

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук, професор
_____ Петро ПЛІШКОВ
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проект системи електропостачання підприємства
«Імпексмаш» з виробництва хлібопекарського обладнання у
м. Кропивницький»**

**« Power supply system design for the enterprise "Impeksmash"
for the production of bakery equipment in Kropyvnytskyi »**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу групи ЕЕ-23МБ
ОПП 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Владислав КОЛПАК
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
канд. техн. наук, професор
_____ Анатолій ОРЛОВИЧ
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

7. Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Консультантом зі спеціального розділу випускної кваліфікаційної роботи	<i>К.т.н., доцент Н.Ю. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	<i>Вступ. Технологічний процес підприємства</i>	<i>4.04.2026 р.</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>12.04.2026 р.</i>	
3	<i>Побудова графіків ел. навантажень</i>	<i>23.04.2026 р.</i>	
4	<i>Побудова картограми</i>	<i>1.05.2026 р.</i>	
5	<i>Вибір схем зовнішнього електропостачання</i>	<i>4.05.2026 р.</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>9.05.2026 р.</i>	
7	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	<i>12.05.2026 р.</i>	
8	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>17.05.2026 р.</i>	
9	<i>Спецрозділ</i>	<i>23.05.2026 р.</i>	
10	<i>Висновки</i>	<i>25.05.2026 р.</i>	
11	<i>Перелік посилань</i>	<i>25.06.2026 р.</i>	
12	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	<i>28.06.2026 р.</i>	
13	<i>Оформлення графічної частини роботи</i>	<i>01.06.2026 р.</i>	
14	<i>Підготовка до захисту</i>	<i>03.06.2026 р.</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2026 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача _____

« ____ » _____ 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 82 с.; 16 рис.; 22 табл.; 9 джерел

Колпак В.С. Проєкт системи електропостачання підприємства «Імпексмаш» з виробництва хлібопекарського обладнання у м. Кропивницький. – Рукопис.

Бакалаврська робота I (бакалаврського) рівня освіти, ОПП 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці системи електропостачання підприємства «Імпексмаш» з виробництва хлібопекарського обладнання у м. Кропивницький. Робота містить результати розрахунків електричних параметрів мережі та обґрунтування конфігурації системи внутрішнього електророзподілу. Вибрано енергоефективне обладнання підстанцій та засоби компенсації реактивної потужності.

Спеціальний розділ присвячений розробці та обґрунтуванню заходів з енергозбереження на підприємстві ПП «Імпексмаш». У роботі проведено модернізацію системи освітлення цеху з переходом на сучасні LED-технології та проведено техніко-економічний аналіз впровадження високоефективних ротаційних печей «Муссон 77М». Виконано розрахунки силового електрообладнання, вибрано апаратуру захисту та кабельні лінії. Розрахований економічний ефект підтвердив значне зниження експлуатаційних витрат та короткий термін окупності запропонованих рішень.

Ключові слова: хлібопекарське обладнання, електричне обладнання, освітлювальна система, штучне освітлення, LED-технології

						4

ABSTRACT

Qualification work: 82 p.; 16 Fig.; 22 tables; 9 sources

Kolpak Vladyslav. Power supply system design for the enterprise "Impeksmash" for the production of bakery equipment in Kropyvnytskyi. – Manuscript.

Bachelor's thesis of the first (bachelor) level of higher education, OPP 141 "Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The qualification work is devoted to the development of the power supply system of the enterprise "Impeksmash" for the production of bakery equipment in the city of Kropyvnytskyi. The work contains the results of calculations of electrical network parameters and justification of the configuration of the internal power distribution system. Energy-efficient substation equipment and reactive power compensation means are selected.

A special section is devoted to the development and justification of energy saving measures at the enterprise PP "Impeksmash". The work includes the modernization of the workshop lighting system with the transition to modern LED technologies and a feasibility study of the implementation of highly efficient rotary ovens "Musson 77M". Calculations of power electrical equipment are performed, protection equipment and cable lines are selected. The calculated economic effect confirmed a significant reduction in operating costs and a short payback period of the proposed solutions.

Key words: bakery equipment, electrical equipment, lighting system, artificial lighting, LED-technology

						5

З М І С Т

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ ВСТУП

	ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
	ВСТУП	8
1.	Електричні навантаження в системі електропостачання	10
1.1.	Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	10
1.2.	Визначення освітлювальних електронавантажень	10
1.3.	Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	11
1.4.	Графіки електричних навантажень	11
2.	Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)	17
3.	Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання підприємства	19
3.1.	Схема приєднання та вибір напруги живлення	19
3.2.	Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	27
4.	Компенсація реактивної потужності	28
4.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	28
4.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	31
5.	Трансформаторні підстанції	33
5.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	33
5.2.	Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	34
6.	Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	35
6.1.	Розрахунок струмів КЗ та вибір струмопровідних пристроїв силових мереж	35
6.2.	Вибір електрообладнання	37
7.	Спеціальний розділ. Комплексна програма енергозбереження на виробничих потужностях підприємства	51
7.1.	Загальні відомості	51
7.2.	Шляхи мінімізації енергоспоживання в системах промислового освітлення	53
7.3.	Стратегія підвищення енергоефективності термічного обладнання на підприємстві «Імпексмаш»	67
	ВИСНОВКИ	80
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82

					ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	В.Колпак				Проект системи електропостачання підприємства «Імпексмаш» з виробництва хлібопекарського обладнання у м. Кропивницький	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	А. Орлович						6	82
						ЦНТУ, гр.ЕЕ-23мб		
Н.контр.	А. Орлович							
Затв.	П. Плешков							

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АГП – автомат гасіння поля	ПУЕ – правила улаштування
АЕС – атомна електрична станція	електроустановок
АПВ – автоматичне повторне	Р – роз'єднувач
ввімкнення	РЗіА – релейний захист і
АТ – автотрансформатор	автоматика
В – вимикач	РП – розподільний пристрій
ВН – обмотка вищої напруги	РПН – регулювання напруги під
ВП – власні потреби	навантаженням
Д – оливне охолодження з дуттям	С – природне повітряне
ДСТУ – державний стандарт України	охолодження
ДЦ – оливне охолодження з	СВ – секційний вимикач
примусовою циркуляцією оливи і	СД – синхронний двигун С
дуттям	К – синхронний компенсатор
ЕРС – електрорушійна сила	СН – обмотка середньої напруги
ЗШ – збірні шини	СР – секційний роз'єднувач
КБ – конденсаторна батарея	Т – трансформатор
КЗ – коротке замикання	ТВП – трансформатор власних
КРП – комплектний розподільний	потреб
пристрій	ТЕП – техніко-економічні
ККД – коефіцієнт корисної дії	показники
ЛЕП – лінія електропередачі	ТЕС – теплова електрична станція
М – природне оливне охолодження	ТЕЦ – теплова електроцентрально
НН – обмотка низької напруги	ТС – трансформатор струму
	ТН – трансформатор напруги
	Ц – оливо-водяне охолодження з
	примусовою циркуляцією оливи

ВСТУП

Підприємство «Імпексмаш» є одним із провідних вітчизняних виробників обладнання для хлібопекарської та кондитерської галузі, що спеціалізується на розробці, виготовленні та реалізації сучасних технологічних машин і комплексів для харчової промисловості. Основним напрямом діяльності підприємства є виробництво обладнання для механізації та автоматизації процесів випікання і виготовлення кондитерських виробів. Асортимент продукції охоплює широкий спектр машин та установок, що використовуються на підприємствах харчової промисловості різної потужності.

Підприємство виготовляє ротаційні та тунельні печі, які можуть функціонувати на різних видах енергетичних ресурсів, зокрема природному газі, електроенергії, дизельному паливі та пелетах. Таке технічне рішення забезпечує універсальність обладнання та можливість його експлуатації залежно від економічних і технологічних умов виробництва. Значна увага приділяється енергоефективності та надійності теплотехнічного обладнання, що відповідає сучасним вимогам до декарбонізації виробничих процесів і зниження енерговитрат.

Одним із напрямів виробництва є виготовлення розстойних шаф на базі алюмінієвого профілю, оснащених системами автоматичного підтримання температури та вологості робочого середовища. Таке обладнання забезпечує оптимальні умови для технологічного процесу підготовки тіста та підвищує якість готової продукції.

Крім того, підприємство виробляє відсаджувальні машини, призначені для формування широкого асортименту кондитерських виробів, серед яких пісочне печиво, еклери, профітролі, кекси, безе та інші види продукції. Також до номенклатури обладнання входять глазурувальні та темперувальні машини, охолоджувальні тунелі, дозувальні установки, просіювачі та інше допоміжне технологічне обладнання.

Для забезпечення виробництва широкого спектра продукції підприємство займає територію площею близько 20 тис. м². Виробнича структура включає декілька спеціалізованих підрозділів, серед яких металообробний, ремонтний, малярний, експериментальний цехи, а також цех гальванічних покриттів. Адміністративно-побутові та санітарні приміщення розміщені в будівлі металоскладального цеху.

У даній випускній кваліфікаційній роботі розглядається проектування системи електропостачання підприємства з виробництва хлібопекарського обладнання «Імпексмаш», розташованого у Кропивницький. На підприємстві виконуються операції механічної обробки деталей, складання обладнання, ремонтні та пусконаладжувальні роботи. Основний виробничий корпус має три поверхи та загальну площу близько 10 тис. м².

Склад готової продукції запроектований у вигляді окремо розташованої будівлі, що примикає до металоскладального цеху. Процеси зберігання, переміщення та відвантаження готової продукції максимально автоматизовані. Для внутрішньозаводського транспортування використовуються дизельні та електричні навантажувачі, що забезпечують ефективну логістику виробництва.

Основна та допоміжна сировина, зокрема металопрокат, зберігається у спеціально обладнаних складських приміщеннях. Лакофарбові матеріали, водоемульсійні суміші та хімічні речовини розміщуються у спеціальних герметичних ємностях відповідно до вимог техніки безпеки та екологічних норм.

Електропостачання підприємства здійснюється напругою 10 кВ від трансформаторної підстанції ТП-18, яка отримує живлення від підстанції ПС «Кіровоградська». Така схема електропостачання забезпечує необхідний рівень надійності та безперервності живлення технологічного обладнання підприємства.

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Розрахункове активне навантаження групи електроприймачів або вузла навантаження визначається як добуток середнього активного навантаження за найбільш завантажену зміну на коефіцієнт максимуму навантаження. Груповий коефіцієнт використання характеризує ступінь завантаження електроприймачів та обчислюється як відношення середнього навантаження до встановленої потужності групи.

Ефективне число електроприймачів залежить від кількості обладнання у вузлі, коефіцієнта використання та співвідношення потужностей найбільш і найменш потужних споживачів. Якщо отримане значення перевищує фактичну кількість електроприймачів, у розрахунках приймають дійсне число обладнання.

Розрахункове реактивне навантаження визначається за відповідними залежностями з урахуванням ефективного числа електроприймачів та середнього реактивного навантаження за найбільш завантажену зміну.

Повний розрахунковий максимум навантаження визначається за активною та реактивною складовими. Розрахунок силових електричних навантажень мереж напругою до 1000 В виконано у табличній формі в таблиці 1.1.

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі виробничого приміщення. Результати розрахунку представлені в таблиці 1.3.

						10

Таблиця 1.1 – Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В.

Назва групи споживачів	Кіль-ть ЕС	Р одного			P _Σ , кВт	m	K _{вик}	cosφ	tgφ	Середнє		N _{еф}	K _{мак}	Розрахункове навантаження		
		min		max						P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Дільниця металообробки																
1-й поверх																
Розточувальний верстат	1	1,8	-	1,9	1,9	1	0,40	0,80	0,75	0,72	0,54					
Вертикально-фрезерувальний верстат	3	18	-	19	54,0	1	0,45	0,75	0,88	24,30	21,43					
Загострювальний верстат	8	1,9	-	2,0	15,2	1	0,35	0,70	1,02	5,32	5,43					
Електроточило	8	1,1	-	1,2	8,8	1	0,25	0,70	1,02	2,20	2,24					
Універсально-заточний верстат	8	2,9	-	3,0	22,8	1	0,40	0,75	0,88	9,12	8,04					
Зубофрезерний верстат	8	6,8	-	6,9	54,4	1	0,40	0,75	0,88	21,76	19,19					
Бункер-накопичувач	8	75	-	75	600,0	1	0,85	0,95	0,33	510,00	167,63					
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	10	1,1	-	20	86,6	18	0,80	0,80	0,75	69,28	51,96					
Кліматичне обладнання	6	1,5	-	3,3	20,5	2	0,80	0,75	0,88	16,40	14,46					
Електроопалювальні прилади	6	1,2	-	3	16,2	3	0,60	0,75	0,88	9,72	8,57					
Всього по 1-му поверху	66	1,1	-	75	880,3	68	0,76	0,913	0,45	668,82	299,50	23	1,082	723,91	299,50	783,42
2-й поверх																
Точило	1	1,8	-	1,9	1,9	1	0,25	0,70	1,02	0,45	0,46					
Шліфувальний верстат	3	18	-	19	54,0	1	0,40	0,75	0,88	21,60	19,05					
Свердильний верстат	8	1,9	-	2,0	15,2	1	0,35	0,75	0,88	5,32	4,69					
Загострювальний верстат	8	1,1	-	1,2	8,8	1	0,40	0,70	1,02	3,52	3,59					
Розточувальний верстат	8	2,9	-	3,0	22,8	1	0,60	0,75	0,88	13,68	12,06					
Металорізальний верстат	3	1,5	-	1,6	4,5	1	0,30	0,75	0,88	1,35	1,19					
Горизонтально-фрезерний верстат	8	6,8	-	6,9	54,4	1	0,70	0,75	0,88	38,08	33,58					
Углогіб	8	75	-	75	600,0	1	0,40	0,80	0,75	240,00	180,00					
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	11	1,1	-	20	87,7	18	0,70	0,80	0,75	61,39	46,04					
Кліматичне обладнання	7	1,5	-	3,3	22,0	2	0,70	0,75	0,88	15,40	13,58					
Електроопалювальні прилади	7	1,2	-	3	17,4	3	0,60	0,75	0,88	10,44	9,21					
Всього по 2-му поверху	72	1,1	-	75	888,6	68	0,46	0,786	0,79	411,23	323,46	24	1,245	512,04	323,46	605,65
3-й поверх																
Точило	1	1,8	-	1,9	1,9	1	0,25	0,75	0,88	0,45	0,40					
Горизонтально-фрезерний верстат	3	18	-	18	54,0	1	0,70	0,75	0,88	37,80	33,34					
Свердильний верстат	8	1,9	-	2,0	15,2	1	0,40	0,75	0,88	6,08	5,36					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Універсально-заточний верстат	8	1,1	-	1,1	8,8	1	0,40	0,70	1,02	3,52	3,59					
Універсально-заточний верстат	8	2,9	-	3,0	22,8	1	0,40	0,75	0,88	9,12	8,04					
Металорізальний верстат	4	1,5	-	1,5	6,0	1	0,35	0,75	0,88	2,10	1,85					
Кран	3	1,3	-	1,3	3,8	1	0,20	0,75	0,88	0,75	0,66					
Електродрель	1	0,6	-	0,7	0,7	1	0,10	0,70	1,02	0,06	0,06					
Болгарка	6	0,4	-	0,5	2,4	1	0,10	0,70	1,02	0,24	0,24					
Вертикально-фрезерувальний верстат	8	6,8	-	6,8	54,4	1	0,60	0,85	0,62	32,64	20,23					
Бункер-накопичувач	8	75	-	75	600,0	1	0,75	0,95	0,33	450,00	147,91					
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	11	1,1	-	20	87,7	18	0,70	0,80	0,75	61,39	46,04					
Кліматичне обладнання	7	1,5	-	3,3	22,0	2	0,70	0,80	0,75	15,40	11,55					
Електроопалювальні прилади	7	1,2	-	3,1	17,4	3	0,60	0,75	0,88	10,44	9,21					
Грузові ліфти	4	48	-	48	192,0	1	0,20	0,75	0,88	38,40	33,87					
Всього по 3-му поверху	87	0,4	-	75	1088,9	188	0,61	0,901	0,48	668,39	322,35	29	1,145	765,23	322,35	830,35
Всього по ділянці металообробки	225	0,4	-	75	2857,8	188	0,61	0,88	0,54	1748,44	945,31	76	1,085	1896,61	945,31	2119,14
Науково-дослідний підрозділ																
Ротаційна хлібопекарська піч «Fiorini»	5	52	-	52	260,0	1	0,50	0,99	0,14	130,00	18,52					
Модульна конвеєрна піч серії «ПКМ»	5	96	-	96	480,0	1	0,50	0,99	0,14	240,00	34,20					
Ярусна піч «Tornati Modular»	1	26	-	25,6	25,5	1	0,50	1,00	0,00	12,75	0,00					
Тістозакаточна машина	2	1,9	-	2,0	3,8	1	0,20	0,75	0,88	0,76	0,67					
Машина для відсадки "Duo Max AX-200"	1	3	-	3	3,0	1	0,30	0,75	0,88	0,90	0,79					
Тістоокруглювальна машина	1	3,2	-	3,3	3,2	1	0,30	0,75	0,88	0,96	0,85					
Камера для вистоювання тіста «Бриз»	1	8	-	8	8,0	1	0,20	0,90	0,48	1,60	0,77					
Шафа для попереднього вистоювання тістових заготовок	1	0,5	-	0,6	0,5	1	0,30	0,75	0,88	0,15	0,13					
Тісторозкачувальна машина	1	0,4	-	0,5	0,5	1	0,20	0,70	1,02	0,08	0,08					
Тістомісильна машина	1	18	-	18	18,0	1	0,40	0,75	0,88	7,20	6,35					
Тістоподільна машина	1	1,1	-	1,1	1,1	1	0,30	0,75	0,88	0,33	0,29					
Дільник-округлювач для дрібношпугних тістових заготовок	1	0,8	-	0,9	0,9	1	0,20	0,70	1,02	0,15	0,15					
Багатоформувальний автомат	1	0,6	-	0,7	0,6	1	0,50	0,70	1,02	0,30	0,31					
Глазурувальна машина	2	2,3	-	2,3	2,3	1	0,40	0,80	0,75	0,92	0,69					
Тунель охолодження «Климатик»	1	1,1	-	1,2	1,2	1	0,60	0,80	0,75	0,66	0,50					
Планетарний міксер «Star Mix PL-20»	1	1,1	-	1,2	1,2	1	0,40	0,70	1,02	0,44	0,45					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Планетарний міксер «Star Mix PL-60»	1	5	-	5	5,0	1	3,0	1	0,40	0,70	1,02					
Планетарний міксер "Star Mix PL-80"	1	5	-	5	5,0	1	0,40	0,70	1,02	2,00	2,04					
Планетарний міксер "Star Mix PL-120"	1	6,3	-	6,3	6,3	1	0,40	0,70	1,02	2,52	2,57					
Планетарний міксер "Star Mix PL-140"	1	6,3	-	6,3	6,3	1	0,40	0,70	1,02	2,52	2,57					
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	4	1,1	-	2	6,5	2	0,60	0,70	1,02	3,90	3,98					
Всього науково-дослідному підрозділу	34	0,4	-	96	836,5	240	0,49	0,983	0,19	409,34	77,14	17	1,274	521,57	77,14	527,24
Ремонтно-механічна дільниця																
Токарно-гвинторізний верстат	2	3	-	10	26,0	3	0,30	0,60	1,33	7,80	10,40					
Металорізальний верстат	2	3,7	-	5	8,7	1	0,30	0,60	1,33	2,61	3,48					
Свердильний верстат	2	3	-	3	6,0	1	0,30	0,60	1,33	1,80	2,40					
Зварювальний трансформатор	2	15	-	15	30,0	1	0,30	0,50	1,73	9,00	15,59					
Кран	1	5	-	5	5,0	1	0,20	0,50	1,73	1,00	1,73					
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	2	3	-	3	6,0	1	0,70	0,80	0,75	4,20	3,15					
Всього по ремонтно-механічній дільниці	11	3	-	15	81,7	5	0,32	0,584	1,39	26,41	36,75	11	1,545	40,80	36,75	54,91
Дільниця лакофарбових покриттів																
Компресорні установки	3	1,7	-	2,7	6,1	2	0,80	0,75	0,88	4,88	4,30					
Електроміксер лакофарбових матеріалів	2	1,1	-	1,1	2,2	1	0,35	0,70	1,02	0,77	0,79					
Вантажопідійомна установка	1	3,9	-	3,9	3,9	1	0,15	0,75	0,88	0,59	0,52					
Сушильна установка	16	3	-	18	198,0	6	0,90	0,90	0,48	178,20	86,31					
Компресорний агрегат низького тиску	3	0,4	-	0,4	1,2	1	0,80	0,70	1,02	0,96	0,98					
Калориферна установка	2	2,3	-	2,3	4,6	1	0,80	0,90	0,48	3,68	1,78					
Конвеєрна лінія	3	1,6	-	1,6	4,8	1	0,40	0,97	0,25	1,92	0,48					
Термошафа промислова	3	27	-	27	81,0	1	0,90	0,95	0,33	72,90	23,96					
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	8	3	-	7,5	42,0	3	0,70	0,80	0,75	29,40	22,05					
Кліматичне обладнання	4	1,5	-	1,5	6,0	1	0,70	0,80	0,75	4,20	3,15					
Всього по дільниці лакофарбових покриттів	45	0,4	-	27	349,8	68	0,85	0,9	0,49	297,50	144,32	26	1,000	297,50	144,32	330,65
Адміністративно-побутовий корпус																
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	11	1,1	-	20	87,7	18	0,70	0,80	0,75	61,39	46,04					
Кліматичне обладнання	7	1,5	-	3,2	22,0	2	0,60	0,75	0,88	13,20	11,64					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Електроопалювальні прилади	7	1,2	-	3	17,4	3	0,60	0,75	0,88	10,44	9,21					
Всього по адміністрації	25	1,1	-	20	127,1	18	0,67	0,786	0,79	85,03	66,89	13	1,193	101,44	66,89	121,51
Автотранспортне господарство																
Зарядне для акумуляторів	4	5	-	5	20,0	1	0,40	0,75	0,88	8,00	7,06					
Підйомні крани	2	20	-	20	40,0	1	0,40	0,75	0,88	16,00	14,11					
Зварочний апарат	1	10	-	10	10,0	1	0,60	0,35	2,68	6,00	16,06					
Всього по автотранспортному господарству	7	5	-	20	70,0	4	0,43	0,628	1,24	30,00	37,22	7	1,554	46,62	40,95	62,05
Цех антикорозійних покриттів																
Тени	6	3	-	3	18,0	1	0,50	0,75	0,88	9,00	7,94	6				
Ванни оксидування	2	10	-	10	20,0	1	0,50	1,00	0,00	10,00	0,00	2				
Агрегати припливно-витяжної вентиляції	2	2	-	2	4,0	1	0,70	0,80	0,75	2,80	2,10	2				
Всього по цеху	10	1,1	-	20	42,0	18	0,52	0,908	0,46	21,80	10,04	4	1,625	35,43	11,04	37,11
Всього по технічному центру	357	0,4	-	96	4364,8		0,60	0,89	0,50	2618,5	1317,7	357	1,05	2749,44	1317,67	3048,88

Таблиця 1.2 – Розрахунок освітлювального навантаження

№ пп	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	tgφ	Q _y , кВар	Kc	P _р , кВт	Q _р , квар
1	Дільниця металообробки	9720	18	174,96	0,484	84,74	0,85	148,72	72,03
2	Науково-дослідний підрозділ	156	18	2,81	0,484	1,36	0,85	2,39	1,16
3	Ремонтно-механічна дільниця	644	20	12,88	0,484	6,24	0,85	10,95	5,30
4	Дільниця лакофарбових покриттів	140	20	2,80	0,484	1,36	0,8	2,24	1,08
5	Адміністративно-побутовий корпус	600	22	13,20	0,484	6,39	0,95	12,54	6,07
6	Автотранспортне господарство	250	8	2,00	0,484	0,97	0,8	1,60	0,77
7	Цех антикорозійних покриттів	420	20	8,40	0,484	4,07	0,9	7,56	3,66
8	Освітлення проммайданчика	8746	0,2	1,75	1,732	3,03	0,7	1,22	2,12
	Всього	20 676		218,80		108,15		187,22	92,20

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Під час розрахунку електричних навантажень у мережах напругою понад 1000 В за розрахункові вузли приймають шини 10 кВ трансформаторних підстанцій. Тому на початковому етапі необхідно встановити кількість підстанцій, визначити потужність і число трансформаторів, а також обрати їх оптимальне розташування на території підприємства. Для вирішення цих завдань застосовують картограму електричних навантажень, яка дає можливість оцінити розподіл споживання електроенергії між окремими виробничими об'єктами. Результати розрахунку зведені до таблиці 1.3.

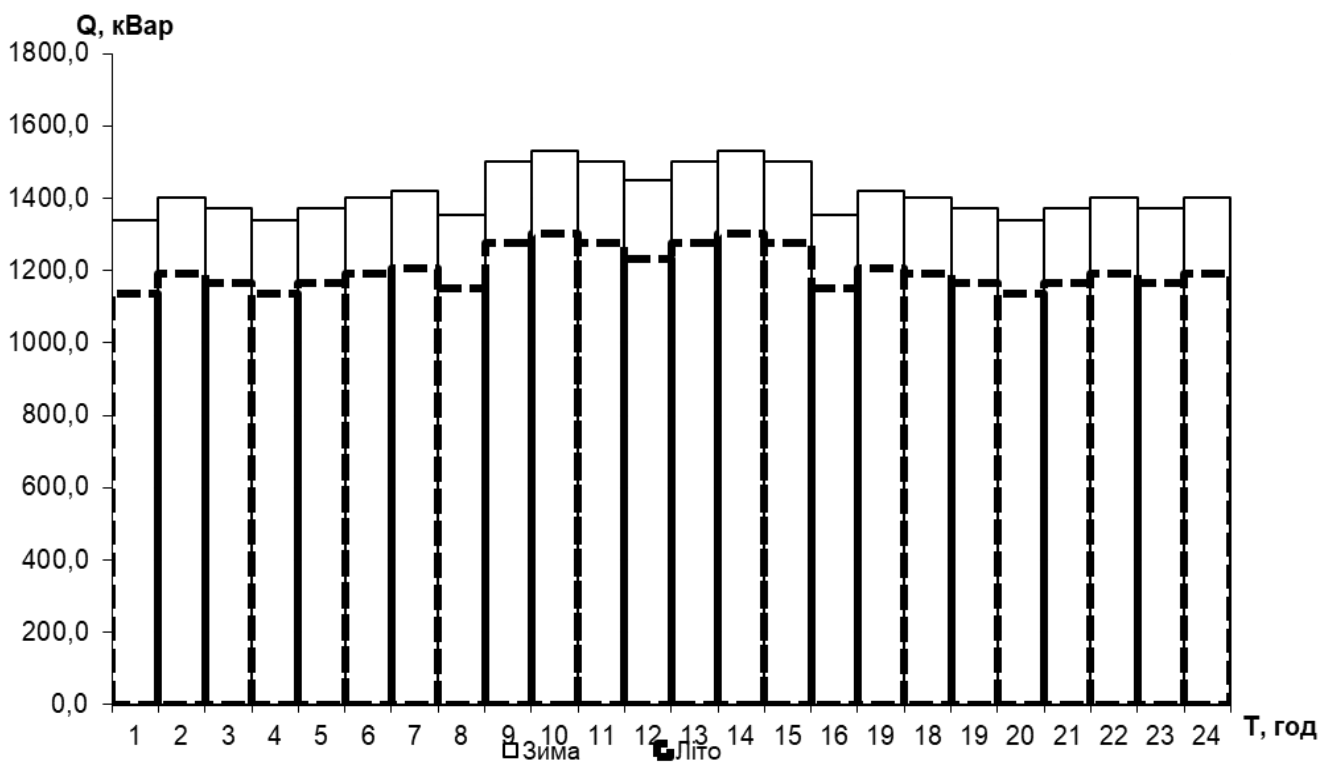
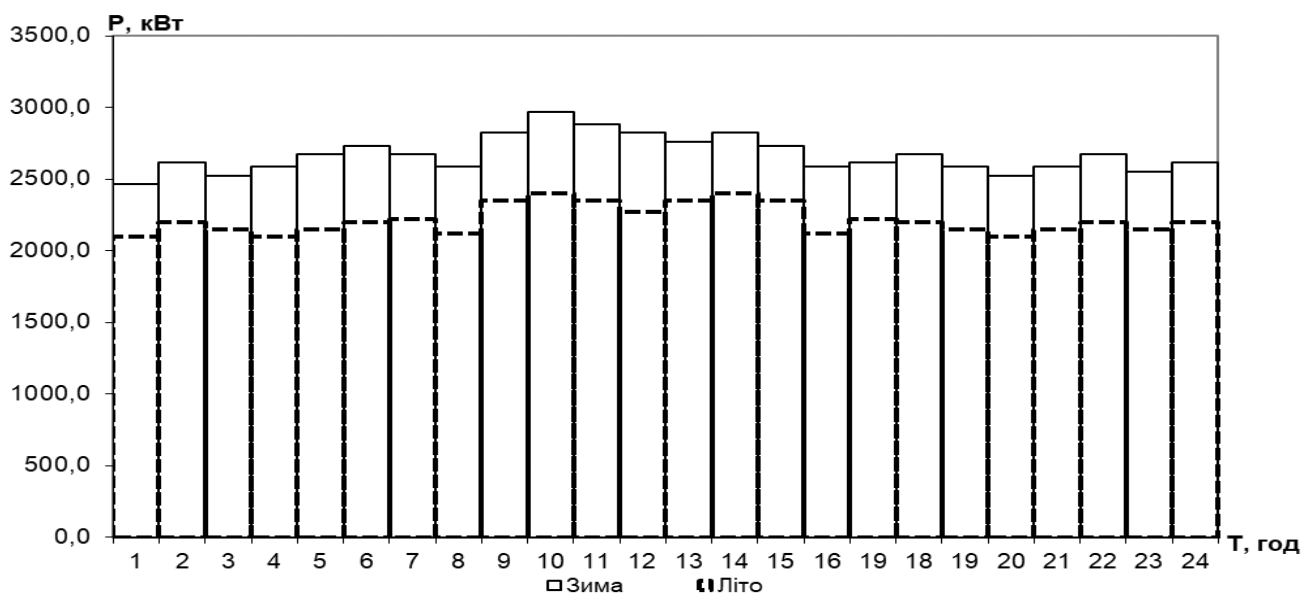
1.4. Графіки електричних навантажень

На основі добового графіка навантаження оцінюємо допустиме завантаження трансформаторів, а також визначаємо пікові та мінімальні значення споживаної потужності. Аналіз річного графіка дає нам змогу встановити обсяги споживання активної і реактивної електроенергії за рік, далі обчислити середньозважений коефіцієнт потужності, тривалість використання максимального навантаження та річний еквівалентний час втрат енергії. У вихідні дні виробничі процеси на підприємстві не здійснюються. Побудову графіків електроспоживання для літнього та зимового періодів виконано і результати розрахунків наведено в таблиці 1.4, а відповідні графіки подано на рис. 1.1 – 1.3.

Таблиця 1.3 – Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В.

Назва групи споживачів	Кіль- ть ЕС	Р одного			P_{Σ} , кВт	m	K_n	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження		η_{ef}	K_M	Розрахункове навантаження		
		min	max							P_{cm} , кВт	Q_{cm} , квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТП№1,2,3																
Дільниця металообробки																
силова	225	0,4	-	75	2857,76	188	0,6	0,88	0,54	1748,45	945,35	76	1,085	1896,62	945,33	2119,14
освітлювальна														148,73	72,04	
Всього														2045,34	1017,35	
Науково-дослідний підрозділ																
силова	34	0,4	-	96	836,46	240	0,5	0,98	0,19	409,35	77,16	17	1,274	521,58	77,15	527,24
освітлювальна														2,38	1,17	
Всього														523,96	78,31	
Адміністративно-побутовий корпус																
силова	25	1,1	-	20	127,12	18	0,7	0,79	0,79	85,04	66,87	13	1,193	101,45	66,87	121,51
освітлювальна														12,55	6,08	
Всього														113,96	72,98	135,34
Всього по ТП1,2,3																
силова	284	0,4		96	3821,32	240	0,6	0,9	0,49	2242,82	1089,35	80	1,089	2442,89	1089,35	2674,76
освітлювальна														163,65	79,27	
БК 0,4 кВ																
Всього на шинах 0,4 кВ ТП1,2,3														2606,53	1168,61	2856,50
Втрати в трансформаторах														29,56	174,46	
Кількість трансформаторів: 6																
Номінальна потужність, кВА: 630																
Коефіцієнт завантаження $K_z = $ 0,69																
Всього на шинах 10кВ ТП№1,2,3														2636,08	1343,07	2958,49
ТП№4																
Дільниця лакофарбових покриттів																
силова	45	0,4	-	27	349,84	68	0,9	0,9	0,49	297,51	144,34	26	1,000	297,52	144,33	330,65
освітлювальна														2,25	1,09	
Всього														299,75	145,41	333,14

[illegible]



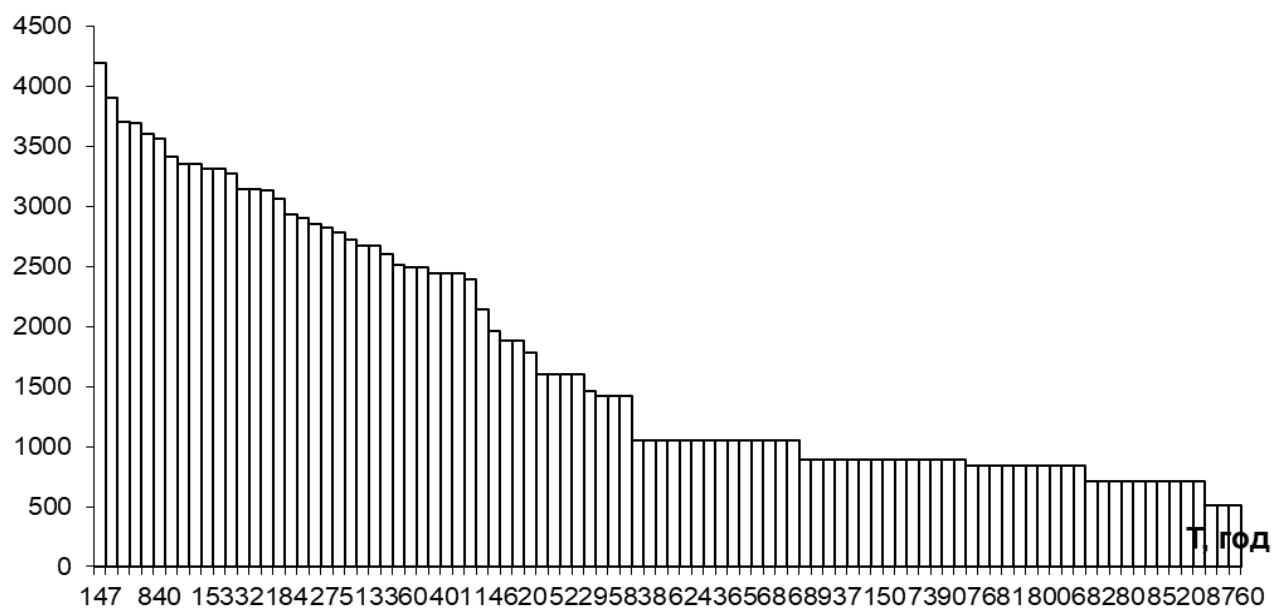


Рис. 1.3 Річний графік навантаження за тривалістю

РОЗДІЛ 2

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

Для вибору оптимального місця розташування центрального розподільчого пункту (ЦРП) на генеральний план підприємства наносять картограму електричних навантажень. Вона являє собою систему кіл, площа яких у прийнятому масштабі відповідає величині розрахункового навантаження окремих виробничих підрозділів.

Для побудови картограми навантажень підприємства в цілому визначаються для кожної ділянки радіуси кіл R_i , площа πR_i^2 , котрі у певному масштабі дорівнюватимуть повному навантаженню робочої ділянки P_i , кВт·А.

На картограмі покажемо сектор, що буде відповідати освітлювальному навантаженню з кутом α . Нижче розрахунок картограми електричних навантажень по ділянкам:

$$X_0 = \frac{1408399,46}{3125,94} = 9,01 \text{ cM}$$

$$Y_0 = \frac{853383}{3125,94} = 5,46 \text{ см}$$

Приклад розрахунку R та α для ділянки лакофарбових покриттів при масштабі навантаження $m = 0,2 \text{ кВт/мм}^2$ отримаємо радіус кола, що відповідає силовому та освітлювальному навантаженню:

$$R_4 = \sqrt{\frac{P_4}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{299,74}{3,14 \cdot 0,2}} = 21,84 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{Росв}} \cdot 360^0}{\pi \cdot R_4^2 \cdot m} = \frac{2,24 \cdot 360^2}{3,14 \cdot 21,84^2 \cdot 0,2} = 2,69^0$$

Дані по інших ділянцям підприємства наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні дані для побудови картограми електричних навантажень та подальшого розрахунку умовного центру електричних навантажень

№ по плану	Найменування	$P_{\text{сил}}^{0,4}$, кВт	$P_{\text{росв}}$, кВт	$P_{\text{розр}}$, кВт	m	R, мм	x, м	y, м	P_x , кВт м	P_y , кВт м
1	Дільниця металообробки	1896,6	148,72	2045,32	0,2	57,05	500,00	300,00	1022662,05	613597,23
2	Науково-дослідний підрозділ	521,6	2,39	523,95	0,2	28,88	500,00	140,00	261977,08	73353,58
3	Ремонтно-механічна дільниця	40,8	10,95	51,74	0,2	9,07	150,00	375,00	7761,63	19404,04
4	Дільниця лакофарбових покриттів	297,5	2,24	299,74	0,2	21,84	225,00	275,00	67440,39	82427,17
5	Адміністративно-побутовий корпус	101,4	12,54	113,98	0,2	13,47	300,00	375,00	34195,48	42744,37
6	Автотранспортне господарство	46,6	1,60	48,22	0,2	8,76	75,00	275,00	3616,19	13259,34
7	Цех антикорозійних покриттів	35,4	7,56	42,99	0,2	8,27	250,00	200,00	10746,66	8597,38
	Всього			3125,94					1408399,47	853383,03

$X_0 = 450,55\text{м}$ 9,01 см

$Y_0 = 273,00\text{м}$ 5,46 см

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

У внутрішньозаводських розподільчих мережах прийнято рівень напруги 10 кВ, а для живлення силових та освітлювальних електроприймачів цехів використовується напруга 380/220 В.

Схема розподілу електроенергії на промисловому об'єкті обирається залежно від конфігурації виробничих навантажень, величини споживаної потужності та вимог до надійності електропостачання. Для цього можуть застосовуватись радіальні, магістральні або комбіновані системи розподілу електроенергії.

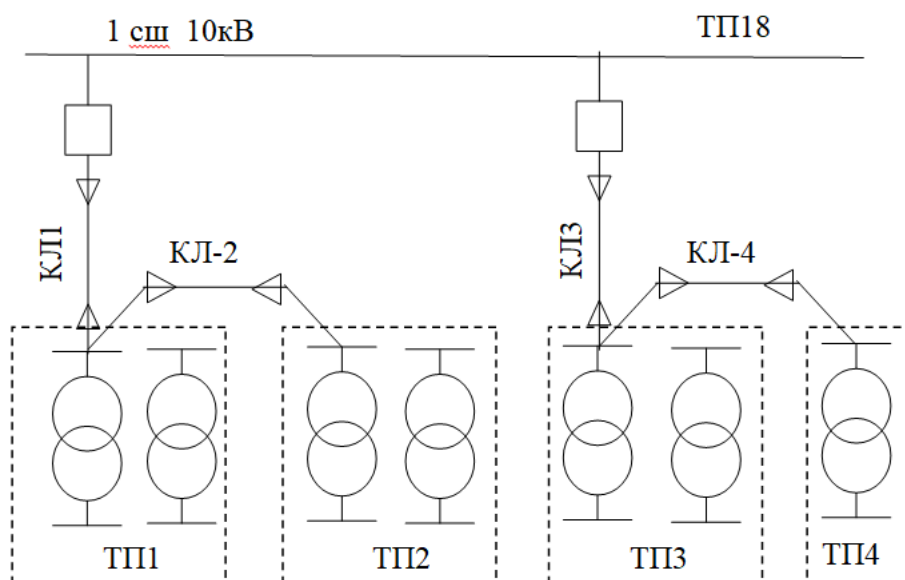


Рис. 3.1 – Живлення підприємства без встановлення розподільчого пункту.

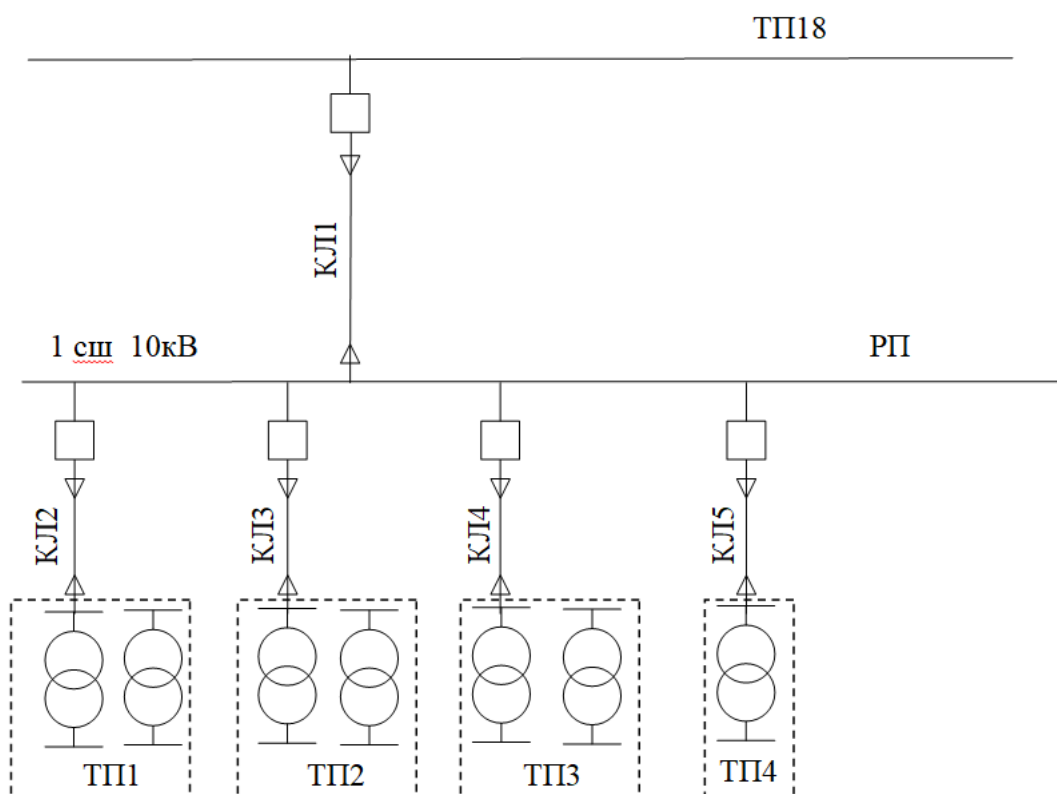


Рис. 3.2 – Радіальна схема з розміщенням РП-10 кВ на території самого підприємства ПП «Імпексماش».

Варіант №1.

Електропостачання споживачів підприємства передбачено кабельними лініями напругою 10 кВ, які підключаються безпосередньо до шин трансформаторної підстанції ТП-18. Відстань від джерела живлення до підприємства становить приблизно 800 м, що забезпечує можливість прокладання кабельної мережі без значних втрат електроенергії та з дотриманням вимог щодо надійності електропостачання. Використання кабельних ліній підвищує безпечність експлуатації мережі, зменшує вплив зовнішніх факторів та забезпечує стабільність роботи електрообладнання підприємства. Враховуючі розрахунковий струм лінії, оберемо і перевіримо переріз, $T_{\max}=5068$ год.

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H} = \frac{1972,3}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 57 \text{ A}$$

За результатами розрахунків та з урахуванням допустимого струмового навантаження прийнято стандартний переріз жил кабелю 70 мм². Для прокладання лінії електропостачання обрано кабель марки ААШв-10 (3×70), який відповідає вимогам щодо надійності, механічної міцності та умов експлуатації в мережах середньої напруги. Кабель має алюмінієві жили, паперову ізоляцію та захисну оболонку, що забезпечує довговічність і безпечну роботу електричної мережі. Для живлення передбачено прокладання однієї кабельної лінії, тобто кількість кабелів $n = 1$, $I_{\text{доп}}=165$ А.

Коефіцієнт попереднього завантаження кабельної лінії визначається як відношення розрахункового струму навантаження до допустимого струму кабелю з урахуванням кількості паралельно прокладених ліній:

$$K_3 = \frac{I_p}{n \cdot I_{\text{доп}}} = \frac{57}{1 \cdot 165} = 0,35$$

Отримане значення свідчить про те, що кабельна лінія працює із достатнім запасом пропускної здатності, що позитивно впливає на надійність та термін експлуатації кабелю. Перевірка роботи мережі в аварійному режимі показує, що при виході з ладу однієї лінії інша здатна забезпечити живлення

						24

Втрати активної потужності в кабельній лінії визначаються за виразом:

$$\Delta P_{\Pi} = 14 \cdot 1,6 \cdot 0,35^2 = 2,67 \text{ кВТ}$$

Річні втрати електроенергії в лінії складають:

$$\Delta E = \Delta P_{\text{II}} \cdot \tau = 2,67 \cdot 3486 = 9319,4 \text{ кВТ}$$

$$C_{\text{BTP}} = \Delta E \cdot C_0$$

$$C_{\text{БТР}} = 9319,4 \cdot 12 = 111832,8 \text{ грн}$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок параметрів КЛ по I запропоновано варіанту.

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	I _p , А	I _{ф.р.} , А	F _{ек} , мм ²	F _{ст} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _з
КЛ-1	1972,22	2,0	57,002	228,0	51,8	70	ААШВ(3 × 70)	165	0,168
КЛ-2	986,15	2,0	28,503	114,0	25,9	35	ААШВ(3 × 35)	115	0,118
КЛ-3	1496,11	2,0	43,236	172,9	39,3	50	ААШВ(3 × 50)	140	0,147
КЛ-4	509,76	1,0	29,472	29,5	26,8	35	ААШВ(3 × 35)	115	0,254

[illegible]

Варіант №2.

У другому варіанті системи електропостачання живлення підприємства передбачено за радіальною схемою із встановленням розподільчого пункту РП-10 кВ безпосередньо на території підприємства. Електроенергія до РП подається кабельною лінією від трансформаторної підстанції ТП-18. Відстань між джерелом живлення та розподільчим пунктом становить приблизно 800 м.

Застосування радіальної схеми забезпечує підвищення надійності електропостачання, спрощує експлуатацію мережі та створює можливість більш ефективного розподілу електричної енергії між окремими виробничими підрозділами підприємства. Крім того, встановлення РП-10 кВ дозволяє скоротити довжину внутрішньозаводських ліній, зменшити втрати потужності та покращити умови резервування живлення.

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H} = \frac{3348,88}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 97,7 \text{ А.}$$

Прийнято стандартний переріз кабелю 95 мм². Для живлення обрано кабель ААШв-10 (3×95) у кількості однієї лінії. Допустимий тривалий струм для даного кабелю становить 205 А, а питомі втрати потужності – 16 кВт/км. Вартість прокладання кабельної лінії складає близько 48 тис. грн за 1 км.

З урахуванням умов прокладання та поправочного коефіцієнта для одного кабелю допустимий струм навантаження залишається 205 А. Коефіцієнт попереднього завантаження кабелю дорівнює:

$$K_3 = \frac{97,7}{205} = 0,48$$

При аварійній ситуації і подальшого виходу зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження і живлення забезпечуватиметься нормально

$$I_{\text{авар}} = n \cdot I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{ап}} = 1 \cdot 205 \cdot 1,35 = 277 > I_{\text{р.ав}} = 195,45 \text{ А}$$

$$I_{\text{р.ав}} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{3380,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 195,45 \text{ А.}$$

Втрати активної потужності в кабельній лінії визначаються за виразом нижче:

						26

$$\Delta P_{\text{л}} = 16 \cdot 1,6 \cdot 0,48^2 = 5,90 \text{ кВТ}$$

Річні втрати матимемо

$$\Delta E_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau$$

або $\Delta E = 5,90 \cdot 3486 = 20567,41 \text{ кВт/год}$

$$C_{\text{втр}} = \Delta E_{\text{л}} \cdot C_0$$

або $C_{\text{втр}} = 20567,41 \cdot 12 = 246808,82$

Таблиця 3.3 – Розрахунок параметрів кабельних ліній по 2 варіанту.

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	I _p , А	I _{фр.} , А	F _{ек} , мм ²	F _{ст} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _з
КЛ1	КЛ1	3380,71	2,00	97,72	195,41	88,82	ААШВ(3 × 95)	205	0,48
КЛ2	КЛ2	986,19	2,00	28,54	57,00	25,91	ААШВ(3 × 35)	115	0,14
КЛ3	КЛ3	986,19	2,00	28,54	57,00	25,91	ААШВ(3 × 35)	115	0,14
КЛ4	КЛ4	986,19	2,00	28,54	57,00	25,91	ААШВ(3 × 35)	115	0,14
КЛ5	КЛ5	509,85	1,00	29,48	29,47	26,79	ААШВ(3 × 35)	115	0,26

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	I _p , А	K _з	l, км	ΔР _л , кВт	ΔЕ _л , кВт·год	С _{втр} , т. грн
КЛ1	3380,71	2	97,707	0,24	0,8	1,454	5067,9	60,815
КЛ2	986,19	2	28,502	0,12	0,05	0,017	58,9	0,707
КЛ3	986,19	2	28,502	0,12	0,06	0,020	70,7	0,848
КЛ4	986,19	2	28,502	0,12	0,08	0,027	94,2	1,130
КЛ5	509,85	1	29,471	0,26	0,03	0,022	75,5	0,906
						1,540	5367,1845	64,406

Розрахунок капітальних інвестицій, експлуатаційних (поточних) витрат, а також приведених витрат для кожного з розглянутих варіантів електропостачання виконується комплексно та систематизується у таблицях 3.5–3.7. Такий підхід дозволяє забезпечити наочне порівняння техніко-економічних

показників, оцінити ефективність кожного варіанта та обґрунтувати вибір найбільш доцільного рішення з точки зору мінімізації витрат і підвищення економічної ефективності системи електропостачання.

Таблиця 3.5 – Розрахунок капітальних інвестицій.

№ п/п	Найменування об'єкту	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Вартість всього, тис. грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються	шт	4	195	780
	Кабельна лінія типу				
	ААШв(3 × 35)	км	0,1	185	18,5
	ААШв(3 × 50)	км	0,8	215	172
	ААШв(3 × 70)	км	0,8	245	196
	Траншея	км	1,7	75	127,5
	Всього по КЛ з урахуванням траншеї				514
	Вимикачі навантаження на ТП	шт	7	25	175
	Всього		1		1469
II варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	шт	7	195	1365
	Кабельна лінія типу				
	ААШв(3 × 35)	км	0,22	185	40,7
	ААШв(3 × 95)	км	0,8	280	224
	Траншея	км	1,02	75	76,5
	Всього по КЛ з урахуванням траншеї		1		341,2
	Шафи КРУ з ТН, що додатково встановлюються на РП	шт	2	85	170
	Всього		1		1876,2

Таблиця 3.6 – Розрахунок поточних витрат

№ п/п	Найменування об'єкту	K _i , тис грн	P _a , %	C _a , %	P _e , %	C _e , %	C _п , тис.грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються	780	15	117	5	39	156
	Кабельні лінії з урахуванням траншеї	514	5	25,7	5	25,7	51,4
	Вимикачі навантаження на ТП	175	15	26,25	5	8,75	35
	Всього	1469	—	168,95	—	73,45	242,4
II варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	1365	15	104,75	5	68,25	273
	Кабельні лінії з урахуванням траншеї	341,2	5	17,06	5	17,06	34,12
	Шафи КРУ з трансформаторами напруги, що додатково встановлюються на РП	170	15	25,5	5	8,5	34
	Всього	1876,2	—	147,31	—	93,81	241,12

Таблиця 3.7 – Розрахунок приведених витрат по варіантах.

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення, тис. грн	1469	1876,2
Поточні затрати, тис. грн	242,4	241,12
Вартість втрат електроенергії	18,5	22,35
Приведені витрати, тис. грн	437,18	488,61

Приведені витрати по варіантам практично рівноцінні. На основі проведеного порівняльного аналізу двох варіантів схеми зовнішнього електропостачання 10 кВ, до реалізації приймається **Варіант II**, який передбачає будівництво розподільчого пункту (РП) безпосередньо на території підприємства.

Дане рішення обґрунтоване наступними стратегічними та технічними перевагами: встановлення власного РП створює необхідний резерв для підключення нових виробничих ліній або додаткових цехів у майбутньому без необхідності реконструкції міської мережі. Це критично важливо для підприємства, що розвивається. Наявність розподільчого вузла безпосередньо на території об'єкта дозволяє оперативно здійснювати перемикання між лініями та локалізувати можливі пошкодження на внутрішніх кабельних лініях, що мінімізує час простою кондитерського цеху (який є споживачем II категорії).

Варіант II передбачає встановлення додаткових шаф КРУ з трансформаторами напруги, що забезпечує точніший комерційний та технічний облік електроенергії, а також кращий моніторинг параметрів мережі 10 кВ.

Власне РП дозволяє персоналу підприємства самостійно контролювати стан високовольтної апаратури, не залежати від графіків обслуговування міських електромереж на віддалених ділянках. Таким чином, за сукупністю технічних переваг, надійності та можливості майбутнього масштабування виробництва, Варіант II визначено як найбільш доцільний для впровадження.

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Організація системи розподілу електричної енергії на об'єкті базується на використанні номінальної напруги 10 кВ для внутрішніх мереж. Безпосереднє живлення силового технологічного обладнання та систем промислового освітлення здійснюється на напрузі 380/220 В через відповідні понижувальні трансформаторні підстанції.

При проектуванні конфігурації мережі промислового підприємства враховано територіальне розташування центрів навантаження, сумарну споживану потужність та вимоги до безперебійності живлення. Відповідно до нормативних вимог, схеми електропостачання можуть бути реалізовані як одно- або двоступеневі. Для нашого підприємств середньої потужності пріоритетними є одноступеневі схеми.

Для забезпечення надійної роботи електроприймачів I та II категорій (до яких відноситься основне обладнання підприємства ПП «Імпексмаш») проектом передбачено обов'язкове секціонування шин на всіх рівнях системи розподілу. Це дозволяє зберігати працездатність однієї секції при аварійному відключенні або технічному обслуговуванні іншої.

У процесі проектування розглянуто наступні типи схем: радіальні схеми: їх впровадження є раціональним при наявності зосереджених потужних споживачів (наприклад, компресорних станцій, насосних вузлів або перетворювальних агрегатів). Та магістральні схеми: даний тип електророзподілу обрано як доцільний за наступних умов: лінійне розташування підстанцій або розподільчих точок на території об'єкта; наявність груп технологічно взаємопов'язаних агрегатів, де зупинка одного елемента вимагає припинення роботи всієї лінії. Для гарантування надійності живлення споживачів магістральні схеми реалізуються з використанням двох або більше паралельних ліній, що забезпечує можливість взаємного резервування. Поєднання радіальних та магістральних ділянок утворює змішану схему, яка дозволяє досягти оптимального балансу між економічністю проекту та експлуатаційною стійкістю системи електропостачання.

РОЗДІЛ 4

КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Проектування засобів компенсації реактивної потужності виконується комплексно з іншими елементами системи електропостачання, що дозволяє знизити струмові навантаження в мережі. Розрахунок проводиться у два етапи: визначимо економічно обґрунтований обсяг реактивної потужності, що споживається з енергосистеми, та сумарна потужність КП підприємства. Розраховуємо оптимальний розподіл КП на шинах 0,4 кВ та 10 кВ, виходячи з мінімізації втрат енергії та вартості обладнання.

Вибір типу, потужності та режиму роботи КП базується на критерії максимальної економічності за умови дотримання нормативних рівнів напруги та допустимих навантажень на елементи мережі. Оптимальне співвідношення низьковольтних (0,4 кВ) та високовольтних (10 кВ) пристроїв визначається шляхом техніко-економічного порівняння витрат на встановлення комутаційної апаратури, додаткових КТП та вартості втрат електроенергії.

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Вихідні дані навантаження цехових ТП (до 1000 В):

Активне навантаження: $P_{\text{н}} = 3035,51 \text{ кВт}$

Реактивне навантаження: $Q_{\text{н}} = 1407,78 \text{ кВар}$

Сумарне розрахункове споживання по підприємству: Враховуємо втрати потужності в трансформаторах ($\Delta P_{\text{тр}}$, $\Delta Q_{\text{тр}}$) та відсутність високовольтного навантаження ($P_{\text{в}} = 0$):

Активна потужність:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{в}} + P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{тр}} = 0 + 3035,5 + 34,37 = 3069,87 \text{ кВт}$$

Реактивна потужність, кВар:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{тр}} = 0 + 1407,8 + 203,12 = 1610,92$$

						31

Економічно доцільна реактивна потужність, що передається з енергосистеми (при загальноприйнятому $\text{tg } \phi = 0,15$):

$$Q_e = P_p \cdot \text{tg} \phi_3 = 3069,87 \cdot 0,15 = 460,48 \text{ квар}$$

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв (КУ) для забезпечення балансу:

$$Q_{\text{ку}} = Q_p - Q_e = 1610,92 - 460,48 = 1150,44 \text{ квар}$$

Для живлення об'єкта підприємства ПП «Імпексмаш» використовуємо трансформатори типу ТМ-630 (номінальна потужність $S_{\text{тр}} = 630 \text{ кВА}$). Тоді розрахунок мінімальної кількості одиниць (N) при оптимальному коефіцієнті завантаження для II категорії надійності ($K_3 = 0,7$):

$$N_o = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{\text{нтр}}} = \frac{3035,5}{0,7 \cdot 630} = \frac{3035,5}{441} \approx 6,88$$

На основі розрахунку приймаємо до встановлення $N_o=7$ одиниць трансформаторів потужністю 630 кВА кожен. Сумарна потужність КУ у 1150,44 кВар дозволить повністю розвантажити мережу 10 кВ від зайвих перетоків реактивної енергії. Оскільки прийнято 7 трансформаторів, це забезпечує стабільну роботу кондитерського цеху при нормативному завантаженні та створює необхідний резерв для живлення критичних споживачів у разі аварійного вимкнення одного з агрегатів.

Визначення реактивної потужності Q_n , що передається через трансформатори: Розрахунок базується на пропускній спроможності трансформаторів з урахуванням активного навантаження:

$$\begin{aligned} Q_n &= \sqrt{(N \cdot S_{\text{нтр}} \cdot K_{3\text{м}})^2 - P_n^2} = \sqrt{(7 \cdot 630 \cdot 0,72)^2 - 3035,5^2} = \\ &= \sqrt{10\,075\,233,7 - 9\,214\,260} \approx 927,9 \text{ квар} \end{aligned}$$

Вибір потужності низьковольтних КУ ($Q_{\text{кн}}$):

$$Q_{\text{кн}} = Q_n - Q_n = 1407,8 - 931,4 = 476,4 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 475 \text{ кВар}$, комплектуємо наступним чином:

- БК 100 кВар — 2 шт. (200 кВар)
- БК 75 кВар — 1 шт. (75 кВар)

						32

- БК 50 кВар — 4 шт. (200 кВар)

Разом: 475 кВар.

Уточнюємо значення реактивної потужності, що реально протікає через трансформатори:

$$Q_{п.уточ} = Q_{н} - Q_{кн.прийняте} = 1407,8 - 475 = 932,8 \text{ квар}$$

Вибір потужності високовольтних КУ ($Q_{кв}$):

$$Q_{кв} = Q_{р} - Q_{кн} - Q_{е} = 1610,9 - 476,35 - 460,48 = 674,07 \text{ квар}$$

З урахуванням стандартних номіналів та резервування, приймаємо до встановлення $Q_{кв} = 900$ кВар: БК 450 кВар 2 шт.

Сумарні втрати активної потужності в системі компенсації складають:

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_{тп} + \Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} = 2,04 + 2,14 + 2,7 = 6,88 \text{ кВт}$$

Цей розрахунок підтверджує ефективність обраної схеми: встановлення 475 квар на боці 0,4 кВ та 900 кВар на боці 10 кВ дозволяє підтримувати оптимальний баланс енергії при мінімальних втратах.

Розрахунок вартості обладнання та приведених витрат, врахуємо вартість низьковольтних конденсаторних батарей (0,4 кВ згідно з попередньо обраною комплектацією (2×100 кВАр, 1×75 кВАр, 4×50 кВАр):

$$K_{кн} = 2 \cdot 5,84 + 1 \cdot 4,1 + 4 \cdot 4,96 = 11,68 + 4,1 + 19,84 = 35,62 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей (10 кВ) для 2-х одиниць по 450 кВАр:

$$K_{кв} = 2 \cdot 11,3 = 22,6 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), що було прийнято 7 трансформаторів, що розподілені на одну однотрансформаторну та три двотрансформаторні підстанції ($1 + 3 \cdot 2 = 7$)

$$\begin{aligned} K_{кТП} &= N_{тп(1)} \cdot K_{тп(1)} + N_{тп(2)} \cdot K_{тп(2)} = \\ &= 1 \cdot 67,5 + 3,0 \cdot 127,35 = 67,5 + 382,05 = 4 \end{aligned}$$

						33

Розрахунок приведених річних витрат (З)

Для розрахунку використовуємо формулу приведених витрат, що враховує нормативний коефіцієнт ефективності ($E_n = 0,12$), капітальні вкладення та вартість втрат активної потужності. Вихідні дані для витрат: $C_0 = 12$ грн/кВт·год – вартість електроенергії; $t = 3485,8$ год/рік – час максимуму втрат; сумарні втрати потужності:

$$\Delta P_{\Sigma} = 2,7 + 2,14 + 2,04 = 6,88 \text{ кВт.}$$

Розрахунок:

$$З_1 = E_n \cdot (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{кп}}) + \Delta P_{\Sigma} \cdot C_0 \cdot 10^{-3} \cdot t$$

$$З_1 = 0,12 \cdot (35,62 + 22,60 + 449,55) + (6,88 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 3485,8)$$

$$З_1 = 0,12 \cdot 507,77 + 287,79 = 60,932 + 287,79 = 348,722 \text{ тис. грн.}$$

Сумарні капітальні вкладення в систему трансформації та компенсації становлять 507,77 тис. грн. Щорічні приведені витрати на рівні 348,72 тис. грн підтверджують доцільність встановлення конденсаторних батарей, оскільки вони значно знижують споживання реактивної енергії з мережі та зменшують навантаження на трансформатори ТМ-630.

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

Для обраної схеми електропостачання проведено розрахунок обсягів реактивної потужності, що передається через трансформаторні підстанції в мережу 0,4 кВ. Це дозволило визначити необхідну потужність компенсуючих пристроїв, які підлягають встановленню безпосередньо у цехових мережах для розвантаження силового обладнання.

Як приклад, розглянемо розрахунок для ТП №4. Потужність, яку необхідно компенсувати в мережі низької напруги (НН), визначається як різниця між фактичним реактивним навантаженням та пропускною здатністю трансформатора:

						34

Таблиця 4.3 – Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В з врахуванням КП

Назва групи споживачів	Кіль- ть ЕС	Р одного			P_{Σ} , кВт	m	K_n	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє		η_{ef}	K_M	Розрахункове навантаження		
		min		max						P_{cm} , кВт	Q_{cm} , квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
<u>ТП№1,2,3</u>																
Всього по ТП1,2,3																
силова	284	0,4		96	3821,32	240	0,6	0,9	0,49	2242,81	1089,34	80	1,089	2442,81	1089,32	2674,73
освітлювальна														163,64	79,26	
БК 0,4 кВ															-300	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП1,2,3														2606,52	768,60	2717,48
Втрати в трансформаторах														31,44	183,023	
Коефіцієнт завантаження $K_z=$ 0,72																
Всього на шинах 10кВ ТП№1,2,3														2637,92	951,65	2804,36
<u>ТП№4</u>																
Всього по ТП№4																
силова	73	0,4		27	543,52	68	0,7	0,85	0,61	375,71	228,33	40	1,082	406,62	228,34	466,37
освітлювальна														22,35	10,82	
БК 0,4 кВ															-75	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП4														429,02	164,16	459,37
Втрати в трансформаторах														5,35	31,02	
Коефіцієнт завантаження $K_z=$ 0,73																
Всього на шинах 10 кВ ТП4														434,34	195,18	476,19
Всього по технічному центру																
силова	357	0,4	-	96	4364,81		0,6	0,89	0,5	2618,52	1317,67	357	1,05	2749,44	1317,67	3048,88
освітлювальна														187,22	92,20	
Всього														2936,66	1409,87	3257,56
БК 0,4 кВ															-475	
Втрати в трансформаторах														36,78	214,07	
Всього по технічному центру														2973,46	1148,95	3187,69
БК 10 кВ															-900,00	
Всього на шинах 10кВ														2973,46	248,95	2983,83

РОЗДІЛ 5

ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

У проєктній практиці визначення параметрів силових трансформаторів базується на аналізі розрахункових електричних навантажень об'єкта з використанням оптимальних коефіцієнтів завантаження (k_3). Величина цього коефіцієнта безпосередньо залежить від категорії надійності електропостачання споживачів та обраної схеми резервування.

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Для двозмінного режиму роботи коефіцієнт систематичного навантаження прийнято $K_1 = 1,08$. При тривалості аварійного режиму в межах 8 – 24 годин коефіцієнт допустимого перевантаження становить $K_2 = 1,4$.

Розрахунок для ТП №1, 2, 3в означає необхідну потужність силових агрегатів:

$$S_{\text{тр.р}} = \frac{1,4 \cdot S_p}{n} = \frac{1,4 \cdot 2717,48}{6} = 634,08 \text{ кВА}$$

На основі розрахунку до встановлення прийнято трансформатори типу ТМ-630/10 виробництва Хмельницького заводу трансформаторних підстанцій (ХЗТП). Перевіряємо коефіцієнт завантаження в номінальному режимі:

$$k_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{2717,48}{6 \cdot 630} = 0,72$$

В аварійному режимі (при виході з ладу одного трансформатора) передбачено часткове відключення споживачів III категорії для забезпечення стабільної роботи пріоритетного обладнання.

Аналогічні обчислення виконані для інших підстанцій, результати яких систематизовані в таблиці 5.1. Зважаючи на рівномірне територіальне розміщення енергоспоживачів, обрано стратегію дислокації ТП з рівним кроком по всій площі цехів.

						37

Таблиця 5.1 – Вибір потужності та місця розташування цехових ТП.

№ ТП	Pp	Qp	Sp	Вид ТП	Nтр	Стр	Кз	Категорія за ПБ	Місце розташування
ТП№1,2,3	2606,52	768,60	2717,48	вбуд.	6	х 630	0,72	Д	Дільниця металообробки
ТП№4	429,00	164,15	459,33	вбуд.	1	х 630	0,73	Д	Дільниця лакофарбових покриттів

5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

З метою оптимізації топології електричної мережі та максимального наближення джерел живлення до основних центрів споживання, проєктом передбачено раціональне розміщення цехових підстанцій. Основним критерієм вибору місця встановлення є мінімізація довжини мереж напругою до 1 кВ, що безпосередньо впливає на зниження втрат активної потужності та стабілізацію рівнів напруги на затискачах електроприймачів.

У даній роботі прийнято до встановлення комплектні трансформаторні підстанції (КТП) напругою 10/0,4 кВ вбудованого та прибудованого типів. Вибір базується на наступних припущеннях та умовах: рівномірності завантаження. Розрахунок ведеться з умови симетричного розподілу потужності між фазами та трансформаторними одиницями. Та модульна конструкція КТП дозволяє здійснювати подальше розширення системи електропостачання. До цього ж усі струмопровідні частини, що виходять за межі корпусів, захищені сталевими кожухами, що виключає випадковий дотик та механічні пошкодження.

Запропонована конфігурація трансформаторних підстанцій гарантує стабільну роботу виробничих ліній цеху при раціональному коефіцієнті завантаження агрегатів $k_z = 0,72$. Дане рішення є технічно обґрунтованим та економічно доцільним, оскільки поєднує високу експлуатаційну надійність із мінімальною площею розміщення електрообладнання.

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань та вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Для виконання розрахунку параметрів короткого замикання (КЗ) у високовольтній мережі підприємства «Імпексмаш» попередньо здійснено вибір кабельних ліній, що забезпечують живлення цехових підстанцій. На основі прийнятих технічних рішень сформовано розрахункову схему (рис. 6.1), яка відображає ключові компоненти системи: живильні кабелі та силові трансформатори ТП.

Обчислення значень струмів КЗ реалізовано в іменованих одиницях. Аналіз проводиться для однієї секції шин, що є достатнім для оцінки термічної та динамічної стійкості обраного обладнання та налаштування пристроїв релейного захисту.

На основі розрахункової схеми сформовано схему заміщення (рис. 6.1), де всі активні та реактивні елементи представлені у вигляді електричних опорів. Розрахунок опорів системи виконаємо нижче.

Струм КЗ на шинах 10 кВ п/ст «Кіровоградська»: $I_{c''} = 2,5$ кА.

Середня напруга мережі: $U_{\text{сер}} = 10,5$ кВ.

Так, реактивний опір системи:

$$X_c = \frac{U_{\text{сер}}}{\sqrt{3} \cdot I_{c''}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,5} = 2,42 \text{ Ом}$$

Активний опір системи при умові:

$$R_c \approx 0,1 \cdot X_c$$

$$R_c = 0,1 \cdot 2,42 = 0,242 \text{ Ом}$$

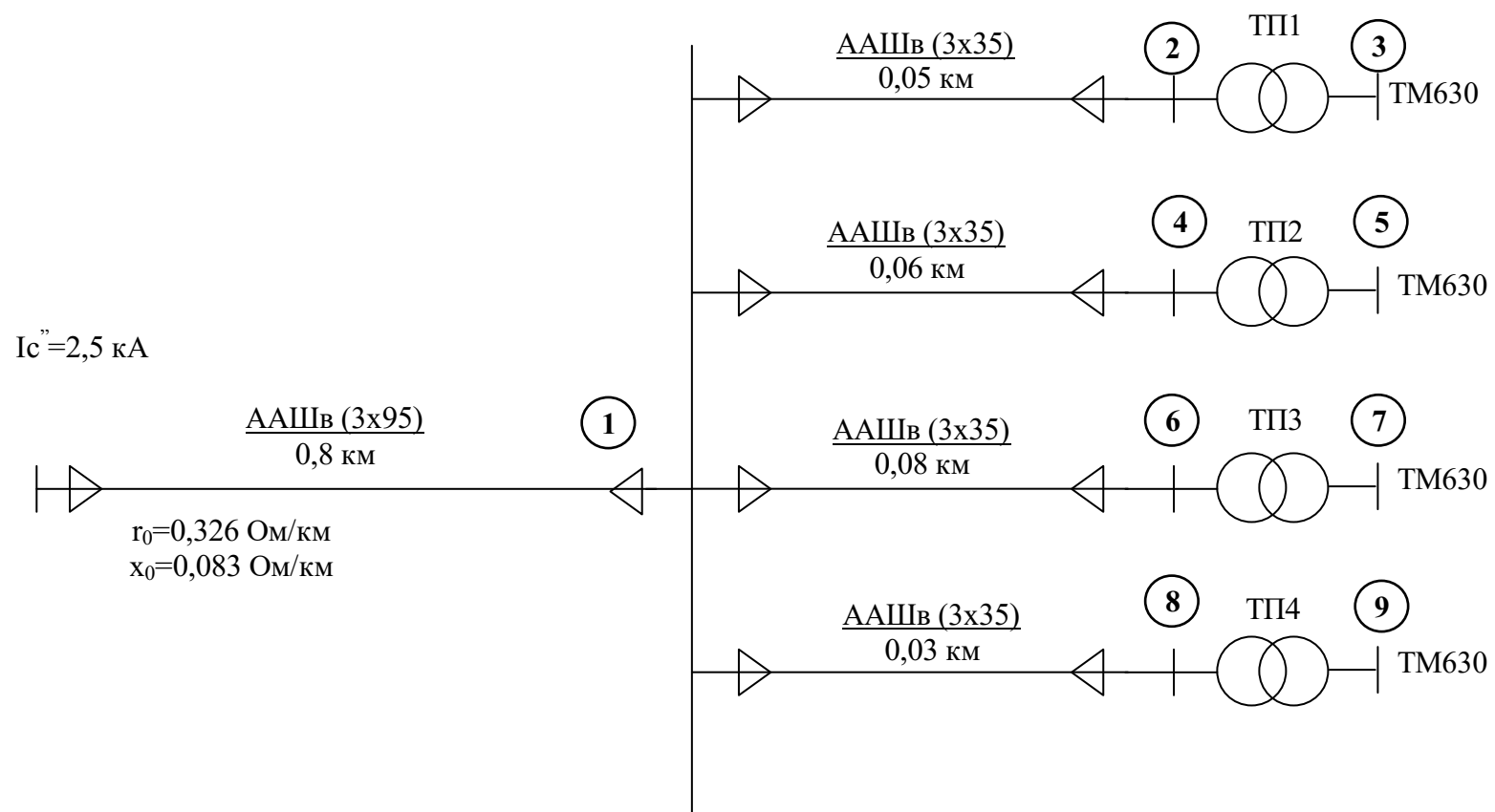


Рис.6.1 – Розрахункова схема.

Розрахунок параметрів для КЛ (ТП18 – РП)

Кабельна лінія виконана кабелем ААШв(3х95) протяжністю $L = 0,8$ км
($r_0=0,326$ Ом/км, $x_0=0,083$ Ом/км).

Опір лінії:

$$R_{\text{л}} = 0,326 \cdot 0,8 = 0,26 \text{ Ом}; \quad X_{\text{л}} = 0,083 \cdot 0,8 = 0,066 \text{ Ом}$$

Сумарний опір до точки K_1 (шини РП):

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{с}} + R_{\text{л}} = 0,096 + 0,26 = 0,356 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{к1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{л}} = 2,42 + 0,066 = 2,486 \text{ Ом}$$

Отже, повний опір:

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{0,356^2 + 2,486^2} = 2,51 \text{ Ом}.$$

Струм трифазного КЗ в точці K_1 :

$$I_{\text{к1}}'' = \frac{U_{\text{сер}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к1}}} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 2,51} = 2,414 \text{ кА}$$

Приймаємо ударний коефіцієнт $k_y = 1,21$ (для кабельних мереж 10 кВ):

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{к1}}'' = 1,41 \cdot 1,21 \cdot 2,414 = 4,12 \text{ кА}$$

При перевірці КЛ на термічну стійкість врахуємо час вимкнення $t_{\text{відк}}=1,357$ с.

$$B_{\text{к}} = I_{\text{к1}}^2 \cdot (t_{\text{відк}} + T_{\text{а}}) = 2,414^2 \cdot (1,357 + 0,022) = 8,035 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Мінімальний переріз за термічною стійкістю ($C=90$ для алюмінієвих кабелів):

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \cdot 10^3 = \frac{\sqrt{8,035}}{90} \cdot 1000 = 31,5 \text{ мм}^2$$

Обраний кабель ААШв(3х95) повністю задовольняє умовам термічної стійкості ($95 > 31,5$ мм).

По розрахунковій схемі складається схема заміщення, на якій всі елементи представлені у вигляді опорів. Результати розрахунків струмів КЗ приведені в таблиці 6.2.

						41

Таблиця 6.1 – Вибір кабелів 10 кВ мережі підприємства ПП «Імпексмаш»

№ пп	Найменування КЛ	№ тр	Sp, кВА	I _p , А	F _p , мм ²	F _{ст} , мм ²	F _{мін} , мм ²	I _{доп} , А	I _{ав,р} , А	I _{доп'} , А
1	РП-ТП1	2	934,81	26,98	22,487	25	35	115	53,97	132,03
2	РП-ТП2	2	934,81	26,98	22,487	25	35	115	53,97	132,03
3	РП-ТП3	2	934,81	26,98	22,487	25	35	115	53,97	132,03
4	РП-ТП4	1	476,19	27,49	22,910	25	35	115	54,98	132,02

Струми КЗ в мережі 10 кВ заводу

Точка КЗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ik'',кА	2,414	2,42	0,543	2,412	0,543	2,413	0,542	2,414	0,543

6.2. Вибір електрообладнання

У межах даного проєкту передбачено обґрунтований вибір ключового електротехнічного обладнання, що забезпечує стабільну роботу та захист системи. До переліку апаратів, що підлягають розрахунковій перевірці, належать: силова комутаційна апаратура розподільчих пристроїв (РП) усіх рівнів напруги, роз'єднувачі, обмежувачі перенапруг (розрядники), а також вимірювальні трансформатори струму та напруги.

Вибір конкретних моделей вимикачів визначається специфікою їх експлуатації та параметрами режимів роботи мережі. Пріоритетним завданням під час проєктування є впровадження сучасних зразків комутаційної техніки, що виготовляються провідними вітчизняними та світовими виробниками.

Для розподільчих пристроїв напругою 10 кВ найбільш раціональним рішенням є застосування вимикачів, що інтегровані в комірки комплектних розподільчих пристроїв (КРУ). Техніко-економічний аналіз вказує на доцільність використання вакуумних або елегазових технологій. Відповідно до нормативних вимог та державних стандартів, умови вибору та перевірки вимикачів систематизовано в таблиці 6.3.

Для забезпечення надійної комутації та захисту електрообладнання на ввідних та секційних лініях 10 кВ виконано вибір вакуумних вимикачів. Розрахункові параметри для вибору. Повна потужність навантаження:

$$S_p = 2983,8 \text{ kB} \cdot \text{A}.$$

Розрахунковий максимальний струм:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2983,84}{1,73 \cdot 10} = 172,27 \text{ A}$$

Струм трифазного короткого замикання:

$$I_k'' = 2,414 \text{ кА.}$$

Параметри часу спрацювання, при мінімальному часу до розмикання контактів (для перевірки здатності до відключення):

$$t = t_{p.з.мін} + t_{с.в} = 0,01 + 0,07 = 0,08 \text{ с}$$

Повний час вимкнення (для перевірки на термічну стійкість):

$$t_{відк} = t_{p.з} + t_{о.в} + \Delta t = 0,1 + 0,057 + 1,2 = 1,357 \text{ с}$$

Отже, розрахунок теплового імпульсу:

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{відк} + T_a) = 2,414^2 \cdot (1,357 + 0,022) = 8,035 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Таблиця 6.3 – Вибір вимикачів на шинах 10 кВ

Параметр та умова вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані	Висновок
Номінальна напруга, кВ: $U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10$	$U_{ном} = 10$	Виконується
Номінальний струм, А: $I_{раб.макс} \leq I_{ном}$	$I_{раб.макс} = 172,27$	$I_{ном} = 630$	Виконується
Струм відключення, кА: $I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	$I_{пт} = 2,414$	$I_{отк.ном} = 20$	Виконується
Здатність до відключення, кА: $i_{a,t} + \sqrt{2} \cdot I_{пт} \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.ном}(1 + \beta_H)$	$0 + \sqrt{2} \cdot 2,414 = 3,41$	$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 39,48$	Виконується
Граничний струм термічної стійкості, кА: $I'' \leq I_{терм}$	$I'' = 2,414$	$I_{терм} = 20$	Виконується
Електродинамічна стійкість (амплітуда), кА: $i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 5,58$	$i_{дин} = 52$	Виконується
Тепловий імпульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$: $B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$	$B_k = 8,035$	$20^2 \cdot 3 = 1200$	Виконується

Вимикач на лініях до КТП-1: виходячи з максимального робочого струму $I_{\text{роб.макс}} = 172,27 \text{ А}$ та необхідності термічної стійкості, до встановлення прийнято вакуумний вимикач серії ВР1-10-20/630. Номінальні параметри апарата $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$, $I_{\text{відкл.ном}} = 20 \text{ кА}$) повністю перекривають розрахункові вимоги. Для секціонування шин 10 кВ у розподільчому пристрої обрано аналогічну модель – ВР1-10-20/630. Вимикач оснащений вбудованим електромагнітним приводом, що забезпечує швидку дію та сумісність із системами автоматичного введення резерву (АВР).

Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб. Для забезпечення надійного функціонування допоміжних систем підстанції, засобів автоматики та освітлення проведено розрахунок потужності споживачів власних потреб (ВП). До складу навантаження входять системи мікроклімату, внутрішнє та зовнішнє освітлення, а також пристрої оперативного керування. Склад та параметри електроприймачів мережі ВП наведено у таблиці нижче.

Таблиця 6.4 – Склад та потужність споживачів власних потреб

№ п/п	Найменування груп електроприймачів	Кількість	Р _{вп} , кВт	Р _р , кВт	Q _р , кВАр
1	Електричне опалення та освітлення приміщень	1	6,5	6,5	—
2	Зовнішнє освітлення території	1	4,5	4,5	—
3	Навантаження ланцюгів оперативного керування	1	2,0	2,0	—
	РАЗОМ	-	13,0	13,0	—

Розрахункове активне навантаження на систему власних потреб становить $P_{\text{нав}} = 13 \text{ кВт}$. Враховуючи необхідність резервування для споживачів II категорії та забезпечення стабільної роботи систем захисту, до встановлення прийнято два трансформатори власних потреб типу ТМ-25/10.

$$k_3 = \frac{P_{\text{HAB}}}{n \cdot S_{\text{HOM}}} = \frac{13}{25} = 0,52$$

Параметри мережі	Умова вибору	Параметри ТС	Висновок
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Відповідає
$I_{max} = 172,27 \text{ А}$	$I_{max} \leq I_{1ном}$	$I_{1ном} = 200 \text{ А}$	Відповідає
$i_y = 5,58 \text{ кА}$	$i_y \leq i_{ел.дин}$	$i_{ел.дин} = 70 \text{ кА}$	Відповідає
$B_k = 8,035 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$	$10,4^2 \cdot 3 = 324,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	Відповідає

Вибір секційного трансформатора струму

Для контролю струмів у секційній перемичці розподільчого пристрою розраховано максимальний робочий струм:

$$I_{\text{роб.секц}} = \frac{0,7 \cdot S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{0,7 \cdot 2983,84}{17,32} \approx 120.6$$

З урахуванням режиму завантаження секції, до встановлення прийнято трансформатор струму типу ТПЛ-10У3 з номінальним первинним струмом $I_{\text{ном}} = 150 \text{ A}$.

Для забезпечення функціонування систем обліку та релейного захисту на розподільчому пристрої (РП) 10 кВ передбачено встановлення трансформаторів струму (ТС). Для ввідних комірок обрано трансформатори опорно-прохідного типу серії **ТПЛ-10У1** (клас точності 0,5).

Вибір секційного ТС та для відхідних ліній

Для секційного вимикача, з урахуванням режимів перетоку потужності, прийнято трансформатор струму серії ТПЛ-10У3 з номінальним первинним струмом 100 А.

Для захисту та контролю відхідних ліній, що живлять цехові трансформаторні підстанції, встановлюються ТС типу ТПЛ-10-1У3. Коефіцієнти трансформації обрані відповідно до розрахункових навантажень окремих ТП: $K_T=75/5$ для групових ліній та $K_T=30/5$ для однострансформаторних підстанцій.

Таблиця 6.6 – Результати вибору ТС для ліній живлення цехових ТП.

Параметри мережі	Розрахункова умова	Параметри ТС	Висновок
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Відповідає
$I_{max} = 53,97 \text{ А}$	$I_{max} \leq I_{1ном}$	$I_{1н} = 75 \text{ А}$	Відповідає
$i_y = 5,58 \text{ кА}$	$i_y \leq i_{ел.дин}$	$i_{ел.дин} = 70 \text{ кА}$	Відповідає
$B_k = 8,035 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$	$324 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	Відповідає

Для підтвердження відповідності трансформатора струму заданому класу точності проводиться розрахунок фактичного навантаження вторинних ланцюгів. Розрахунок виконується пофазно на основі обраної схеми з'єднання обмоток та технічних характеристик підключених вимірювальних приладів.

Таблиця 6.7 – Склад та споживання вторинного навантаження ТС на вводах.

Найменування приладу	Тип приладу	Клас точності	Фаза А, ВА	Фаза В, ВА	Фаза С, ВА
Електронний лічильник	A1600 (A2)	0,5	3,6	—	3,6
Амперметр	E335	1,0	0,5	—	—
Усього (S_{прил})	—	—	4,1	—	3,6

Аналіз даних таблиці 6.7 свідчить, що найбільш завантаженим є трансформатор струму у фазі А. Визначення опору вимірювальних приладів:

$$z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{н}}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,164 \text{ Ом}$$

Для з'єднання використано мідний кабель перерізом $q = 2,5 \text{ мм}^2$. При вмиканні ТС за схемою «неповна зірка» розрахункова довжина становить:

$$l_{\text{розр}} = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 4 \approx 12 \text{ м}$$

Опір провідників:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{q} = \frac{0,0175 \cdot 12}{2,5} = 0,084 \text{ Ом}$$

Враховуючи перехідний опір контактів $r_k = 0,05 \text{ Ом}$, загальний опір вторинного кола становитиме:

$$z_2 = z_{\text{прил}} + r_k + r_{\text{пр}} = 0,164 + 0,05 + 0,084 = 0,298 \text{ Ом}$$

Перевірка умови точності:

$$z_2 \leq z_{2\text{н}} \implies 0,298 \text{ Ом} < 0,6 \text{ Ом}$$

Обрані трансформатори струму працюватимуть у межах встановленого класу точності (0,5), оскільки фактичний опір вторинного навантаження не перевищує номінальний.

Розрахунок виконується для найбільш завантаженої фази А на основі технічних характеристик підключеної апаратури.

Найменування та тип приладу	Клас точності	Фаза А, ВА	Фаза В, ВА	Фаза С, ВА
Лічильник активної енергії СА-3У-5009	1,0	6,0	—	6,0
Лічильник реактивної енергії СР-4У-5003	1,0	6,0	—	6,0
Амперметр Е335	1,0	0,5	—	—
Усього (Сприл)	—	12,5	—	12,0

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{н}}^2} = \frac{12,5}{5^2} = 0,5 \text{ Ом}$$
$$r_{\text{np}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{позп}}}{q} = \frac{0,0175 \cdot 6}{2,5} = 0,042 \text{ Ом}$$
$$Z_2 = Z_{\text{прп}} + r_k + r_{\text{пр}} = 0,5 + 0,06 + 0,042 = 0,602$$

	.					49

що гарантує роботу вимірювальних приладів у межах встановленого класу точності.

Для забезпечення контролю режимів роботи та захисту високовольтних конденсаторних батарей (БК) напругою 10 кВ здійснено вибір вимірювальних трансформаторів струму. Розрахунковий струм лінії БК:

$$I_{БК} = \frac{Q_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{900}{1,73 \cdot 10} = 51,96 \text{ А}$$

На основі розрахункового струму до встановлення в комірках БК прийнято трансформатори струму опорного типу з литою ізоляцією серії ТЛК-10-75-У3 з номінальним первинним струмом $I_{ном} = 75 \text{ А}$. Дана модель забезпечує необхідну термічну стійкість та точність вимірювання в ланцюгах компенсації реактивної потужності.

Вибір та перевірка вимірювальних трансформаторів напруги

Для контролю рівнів напруги на секціях шин 10 кВ, а також для живлення ланцюгів вимірювання та обліку електроенергії, передбачено встановлення трансформаторів напруги (ТН). До встановлення прийнято антирезонансний масляний трансформатор напруги типу **НАМИ-10**. Дана модель забезпечує стабільну роботу вимірювальних приладів та захищена від пошкоджень при виникненні ферорезонансних процесів у мережі.

Таблиця 6.9 – Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів напруги

Найменування приладу	Тип	К-сть	Сод, В·А	РΣ, Вт	QΣ, вар
Вольтметр (шини 10 кВ)	Е335	1	2,0	2,0	—
Лічильник активної енергії	А1700	1	3,6	3,3	1,4
Лічильник активної енергії	СА-3У-5009	4	6,0	7,5	22,8
Лічильник реактивної енергії	СР-4У-5003	5	6,0	9,4	28,5
УСЬОГО	—	—	—	22,2	52,7

Перевірка трансформатора за потужністю вторинного кола, де повна розрахункова потужність вторинного навантаження ($S_{2\Sigma}$) визначається через активну та реактивну складові споживання приладів:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{22,2^2 + 52,7^2} = \\ = \sqrt{492,84 + 2777,29} = 57,2 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Умова перевірки виконується

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2\text{ном}} \implies 57,2 \text{ В}\cdot\text{А} < 100 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Обраний трансформатор напруги НАМИ-10 повністю задовольняє вимогам щодо точності вимірювань, оскільки фактичне навантаження становить лише 57% від його номінальної потужності у класі 0,5. Для другої секції РП вибір обладнання здійснюється за аналогічним принципом.

Вибір **обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН)**. До встановлення прийнято обмежувачі типу ОПН-10 УХЛ1, що відповідають наступним технічним характеристикам.

Таблиця 6.10 – Результати перевірки обмежувачів перенапруг серії ОПН-10

Параметр перевірки	Умова вибору	Розрахункові дані	Характеристики ОПН	Висновок
Номінальна напруга мережі	$U_{\text{ном}} = U_{\text{уст}}$	10 кВ	10 кВ	Відповідає
Найбільша робоча напруга	$U_{\text{нр}} \geq U_{\text{уст.макс}}$	11,5 кВ	12,0 кВ	Відповідає
Номінальний розрядний струм	—	—	10 кА	—
Клас тиску при пошкодженні	—	—	20 кА	—

Вибрані апарати **ОПН-10** забезпечують глибоке обмеження рівнів перенапруг, що значно знижує ймовірність пробою ізоляції силових трансформаторів ТМ-630. Завдяки герметичному полімерному корпусу, апарати мають високу гідрофобність та стійкість до забруднень, що мінімізує обсяги регламентних робіт під час експлуатації.

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ 7

КОМПЛЕКСНА ПРОГРАМА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЯХ ПІДПРИЄМСТВА «ІМПЕКСМАШ»

7.1. Загальні відомості

У сучасних реаліях енергетичні витрати складають вагомую частку в собівартості продукції машинобудівних та приладобудівних комплексів. Оскільки суб'єкти господарювання позбавлені можливості прямого впливу на тарифоутворення, державну політику чи макроекономічні коливання, стратегічне значення набуває внутрішній менеджмент ресурсів. Наведений стан справ підтверджує, що інтенсифікація енергетичної ефективності виступає критичним фактором стабільного функціонування виробництва.

Фундаментальним інструментом для досягнення означених цілей є розробка та впровадження комплексної системи енергоменеджменту. Вона дозволяє систематизувати підхід до зниження технологічних втрат, які виникають на кожному етапі трансформації та розподілу електрики. Зокрема, значна частина потужності розсіюється в обмотках силових трансформаторів, лініях передач різного класу напруги та комутаційній апаратурі.

Особливу увагу слід приділяти кінцевим споживачам – електроприводам технологічних ліній та електротермічному устаткуванню. Втрати в асинхронних двигунах, перетворювачах частоти та нагрівальних агрегатах часто спричинені роботою обладнання у недовантажених режимах або низьким коефіцієнтом потужності. Отже, модернізація електротехнічних систем та корекція реактивної потужності є пріоритетними напрямками для ПП «Імпексماش» у контексті глобальної енергомодернізації.

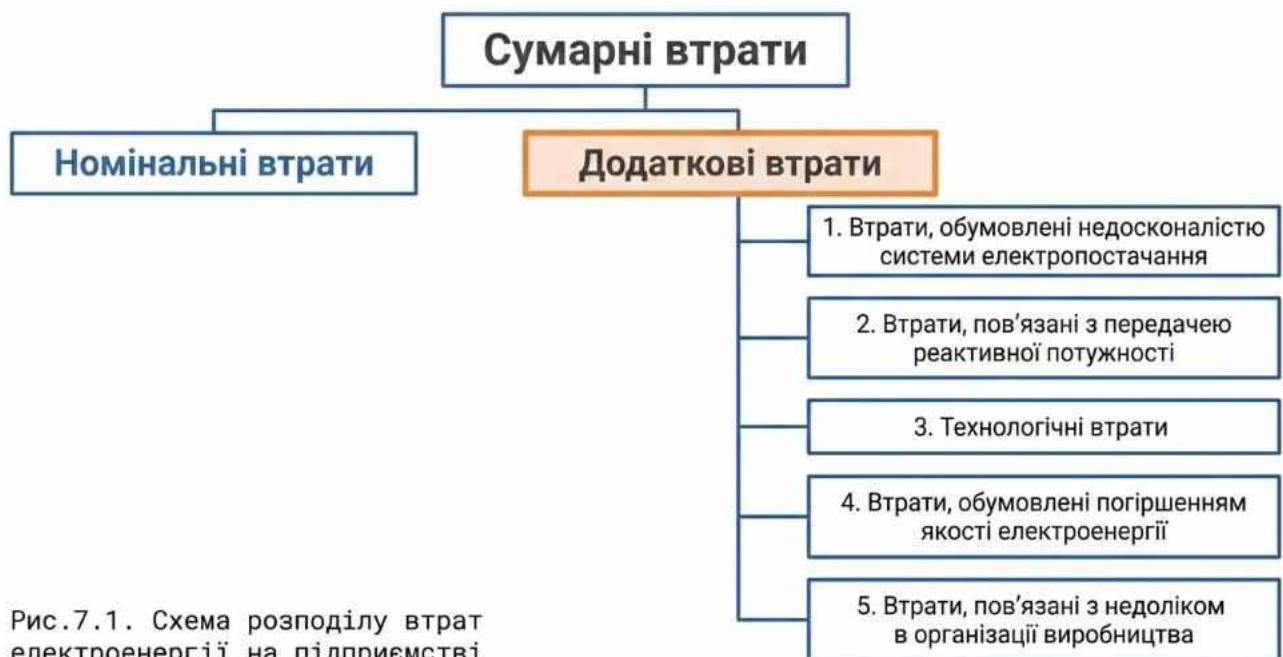
В енергетичному аудиті промислових об'єктів величину втрат прийнято визначати як арифметичну різницю між обсягом енергії, зафіксованим розрахунковими приладами обліку на межі балансового розподілу мереж, та енергією, що була фактично використана споживачами для виконання корисної роботи. Збільшення енерговтрат безпосередньо корелює з інтенсивністю

						52

протікання струму або зростанням еквівалентного активного опору внутрішньозаводських мереж.

Основними дестабілізуючими чинниками в даному контексті виступають:

- незадовільне значення коефіцієнта потужності ($\cos \phi$), що зумовлює перевантаження ліній реактивними потоками;
- відхилення показників якості напруги від нормованих значень (гармонічні спотворення, несиметрія);
- недосконалість конфігурації схеми електропостачання;
- неефективність існуючих технологічних циклів (надлишкові енерговитрати обладнання);
- прорахунки організаційного менеджменту та порушення регламентів експлуатації устаткування.



Структура енергетичних втрат у системах промислового електропостачання деталізована на рис. 7.1. Згідно з наведеною класифікацією, сукупний обсяг втраченої потужності розподіляється на дві ключові категорії:

1. *Номінальні (технічні) втрати.* Вони є неминучими і зумовлені фізичними процесами у провідниках та магнітопроводах під час роботи

системи в проектних режимах за умови оптимального вибору параметрів мережі.

2. *Додаткові (надлишкові) втрати.* Виникають внаслідок відхилення фактичних параметрів експлуатації від розрахункових (робота двигунів на холостому ходу, температурний перегрів ліній, нераціональне завантаження трансформаторів).

Процес енергозбереження в системі електрозабезпечення ПП «Імпексмаш» базується на стратегії послідовної мінімізації обох складових. Кінцевою метою є наближення додаткових втрат до нульового рівня шляхом модернізації парку електрообладнання, автоматизації обліку та впровадження пристроїв компенсації реактивної потужності.

У структурі промислових систем електропостачання безпосередні втрати в мережах, як правило, складають лише 10 – 15% від загального обсягу втраченої енергії. Основна ж частка енергетичного ресурсу розсіюється безпосередньо в технологічних агрегатах, де ефективність його використання критично залежить від параметрів виробничого циклу. Попри те, що енергоефективність таких установок диктується технологією, фахівці в галузі електроенергетики відіграють ключову роль у розробці пропозицій щодо модернізації обладнання та оптимізації режимів його роботи. Спільна робота енергетиків та технологів дозволяє створити умови для максимально раціонального та ощадливого електроспоживання.

Фундаментальним інструментом для розробки таких заходів є складання та ретельний аналіз електричних балансів. Це дозволяє виявити найбільш енергоємні вузли та визначити «вузькі місця» у системі розподілу та використання потужності.

Чинники, що впливають на економію електричної енергії, доцільно систематизувати за такими напрямками:

- Технічні: впровадження високоефективного обладнання, пристроїв компенсації та засобів автоматизації.

- Технологічні: вдосконалення алгоритмів роботи устаткування та оптимізація виробничих графіків.
- Економічні: застосування стимулюючих тарифів та фінансове обґрунтування енергомодернізації.
- Організаційні: підвищення культури експлуатації мереж та впровадження систем енергоменеджменту.

У межах даної випускової кваліфікаційної роботи (ВКР) основну увагу зосереджено на зниженні енерговитрат на етапі безпосереднього споживання. Зокрема, детально досліджуються питання оптимізації режимів функціонування освітлювальних систем (впровадження сучасних джерел світла та автоматизованого керування) та методи підвищення енергоефективності за рахунок корекції технологічних факторів на прикладі підприємства «Імпексмаш».

7.2. Шляхи мінімізації енергоспоживання в системах промислового освітлення

На сучасному етапі питання енергоефективності світлотехнічного обладнання стає пріоритетним напрямком модернізації промислових потужностей. Актуальність цієї проблеми зумовлена постійною інтенсифікацією використання електричної потужності для забезпечення нормативних умов праці. Згідно зі статистичними даними, на потреби штучної ілюмінації витрачається близько п'ятої частини від загального обсягу спожитого ресурсу.

Високий рівень енергетичних втрат у застарілих системах пояснюється експлуатацією приладів із незадовільним коефіцієнтом корисної дії та нераціональними діаграмами розподілу світлового потоку. Для комплексного подолання енергетичних і фінансових викликів необхідно кардинально переглянути підходи до проектування та експлуатації світлотехнічного господарства. Реалізація стратегії енергозбереження на підприємстві «Імпексмаш» передбачає виконання чотирьох фундаментальних завдань:

						55

1. **Модернізація апаратної бази.** Перехід від традиційних газорозрядних ламп (ДРЛ, ДНаТ) до напівпровідникових джерел світла (LED). Сучасні світлодіодні модулі мають значно вищу світлову віддачу (понад 150 лм/Вт) та довший термін служби, що суттєво знижує встановлену потужність системи.

2. **Інноваційне проектування та регламентація.** Впровадження диференційованого підходу до нормування рівнів освітленості залежно від розряду зорових робіт. Використання методів зонального та локалізованого підсвічування робочих місць замість виключно загального освітлення цехів.

3. **Оптимізація експлуатаційних процесів.** Запровадження регулярних регламентних робіт з очищення відбивачів та розсіювачів від виробничого пилу, а також своєчасна заміна елементів, що втратили світловий потік. Обов'язкове впровадження систем автоматичного керування (датчики присутності, фотореле, димування залежно від рівня природного інсоляції).

4. **Економічне та адміністративне стимулювання.** Створення механізмів мотивації персоналу та підрозділів за дотримання лімітів енергоспоживання, а також інвестування у сертифіковане обладнання з високим класом енергоефективності.

Світлотехнічні рішення для виробничих цехів ПП «Імпексмаш»

Система штучного освітлення є обов'язковим елементом інженерної інфраструктури всіх виробничих корпусів, допоміжних приміщень, а також відкритих майданчиків, транспортних шляхів та пішохідних зон. Якість світлового середовища безпосередньо корелює з показниками безпеки життєдіяльності, продуктивністю персоналу та загальним станом здоров'я робітників. Доведено, що науково обґрунтована організація освітлення дозволяє збільшити виробіток на 15-20% без додаткових енерговитрат лише завдяки оптимізації зорового комфорту.

У проектній практиці виділяють дві основні системи організації штучного світла:

						56

Загальне освітлення. Призначене для створення рівномірного фону в усьому об'ємі приміщення. Воно поділяється на:

- *Рівномірне:* світильники розташовуються за регулярною сіткою (прямокутною або шахматною) для стабільної освітленості всієї площі.
- *Локалізоване:* світлові прилади групуються відповідно до технологічного плану розміщення верстатів та складальних ліній, що дозволяє акцентувати світловий потік на робочих зонах.

Комбіноване освітлення. Являє собою поєднання загального світла з місцевим (локальним). Такий підхід є економічно виправданим при виконанні робіт високої точності (I – III розряди зорової праці), оскільки дозволяє створити високу концентрацію світлового потоку безпосередньо на деталях, що обробляються.

Основним кількісним показником при проектуванні є нормована освітленість (E_n , лк), величина якої встановлюється державними стандартами (ДБН) залежно від розряду зорової роботи, контрасту об'єкта з фоном та обраної системи освітлення.

Важливо враховувати наступні обмеження:

- Використання виключно місцевого освітлення категорично заборонено будівельними нормами, оскільки різкий перепад яскравості при переводі погляду викликає швидку втомлюваність зору та може призвести до травматизму.

- Місцеве освітлення реалізується за допомогою стаціонарних світильників, закріплених на обладнанні, або переносних ламп (останні мають живитися від мереж наднизької напруги 12 – 42 В для гарантування електробезпеки).

Для підприємства «Імпексмаш», що спеціалізується на виготовленні хлібопекарського устаткування, вибір комбінованої системи є найбільш раціональним у слюсарних та складальних цехах, де необхідна висока точність припасування деталей.

						57

Сучасна номенклатура джерел штучного випромінювання

Ефективна організація світлового середовища на підприємстві має базуватися на принципах енергетичної ощадності, економічної доцільності та створення оптимальних умов для зорової діяльності персоналу. Сьогодні основними категоріями джерел світла в промисловості є напівпровідникові (світлодіодні) прилади та газорозрядні лампи різних типів.

Світлодіодні джерела світла (LED)

У сучасних проектах енергомодернізації ПрАТ «Імпексмаш» пріоритет надається світлодіодним модулям та матрицям. На відміну від застарілих аналогів, вони мають найвищу світлову віддачу (до 160–180 лм/Вт), надзвичайно тривалий ресурс експлуатації (понад 50 000 годин) та можливість динамічного регулювання колірної температури. Це дозволяє не лише економити ресурси, а й адаптувати освітлення до конкретних технологічних процесів.

Газорозрядні лампи низького тиску

До цієї групи відносяться люмінесцентні лампи, де випромінювання виникає внаслідок взаємодії люмінофору з ультрафіолетовим розрядом у парах ртуті. Залежно від хімічного складу люмінофору, розрізняють лампи за спектральними характеристиками:

- ЛБ (білого світла) та ЛХБ/ЛТБ (холодно- та тепло-білого відповідно) – застосовуються для загального освітлення цехів;
- ЛД та ЛДЦ – забезпечують покращену передачу кольору, що наближена до природного сонячного спектру.
- ЛЕ – використовуються в зонах, де необхідний максимальний зоровий комфорт.

Газорозрядні лампи високого та надвисокого тиску

Для освітлення великих виробничих площ із високими прольотами традиційно застосовували лампи високого тиску:

ДРЛ (ртутні): Мають середній показник світловіддачі (близько 50 лм/Вт) та специфічний зеленувато-блакитний відтінок, що обмежує їх використання в місцях з високими вимогами до розрізнення кольорів.

ДРІ (металогалогенні): Завдяки додаванню йодидів металів мають значно кращий індекс передачі кольору та підвищену ефективність (до 80–100 лм/Вт).

ДНаТ (натрієві): Характеризуються характерним оранжево-жовтим світінням. Є одними з найбільш економічних серед газорозрядних ламп (до 150 лм/Вт), тому широко використовуються для зовнішнього освітлення територій та складів.

ДКсТ (ксенонові): Надпотужні джерела (до 100 кВт). Через інтенсивне ультрафіолетове випромінювання їх експлуатація дозволена переважно на відкритих ділянках. Варіант ДКсТЛ із легованим кварцом використовується для специфічних технологічних процесів або в умовах дефіциту природного УФ-випромінювання.

Порівняльна характеристика та експлуатаційні особливості газорозрядних джерел світла

Ключовим аргументом на користь застосування газорозрядних ламп у промисловості є їхня висока енергетична ефективність. Показники світловіддачі для більшості типів таких приладів варіюються від 30 до 80 лм/Вт, тоді як натрієві лампи високого тиску (ДНаТ) демонструють рекордну результативність – до 150 лм/Вт. Ресурс безперервної роботи таких пристроїв може сягати 10 000 годин, що значно знижує експлуатаційні витрати на обслуговування мереж.

Гігієнічні та світлотехнічні переваги

Люмінесцентні джерела випромінювання вирізняються низкою санітарно-гігієнічних переваг. Завдяки значній площі поверхні, що світиться, вони забезпечують рівномірне розсіювання потоку, мінімізуючи сліпучу дію. Спектральний склад окремих серій (зокрема ЛЕ та ЛДЦ) максимально

адаптований до параметрів природного денного світла, що критично важливо для точних виробничих операцій. Найбільша ефективність таких систем спостерігається при створенні освітленості понад 100 – 150 лк.

Технічні недоліки та обмеження. Попри значні переваги, газорозрядна техніка має низку конструктивних та експлуатаційних вад: складність пускорегулювальної апаратури (ПРА). Необхідність використання дроселів або електронних баластів здорожчує систему та може створювати акустичний шум. Чутливість до зовнішніх факторів: стабільність дугового розряду суттєво знижується при падінні напруги живлення. Зменшення потенціалу в мережі навіть на 10% може призвести до мерехтіння або повного загасання лампи. Також температурна залежність: люмінесцентні прилади демонструють незадовільний розпал в умовах низьких температур, що обмежує їх використання в неопалюваних складських приміщеннях ПП «Імпексмаш».

Проблема пульсації та стробоскопічний ефект. Найбільш небезпечним фактором є циклічна пульсація світлового потоку з частотою мережі. Це явище провокує виникнення стробоскопічного ефекту — зорової ілюзії нерухомості або спотворення напрямку руху елементів устаткування, що обертаються (фрези, вали, шестерні). Така аберація сприйняття є прямою загрозою виробничого травматизму.

Для нейтралізації цього явища застосовують наступні заходи: розфазування, тобто живлення сусідніх світильників від різних фаз трифазної мережі. Та електронні ПРА: використання високочастотних пускорегулювальних апаратів, які переводять частоту мерехтіння у невідчутний для ока діапазон (понад 20 – 40 кГц).

Для організації освітлення великих відкритих територій та цехів з високими прольотами переважно застосовують лампи високого тиску, які мають кращу проникаючу здатність світлового потоку та стійкість до зовнішнього середовища.

При розробці системи штучного освітлення на підприємстві «Імпексмаш» особлива увага приділялась вибору та розміщенню освітлювальної арматури. Світильник являє собою складний комплекс, що складається безпосередньо з джерела світла та спеціальної арматури, яка виконує кілька критичних функцій для забезпечення стабільної роботи електромережі. Основним технічним завданням арматури є ефективний перерозподіл світлового потоку в межах необхідного тілесного кута для його спрямування на робочі поверхні. Окрім оптичних функцій, конструкція приладу захищає органи зору персоналу від прямої сліпучої дії лампи, забезпечує механічну цілісність джерела випромінювання та створює умови для безпечного підведення електричної енергії до цоколя.

Експлуатаційні властивості світлотехнічного обладнання значною мірою визначаються рівнем його захищеності від агресивного впливу навколишнього середовища. Класифікація світильників базується на їхній здатності протистояти проникненню дрібнодисперсного пилу та вологи, що за міжнародною системою позначається індексом IP. Залежно від умов конкретного цеху, застосовуються різні модифікації приладів: від базових незахищених моделей до спеціалізованих герметичних пристроїв, здатних витримувати дію потужних водяних струменів або тривале перебування у вологому середовищі. На виробничих ділянках із підвищеним рівнем небезпеки, таких як фарбувальні камери чи місця зберігання паливно-мастильних матеріалів, обов'язковим є встановлення іскробезпечних або вибухозахищених корпусів.

Окрему категорію в системі електрозабезпечення складають багатолампові конструкції, розроблені спеціально для люмінесцентних джерел світла. Використання декількох ламп в одному корпусі дозволяє інженерам-електрикам застосовувати методи розфазування, що суттєво мінімізує негативний вплив пульсації світлового потоку на зір працюючих. У сучасних умовах розвитку спостерігається активне впровадження інтегрованих світлодіодних рішень, де арматура світильника додатково виконує функцію

масивного радіатора. Такий підхід забезпечує ефективне відведення тепла від напівпровідникових елементів, що є гарантією довговічності системи та стабільності її світлотехнічних характеристик протягом усього терміну експлуатації.

Аналіз енергетичної ефективності при модернізації світлотехнічної системи металообробного цеху підприємства «Імпексмаш» ґрунтується на порівнянні експлуатаційних характеристик існуючих люмінесцентних джерел та сучасних світлодіодних рішень. Об'єктом дослідження обрано приміщення першого поверху, де загальний парк світлотехнічного обладнання складає 58 одиниць різної встановленої потужності, зокрема світильники формату 2×20 Вт, 6×40 Вт та 2×80 Вт. Основна частина встановлених приладів має стандартні габаритні розміри 600×600 мм і укомплектована чотирма лампами кожен. Для проведення валідації економічного ефекту до розрахунку включено 200 одиниць люмінесцентних ламп, що забезпечують робоче освітлення виробничих ділянок, а також 108 одиниць, задіяних в адміністративному секторі та на складських площах. Базовий режим експлуатації прийнято як восьмигодинний робочий день протягом усього календарного року, що є середньозваженим показником для офісних та допоміжних приміщень заводу.

Як найбільш перспективну альтернативу існуючим газорозрядним приладам обрано стельові світлодіодні системи інтегрованого типу. За функціональними можливостями напівпровідникові джерела повністю відповідають вимогам щодо створення необхідного рівня освітленості, водночас значно перевершуючи люмінесцентні аналоги за показниками світлової віддачі, терміну служби та стабільності світлового потоку. Перехід на LED-технології дозволяє не лише знизити споживання активної потужності, а й мінімізувати витрати на регулярне технічне обслуговування та утилізацію ртутновмісних компонентів, що буде детально підтверджено подальшими техніко-економічними розрахунками в межах даного розділу.

Традиційний підхід до вибору джерел світла, що базувався на використанні люмінесцентних ламп та ламп типу ДРЛ, враховував насамперед

						62

висоту підвісу арматури та вимоги до індексу передачі кольору. Люмінесцентні джерела вважалися доцільними для приміщень із висотою стелі до 4 метрів, де важлива якісна кольоропередача, тоді як лампи ДРЛ призначалися для великогабаритних цехів заввишки 10 – 12 метрів. У перехідному діапазоні висот від 4 до 10 метрів вибір зазвичай обґрунтовувався порівняльним аналізом капітальних та експлуатаційних витрат. Проте сучасна стратегія енергозбереження на ПП «Імпексмаш» передбачає відмову від такої диференціації на користь універсальних світлодіодних систем. Це зумовлено їхньою високою оптичною ефективністю незалежно від висоти встановлення та здатністю забезпечувати відмінну передачу кольору при значно меншому рівні встановленої потужності порівняно з будь-якими газорозрядними аналогами.

Проектування світлотехнічного середовища у виробничих корпусах може базуватися на впровадженні системи загального або комбінованого типу. Для цехів та дільниць, де виробничий процес вимагає високої точності візуального контролю (відповідно до I – IV розрядів зорових робіт згідно з чинними нормами ДБН), найбільш раціональним є використання комбінованого освітлення. Такий підхід є критично важливим для інструментальних, механоскладальних та ремонтних підрозділів ПП «Імпексмаш», оскільки поєднання фонові ілюмінації з локалізованими джерелами світла безпосередньо на робочих місцях дозволяє забезпечити необхідний рівень деталізації об'єктів та мінімізувати зорову втому персоналу.

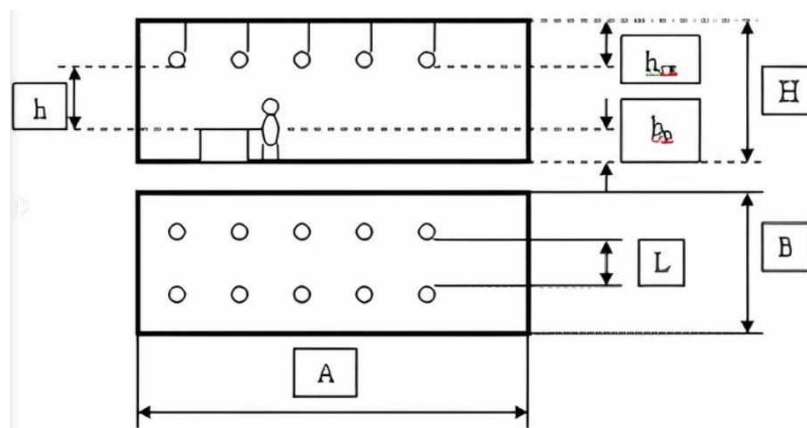


Рис. 7.2 – Розміщення світильників по цеху.

Світлотехнічний розрахунок ділянки пакування дільниці металообробки.

Для визначення параметрів системи освітлення на дільниці пакування проведемо розрахунок методом коефіцієнта використання світлового потоку. Спочатку встановимо геометричні параметри розміщення світлотехнічного обладнання. Виходячи з конструктивних особливостей обраних світильників типу ЛТБ та оптимального світлорозподілу, приймаємо відносну відстань між приладами 0,6. Розрахункова висота підвісу над робочою поверхнею становить $h = 2,2$ м.

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,5 = 2,2 \text{ м}$$

Таким чином, оптимальна відстань між світильниками в ряду визначається як:

$$L_a = \lambda_e \cdot h = 0,6 \cdot 2,2 = 1,32 \text{ м.}$$

З огляду на габарити приміщення та отримане значення L_a , плануємо розміщення восьми світлових приладів. Для забезпечення рівномірності освітлення встановлюємо крок між рядами $L_b = 2$ м. Перевірка співвідношення відстаней підтверджує коректність проектування, оскільки $L_a/L_b = 1,32/2 = 0,66$, що не перевищує максимально допустиме значення 1,5. Загальна кількість світильників на дільниці становить $N = 8$ одиниць (розміщення за схемою 4x2).

Наступним етапом є визначення індексу приміщення (i), який враховує геометрію простору. Виходячи з отриманого індексу та коефіцієнтів відбиття поверхонь (стелі, стін та підлоги), за довідковими даними встановлюємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0,73$.

Визначаємо індекс приміщення

$$i = \frac{LB}{h(L+B)} = \frac{6 \cdot 4}{2,2(6+4)} = 1,09$$

Для виконання робіт відповідної точності, згідно з нормативними вимогами, встановлюємо рівень нормованої освітленості $E_n=300$ лк. Враховуючи специфіку виробничого середовища та ймовірність забруднення

						64

оптичної системи, приймаємо коефіцієнт запасу $K_3=1,5$. Необхідний світловий потік групи ламп у кожному світильнику розраховується за формулою:

$$F = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

де враховуємо S – площа приміщення, а Z – коефіцієнт мінімальної освітленості (зазвичай приймається в межах 1,1..1,2 для люмінесцентних ламп). Після підстановки значень отримуємо необхідний світловий потік:

$$F = \frac{300 \cdot 18,2 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,73} \approx 1540 \text{ лм.}$$

Отримане значення є базовим для підбору конкретної моделі лампи або світлодіодного модуля, світловий потік якого не повинен відрізнятися від розрахункового більше ніж на -10% +20%.

Таблиця 7.1 – Розрахунок світового потоку ламп приміщень 1 поверху дільниці металообробки ПП «Імпексмаш»

Приміщення	Розм., м		$h=H-h_p-h_c$	P_n	$P_{ст}$	P_p	E_n , лк	$K_{зап}$	індекс	$\eta, \%$	Φ , лм розр.
Ділянка фасування	4	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,7	0,5	0,5	300	1,5	1,091	0,73	2034,22
КТП	5	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,3	0,1	0,1	100	1,5	1,241	0,73	2260,33
майстерня	2	3	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,7	0,5	0,5	75	1,5	0,553	0,73	1017,12
Кладова №1	6	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,3	0,1	0,1	75	1,5	1,362	0,73	2034,24
Цехове приміщення	12	12	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,5	0,3	0,1	300	1,5	2,733	0,73	4068,52
Ділянка збору	5	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,5	0,3	0,1	300	1,5	1,243	0,73	3390,45
Дільниця	1	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,5	0,3	0,1	300	1,5	0,392	0,73	2034,25
ОТК	6	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,7	0,5	0,5	75	1,5	1,364	0,73	2034,22
ІРК	4	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,5	0,3	0,1	75	1,5	1,091	0,73	2034,25
Кладова мех.обр.	2	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,3	0,1	0,1	75	1,5	0,68	0,73	1017,12
Кладова	3	6	$3,5-0,8-0,5=2,2$	0,3	0,1	0,1	75	1,5	0,91	0,73	1525,75

Для візуалізації технічних рішень та розуміння принципів електроживлення, схему побудови освітлювальної мережі для першої виробничої ділянки представлено на рисунку 7.3. На схемі відображено точки підключення до групових щитків, траси прокладання кабельних ліній та розташування комутаційної апаратури, що забезпечує оперативне управління освітленням та захист мережі від перевантажень і коротких замикань. Розподіл світильників по фазах трифазної мережі виконано з урахуванням необхідності зниження коефіцієнта пульсації та збалансованості навантаження.

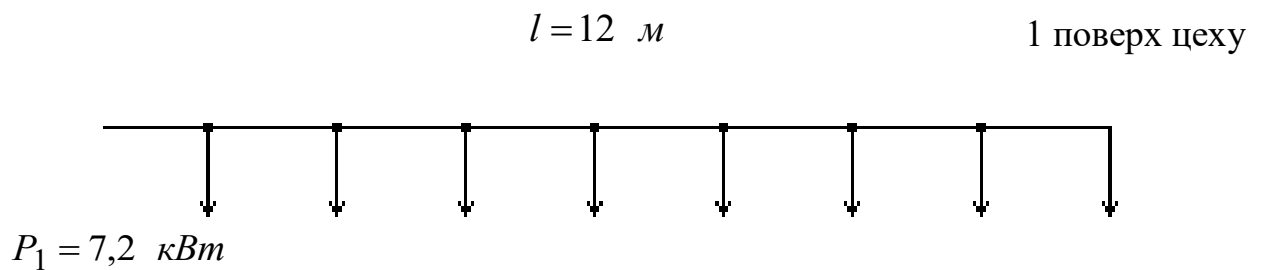


Рис. 7.3 – Схема освітлювальної мережі для ділянки цеху на I поверху

Наступним етапом проектування є визначення оптимального перерізу провідників для забезпечення стабільної роботи освітлювальних приладів. Розрахунок проводиться за методом моментів навантаження, виходячи з умови рівномірного розподілу споживачів вздовж довжини лінії. Для однофазної мережі змінного струму (220 В) із використанням алюмінієвих провідників коефіцієнт C , що враховує питомий опір матеріалу та напругу живлення, згідно з довідковими даними [8], приймається рівним 7,4. Спершу визначимо сумарний момент навантаження (M), який є добутком встановленої потужності споживачів на відстань від джерела живлення:

$$M = \sum (P \cdot L) \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Момент навантаження складає:

$$M = P_1 \cdot l = 7,2 \cdot 12 = 86,4 \text{ кВтм}$$

На основі отриманого моменту та допустимої втрати напруги (яка для освітлювальних мереж зазвичай не повинна перевищувати 2,5%..3%), розраховуємо необхідний переріз струмопровідних жил за формулою:

$$s = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}} \text{ мм}^2.$$

Згідно з проведеними розрахунками, отримане значення перерізу порівнюється зі стандартним рядом номіналів. До встановлення приймається алюмінієвий дріт із поперечним перерізом 2,5 мм². Вибір даного перерізу підтверджується перевіркою за умовою нагріву тривалим розрахунковим струмом: величина допустимого струму для даного провідника становить $I_{\text{доп}} = 23 \text{ А}$, що значно перевищує фактичний робочий струм лінії ($I_{\text{доп}} > I_{\text{р.о.}}$), забезпечуючи необхідний запас надійності.

Перерізи струмопроводів:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{86,4}{7,4 \cdot 4,92} = 2,37 \text{ мм}^2$$

Приймається алюмінієвий дріт перерізом 2,5 мм², $I_{\text{доп}} = 23 \text{ А} > I_{\text{р.о.}}$.

Дійсна втрата напруги:

$$\Delta U = \frac{M}{C \cdot F} = \frac{86,4}{7,4 \cdot 2,5} = 4,6 \%$$

Даний показник дозволяє переконатися, що відхилення напруги на найвіддаленішому світильнику ділянки пакування не виходить за межі норм, встановлених ПУЕ, що є гарантією тривалого терміну служби ламп та відсутності мерехтіння. Результати подальших розрахунків зводимо до табл. 7.3, та табл.7.4.

Для оцінки фінансової доцільності модернізації світлотехнічного господарства ПП «Імпексмаш» було проведено порівняльний аналіз витрат на електричну енергію. У розрахунках враховано, що існуюча система на базі люмінесцентних ламп має значну встановлену потужність через використання електромагнітних пускорегулювальних апаратів (ПРА), які створюють додаткове навантаження. Сумарне споживання базового варіанту становить 621 Вт на групу приладів, тоді як проектована світлодіодна система споживає лише 156 Вт, що демонструє майже чотирикратне зниження встановленої потужності.

						68

Таблиця 7.3 – Аналіз параметрів існуючих та проектних освітлювальних приладів

Тип світильника	люмінесцентний		Світлодіодний	
	ЛД -40	ЛД -80	9W T8	LL-36
Зовнішній вигляд				
цоколь	G13	G13	G13	G13
Потужність, Вт	40	80	9	36
Світловий потік, лм	2300	4250	2300	4500
Вартість світильника, грн	290	350	104	422
Вартість лампи, грн	20	25	50	90
Стартер	5 грн	5	-	-
Строк служби, годин	10 000	12 000	50 000	100 000

Таблиця 7.4 – Розрахунок освітлення першого поверху металообробної дільниці «Імпексماش» з використанням LED світильника

Приміщення	розміри, м		Ф, лм	потужність LED світильника	Ф _{ном}
Ділянка фасування	4	6	8137	36 W	4500
КТП	5	6	1695,2	6W	480
майстерня	2	3	1017,1	6W	480
Кладова №1	6	6	2034,2	6W	480
Цехове приміщення	12	12	19529	36 W	4500
Ділянка збору	5	6	10171	36 W	4500
Дільниця	1	6	1356,2	6W	480
ОТК	6	6	1525,7	6W	480
ІРК	4	6	1356,2	6W	480
Кладова мех.обр.	2	6	1017,1	6W	480
Кладова	3	6	1525,7	6W	480
Всього				156	

Прийнятий режим експлуатації передбачає 8-годинний робочий день протягом 240 робочих днів на рік. Розрахунок добового споживання енергії показав, що існуюча система витрачає значний обсяг ресурсу, тоді як впровадження LED-технологій дозволяє радикально скоротити цей показник. За рік експлуатації загальне енергоспоживання при використанні

люмінесцентних ламп досягає значних величин, у той час як світлодіодна альтернатива дозволяє вивільнити потужність та зменшити річний обсяг споживання до значно нижчих значень.

З огляду на актуальну вартість електроенергії для промислових споживачів, що становить 4,32 грн за кВт·год, витрати на утримання старої системи освітлення складають значне фінансове навантаження на бюджет підприємства. Річні експлуатаційні видатки за базовим сценарієм становлять приблизно 5150,82 тис. грн. Натомість використання енергоощадних світлодіодних приладів дозволяє знизити ці витрати до 1293,92 тис. грн. Таким чином, прогнозована річна економія лише за статтею оплати активної електроенергії складає 3856,90 тис. грн, що підтверджує високу окупність проекту та його стратегічну важливість для підвищення енергоефективності виробництва.

Таблиця 7.5 – Розрахунок економічної ефективності використання світлодіодних ламп для 1 поверху «Імпексмаш»

Показник енергоефективності	Люмінесцентні лампи	Світлодіодні лампи
Встановлена потужність (з врахуванням ПРА), Вт	621	156
Добове споживання (8 год/день), кВт·год	4,968	1,248
Річне споживання (240 робочих днів), кВт·год	1192,32	299,52
Діючий тариф, грн/кВт·год	4,32	4,32
Річні витрати на електроенергію, грн	5150,82	1293,92
Річна економія на оплаті рахунків, грн	—	3856,90

Будемо вважати, що затрати на монтаж різних типів світильників буде приблизно однаковим. Запропонована модернізація на базі сучасних світлодіодних джерел світла (типу LED T8 та LL-36) дозволяє знизити встановлену потужність освітлювальної мережі у 4,4 раза при повному збереженні нормативних рівнів освітленості згідно з ДБН. Окрім прямої економії електроенергії, перехід на LED-технології забезпечує покращення

екологічних показників підприємства за рахунок відсутності необхідності утилізації ртутновмісних відходів.

Таблиця 7.6 – Прогнозні сукупні витрати на систему освітлення за 10 років

Категорія витрат	Система з ЛЛ (базова)	Система LED (проектна)
Первинні інвестиції (вартість обладнання), грн	17 750	91 100
Кількість замін ламп за 10 років, разів	3	0
Витрати на заміну та обслуговування, грн	3 690	0
Електроенергія (10 років, 4,32 грн/кВт·год), грн	51 508 200	12 939 200
Логістика та утилізація небезпечних відходів, грн	2 972	0
ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ (ТСО), грн	51 532 612	13 030 300
ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ (за 10 років), грн	—	38 502 312

Економічні розрахунки підтвердили високу рентабельність проекту. За умови діючих тарифів на енергоносії, річна економія коштів перевищує 3,8 млн грн. Термін окупності додаткових інвестицій становить менше одного місяця, що робить даний захід пріоритетним у загальній стратегії підвищення енергоефективності машинобудівного виробництва. Впровадження автоматизованого управління джерел світла в майбутньому може стати додатковим резервом для зниження енерговитрат ПП «Імпексмаш».

7.3. Стратегія підвищення енергоефективності термічного обладнання на підприємстві «Імпексмаш» базується на комплексній модернізації технологічних процесів та оптимізації роботи електропечей. Першочерговим завданням у цьому напрямку є докорінна зміна структури виробничого парку, що передбачає виведення з експлуатації фізично зношених агрегатів та їх заміну на енергоощадні зразки з вищими показниками коефіцієнта корисної дії. Важливим аспектом є нарощування одиничної потужності електропечей, що дозволяє знизити питомі витрати енергії на

одиницю продукції, а також впровадження прогресивних методів нагріву, зокрема індукційного нагріву замість традиційних печей опору, що забезпечує точніше фокусування теплової енергії та зменшення тепловтрат у довкілля.

Ефективність використання електротермічних установок безпосередньо залежить від впровадження інтелектуальних систем автоматичного регулювання та контролю параметрів. Оптимізація температурних режимів за допомогою мікропроцесорного керування дозволяє уникати перегріву та мінімізувати інерційність теплових процесів. Окрім суто температурних факторів, суттєвий вплив на енергоспоживання має якість підготовки сировини та зміна структури продукції на користь менш енергоємних виробів. Це дозволяє скоротити тривалість технологічних циклів та зменшити навантаження на силове електрообладнання цеху.

Значний резерв заощадження енергоресурсів прихований у вдосконаленні допоміжних систем та мінімізації супутніх втрат. Це передбачає модернізацію систем охолодження печей, впровадження замкнутих водооборотних та повітрооборотних циклів, а також використання вторинних енергоресурсів для потреб опалення чи гарячого водопостачання. Важливу роль відіграє зниження непланових простоїв та браку, оскільки будь-яка зупинка печі призводить до нераціональних витрат енергії на її повторний розігрів до робочих температур.

У межах механоскладального виробництва енергозбереження також досягається шляхом перегляду методів обробки металів, наприклад, заміною фрезерування на більш прогресивну прокатку або переведенням виготовлення деталей з механообробки на штампування. Впровадження багатопостового зварювання та електроерозійної обробки дозволяє оптимізувати графік електричних навантажень. Окрему увагу слід приділити раціональному використанню енергоносіїв, таких як стиснене повітря, пара та кисень, оскільки їх генерація потребує значних витрат електричної потужності, що в сукупності формує цілісну систему енергоефективного менеджменту підприємства.

						72

Аналіз технічних рішень щодо підвищення енергоефективності на підприємстві «Імпексмаш» доцільно провести на прикладі ротаційної печі «Муссон 77М», конструкція якої інтегрує низку сучасних інженерних розробок. Основним чинником мінімізації теплових втрат у цій моделі є використання комбінованої двошарової теплоізоляції корпусу. Такий підхід дозволяє створити високоефективний термічний бар'єр, що суттєво знижує розсіювання енергії у зовнішнє середовище та забезпечує стабільність температурного поля всередині камери випікання. Особлива увага приділена герметизації дверного блоку, де застосування якісних ізоляційних матеріалів та спеціалізованої фурнітури унеможливорює витік нагрітого повітря через притвори.

Енергоощадність установки також досягається шляхом ретельного ущільнення критичних вузлів, таких як вали приводу обертання таці та вентилятора конвекції. Це дозволяє усунути небажану інфільтрацію холодного повітря та підтримувати заданий тиск пароповітряної суміші без додаткових витрат потужності на підігрів. Технічне переоснащення печі включає використання автоматизованих блочних пальників «ELCO», які в поєднанні з інтелектуальною системою керування забезпечують оптимальні режими запалювання та модуляції полум'я. Завдяки автоматизації процесів згоряння палива досягається максимальна ефективність генерації тепла залежно від завантаження печі.

Впровадження зазначених конструктивних удосконалень дозволяє установці «Муссон 77М» демонструвати високі показники коефіцієнта корисної дії та гнучкість у виробничому циклі, зокрема можливість одночасного випікання різних виробів ідентичної маси. Покращена динаміка теплових процесів сприяє скороченню часу розігріву порожньої камери та прискорює вихід печі на стабільний робочий режим після завантаження тістових заготовок. У підсумку це призводить до суттєвого зниження питомого споживання електроенергії та палива на одиницю готової продукції, що є ключовим показником економічної ефективності модернізації обладнання

						73

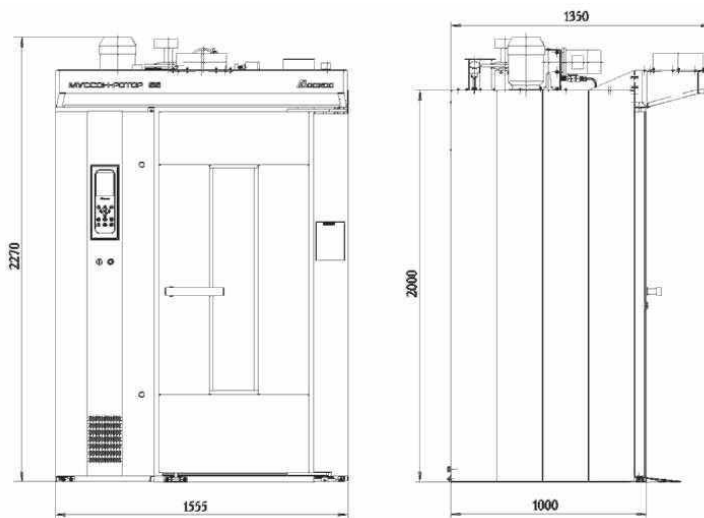


Рис. 7.4 – Зовнішній вигляд печі та габаритні розміри Муссон 77

Технологічний цикл функціонування печі базується на принципах повної автоматизації процесів випікання, що забезпечує стабільну якість продукції та раціональне використання енергоресурсів. Конструктивно агрегат являє собою складну електромеханічну систему, до складу якої входить пекарна камера, поворотна платформа з індивідуальним електроприводом, розвинена система повітроводів та блок нагрівальних елементів. Висока енергоефективність установки досягається завдяки використанню подвійних металевих стінок корпусу, підлоги та стелі, простір між якими заповнений сучасним теплоізоляційним матеріалом із низьким коефіцієнтом теплопровідності.

Безпека експлуатації та мінімізація енергетичних втрат реалізуються через інтегровану систему автоматичного керування та комутаційну апаратуру. В електричній схемі передбачено блокувальний контур: при відкриванні дверей пекарної камери кінцевий вимикач подає сигнал на миттєве відключення ТЕНів, вентилятора конвекції та привода стелажного візка. Це запобігає нераціональному розсіюванню тепла та гарантує безпеку обслуговуючого персоналу. Візуальний контроль за процесом здійснюється через оглядове вікно у дверях, оснащене спеціальними термостійкими лампами освітлення.

Примусовий теплообмін усередині камери забезпечується потужною крильчаткою вентилятора, яка приводиться в дію електродвигуном. Нагріте

повітря циркулює по замкненому циклу, проходячи крізь блок ТЕНів та потрапляючи в робочу зону через систему регульованих жалюзі. Такий механізм конвекції гарантує рівномірний розподіл температури по всьому об'єму камери. Для створення необхідного мікроклімату піч обладнана пристроями парозволоження та скидання надлишкового тиску, а зручність завантаження продукції забезпечується спеціальним пандусом для стелажних візків та системою витяжної вентиляції з фронтальним козирком.

Якість та однорідність готової продукції в пекарній камері забезпечується за рахунок прецизійного налаштування повітряних потоків. Регулювання рівномірності теплового впливу по всій висоті камери здійснюється шляхом коригування ширини щілин жалюзі за допомогою рухомих планок. Для гарантування пожежної безпеки та цілісності обладнання в схемі передбачено логічне блокування: активація блоку електронагрівачів стає можливою лише після запуску вентилятора конвекції. Додатковий захист реалізовано через встановлення термобалона датчика-реле температури в зоні ТЕНів, який автоматично знеструмлює нагрівальні елементи у разі досягнення критичної позначки 320 С.

Механічна частина печі розрахована на інтенсивну експлуатацію та зручність обслуговування. Стелажний візок надійно фіксується на поворотній платформі, яка приводиться в рух мотор-редуктором, змонтованим на верхній панелі агрегату. Кінематична схема привода включає електродвигун, редуктор та вал на підшипникових опорах, захищений спеціальною теплоізоляційною муфтою. Така конструкція запобігає перегріву механічних вузлів привода від розпеченої камери. Точне позиціонування платформи в положенні для завантаження або вивантаження продукції забезпечується кінцевим вимикачем, що зупиняє двигун у чітко визначеній точці.

Циркуляційний вузол та система нагріву інтегровані в єдиний функціональний блок для досягнення максимального ККД. Вентиляторна установка складається з електродвигуна та закріпленої на його валу крильчатки, що забезпечує безперервний рух повітряних мас. Нагрівальний блок має

фланцеве кріплення та систему торцевих ущільнень із притискних планок і термостійкого шнура, що виключає виток тепла в місцях виходу контактів ТЕНів. Моніторинг температурного режиму в режимі реального часу здійснюється за допомогою термопари типу ТХК, розташованої безпосередньо в робочій зоні.

Інтелектуальне управління процесом випікання покладено на мікропроцесорний блок керування, який є центральною ланкою автоматизації печі. Система здатна зберігати в енергонезалежній пам'яті понад сто унікальних технологічних програм, що дозволяє технологу точно задавати параметри роботи ТЕНів, тривалість конвекції, швидкість обертання візка та цикли парозволоження. Комутація силових навантажень здійснюється за допомогою напівпровідникових елементів (симісторів), що забезпечує високу надійність, відсутність дугових розрядів та можливість плавного регулювання потужності. Повна архітектура зв'язків між вузлами системи представлена на структурній схемі печі (рис.7.5).

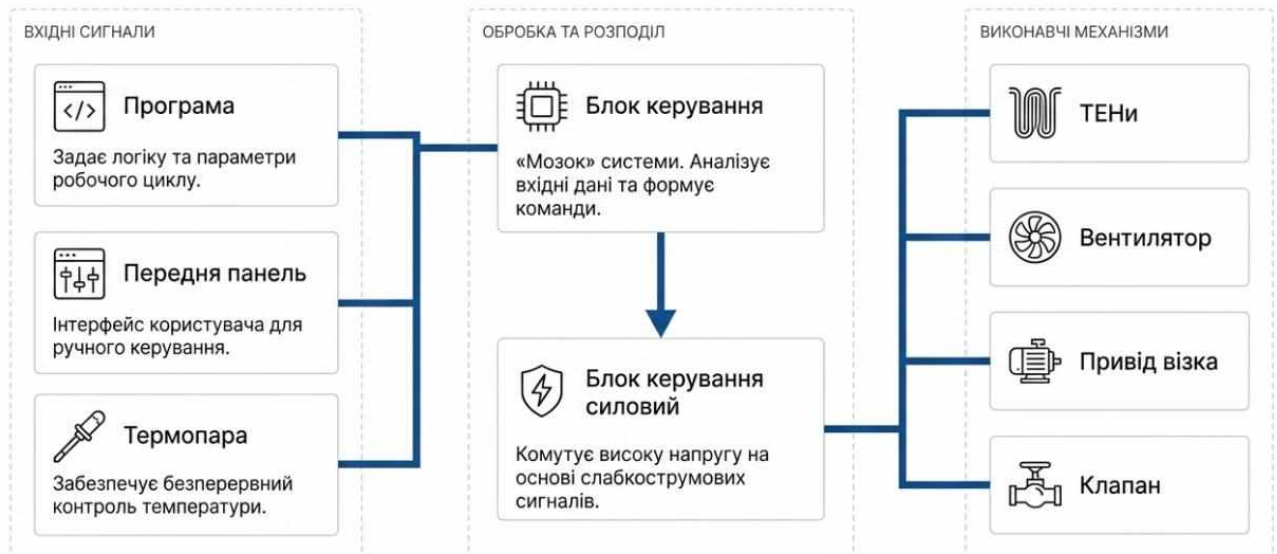


Рис.7.5 – Структурна схема печі

Система управління печами побудована на базі мікропроцесорного контроллера із застосуванням пускорегулюючої апаратури вітчизняного і імпортного виробництва, що забезпечує мінімальне технічне обслуговування,

високу надійність в експлуатації, максимальний набір функцій управління піччю.

Розрахунок пускових навантажень та вибір апаратури захисту

Для ротаційної печі «Муссон 77М» зазвичай характерні високі навантаження через блок ТЕНів. Вихідні дані (прийняті для «Муссон 77М»)

- Номінальна встановлена потужність (P_H): 52 кВт (сумарно ТЕНи + двигуни).
- Напруга мережі (U_H): 380 В (трифазна змінного струму).
- Коефіцієнт потужності ($\cos\phi=0,95$, основне навантаження активне, ТЕНи).
- Коефіцієнт попиту $K_p = 1,0$ (печі працюють у тривалому режимі на повну потужність під час розігріву).
- Довжина кабельної лінії L , приймемо 25 м (від щита до печі).
- Матеріал провідника: Мідь (згідно з сучасними вимогами до внутрішніх мереж).

Визначення розрахункового струму лінії

Розрахунковий струм (I_p) для трифазного споживача обчислюється за формулою:

$$I_p = \frac{P_H \cdot K_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} ,$$

Отже

$$I_p = \frac{52000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.95} \approx \frac{52000}{625.27} \approx 83.16 A$$

Автоматичний вимикач має задовольняти умові: $I_n \geq I_p$. Ближчий номінальний струм теплового розчеплювача зі стандартного ряду становить 100 А. Оскільки піч має нагрівальні елементи, обираємо автомат із характеристикою розчеплення типу В або С.

Згідно з ПУЕ, для трифазної лінії з мідними жилами, що прокладена в повітрі (або лотку), при струмі 83,16 А обираємо переріз провідника.

						77

- Кабель перерізом 16 мм² має допустимий тривалий струм Ідоп = 75 А (недостатньо).

- Кабель перерізом 25 мм² має допустимий тривалий струм Ідоп = 100-115 А (залежно від типу ізоляції).

Приймаємо кабель марки ВВГнг 5х25 (три фази, нуль та заземлення). Для силових мереж втрата напруги ΔU не повинна перевищувати 5%.

$$\Delta U = \frac{P_{\text{н}} \cdot L}{C \cdot s}$$

Отже:

$$\Delta U = \frac{52 \cdot 25}{46 \cdot 25} \approx 1.13\%,$$

так умова 1,13 < 5% виконується, отже, переріз обрано вірно і відповідає умові.

Впровадження автоматизованої системи керування на базі симісторних силових блоків дозволяє реалізувати безконтактну комутацію ТЕНів печі «Муссон 77М». Це усуває виникнення дугових розрядів та електромагнітних завад, притаманних традиційним магнітним пускачам. Розрахований струм установки у 83,16А потребує використання надійної комутаційної апаратури та кабельної продукції з перерізом жил не менше 25 мм².

Обраний автоматичний вимикач номіналом 100 А забезпечує надійний захист силового кола від струмів короткого замикання та тривалих перевантажень. Використання мідного кабелю ВВГнг забезпечує високу термічну стійкість та пожежну безпеку в умовах гарячого цеху. Завдяки низькій розрахунковій втраті напруги (1,13%) гарантується стабільна робота мікропроцесорного блока керування та вихід нагрівальних елементів на проектну потужність, що є критично важливим для дотримання технологічного регламенту випікання.

У ході виконання розділу було розроблено комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності підприємства «Імпексмаш», що дозволило отримати такі результати:

- ✓ Модернізація системи освітлення: Обґрунтовано перехід від застарілих люмінесцентних ламп до сучасних LED-технологій. Це забезпечило

зниження встановленої потужності освітлювальної мережі у 4,4 раза при повному дотриманні нормативів освітленості (300 лк) та суттєвому покращенні показників безпеки праці (відсутність пульсацій).

✓ Оптимізація технологічного обладнання: На прикладі ротаційної печі «Муссон 77М» продемонстровано ефективність використання комбінованої теплоізоляції та автоматизованих систем керування. Впровадження блочних горілок та мікропроцесорного контролю дозволило скоротити час виходу на робочі температури та мінімізувати питомі витрати енергії на одиницю продукції.

✓ Надійність електропостачання: Проведено інженерний розрахунок силового кола, за результатами якого обрано кабельну продукцію (ВВГнг 5х25) та апаратуру захисту (автоматичний вимикач 100 А). Розрахункова втрата напруги склала лише 1,13%, що гарантує стабільну роботу автоматики та силових вузлів.

✓ Економічна ефективність: Сумарна річна економія від впровадження енергозберігаючих заходів склала понад 3,8 млн грн. Завдяки високій вартості енергоносіїв (4,32 грн/кВт·год) термін окупності капітальних вкладень у модернізацію є мінімальним, що підтверджує високу доцільність запропонованих рішень для підвищення конкурентоспроможності підприємства.

						79

ВИСНОВКИ

В випускній кваліфікаційній роботі спроектована системи електропостачання підприємства з виробництва хлібопекарського обладнання «Імпексмаш» м. Кропивницький.

У проєкті проведено комплексний розрахунок електричних навантажень підприємства з використанням методу упорядкованих діаграм, що дозволило визначити розрахункову потужність об'єкта з високою точністю. Окрему увагу приділено питанню підвищення енергоефективності мережі шляхом компенсації реактивної потужності. З метою зниження втрат електроенергії та розвантаження силових трансформаторів, до впровадження прийнято автоматизовані конденсаторні установки: на боці низької напруги (0,4 кВ) сумарною потужністю 475 кВар та на боці високої напруги (10 кВ) потужністю 900 кВар. Впровадження системи компенсації реактивної потужності дозволило оптимізувати режим роботи системи електропостачання ПП «Імпексмаш». Встановлення конденсаторних батарей забезпечило наближення коефіцієнта потужності до нормативного значення 0,95–0,98. Це призвело до зменшення повної потужності, що споживається з мережі, зниження падіння напруги на ділянках ліній та дозволило уникнути штрафних санкцій за перетікання реактивної енергії, суттєво підвищивши пропускну здатність внутрішньозаводських мереж.

Враховуючи технічні умови зовнішнього електропостачання, що передбачають живлення напругою 10 кВ від ТП-18 (фідер ПС «Кіровоградська»), було виконано техніко-економічне порівняння варіантів побудови внутрішньої мережі. Аналізувалися схема зі змішаним розподілом енергії безпосередньо від ТП-18 та радіальна схема з будівництвом власного розподільчого пункту (РП-10 кВ). За критерієм мінімальних приведених витрат для реалізації обрано схему з встановленням РП на території підприємства. На основі розрахованих струмів короткого замикання було проведено вибір та перевірку високовольного обладнання (вимикачів, роз'єднувачів, шин) на термічну та динамічну стійкість.

Результати спеціального розділу підтвердили високу ефективність комплексного підходу до енергозбереження. Модернізація освітлювальних

						80

В ході виконання роботи були максимально використані діючі нормативні документи та інструкції. Всі технічні рішення мають економічне обґрунтування. При проектуванні використані комп'ютерні програми.

						81

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекоменд. до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
2. Автоматизація контролю і управління якістю електроенергії: методичні вказівки для вивчення курсу “Автоматизація контролю і управління якістю електричної енергії ” для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” / Укл.: канд. техн. наук, доц. П.Г. Плешков, канд. техн. наук, доц. А.Ю. Орлович, асистент О.А. Козловський. – Кіровоград: КДТУ, 2001 р. – 97 с.
3. А.Ю. Орлович, П.Г. Плешков, Т.В.Величко. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання. Навчальний посібник.-Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2009.
4. Електропостачання промислових підприємств. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу) для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання. – Кіровоград, 2004.
5. Автоматизація контролю і управління якістю електроенергії: методичні вказівки для вивчення курсу “Автоматизація контролю і управління якістю електричної енергії” для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” / Укл.: канд. техн. наук, доц. П.Г. Плешков, канд. техн. наук, доц. А.Ю. Орлович, асистент О.А. Козловський. – Кіровоград: КДТУ, 2001 р. – 97 с.
6. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
7. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – К.: Кіровоградський Національний технічний університет, 2009. – 495 с.
8. <http://www.impexmash.com>
9. <https://kiroe.com.ua/>