова ТП отримує напругу по індивідуальній, повністю незалежній лінії, виникнення будь-якої аварійної ситуації (короткого замикання, пошкодження ізоляції чи обриву фази) на одному з фідерів призводить до знеструмлення виключно одного локального вузла. Уся інша частина фабрики продовжує функціонувати у штатному режимі. Це є критично важливою умовою для збереження безперервності технологічних циклів у ключових підрозділах підприємства.

По-друге, вагомим фактором на користь такого вибору стала компактність розміщення об'єктів на території. Відносно невелика протяжність кабельних трас від джерела генерації до кінцевих споживачів зумовлює мізерні значення втрат активної потужності та мінімальні відхилення напруги. За таких умов впровадження складніших транзитних контурів призвело б лише до невиправданого подорожчання монтажних робіт та збільшення кількості високовольтної комутаційної апаратури, не принісши жодного відчутного економічного зиску.

Крім того, запропонована променева структура значно полегшує проектування та налаштування систем релейного захисту і протиаварійної автоматики. Селективність спрацьовування захисних терміналів забезпечується набагато простіше, що дає змогу черговому персоналу миттєво ідентифікувати та локалізувати пошкоджену ділянку кабелю. Проведення планово-попереджувальних ремонтних робіт також стає більш зручним, адже виведення в ремонт окремого променя жодним чином не впливає на стабільну працездатність сусідніх виробничих об'єктів.

Деталізована однолінійна принципова схема внутрішньозаводського електропостачання, де відображено всі точки підключення, апарати захисту та орієнтовне трасування магістралей між підрозділами, наочно представлена у відповідних кресленнях та графічній (презентаційній) частині даної кваліфікаційної роботи.

						28

РОЗДІЛ 4
РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1 Баланс реактивної потужності

Процедура обчислення необхідних обсягів компенсуючих пристроїв (базуючись на методичних вказівках [1]) продемонстрована далі.

Сумарне активне навантаження підприємства:

$$P_p = P_n + \Delta P_t + P_b = 6567,79 + 72,10 + 1060,50 = 7700,39 \text{ кВт}$$

Сумарне реактивне навантаження підприємства:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_t + Q_b = 5220,09 + 378,22 + 513,63 = 6111,94 \text{ квар}$$

Економічно доцільна реактивна потужність, яку дозволяється споживати з енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 7700,39 \cdot 0,15 = 1155,06 \text{ квар}$$

Загальна потужність компенсуючих пристроїв (КП), яку необхідно встановити на заводі:

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_e = 6111,94 - 1155,06 = 4956,88 \text{ квар}$$

Орієнтовна кількість цехових трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{6567,79}{0,7 \cdot 1000} = 9,38 \approx 10 \text{ шт.}$$

						29

Реактивна потужність, яку здатні пропустити трансформатори при заданому таженні:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - P_{\text{H}}^2} = \sqrt{(10 \cdot 0,71 \cdot 1000)^2 - 6567,79^2} = 2421,60 \text{ квар}$$

Необхідна потужність низьковольтних конденсаторних батарей (на стороні 0,4 кВ):

$$Q_{KH} = Q_H - Q_1 = 5220,09 - 2421,60 = 2798,49 \text{ кВар}$$

Необхідна потужність високовольтних компенсуючих установок (на стороні 10 кВ):

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 6111,94 - 2798,49 - 1155,06 = 2158,39 \text{ квар}$$

Аналогічно виконуються розрахунки для інших конфігурацій (11 та 12 трансформаторів). Підсумкові результати зведено у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Розрахункові показники балансу реактивної потужності

№ варіанта	Кількість трансформаторів, шт.	Q_1 , квар	Q_{KH} , квар	Q_{KB} , квар
1	10	2421,60	2798,49	2158,39
2	11	4019,22	1200,87	3756,01
3	12	5236,81	0	4956,88

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Послідовність розрахунків для підбору параметрів конденсаторних батарей (на прикладі першого варіанта) продемонстровано далі.

Таблиця 4.2. Результати комплектації пристроїв компенсації (при $N_T = 10$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , квар	$Q_{пр}$, квар	$Q_{кп}$, квар	К-сть та потужн. БК, шт. × квар	Сума $Q_{БК}$, квар	$Q_{кп} - Q_{БК}$, квар	K_z	S_p , кВА
1, 2	4	2864,26	2380,29	0	2380,29	4x50; 4x536	2344	36,29	0,71	2864,29
3	2	1226,38	1279,19	703,84	575,35	2x67; 2x225	584	-8,65	0,70	1406,85
4	2	1141,76	907,94	834,13	73,81	2x50	100	-26,19	0,69	1398,13
5	1	709,18	551,94	0	551,94	1x536	536	15,94	0,70	709,26
6	1	698,30	478,97	110,54	368,43	1x67; 1x300	367	1,43	0,70	706,65

Таблиця 4.3. Результати комплектації пристроїв компенсації (при $N_T = 11$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , квар	$Q_{пр}$, квар	$Q_{кп}$, квар	К-сть та потужн. БК, шт. × квар	Сума $Q_{БК}$, квар	$Q_{кп} - Q_{БК}$, квар	K_z	S_p , кВА
1, 2	5	2864,26	2380,29	2071,77	308,51	5x67	335	-26,49	0,70	3517,60
3	2	1226,38	1279,19	703,84	575,35	2x67; 2x225	584	-8,65	0,70	1406,85
4	2	1141,76	907,94	834,13	73,81	2x50	100	-26,19	0,69	1398,13
5	1	709,18	551,94	0	551,94	1x536	536	15,94	0,70	709,26
6	1	698,30	478,97	110,54	368,43	1x67; 1x300	367	1,43	0,70	706,65

Таблиця 4.4. Результати комплектації пристроїв компенсації (при $N_T = 12$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , квар	$Q_{пр}$, квар	$Q_{кп}$, квар	К-сть та потужн. БК, шт. × квар	Сума $Q_{БК}$, квар	$Q_{кп} - Q_{БК}$, квар	K_z	S_p , кВА
1, 2	6	2864,26	2380,29	3128,99	0	-	0	0	0,61	3724,21
3	2	1226,38	1279,19	703,84	575,35	2x67; 2x225	584	-8,65	0,70	1406,85
4	2	1141,76	907,94	834,13	73,81	2x50	100	-26,19	0,69	1398,13
5	1	709,18	551,94	0	551,94	1x536	536	15,94	0,70	709,26
6	1	698,30	478,97	110,54	368,43	1x67; 1x300	367	1,43	0,70	706,65

Втрати в низьковольтних батареях:

$$\Delta P_{\text{кн}} = P_{\text{пит}}^{\text{кн}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 3970 = 17,87 \text{ кВтм}$$

Втрати у високовольтних установках:

$$\Delta P_{\text{кв}} = P_{\text{пит}}^{\text{кв}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,003 \cdot 1212 = 3,64 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в цехових трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{P_H^2 + Q_1^2}{U_{\text{нн}}^2} \cdot R_T \cdot 10^{-3} = \frac{6567,79^2 + 2421,60^2}{100} \cdot 0,09 \cdot 0,001 = 44,54 \text{ кВт}$$

Капіталовкладення на низьковольтні БК:

$$K_{\text{кн}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{кн}_i} \cdot K_{\text{кн}_i} = 6 \cdot 3,31 + 3 \cdot 3,57 + 2 \cdot 5,59 + 1 \cdot 6,78 + 5 \cdot 10,33 = 100,18 \text{ тис. грн.}$$

Капіталовкладення на високовольтні БК:

$$K_{\text{кв}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{кв}_i} \cdot K_{\text{кв}_i} = 2 \cdot 10,33 = 20,66 \text{ тис. грн.}$$

Вартість встановлених цехових підстанцій:

$$K_{\text{ктп}} = N_{\text{ктп}(2)} \cdot K_{\text{ктп}(2)} + N_{\text{ктп}(1)} \cdot K_{\text{ктп}(1)} = 4 \cdot 644,38 + 2 \cdot 340,88 = 3259,28 \text{ тис. грн.}$$

						32

Річні приведені витрати:

$$\begin{aligned} 3 &= E_H(K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau_m (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,12 \cdot (100,18 + 20,66 + 3259,28) + 5,17 \cdot 3644,74 \cdot (17,87 + 3,64 + 44,54) \cdot 10^{-3} = \\ &= 1650,19 \text{ тис. грн.} \end{aligned}$$

Таблиця 4.5. Зведена калькуляція приведених витрат на компенсацію РП

№ вар.	$Q_{\text{кн}}$, квар	$\Delta P_{\text{кн}}$, кВт	$Q_{\text{кв}}$, квар	$\Delta P_{\text{кв}}$, кВт	$N_{\text{тр}}$, шт.	$R_{\text{сбв}}$, Ом	$S_{\text{пр}}$, кВА	$\Delta P_{\text{тп}}$, кВт	$K_{\text{кн}}$, тис. грн.	$K_{\text{кв}}$, тис. грн.	$K_{\text{ктп}}$, тис. грн.	З, тис. грн.
1	3970	17,87	1212	3,64	10	0,09	7070	44,54	100,18	20,66	3259,28	1650,19
2	1941	8,73	3030	9,09	11	0,08	7777	47,90	63,43	47,73	3600,15	1683,72
3	1603	7,21	3636	10,91	12	0,07	8484	49,88	45,60	54,06	3903,65	1761,72

Зважаючи на отримані техніко-економічні показники (де 3 мінімальне для першої конфігурації), найбільш доцільним визнається саме перший варіант.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Критерії підбору перетворювального обладнання на прикладі першої цехової підстанції (ТП-1) описано нижче.

Коефіцієнт фактичного завантаження у штатному режимі:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{НОМ}}} = \frac{1432,15}{2 \cdot 1000} = 0,72$$

Перевірка умови пропускної здатності при нормальній експлуатації (де $K_1 = 1,08$):

$$n \cdot S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_p}{K_1} \Rightarrow 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ кВА} \geq \frac{1432,15}{1,08} = 1326,06 \text{ кВА}$$

Перевірка здатності витримати післяаварійне навантаження при відключенні одного трансформатора (де $K_2 = 1,4$):

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_p}{K_2} \Rightarrow 1000 \text{ кВА} \approx \frac{1432,15}{1,4} = 1022,96 \text{ кВА}$$

Підсумкові показники перевірки для решти розподільчих пунктів заводу систематизовано у таблиці 5.1.

						34

Таблиця 5.1. Зведені результати комплектації цехових ТП

№ ТП	К-сть тр-рів	S_p , кВА	K_3	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_1$	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_2$	Марка
ТП-1	2	1432,15	0,72	1326,06	1022,96	TM-1000/10
ТП-2	2	1432,15	0,72	1326,06	1022,96	TM-1000/10
ТП-3	2	1406,85	0,70	1302,64	1004,89	TM-1000/10
ТП-4	2	1398,13	0,70	1294,56	998,66	TM-1000/10
ТП-5	1	709,26	0,71	656,72	506,61	TM-1000/10
ТП-6	1	706,65	0,71	654,31	504,75	TM-1000/10

РОЗДІЛ 6

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Принципова схема живлення та відповідна їй схема заміщення представлені на рисунках 6.1 та 6.2.

Визначення параметрів опору компонентів мережі.

$$X_c = \frac{U_{\text{cp.HOM}}^2}{S_{\text{K.3.}}} = \frac{10,5^2}{116,15} = 0,949 \text{ OM}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,949}{25} = 0,038 \text{ OM}$$

$$R_{\text{KJI}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{KJI}}} = \frac{0,13 \cdot 12,12}{1} = 1,576 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{KJI}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{KII}}} = \frac{0,076 \cdot 12,12}{1} = 0,921 \text{ OM}$$

$$X_{KI} = X_c + X_{KI} = 0,949 + 0,921 = 1,870 \text{ OM}$$

$$R_{\text{Kl}} = R_c + R_{\text{KП}} = 0,038 + 1,576 = 1,614 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{1,614^2 + 1,870^2} = 2,470 \text{ } \Omega$$

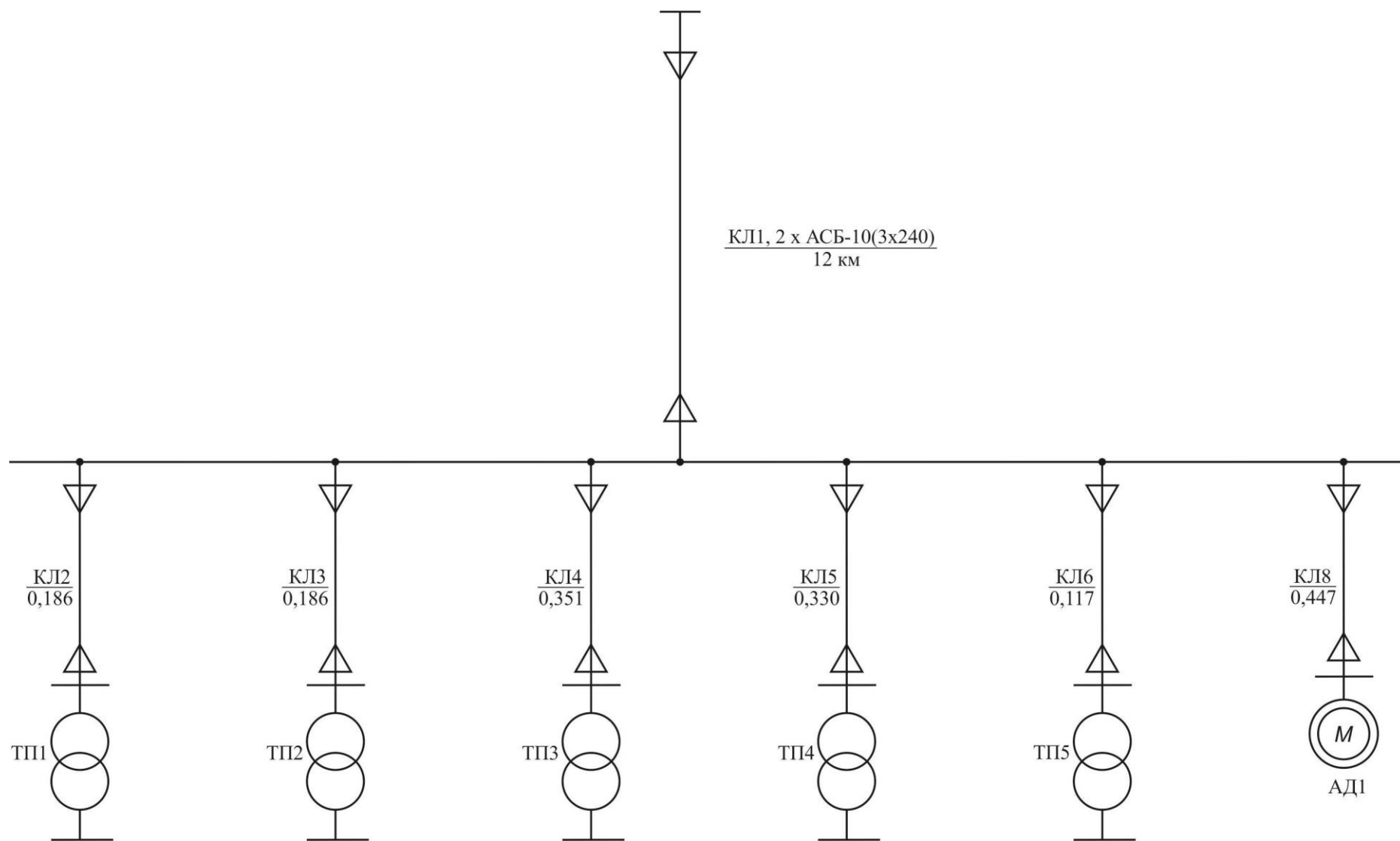


Рис. 8.1. Розрахункова схема

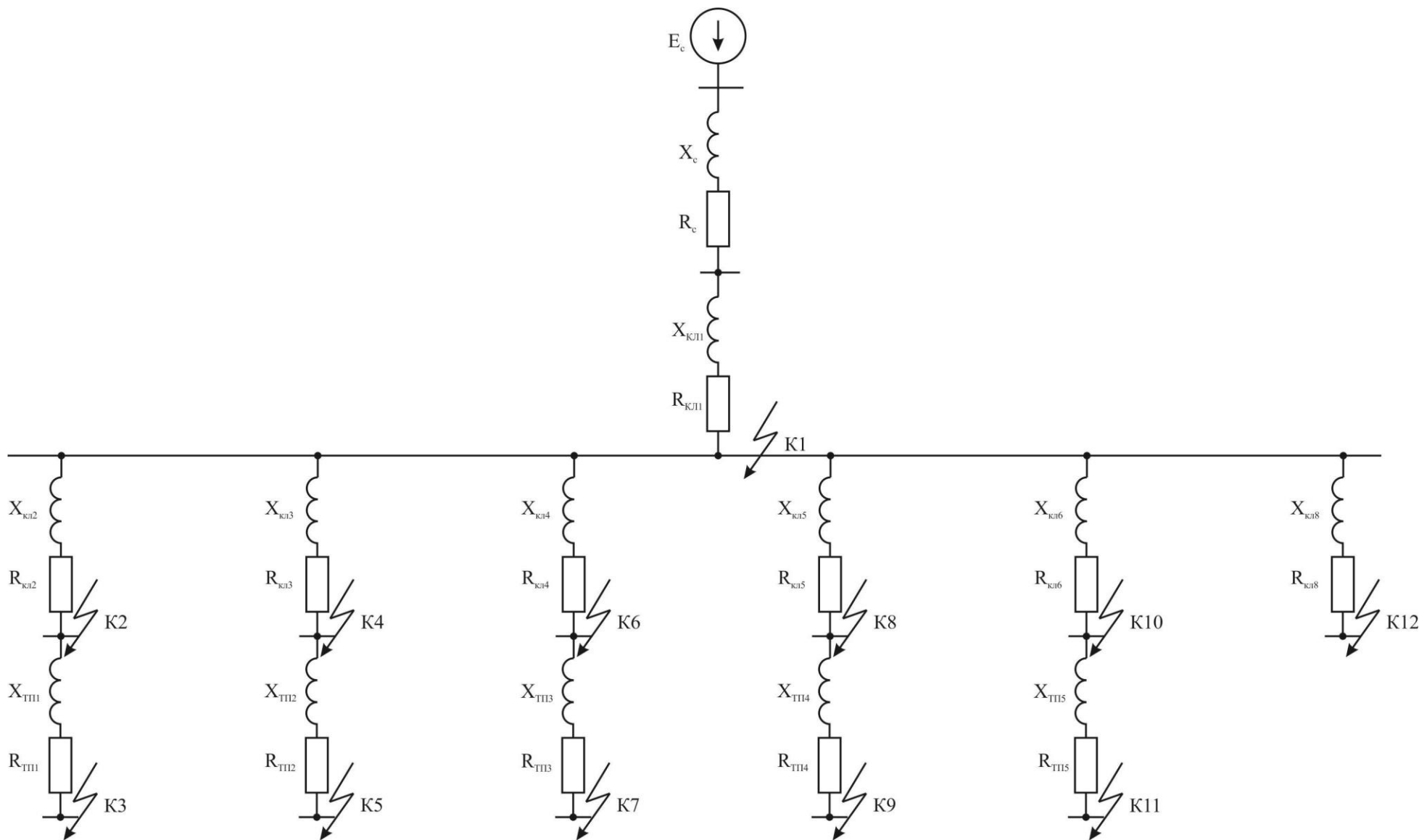


Рис. 8.2. Схема заміщення

Обчислення параметрів КЗ у розрахунковій точці К1.

$$I_{K1(c)''} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{10,5}{1,732 \cdot 2,470} = 2,45 \text{ кА}$$

Стала часу затухання аперіодичної складової:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,870}{314 \cdot 1,614} = 0,0037 \text{ с}$$

$$k_{yд1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0037}} = 1,067$$

$$i_{yд1(c)} = \sqrt{2} \cdot k_{yд1} \cdot I_{K1(c)''} = 1,414 \cdot 1,067 \cdot 2,45 = 3,70 \text{ кА}$$

$$S_{\text{ном.АД}} = \frac{P_{\text{ном.АД}}}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{0,909}{0,92 \cdot 0,75} = 1,317 \text{ МВА}$$

$$X_{\text{АД}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{I_{\text{пуск}}^* \cdot S_{\text{ном.АД}}} = \frac{10,5^2}{5,2 \cdot 1,317} = 16,10 \text{ Ом}$$

$$I_{K1(\text{АД})''} = \frac{E_{\text{АД}} \cdot U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot X_{\text{АД}}} \cdot n = \frac{0,9 \cdot 10,5}{1,732 \cdot 16,10} \cdot 2 = 0,68 \text{ кА}$$

$$i_{yд1(\text{АД})} = \sqrt{2} \cdot k_{yд(\text{АД})} \cdot I_{K1(\text{АД})''} = 1,414 \cdot 1,7 \cdot 0,68 = 1,63 \text{ кА}$$

$$I_{K1''} = I_{K1(c)''} + I_{K1(\text{АД})''} = 2,45 + 0,68 = 3,13 \text{ кА}$$

$$i_{yд1} = i_{yд1(c)} + i_{yд1(\text{АД})} = 3,70 + 1,63 = 5,33 \text{ кА}$$

Перевірка та вибір живильної кабельної лінії КЛ1.

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{cp.HOM}}} = \frac{1432,15}{2 \cdot 1,732 \cdot 10,5} = 39,37 \text{ A}$$

$$B_k = I_{K1'}^2 \cdot (t_{p.3.} + T_{a1}) = 3,13^2 \cdot (1,365 + 0,0037) = 13,41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k} \cdot 10^3}{C} = \frac{\sqrt{13,41} \cdot 1000}{94} = 38,95 \text{ mm}^2$$

Уточнені опори обраної ділянки КЛ1 (довжина 0,188 км):

$$R_{\kappa\Pi 0} = r_0 \cdot l = 0,62 \cdot 0,188 = 0,117 \text{ O}_M$$

$$X_{\text{кп0}} = x_0 \cdot l = 0,09 \cdot 0,188 = 0,017 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Характеристики кабельних ліній напругою 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	12,120	0,129	0,075	1,563	0,909
2	0,188	0,620	0,090	0,117	0,017
3	0,188	0,620	0,090	0,117	0,017
4	0,355	0,620	0,090	0,220	0,032
5	0,333	0,620	0,090	0,206	0,030
6	0,118	0,443	0,086	0,052	0,010
8, 9	0,451	0,620	0,090	0,280	0,041

Обчислення характеристик короткого замикання для вузла К2.

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{K12} = 1,870 + 0,017 = 1,887 \text{ OM}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{K12} = 1,614 + 0,117 = 1,731 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{1,731^2 + 1,887^2} = 2,561 \text{ Ом}$$

$$I_{K2''} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{10,5}{1,732 \cdot 2,561} = 2,37 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega \cdot R_{K2}} = \frac{1,887}{314 \cdot 1,731} = 0,0035 \text{ с}$$

$$k_{yd2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0035}} = 1,057$$

$$i_{yd2} = \sqrt{2} \cdot k_{yd2} \cdot I_{K2''} = 1,414 \cdot 1,057 \cdot 2,37 = 3,54 \text{ кА}$$

Розрахункові показники аварійного режиму в точці К3 (сторона 0,4 кВ).

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{\text{тр}}) \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 = (1,887 + 6,125) \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 8,012 \cdot 0,00145 = 0,0116 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{\text{тр}}) \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 = (1,731 + 0,957) \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,688 \cdot 0,00145 = 0,0039 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0039^2 + 0,0116^2} = 0,0122 \text{ Ом}$$

$$I_{K3''} = \frac{U_{\text{ср.ном.НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,4}{1,732 \cdot 0,0122} = 18,93 \text{ кА}$$

						41

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega \cdot R_{K3}} = \frac{0,0116}{314 \cdot 0,0039} = 0,0095 \text{ с}$$

$$k_{уд3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0095}} = 1,349$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot k_{уд3} \cdot I_{K3''} = 1,414 \cdot 1,349 \cdot 18,93 = 36,11 \text{ кА}$$

Таблиця 6.2. Зведені результати обчислення струмів короткого замикання

№ точки	R, Ом	X, Ом	I _{K''} , кА	T _a , с	k _{уд}	i _{уд} , кА
1	1,614	1,870	3,13	0,0037	1,067	5,33
2	1,731	1,887	2,37	0,0035	1,057	3,54
3	0,0039	0,0116	18,93	0,0095	1,349	36,11
4	1,731	1,887	2,37	0,0035	1,057	3,54
5	0,0039	0,0116	18,93	0,0095	1,349	36,11
6	1,822	1,910	2,30	0,0033	1,050	3,41
7	0,0040	0,0116	18,78	0,0092	1,339	35,56
8	1,809	1,908	2,31	0,0034	1,051	3,43
9	0,0040	0,0116	18,78	0,0092	1,339	35,56
10	1,654	1,888	2,42	0,0036	1,063	3,64
11	0,0039	0,0116	18,93	0,0095	1,349	36,11
12	1,882	1,918	2,26	0,0033	1,046	3,34

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Визначення робочого струмового навантаження для лінії, що живить першу підстанцію (ТП-1):

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1432,15}{2 \cdot 1,732 \cdot 10,5} = 39,37 \text{ А}$$

На основі отриманих даних до прокладання попередньо приймається кабель ААШВ-10 (3х50).

$$I_p \leq K_{\Pi} \cdot I_{\text{доп}} \Rightarrow 39,37 \text{ A} \leq 0,9 \cdot 140 = 126 \text{ A}$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 39,37 = 78,74 \text{ A}$$

$$I_{\text{ав}} \leq K_{\text{ап}} \cdot K_{\Pi} \cdot I_{\text{доп}} \Rightarrow 78,74 \text{ A} \leq 1,35 \cdot 140 = 189 \text{ A}$$

$$B_k = I_{\text{кл}}^2 \cdot (t_{\text{п.з.}} + T_{\text{ал}}) = 3,13^2 \cdot (1,365 + 0,0037) = 13,41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k} \cdot 10^3}{C} = \frac{\sqrt{13,41} \cdot 1000}{94} = 38,95 \text{ мм}^2$$

Результати вибору КЛ наведені в таблиці 6.3.

						43

Таблиця .6.3. Результати вибору КЛ

<i>№ КЛ</i>	<i>n, шт</i>	<i>S_p, МВА</i>	<i>I_p, А</i>	<i>I_{p.ав.}, А</i>	<i>F_{ек}, мм²</i>	<i>B_к, кА²с</i>	<i>F_{min}, мм²</i>	<i>Марка кабеля</i>	<i>I_{дон}, А</i>	<i>K_n</i>	<i>K_nI_{дон}, А</i>	<i>K_{ан}</i>	<i>K'_n</i>	<i>K_{ан}K'_n I_{дон}, А</i>
1	2	7295,34	200,57	401,14	167,14	13,41	38,95	2хАСБ-10(3х240)	355	0,9	319,5	1,35	1	479,25
2	2	1432,15	39,37	78,74	32,81	13,41	38,95	2хААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
3	2	1432,15	39,37	78,74	32,81	13,41	38,95	2хААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
4	2	1406,85	38,68	77,36	32,23	13,41	38,95	2хААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
5	2	1398,13	38,44	76,88	32,03	13,41	38,95	2хААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
6	1	709,26	38,99	-	32,49	13,41	38,95	1хААШв-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
8, 9	1	943,83	51,89	-	43,24	13,41	38,95	1хААШв-10(3х50)	140	1	140	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Обчислення параметрів, необхідних для вибору головного комутаційного апарата (на вводі), наведено далі.

Таблиця 6.4. Перевірка характеристик головного ввідного вимикача

Розрахункова умова	Розрахунок
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
$I_{р.ав} \leq I_{ном}$	$401,14 \leq 630$
$I_{пт} \leq I_{відкл.ном}$	$3,13 \leq 20$
$i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{відкл.ном} (1 + \beta_H)$	$4,42 \leq 39,60$
$I'' \leq I_{дин.ст}$	$3,13 \leq 52$
$i_{уд} \leq i_{дин.мах}$	$5,33 \leq 132,37$
$B_k \leq I_{ТН}^2 \cdot t_{ТН}$	$12,20 \leq 1200$

$$\tau = t_{р.з.мин} + t_{с.в.} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,414 \cdot 3,13 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0037}} \approx 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 \cdot (t_{р.з.мах} + t_{с.в.} + T_a) = 3,13^2 \cdot (1,2 + 0,042 + 0,0037) = 12,20 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

За результатами проведеного зіставлення до встановлення остаточно приймається вакуумний вимикач типу ВР2-10-20/630.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схему підключення трансформаторів власних потреб (ТВП) ілюструє рисунок 6.3.

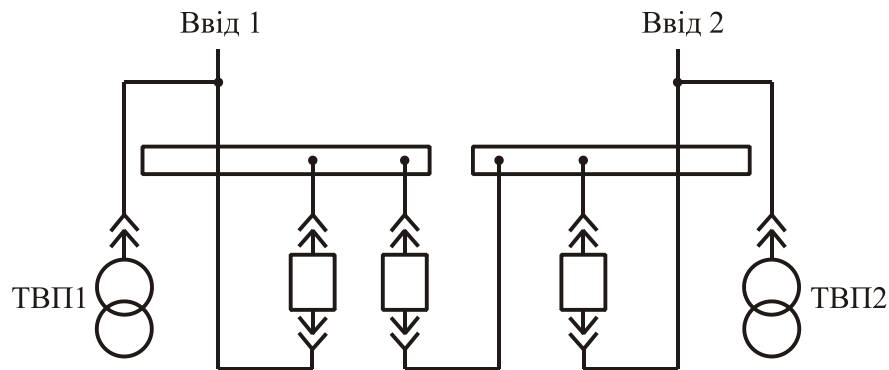


Рис. 6.3. Схема приєднання трансформаторів власних потреб

Для визначення необхідної потужності ПВП попередньо формується перелік усіх внутрішніх споживачів підстанції.

Повна встановлена потужність електроприймачів:

$$S_{\text{уст}} = \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = \sqrt{66,78^2 + 16,70^2} = 68,84 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_{\text{п}} \cdot S_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 68,84 = 55,07 \text{ кВА}$$

До монтажу приймаються два трансформатори ТМ-40/10

Фактичний коефіцієнт завантаження ТВП:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{55,07}{2 \cdot 40} = 0,69$$

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Сучасний етап розвитку промислового сектору нерозривно пов'язаний із необхідністю кардинального перегляду підходів до споживання ресурсів. Ключовим вектором цього спеціального підрозділу є проведення всебічного техніко-економічного аудиту підприємства з метою виявлення прихованих резервів та розробки науково обґрунтованих методів скорочення обсягів використання електроенергії. Трансформація традиційної моделі управління енергоресурсами з екстенсивної на інтенсивну нині виступає не просто бажаною інновацією, а критично важливою умовою виживання бізнесу в конкурентному середовищі. Зменшення енергоємності виготовленої продукції безпосередньо корелює зі зниженням її собівартості, що відкриває нові можливості для реінвестування вивільнених капіталів.

Каталізатором таких змін на макроекономічному рівні слугує безперервна динаміка зростання комерційних тарифів на ринку електричної енергії, а також висока волатильність цін на первинне паливо. Додатковим, але не менш потужним стимулом стає глобальний тренд на екологізацію промисловості та декарбонізацію економіки. Жорсткі вимоги міжнародного законодавства змушують компанії імплементувати передові практики стандартизації, зокрема інтегрувати системи енергетичного менеджменту згідно з вимогами ISO 50001. Цей нормативний документ передбачає перехід до безперервного циклу контролю та вдосконалення, де збереження кіловат-годин стає не одноразовою акцією, а фундаментальною стратегією, що гарантує довгострокову фінансову стійкість.

Зважаючи на багатогранність проблеми, у рамках виконання даного кваліфікаційного дослідження основний акцент навмисно зміщено у бік реновації систем штучного освітлення підприємства. Такий вибір зумовлений кількома вагомими інженерними та фінансовими факторами. По-перше, освітлювальні прилади генерують левову, а головне – постійну частку базового

						47

електроспоживання у загальному добовому графіку навантажень заводу. По-друге, порівняно з капіталомісткою заміною важкого технологічного устаткування (наприклад, конвеєрів чи компресорів), модернізація джерел світла належить до категорії інвестиційних проектів із найкоротшим періодом окупності. Окрім прямого падіння споживаної активної потужності, перехід на інноваційні світлотехнічні рішення дозволяє радикально покращити ергономіку робочих місць і мінімізувати зорову втому персоналу.

7.1 Базові принципи та напрямки формування стратегії енергоефективності

Процес цілеспрямованого зменшення обсягів спожитої електроенергії в масштабах промислового об'єкта вимагає виключно багатовекторного підходу. Успішне подолання цієї проблеми базується на гармонійному та одночасному впровадженні інновацій у чотирьох фундаментальних сферах: технічній, технологічній, організаційній та фінансово-економічній. Лише їхня синергія здатна забезпечити реальний економічний ефект.

Щодо інженерно-технічного сектору, то ключовий пріоритет тут надається ліквідації нераціональних втрат струму безпосередньо у ланцюгах його передачі та розподілу. До першочергових кроків у цьому векторі належать:

- впровадження сучасних автоматизованих установок компенсації реактивної складової (що суттєво розвантажує лінії живлення, зменшує нагрів провідників та стабілізує рівень напруги);
- мінімізація втрат холостого ходу в цехових силових трансформаторах шляхом їх планової заміни на інноваційні моделі (наприклад, агрегати з аморфними осердями);
- застосування частотно-регульованих приводів (ЧРП) на потужних насосних та вентиляторних агрегатах, що дозволяє гнучко адаптувати потужність двигуна до реальних потреб виробничого процесу;

- жорсткий контроль показників якості електроенергії, зокрема встановлення активних фільтрів для боротьби з вищими просторовими гармоніками, які генеруються нелінійними навантаженнями;
- тотальна реконструкція систем штучного освітлення (внутрішньоцехового та периметрального) з переходом на високоефективні LED-світильники. Цей захід не лише радикально зменшить споживану активну потужність, але й покращить ергономіку робочих місць. Для максимізації ефекту передбачається інтеграція систем інтелектуального керування (за протоколом DALI), датчиків освітленості та присутності.

У площині технологічних трансформацій найвищу результативність демонструють такі проектні рішення:

- глибока реновація парку виробничих машин, заміна морально та фізично застарілого енергоємного устаткування на сучасні аналоги з найвищим класом енергоефективності (IE3 або IE4);
- вирівнювання добового графіка електричних навантажень заводу, що передбачає перенесення виконання енергоємних (але не критичних у часі) операцій на нічний період, коли діє пільгова тарифна ставка;
- оптимізація кінематичних схем та своєчасне сервісне обслуговування механізмів для нівелювання зайвих сил тертя та надмірних механічних втрат;
- раціоналізація роботи компресорних станцій (усунення витоків стисненого повітря, зниження надлишкового базового тиску в системі пневмопроводів).

Розглядаючи фінансово-економічний блок, варто виділити необхідність розробки дієвих механізмів внутрішньої мотивації персоналу. Головним завданням є створення такої моделі оплати праці та преміювання, за якої працівники будуть безпосередньо зацікавлені у недопущенні марнотратного використання ресурсів (наприклад, контролюватимуть вимкнення верстатів під час тривалих технологічних пауз).

Найбільш потужним інструментом організаційного характеру є проектування та повноцінне введення в експлуатацію автоматизованих систем

						49

комерційного (АСКОЕ) та технічного (АСТОЕ) обліку енергоресурсів. Це забезпечує диспетчерську службу безперервним потоком об'єктивних цифрових даних, дозволяє миттєво виявляти аномальні сплески споживання та локалізувати осередки прихованих втрат. Не менш вагомим кроком є систематичне підвищення кваліфікаційного рівня електротехнічного персоналу, що формує загальну корпоративну культуру енергозбереження.

Візуалізацію архітектурної побудови автоматизованого комплексу диспетчеризації та контролю виробничих процесів, орієнтованого на економію ресурсів заводу, наведено на рисунку 7.1.

7.2. Техніко-економічне обґрунтування реконструкції освітлювальних комплексів підприємства

Одним із найбільш дієвих та швидкоокупних механізмів оптимізації загальнозаводського енергоспоживання виступає тотальна заміна застарілих джерел світла. Штучне освітлення традиційно формує від 15% до 30% сумарного балансу витрат електрики на промислових об'єктах, що робить цей напрямок пріоритетним для енергоаудиту. У поточній частині роботи здійснюється комплексний аналіз доцільності переходу на напівпровідникові (LED) технології. Дослідження охоплює ключові структурні одиниці заводу: адміністративно-побутовий корпус (офісні площі), безпосередньо виробничі зони (наприкладі відділення збірки двигунів), а також інфраструктуру зовнішнього підсвічування території.



Рис. 7.1. Структурно-логічна організація керуючої системи оптимізації електроспоживання об'єкта

Такий диференційований підхід дозволяє врахувати специфічні санітарні норми та зорові завдання для кожного типу локацій. Окрім прямої економії активної потужності, перехід на твердотільні джерела гарантує суттєве зниження експлуатаційних витрат (відсутність потреби у регулярній заміні ламп та їхній платній утилізації через наявність важких металів).

7.2.1. Проектування нової системи штучного освітлення у відділенні збірки двигунів. До початку процесу реновації базовим джерелом світла у зазначеному цеху слугували класичні купольні світильники серії РСП. Як генеруючий елемент у них встановлювалися дугові ртутні лампи високого тиску номіналом 250 Вт (ДРЛ-250). Експлуатація таких приладів сьогодні вважається технічно неефективною та екологічно небезпечною. Лампи типу ДРЛ характеризуються надзвичайно низькою світловою віддачею (близько 40–50 лм/Вт), швидкою деградацією люмінофора (втрата до 40% яскравості вже після першого року роботи) та низьким індексом передачі кольору ($R_a < 45$). Крім того, наявність значного коефіцієнта пульсацій створює небезпечний стробоскопічний ефект: деталі верстатів, що обертаються, можуть здаватися нерухомими, що категорично неприпустимо за правилами охорони праці.

Уточнені геометричні параметри досліджуваного об'єкта становлять: поздовжній розмір – 161,6 м; поперечний габарит – 60,6 м; відстань від підлоги до перекриття – 10,1 м. Розрахункова площа зорової роботи знаходиться на рівні 0,81 м (стандартна висота робочих столів та верстатів).

Щоб отримати об'єктивну цифрову картину поточного стану світлового середовища, було застосовано спеціалізований інженерний комплекс DIALux. Ця програма дозволяє виконувати високоточні фотометричні симуляції, враховуючи не лише пряме випромінювання від арматури, а й багаторазове відбиття променів від поверхонь стін, стелі та підлоги. У віртуальному середовищі було згенеровано точну 3D-модель цеху, куди імпортувалися фотометричні IES-файли старих світильників з урахуванням їхньої реальної топології розміщення на фермах (тривимірна сцена проілюстрована на рисунку 7.2).

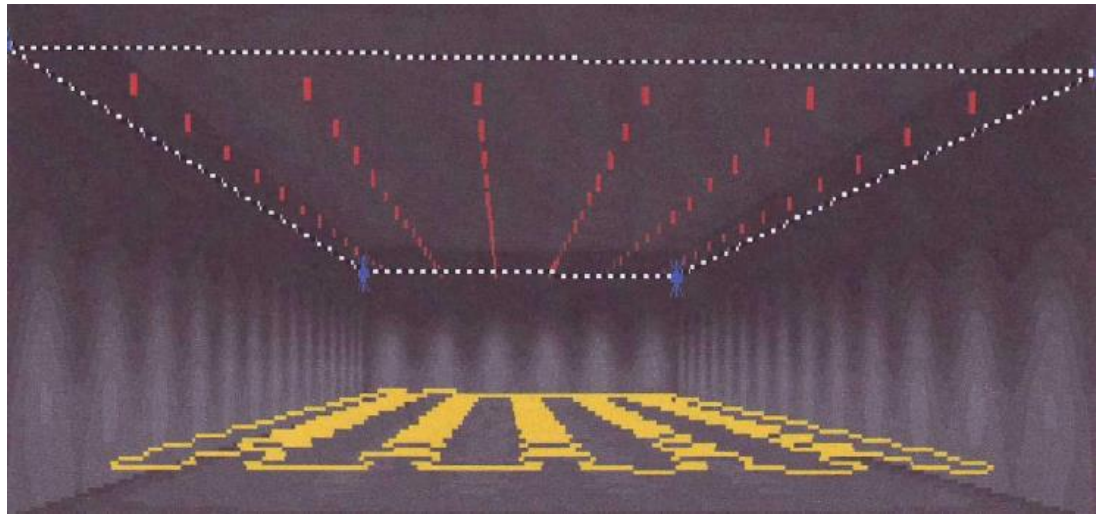


Рис. 7.2. Модель приміщення цеху до проведення модернізації системи освітлення

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання базового (старого) стану виявив такі показники:

- усереднений рівень горизонтальної освітленості на робочій площині склав $E_{\text{сер}} = 153,5$ лк;
- показник загальної рівномірності (відношення найменшого значення до середнього) дорівнює $\frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{сер}}} = 0,364$;
- локальна нерівномірність (співвідношення мінімуму до максимуму) зафіксована на рівні $\frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{max}}} = 0,313$.

Візуалізацію ізолюкс та фіктивних кольорів, що характеризують інтенсивність світлового поля на робочих місцях до початку реконструкції, графічно інтерпретовано на рисунку нижче.

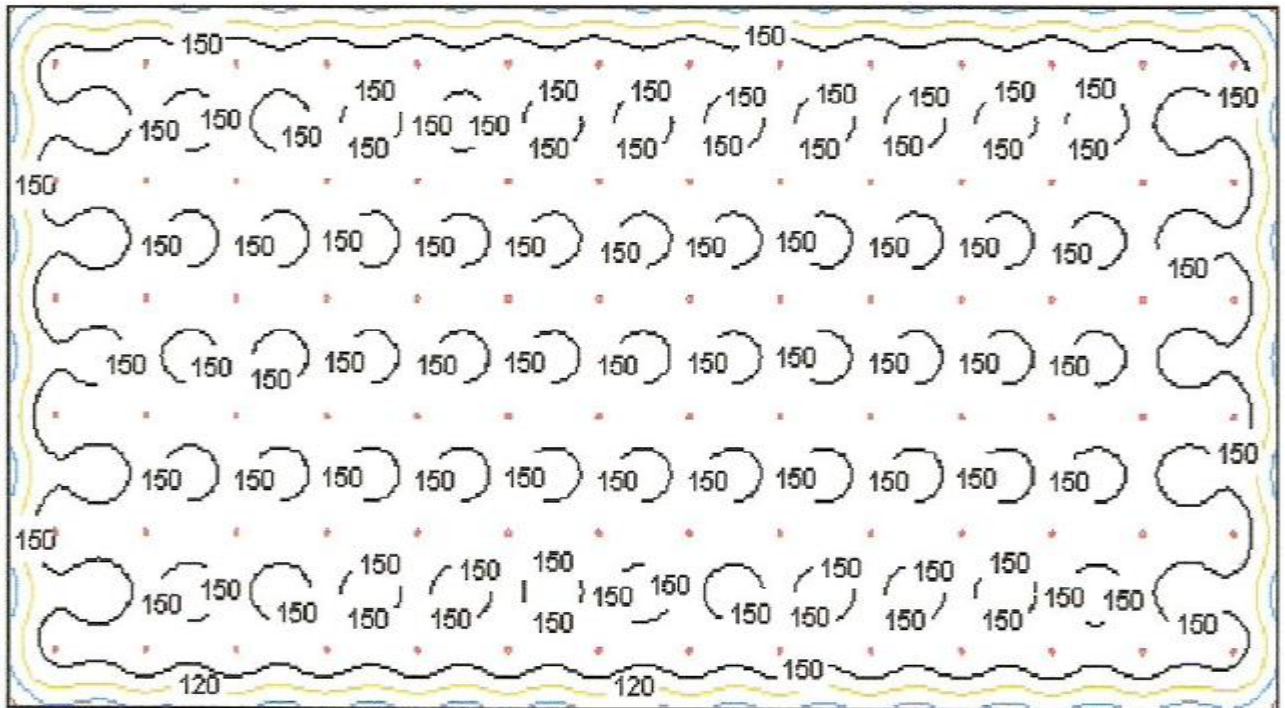


Рис. 7.3. Картограма розподілу світлового потоку всередині цеху (базовий стан із лампами ДРЛ)

Отриманий середній рівень (153,5 лк) балансує на межі мінімально допустимих норм, а низькі коефіцієнти рівномірності свідчать про наявність глибоких затемнених зон між рядами обладнання, що знижує продуктивність праці персоналу.

Зважаючи на виявлені недоліки, проектне рішення передбачає повний демонтаж застарілої апаратури. Як інноваційну альтернативу запропоновано інтегрувати промислові LED-модулі типу СЕС 8-180, які випускаються на потужностях ПАТ «НВП «Радій». Вибір саме цих агрегатів зумовлений їхньою високою енергетичною ефективністю, наявністю імпульсного драйвера (який повністю гасить пульсації світла) та продуманою геометрією алюмінієвого радіатора. Останній фактор гарантує відмінне тепловідведення, що дозволяє кристалом світлодіодів зберігати свої оптичні властивості протягом понад 50 тисяч годин. Крім того, полікарбонатна оптика цих приладів формує концентровану криву сили світла (КСС), яка ідеально підходить для приміщень із високими прольотами (High Bay).

Основні електротехнічні та світлотехнічні параметри запропонованого світлодіодного обладнання систематизовано в наступній таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Паспортні технічні специфікації напівпровідникового світильника серії CEC 8-180

№ з/п	Характеристика	Розрахункове значення
1	Номінальна споживана потужність, Вт	196,0
2	Паспортний світловий потік, лм	25391...28209
3	Температурний діапазон експлуатації, °C	-40...+51
4	Напруга живлення (робочий діапазон), В	111...267
5	Номінальний коефіцієнт потужності ($\cos\phi$)	0,91
6	Допустимий відсоток пульсацій світлового потоку	$\leq 1\%$

Завдяки реалізації проекту із заміни застарілих газорозрядних приладів на інноваційне світлодіодне обладнання вдалося досягти комплексного позитивного ефекту. В першу чергу, розрахунковий рівень горизонтальної освітленості не просто перетнув мінімально допустиму межу, а й вийшов на стабільно високі нормативні показники. Паралельно з цим зафіксовано радикальне падіння сумарної споживаної активної потужності освітлювальної мережі.

Такий феномен пояснюється фундаментальними фізичними відмінностями джерел світла: LED-кристали трансформують у видимий спектр випромінювання переважну частину отриманої електроенергії, тоді як ртутні лампи розсіюють величезні обсяги кіловат-годин у вигляді непотрібного теплового (інфрачервоного) випромінювання. Крім того, лінзована оптика нових пристроїв забезпечує суворо направлений розподіл світлових променів виключно на робочі площини верстатів, унеможливорюючи паразитне засвічення верхніх ярусів стін та стелі.

Топологія розташування змонтованих напівпровідникових модулів у просторі приміщення наочно проілюстрована на рисунку 7.4.

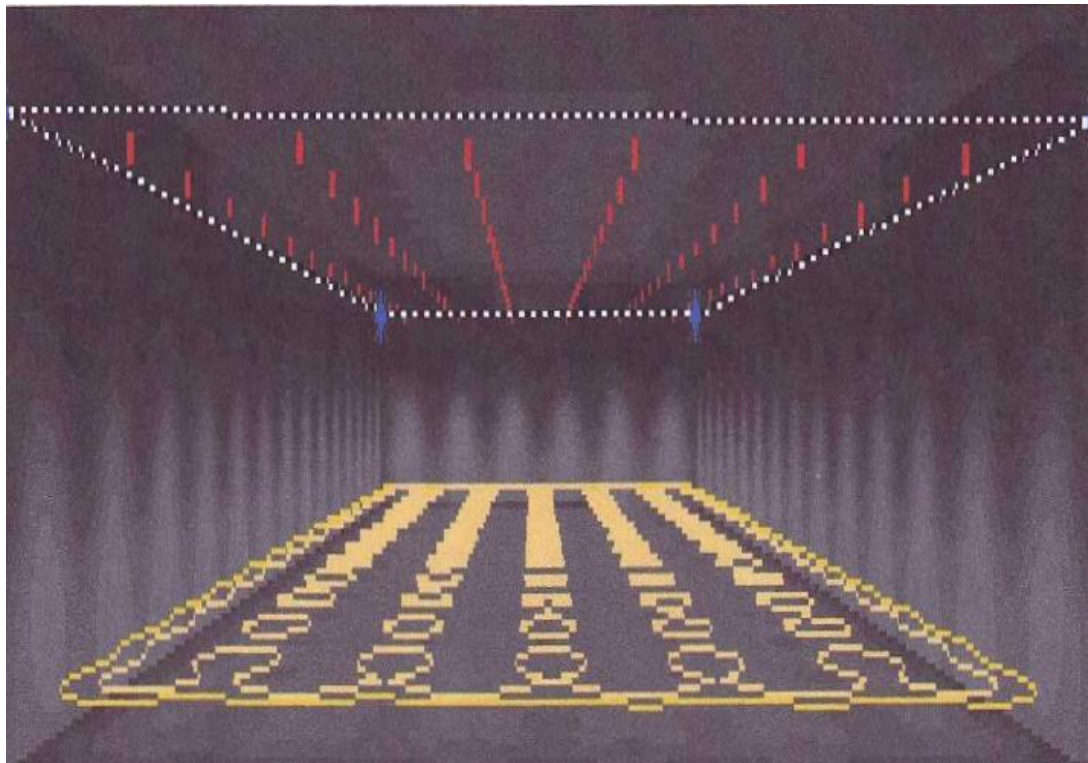


Рис. 7.4. Оновлена 3D-модель простору цеху із затвердженою архітектурою розміщення LED-приладів (пост-модернізаційний стан)

Після проведення повторної ітерації комп'ютерних симуляцій у фотометричному комплексі DIALux для оновленої конфігурації були отримані такі цифрові індикатори:

- усереднений показник освітленості на рівні робочих столів зріс до $E_{\text{сер}} = 208,1$ лк;
- загальний коефіцієнт рівномірності (відношення найменшого значення до середнього) стабілізувався на позначці $\frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{сер}}} = 0,364$;
- локальний градієнт освітленості (відношення мінімуму до максимуму) склав $\frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{max}}} = 0,313$.

Графічну інтерпретацію нового, значно одноріднішого світлового поля наведено на рис. 7.5.

Таблиця 7.2. Значення техніко-економічних показників варіантів системи освітлення моторного цеху

№ з/п	Критерій оцінки (параметр)	Базова система (лампи ДРЛ-250)	Проектна система (СЕС 8-180)
1	Обсяг початкових капіталовкладень, тис. грн.	-	225,23
2	Сумарна активна потужність установки, Р, кВт	20,60	6,16
3	Річний обсяг спожитої електроенергії, W, кВт·год	41043,17	12232,51
4	Чиста економія електричної енергії, ΔW , кВт·год/рік	28810,66	
5	Щорічні фінансові витрати на оплату електроенергії, тис. грн./рік	130,69	38,99
6	Сумарна річна економія фінансових ресурсів, тис. грн./рік	91,70	
7	Розрахунковий період окупності інвестицій, $T_{ок}$, років	2,46	

Детальний аналіз отриманих техніко-економічних індикаторів (наведених у таблиці 7.2) яскраво підтверджує абсолютну рентабельність та доцільність впровадження запропонованого інженерного рішення. Шляхом повної заміни застарілих газорозрядних джерел світла на інноваційні напівпровідникові прилади, сумарна встановлена потужність освітлювальної мережі даного виробничого підрозділу скоротилася більш ніж у тричі (з 20,60 кВт до 6,16 кВт). У річному еквіваленті це гарантує колосальне вивільнення енергоресурсів – підприємство заощаджуватиме 28 810,66 кВт·год активної енергії щороку.

Транслюючи ці енергетичні показники у фінансову площину, можна констатувати, що пряма економія грошових коштів на сплаті комунальних рахунків за тарифами комерційного споживання сягатиме 91,70 тисяч гривень щорічно. При цьому загальна вартість реалізації проекту (закупівля LED-світильників, демонтаж старого обладнання та монтажні роботи) складає 225,23 тис. грн. Застосовуючи класичну формулу оцінки інвестицій ($T_{ок} = K / E$), отримуємо чистий термін окупності на рівні 2,46 року. Для об'єктів промислової

енергетики будь-який період повернення коштів, що не перевищує п'яти років, класифікується як високорентабельний.

Додатково варто підкреслити непрямий екологічний ефект від реалізації даного заходу. Зменшення електроспоживання на майже 29 МВт·год щороку пропорційно знижує вуглецевий слід підприємства (обсяг викидів парникових газів генеруючими станціями), що відповідає глобальним принципам сталого розвитку та вимогам міжнародного екологічного менеджменту серії ISO 14000. Також завод повністю усуває юридичні ризики та регулярні фінансові витрати, пов'язані з необхідністю спеціалізованої утилізації ртутновмісних колб відпрацьованих ламп ДРЛ, оскільки світлодіодне обладнання є абсолютно безпечним компонентом твердих побутових відходів.

7.2.2. Реконструкція освітлювального комплексу адміністративного корпусу. Окрім виробничих зон, критично важливим об'єктом для впровадження енергозберігаючих ініціатив є адміністративно-побутовий блок підприємства, де зосереджено інженерно-технічний та керівний персонал. До початку реалізації проекту освітлення кабінетів та коридорів заводу управління забезпечувалося класичними растровими світильниками, укомплектованими лінійними трубчастими люмінесцентними лампами. Сумарна споживана потужність одного такого модуля становила близько 303 Вт (з урахуванням втрат у пускорегулювальній апаратурі).

Експлуатація електромагнітних люмінесцентних систем в офісних просторах сьогодні є вкрай небажаною з огляду на санітарно-гігієнічні вимоги. Такі лампи генерують низькочастотне мерехтіння (з частотою 100 Гц), яке, хоч і майже непомітне для свідомості, викликає швидку втому зорового нерва та головний біль під час тривалої роботи за комп'ютерними моніторами. Крім того, старі дроселі створюють постійний акустичний шум (гудіння), що знижує концентрацію уваги співробітників, а сама конструкція ламп містить пари ртуті, що вимагає складних процедур демеркуризації у разі пошкодження колби.

Архітектурні параметри досліджуваного адміністративного простору становлять: поздовжній розмір – 26,3 м; поперечна ширина – 6,1 м; висота від

						59

рівня підлоги до стелі – 3,03 м. Нормована висота розрахункової робочої площини (поверхня письмових столів) прийнята на рівні 0,81 м.

Для об'єктивної оцінки базового стану світлового середовища було застосовано вже згаданий інженерно-світлотехнічний софт DIALux. У віртуальному просторі програми інженери збудували точну тривимірну репрезентацію офісного приміщення, куди перенесли фактичну топологію розташування існуючих люмінесцентних приладів (графічну копію створеної 3D-сцени наведено на рисунку 7.6).

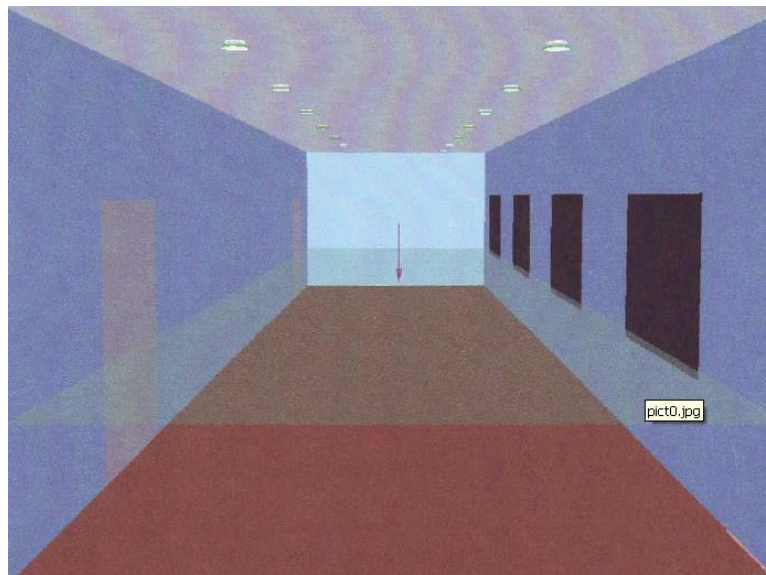


Рис. 7.6. Віртуальна об'ємна модель адміністративного простору із початковою схемою інсталяції світильників (стан до реконструкції)

Після запуску алгоритмів трасування променів та обчислення багаторазових відбиттів від інтер'єрних поверхонь, фотометричний розрахунок видав такі стартові показники:

- середньоарифметичне значення горизонтальної освітленості на столах дорівнювало $E_{\text{сер}} = 216,1$ лк;
- коефіцієнт загальної просторової рівномірності (відношення мінімуму до середнього) зафіксовано на рівні $\frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{сер}}} = 0,465$;

- показник локального перепаду освітленості (відношення найменшого до найбільшого значення) склав $\frac{E_{min}}{E_{max}} = 0,364$.

Для кращого розуміння реальної картини, візуалізовану площину розподілу світлового потоку в кабінетах управління показано на рисунку 7.7.

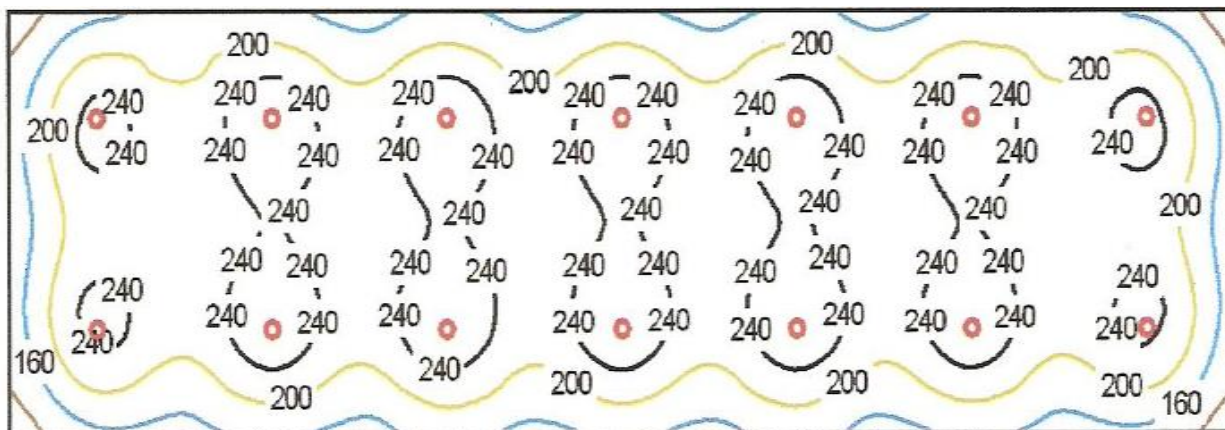


Рис. 7.7. Топографія розподілу рівнів освітленості в приміщенні адміністративного корпусу (базова люмінесцентна система)

Отриманий середній показник (216,1 лк) є абсолютно недостатнім для комфортного виконання точних зорових завдань (читання креслень, робота з документацією), оскільки сучасні європейські норми вимагають для офісів не менше 300–400 лк. Низька рівномірність також свідчить про наявність "сліпих зон" по кутах приміщення.

Щоб виправити ситуацію та одночасно зменшити рахунки за електрику, було ухвалено рішення демонтувати люмінесцентні модулі та встановити сучасні світлодіодні LED-панелі серії УСП-45. Ця продукція, виготовлена вітчизняним виробником ПАТ «НВП «Радій», ідеально підходить для підвісних стель типу "Армстронг". Напівпровідникові панелі мають матовий розсіювач (опал), що усуває ефект засліплення (показник дискомфорту UGR < 19) та гарантує м'яке, рівномірне заповнення простору світлом. Важливим фактором стала і підібрана колірна температура (близько 4000 К – нейтральне біле світло), яка вважається оптимальною для підтримання робочого тону та концентрації уваги персоналу протягом усього дня.

Паспортні електротехнічні характеристики обраних світлодіодних панелей деталізовано в наступній таблиці.

Таблиця 7.3. Технічні характеристики напівпровідникової LED-панелі серії УСП-45

№ з/п	Найменування параметра	Розрахункове значення
1	Номінальна споживана активна потужність, Вт	45,5
2	Паспортний генеруючий світловий потік, лм	7272,0
3	Робочий діапазон напруги живлення, В	111...303
4	Номінальний коефіцієнт потужності ($\cos\phi$)	0,980
5	Максимально допустима пульсація світлового потоку	$\leq 1\%$

Практична реалізація даного проектного рішення призвела до разючих якісних та кількісних змін. По-перше, завдяки високій світловіддачі нових приладів, фактичний рівень горизонтальної освітленості на робочих поверхнях не просто досяг мінімальних санітарних норм, а й створив комфортний запас яскравості. По-друге, паралельно з цим покращенням, сумарне навантаження офісної освітлювальної мережі на живильні фідери знизилося в кілька разів, що гарантує суттєву економію фінансових ресурсів компанії.

Крім того, матові полікарбонатні розсіювачі світильників УСП-45 забезпечують ідеальну дифузію світлових променів. Це повністю усуває проблему прямого сліпучого ефекту (так званого дискомфортного відблиску), що є критично важливим параметром для приміщень, де співробітники постійно працюють з паперовими документами та екранами електронних пристроїв. Зниження зорового навантаження прямо пропорційно впливає на продуктивність праці: зменшується кількість помилок, підвищується загальний тонус персоналу та знижується рівень стресу наприкінці робочої зміни.

Оновлена просторова конфігурація змонтованих напівпровідникових панелей у робочому просторі офісу наочно продемонстрована на наступному графічному матеріалі.

рівномірності (понад 0,5) підтверджують факт ліквідації затемнених кутів у кабінетах.

Деталізовану ізолюксну мапу, що відображає однорідність світлового поля у модернізованому офісному просторі, наведено на рисунку 7.9.

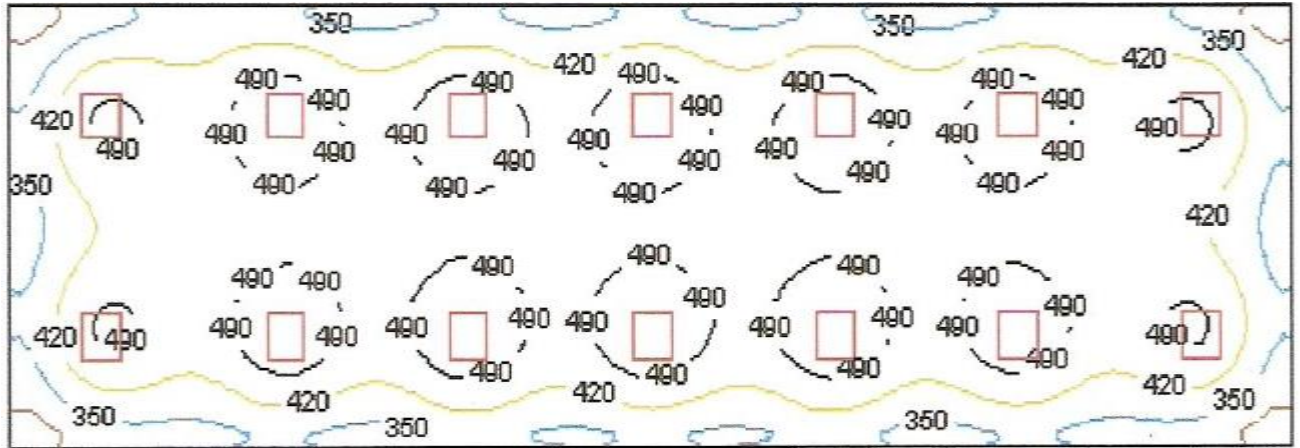


Рис. 7.9. Картограма розподілу інтенсивності освітлення у приміщенні заводу управління (за результатами впровадження інноваційних рішень)

Підсумкові фінансові та енергетичні індикатори, що дозволяють об'єктивно зіставити люмінесцентну та світлодіодну системи для адміністративного корпусу, зведено до спільної аналітичної таблиці 7.4.

Спираючись на аналітичні дані, наведені у таблиці 7.4, можна зробити однозначний висновок щодо надвисокої рентабельності запропонованої модернізації. Перехід від енергоємних традиційних джерел світла до інноваційних LED-панелей дозволяє скоротити споживану потужність освітлювального комплексу заводу управління у три рази (з 111,3 кВт до 37,07 кВт). У річному вимірі така технічна трансформація гарантує підприємству збереження майже 148 тисяч кіловат-годин електричної енергії.

Таблиця 7.4. Аналіз економічної ефективності реконструкції освітлення адміністративного корпусу

№ з/п	Критерій оцінки (техніко-економічний параметр)	Базова система (аналог НСП-300)	Проектна система (УСП-45)
1	Необхідний обсяг капітальних інвестицій, тис. грн.	-	1033,23
2	Загальна встановлена активна потужність, Р, кВт	111,30	37,07
3	Сумарне річне споживання електроенергії, W, кВт·год	221713,58	73904,53
4	Обсяг заощадженої електричної енергії, ΔW , кВт·год/рік	147809,05	
5	Щорічні фінансові витрати на енергопостачання, тис. грн./рік	706,19	235,43
6	Чиста річна економія грошових коштів, E, тис. грн./рік	470,76	
7	Розрахунковий період повернення інвестицій, $T_{ок}$, років	2,19	

У фінансовому еквіваленті це означає, що компанія щорічно залишатиме на своїх рахунках понад 470 тисяч гривень, які раніше витрачалися на оплату комунальних послуг за комерційним тарифом. Оскільки сумарна вартість закупівлі та монтажу нових напівпровідникових панелей становить 1033,23 тис. грн, показник окупності проекту ($T_{ок}$) дорівнюватиме лише 2,19 року. У сучасній практиці енергетичного менеджменту будь-які інфраструктурні інвестиції з терміном повернення до трьох років вважаються максимально пріоритетними для негайного фінансування.

Крім прямого економічного зиску, варто обов'язково враховувати так званий "вторинний енергозберігаючий ефект", який часто ігнорують при базових аудитах. Старі лампи (особливо розжарювання або електромагнітні люмінесцентні) перетворюють значну частину струму на тепло, постійно нагріваючи повітря в офісних приміщеннях. Встановлення "холодних" світлодіодних панелей УСП-45 суттєво зменшує теплові надходження всередині будівлі. Це, у свою чергу, радикально знижує теплове навантаження на системи

кондиціонування (HVAC) у літній період, що призводить до додаткової економії електроенергії на роботі компресорів спліт-систем.

Також підприємство отримує відчутне скорочення операційних витрат (ОРЕХ). Завдяки експлуатаційному ресурсу світлодіодів, який перевищує 50 000 годин, служба головного енергетика позбавляється необхідності регулярно закуповувати змінні колби, стартери чи дроселі, а також відволікати електротехнічний персонал на проведення поточних ремонтів офісного освітлення протягом наступних 10–12 років.

7.2.3. Реконструкція мереж зовнішнього освітлення території підприємства. Фінальним, але не менш значущим етапом комплексної модернізації світлотехнічного господарства заводу є оновлення інфраструктури вуличного освітлення. Забезпечення якісної видимості на під'їзних шляхах, у логістичних зонах, на відкритих складах та по периметру огорожі є критично важливою умовою для безпечного пересування транспортних засобів та пішоходів у темну пору доби. Крім того, від рівня та спектрального складу нічного освітлення напряму залежить ефективність роботи охоронних систем та камер відеоспостереження (CCTV).

До початку проектування функція освітлення відкритих майданчиків реалізовувалася за допомогою консольних вуличних світильників застарілої серії РКУ. Як джерела випромінювання у них застосовувалися класичні ртутні газорозрядні лампи ДРЛ-250. Загальна споживана активна потужність цього зовнішнього комплексу становила 12,73 кВт.

Експлуатація приладів РКУ з лампами ДРЛ у вуличних умовах супроводжується низкою суттєвих експлуатаційних проблем. По-перше, ртутні лампи мають вкрай низький індекс кольоропередачі (спектр зміщений у синьо-зелену зону), що унеможлиблює точну ідентифікацію кольорів автомобілів чи одягу людей на записах з камер спостереження. По-друге, ці лампи дуже чутливі до температурних коливань: у зимовий період (при мінусових температурах) час їхнього розгоряння до номінальної яскравості може розтягуватися на 10–15 хвилин, а у разі короткочасного провалу напруги лампа згасне і не зможе

увімкнутися повторно, доки повністю не охолоне колба. Додатковим мінусом є конструкція рефлектора РКУ, яка формує неефективну криву сили світла, спрямовуючи значний відсоток фотонів у нічне небо (генеруючи так зване "світлове забруднення").

Фактичні параметри існуючої мережі вуличного освітлення систематизовано у таблиці 7.5.

Таблиця 7.5. Вихідні технічні характеристики комплексу зовнішнього освітлення (до початку модернізації)

№ з/п	Найменування технічного параметра	Значення параметра
1	Тип та марка консольного світильника	РКУ
2	Тип встановленого джерела світла	ДРЛ-250
3	Номінальна споживана потужність одного приладу, кВт	0,253
4	Загальна кількість змонтованих точок освітлення, шт.	51
5	Орієнтовна висота підвісу на опорах, м	10,1
6	Кут нахилу оптичної осі відносно горизонту, град.	30,3

Візуальний вигляд консольного пристрою, що підлягає повному демонтажу, представлено на рисунку 7.10.



Рис. 7.10. Зовнішній вигляд типового вуличного світильника серії РКУ

Щоб кардинально підвищити енергоефективність та надійність периметрального освітлення, інженерним проектом передбачається заміна апаратури РКУ на спеціалізовані магістральні LED-світильники моделі СЕС 2-35Л1. Цей високотехнологічний продукт, що серійно випускається вітчизняним підприємством ПАТ «НВП «Радій», спроектований спеціально для жорстких умов зовнішньої експлуатації.

Серед головних переваг обраного обладнання варто виділити миттєвий вихід на 100% світлового потоку незалежно від температури навколишнього середовища (відмінний холодний старт), а також високий ступінь захисту оболонки від пилу та атмосферних опадів (IP65/IP67). Особливу цінність становить вторинна оптика світильника (групові лінзи), яка формує так звану "широку бічну" (batwing) діаграму спрямованості. Це дозволяє рівномірно "розтягувати" світлову пляму вздовж дорожнього полотна, усуваючи ефект "зебри" (чергування яскравих плям під опорами та глибоких тіней між ними). Корпус, виготовлений з анодованого алюмінієвого профілю, гарантує ефективне розсіювання тепла від напівпровідникових кристалів та має високу аеродинамічну стійкість до вітрових навантажень.

Екстер'єр запропонованого до встановлення світлодіодного модуля наведено на рис. 7.11.



Рис. 7.11. Конструктивне виконання інноваційного вуличного світильника СЕС 2-35Л1

Деталізовані електротехнічні та експлуатаційні параметри нової системи генерації світла зведено в аналітичну таблицю 7.6.

						68

Таблиця 7.6. Паспортні технічні характеристики консольного LED-світильника
СЕС 2-35Л1

№ з/п	Найменування робочого параметра	Фактичне значення
1	Номінальна споживана потужність агрегату, Вт	35,35
2	Ефективний світловий потік, лм	5125,75
3	Ступінь захисту оболонки від пилу та вологи	IP 66
4	Допустимий температурний діапазон середовища, °C	від -40 до +51
5	Робочий діапазон вхідної напруги живлення, В	91...308
6	Номінальний коефіцієнт потужності ($\cos\phi$)	$\geq 0,98$
7	Коефіцієнт пульсації світлового потоку	$\leq 1\%$

Варто звернути окрему увагу на пункт 5 наведеної таблиці. Широкий діапазон допустимої вхідної напруги (від 91 до 308 В) робить модель СЕС 2-35Л1 абсолютно невразливою до перекосів фаз, значних провалів напруги на довгих лініях або раптових стрибків у мережі, що є типовою проблемою для протяжних зовнішніх контурів промислових підприємств. Крім того, герметичний корпус класу IP66 повністю виключає потрапляння всередину атмосферних опадів, комах чи дрібнодисперсного пилу, гарантуючи багаторічну безперебійну роботу оптичної системи без необхідності її очищення.

Зведені результати фінансового та енергетичного аудиту, які дозволяють наочно порівняти ефективність базового та запропонованого проектного рішень для вуличного освітлення, згруповано у таблиці 7.7.

Детальний аналіз наведених розрахункових даних яскраво свідчить про високу результативність виконаної реконструкції. Заміна енергоємних ртутних джерел на напівпровідникові аналоги дозволила різко знизити сумарну потужність периметрального контуру з 12,73 кВт до мізерних 1,82 кВт. Завдяки цьому вивільнилося 21 829,33 кВт·год електричної енергії протягом одного року експлуатації. У фінансовому еквіваленті таке стрімке падіння споживання конвертується у збереження 69,49 тисяч гривень компанії щороку.

Таблиця 7.7. Аналіз економічної ефективності модернізації мережі зовнішнього освітлення підприємства

№ з/п	Критерій оцінки (техніко-економічний параметр)	Базова система (світильники РКУ з ДРЛ-250)	Проектна система (СЕС 2-35Л1)
1	Загальна сума капітальних інвестицій, тис. грн.	-	121,20
2	Сумарна активна потужність установки, Р, кВт	12,73	1,82
3	Річний обсяг спожитої електроенергії, W, кВт·год	25350,19	3520,86
4	Чиста економія електричної енергії, ΔW , кВт·год/рік	21829,33	
5	Щорічні фінансові витрати на оплату електроенергії, тис. грн./рік	80,70	11,21
6	Сумарна річна економія фінансових ресурсів, тис. грн./рік	69,49	
7	Розрахунковий період окупності інвестицій, $T_{ок}$, років	1,74	

Зважаючи на те, що загальна вартість реалізації проекту (закупівля ліхтарів та послуги з монтажу за допомогою спецтехніки) становить 121,20 тис. грн, повне повернення вкладених коштів відбудеться всього за 1,74 року. Для будь-яких промислових інфраструктурних інвестицій такий період окупності вважається феноменально коротким і безапеляційно підтверджує економічну доцільність впровадження розробленого заходу. Ефективність даної системи можна буде додатково підвищити в майбутньому шляхом інтеграції астрономічного таймера або датчиків освітленості (фотореле), які автоматично коригуватимуть час вмикання/вимикання вуличних ліхтарів залежно від тривалості світлового дня.

Спираючись на проведений глибокий техніко-економічний аналіз, можна сформулювати чіткий висновок: комплексна модернізація світлотехнічного господарства виступає найшвидшим, найрентабельнішим та найефективнішим інструментом у загальній стратегії енергозбереження промислового об'єкта.

Послідовна відмова від застарілих джерел світла (ламп розжарювання, ртутних та люмінесцентних трубчастих ламп) на користь сучасних світлодіодних технологій (LED) не лише генерує прямий економічний прибуток за рахунок радикального зменшення кіловат-годин. Цей крок паралельно розв’язує цілий каскад суміжних інженерних та екологічних завдань: вивільняє пропускну здатність живильних кабельних ліній та трансформаторів, підвищує загальний cosφ підприємства, усуває шкідливий вплив пульсацій світла на здоров’я персоналу, мінімізує витрати на технічне обслуговування (завдяки тривалому ресурсу LED-кристалів), а також повністю ліквідує юридичні та фінансові проблеми, пов’язані з необхідністю спеціальної утилізації ртутновмісних відходів. Запропонований комплекс заходів є фундаментальною базою для подальшої сертифікації підприємства за міжнародними стандартами енергетичного менеджменту.

На основі проведеного комплексу теоретичних, розрахункових та аналітичних досліджень, викладених у спеціальній частині кваліфікаційної роботи, можна сформулювати ґрунтовні висновки щодо доцільності та високої ефективності впровадження енергозберігаючих технологій на сучасному промисловому підприємстві.

Головним лейтмотивом даного розділу стало доведення тези про те, що перехід до раціонального використання енергоресурсів є не лише інструментом виконання екологічних нормативів, але й потужним важелем для підвищення економічної конкурентоспроможності бізнесу. Детальний аудит існуючої інфраструктури показав, що найшвидшим та найменш капіталомістким шляхом до суттєвої мінімізації витрат активної потужності є тотальна реконструкція світлотехнічного господарства заводу.

Реалізація інженерних рішень здійснювалася з використанням спеціалізованого програмного середовища DIALux, що дозволило відійти від наближених емпіричних розрахунків і створити точні тривимірні фотометричні моделі для кожного типу приміщень. Такий підхід гарантував, що процес енергозбереження не призведе до погіршення умов праці, а навпаки – виведе

санітарно-гігієнічні параметри на рівень сучасних європейських стандартів освітленості.

Аналіз результатів по окремих структурних підрозділах демонструє такі ефекти:

1. У виробничій зоні (відділення збірки двигунів) заміна застарілих дугових ртутних ламп ДРЛ-250 на промислові світлодіодні модулі СЕС 8-180 дозволила знизити споживану потужність освітлювальної мережі більш ніж у три рази. Окрім прямої річної економії на рівні 28,8 МВт·год (що еквівалентно збереженню 91,7 тис. грн), було вирішено критично важливу проблему охорони праці. Нові LED-драйвери повністю ліквідували небезпечний стробоскопічний ефект, притаманний газорозрядним лампам, що суттєво знижує ризик виробничого травматизму під час роботи з механізмами, які обертаються. Розрахунковий період окупності інвестицій для даного цеху склав 2,46 року.

2. В адміністративно-побутовому корпусі (заводууправлінні) демонтаж електромагнітних люмінесцентних світильників та встановлення сучасних LED-панелей УСП-45 принесли наймасштабніший фінансовий результат. Завдяки ідеальному розподілу світлового потоку та усуненню дискомфорту відблиску вдалося кардинально знизити зорову втому інженерно-керівного персоналу. Економічний ефект від цього заходу є безпрецедентним: щорічно підприємство заощаджуватиме близько 147,8 МВт·год електроенергії (понад 470 тис. грн). При цьому капіталовкладення повернуться компанії всього за 2,19 року, а "холодне" світіння панелей додатково розвантажить системи кондиціонування у літній період.

3. Для комплексу периметрального (зовнішнього) освітлення перехід від консольних ліхтарів РКУ до інноваційних магістральних світильників СЕС 2-35Л1 забезпечив не лише економію, але й різке підвищення рівня безпеки території. Широка діаграма спрямованості нових приладів усунула "сліпі зони" для камер відеоспостереження, а стійкість обладнання до глибоких просядок напруги гарантує безперебійне світіння за будь-яких погодних умов. Фінансові індикатори цього етапу виявилися найкращими: економія сягає майже 21,8

						72

МВт·год (69,5 тис. грн на рік), а інвестиції повністю окупаються за рекордно короткі 1,74 року.

Акумулюючи розрахункові дані по всіх трьох об'єктах модернізації, можна констатувати, що реалізація запропонованого комплексного проекту дозволить промисловому підприємству щорічно економити близько 198,4 тисяч кВт·год електричної енергії. У грошовому вимірі це конвертується у чисте збереження понад 631 тисячі гривень операційних коштів щороку.

Паралельно з прямою фінансовою вигодою, компанія досягає потужного синергетичного ефекту в експлуатаційній та екологічній сферах. Повна відмова від газорозрядних та люмінесцентних джерел світла назавжди знімає з підприємства юридичну відповідальність та фінансовий тягар щодо зберігання і платної утилізації токсичних ртутновмісних відходів. Завдяки колосальному ресурсу напівпровідникових кристалів (понад 50 тисяч годин), служба головного енергетика звільняється від рутинних завдань із регулярної заміни ламп, стартерів та дроселів протягом наступного десятиліття.

Підсумовуючи вищевикладене, інвестиції у високотехнологічне світлодіодне освітлення є абсолютно виправданими, безризиковими та надзвичайно рентабельними. Розроблений проект є фундаментальним базисом для подальшої сертифікації заводу за міжнародними стандартами системи енергетичного менеджменту ISO 50001, підтверджуючи курс підприємства на сталий розвиток, безпеку праці та мінімізацію вуглецевого сліду в навколишньому середовищі.

ВИСНОВКИ

У рамках виконання даної кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне проектування та техніко-економічне обґрунтування системи внутрішньозаводського електропостачання промислового підприємства. Головною метою дослідження виступало створення надійної, безпечної, гнучкої та енергоефективної інфраструктури, здатної забезпечити безперебійне живлення технологічного устаткування з урахуванням сучасних вимог до якості електроенергії та екологічних стандартів.

Послідовне вирішення поставлених інженерних завдань дозволило сформулювати цілісну концепцію електрифікації об'єкта та зробити наступні підсумкові висновки:

На основі аналізу генерального плану та просторового розміщення центрів електричних навантажень було детерміновано конфігурацію внутрішньозаводської мережі напругою 10 кВ. Як найбільш оптимальне рішення безальтернативно прийнято радіальну схему живлення цехових трансформаторних підстанцій. Такий підхід гарантує найвищий рівень експлуатаційної надійності, оскільки аварія на одному з фідерів призводить до знеструмлення лише локального вузла, зберігаючи працездатність решти виробничих підрозділів. Відносно невелика протяжність кабельних трас дозволила мінімізувати втрати напруги та спростити налаштування систем релейного захисту.

Шляхом складання балансу реактивної потужності було вирішено задачу розвантаження живильних ліній від перетікань реактивних струмів. На основі багатокритеріального техніко-економічного розрахунку визначено, що найбільш доцільним є встановлення 10 цехових трансформаторних підстанцій. Для забезпечення нормативного коефіцієнта потужності ($\cos\varphi$) спроектовано комбіновану систему компенсації: встановлення низьковольтних конденсаторних батарей (загальною потужністю 3970 квар) безпосередньо біля споживачів та

високовольтних установок (1212 квар) на стороні 10 кВ. Це рішення радикально знизило втрати активної потужності в елементах мережі до 66 кВт.

Зважаючи на категорійність споживачів щодо надійності електропостачання, для комплектації цехових ТП було обрано двотрансформаторні підстанції (для критичних навантажень) та однострансформаторні (для менш відповідальних вузлів). Розрахунки підтвердили доцільність використання масляних трансформаторів марки ТМ-1000/10. Перевірка показала, що обрані номінали забезпечують оптимальний коефіцієнт завантаження у штатному режимі (на рівні 0,7–0,72) та гарантовано витримують післяаварійні перевантаження у разі виходу з ладу паралельної гілки. Додатково спроектовано систему живлення власних потреб на базі агрегатів ТМ-40/10.

Проведено детальний аналіз аварійних режимів із визначенням періодичної та аперіодичної складових струмів короткого замикання (КЗ) у ключових вузлах системи. Враховано підживлення точки КЗ від потужних високовольтних асинхронних двигунів. На базі розрахованих теплових імпульсів та ударних струмів здійснено вибір перерізів кабельних ліній (зокрема, кабелів марок ААШв та АСБ різного перерізу), які успішно пройшли перевірку на термічну стійкість. Як головні комутаційні апарати обрано сучасні вакуумні вимикачі ВР2-10-20/630, що володіють високим комутаційним ресурсом та повною мірою відповідають вимогам стійкості до розрахункових струмів КЗ.

У спеціальній частині проекту розроблено потужний комплекс заходів, спрямованих на скорочення марнотратного використання енергоресурсів, з фокусом на глибоку модернізацію світлотехнічного господарства підприємства. За допомогою фотометричного моделювання в середовищі DIALux доведено технічну та економічну неефективність існуючих газорозрядних (ДРЛ) та люмінесцентних ламп.

- для виробничих зон впроваджено LED-модулі СЕС 8-180, що знизило навантаження освітлення втричі та ліквідувало небезпечний стробоскопічний ефект.

- для адміністративно-побутового корпусу застосовано світлодіодні панелі УСП-45, що покращило рівномірність освітлення, усунуло ефект засліплення та наблизило параметри середовища до європейського стандарту EN 12464-1.
- для зовнішнього периметрального освітлення використано магістральні ліхтарі СЕС 2-35Л1, стійкі до атмосферних впливів (IP66) та перепадів напруги.

Загальний підсумковий аудит розробленої енергозберігаючої ініціативи підтвердив її феноменальну рентабельність. Комплексна відмова від застарілих джерел світла дозволить підприємству щорічно економити майже 198,4 тис. кВт·год електроенергії, що у фінансовому еквіваленті становить понад 631 тисячу гривень чистого збереження. Терміни окупності капітальних інвестицій для різних локацій варіюються в межах від 1,74 до 2,46 року, що робить цей проект максимально привабливим для негайної практичної реалізації.

Додатково підприємство отримує екологічний дивіденд: повне зняття проблеми утилізації токсичних ртутновмісних ламп та суттєве скорочення непрямих викидів парникових газів.

Отже, спроектована система електропостачання в комплексі із запропонованими заходами енергозбереження є технічно досконалою, економічно обґрунтованою та повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку промислової енергетики і стандартам систем енергоменеджменту.

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.