

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
“ ____ ” _____2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Проектування системи електропостачання
ремонтно-механічного підприємства”

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ЕЕ-21-ЗСК
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Садовський Я.А.

« ____ » _____2024р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____Андрій КОТИШ

« ____ » _____2024р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плещков П.Г.

«_____» _____ 2024 р.

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

Садовського Ярослава Андрійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проектування системи електропостачання
ремонтно-механічного підприємства

Design of a power supply system for a mechanical repair enterprise

2. Керівник роботи (проекту)

Котиш Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Електричні навантаження; 2.Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки; 3.Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; 4.Компенсація реактивної потужності; 5.Трансформаторні підстанції; 6.Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 7.Спеціальний розділ; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>к.т.н., доц. Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>08.05.24</i>	
2	<i>Електричні навантаження</i>	<i>12.05.24.</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки</i>	<i>16.05.24.</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>19.05.24.</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>21.05.24.</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>24.05.24</i>	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>28.05.24.</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>01.06.24.</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 60 с.; 12 рис.; 19 табл.; 10 джерел.

Садовський Я.А. Проектування системи електропостачання ремонтно-механічного підприємства. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2024 р.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування системи електропостачання підприємства. При виконанні роботи був здійснений вибір основного електричного обладнання, вирішувалися питання щодо компенсації реактивної потужності, також різноманітні схемні рішення відносно проєктованої системи тощо.

Спеціальний розділ роботи присвячено питанню виникнення в системі електропостачання імпульсних перешкод при різноманітних збурюваннях, як то короткі замикання, удари блискавки і т.д.

Ключові слова: проектування, електричне навантаження, система електропостачання, електрична енергія, потужність, імпульсна перешкода, збурювання.

SUMMARY

Sadovskyi Y.A. Design of a power supply system for a mechanical repair enterprise. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Electric power, electrical engineering and electromechanics". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2024.

The purpose of the qualification work is to design the enterprise's power supply system. During the execution of the work, the selection of the main electrical equipment was made, the issues of compensation of reactive power were resolved, as well as various circuit solutions in relation to the designed system, etc.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

A special section of the work is devoted to the issue of the occurrence of impulse disturbances in the power supply system during various disturbances, such as short circuits, lightning strikes, etc.

Key words: design, electric load, power supply system, electric energy, power, impulse interference, disturbance.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	
1. Електричні навантаження.....	
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (головної знижувальної підстанції).....	
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	
4. Компенсація реактивної потужності.....	
5. Трансформаторні підстанції.....	
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	
7. Спеціальний розділ роботи.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	

					<i>Випускна кваліфікаційна робота</i>							
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис.	Дат	<i>Проектування системи електропостачання ремонтно- механічного підприємства</i>					Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Садовський											
Перевір.	Котиш											
Н.контр.												
Затвер.	Плешков				<i>ЦНТУ ар. ЕЕ-21-3СК</i>							

ВСТУП

Система електропостачання цехів та промислових підприємств призначена для забезпечення електроенергією різноманітних обладнань, таких як двигуни, електричні печі, установки для електролізу, зварювальне обладнання, освітлювальні системи та інше, які використовуються в промисловому виробництві.

Кожне виробництво існує завдяки функціонуванню своїх машин та обладнання, які виконують технологічні процеси і виробляють продукцію. Сучасні машини оснащені електродвигунами, які забезпечують їх роботу. Для нормального функціонування цих машин використовується електроенергія, яка є найбільш гнучкою і зручною формою енергії для забезпечення роботи виробничих процесів.

Розглянуте у роботі ремонтно-механічне підприємство є сучасним виробником електромеханічних та електротехнічних пристроїв, а також провідним сервісним центром з ремонту сільськогосподарської техніки та виготовлення деталей для неї. Його технологічні процеси характеризуються постійною динамікою, оскільки відбувається неперервне впровадження нових методів обробки, оновлення обладнання та його переналадження, а також постійне вдосконалення моделей виробів. Підприємство споживає електроенергію з мережі напругою 10 кВ, при цьому середня потужність приводів станків коливається від 5 до 10 кВт. В цехах використовується напруга змінного струму 0,38 кВ, тоді як лінії, що живлять цехові трансформаторні підстанції, мають напругу 10 кВ. Більшість споживачів підприємства відносяться до 2 та 3 категорій за надійністю електропостачання.

Для виготовлення невеликих деталей на підприємстві використовують широкий асортимент пресів, які мають різну потужність від 3 до 46 кВт. Також в процесі обробки заготовок використовуються різноманітні станки та автомати, такі як шліфувальні, свердлильні та точильні, з потужністю від 1,6 до 50 кВт. Всі ці обладнання відносяться до категорій 2 та 3 за надійністю електропостачання.

Підготовка проекту електропостачання промислового підприємства вимагає вирішення широкого спектру завдань, таких як розрахунок

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричних навантажень, вибір оптимальної напруги та схем електропостачання, планування кількості та потужності трансформаторів, аналіз струмів короткого замикання, вибір електричних пристроїв, впровадження систем компенсації реактивної потужності та інші аспекти, пов'язані з ефективним та надійним забезпеченням електроенергією підприємства.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Електричні навантаження

Перше завдання при проектуванні електропостачальної системи - це визначення електричних навантажень. Основна мета полягає у розумінні, скільки електроенергії використовують різні пристрої, обладнання та системи на конкретному об'єкті або в мережі. Для цього використовується методика, надана в літературних джерелах [1, 2].

1.1. Електричні силові навантаження в мережі підприємства до 1000В

Розрахункове активне навантаження для вузла навантаження або групи електроприймачів чи визначається за виразом:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M \quad (1.1)$$

де P_{cm} - середнє активне навантаження вузла навантаження або групи електроприймачів за саму завантажену зміну;

K_M - коефіцієнт максимуму навантаження (є довідниковою величиною).

Груповий коефіцієнт використання визначається за формулою:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (1.2)$$

де P_{cm} P_n - відповідно є середнім навантаженням та усталеною потужністю групи приймачів з однаковими режимами роботи, що входять до складу цього розрахункового вузла;

n - число груп приймачів із різними режимами роботи, які входять до складу навантажень цього розрахункового вузла.

Ефективне число електроприймачів в групі (вузлі) n_e визначається так:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n, \max}} \quad (1.3)$$

Розрахункове реактивне навантаження вузла навантаження чи групи приймачів визначається за виразом:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_p = Q_{cm} \quad (1.4)$$

- при $n_e > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} \quad (1.5)$$

- при $n_e \leq 10$;

де Q_{cm} - реактивне середнє навантаження у найбільш завантажену зміну

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Розрахунковий максимум або повне навантаження

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.7)$$

В якості прикладу виконаємо розрахунок силових електричних навантажень Головного корпусу підприємства:

Використовуючи початкові дані знайдемо коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{91}{4,5} = 20,2$$

Середнє навантаження та встановлена потужність вузла навантаження з однаковим режимом роботи:

$$P_{cm} = \sum P_{cm_i} = 3730 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi = 3730 \cdot 0.76 = 2846 \text{ кВар}$$

Ефективне число ЕП у групі

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_{н}}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 11198}{91} = 249$$

Коефіцієнт K_m визначаємо згідно таблиць [1, 2] у залежності від значення групового коефіцієнту використання та ефективного числа ЕП у вузлі або групі навантаження: $K_m = 1,071$.

Розрахункове активне й реактивне навантаження для групи електроприймачів:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 3730 \cdot 1,071 = 3995 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{cm} = 2846 \text{ кВар (тому що } n_e > 10);$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для інших цехів і підрозділів підприємства розрахунок ведеться аналогічно, приведеному вище, а результати показані в таблиці 1.1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Освітлювальні навантаження

Розрахунок освітлювальних навантажень пропонуємо виконувати таким чином

Встановлена потужність освітлювальних електроприймачів, кВт:

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

де p_0 - питома потужність освітлювального навантаження; кВт;

F - площа приміщення цеху (підрозділу) або ділянки, m^2 .

Розрахункове електричне навантаження для освітлювальних електроприймачів кВт:

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.9)$$

де K_n - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження (є довідниковою величиною). Реактивне навантаження пристроїв освітлення визначається у залежності від марки, типу світильників та ламп, що в них встановлюються.

Наводимо приклад розрахунку освітлювальних навантажень підприємства для Головного корпусу:

$$F = 28180 \text{ } m^2$$

$$P_0 = 15 \text{ Вт} / m^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 28180 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 422,7 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0.9 \cdot 1.12 \cdot 422,7 = 426,1 \text{ кВт}$$

Розрахунок для інших цехів й підрозділів підприємства виконується аналогічно наведеному. Результати розрахунків зведені до таблиці 1.2.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		пз	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рср	Qср			Рр	Qр	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Головний корпус													
1.	Металоріжучі верстати	180	4,5-91	1780	0,14	0,51	1,7	249,2	423,6					
2.	Інші верстати	170	19-28	4100	0,25	0,71	0,992	1025	1017					
3.	Преси	74	10,5-42	1850	0,35	0,66	1,138	647,5	737					
4.	Автоматичні лінії, конвеєри	80	11,6-40	1056	0,4	0,75	0,882	422,4	372,5					
5.	Електричні печі	35	12,0-82	1750	0,6	1	0	1050	0					
6.	Вентилятори	16	22	352	0,6	0,76	0,855	211,2	180,6					
7.	Насоси	15	10	150	0,5	0,69	1,049	75	78,67					
8.	Крани	8	20	160	0,31	0,8	0,75	49,6	37,2					
	Всього по головному корпусу	578	4,5-91	11198	0,333	0,79	0,763	3730	2846	249	1,071	3995	2846	4905
	Побутова споруда													
1	Миючі машини	12	15	180	0,25	0,72	0,964	45	43,37					
2	Вентилятори	6	2,0-10	35	0,6	0,81	0,724	21	15,2					
3	Інше обладнання	24	1,0-15	180	0,24	0,6	1,333	43,2	57,6					
	Всього по побутовій споруді	42	1,0-15	395	0,276	0,68	1,064	109,2	116,2	40	1,235	134,86	116,2	178
	Інженерний корпус													
1	Вентилятори	6	10	60	0,5	0,8	0,75	30	22,5					
2	Інше обладнання	40	1,0-5	112	0,2	0,7	1,02	22,4	22,85					
	Всього по корпусу	46	1,0-10	172	0,305	0,76	0,866	52,4	45,35	34,4	1,28	67,072	45,35	80,966
	Лабораторія													
1	Верстати	12	1,0-15	90	0,15	0,66	1,138	13,5	15,37					
2	Вентилятори	4	5	20	0,5	0,8	0,75	10	7,5					
3	Інше обладнання	25	1,0-10	85	0,21	0,71	0,763	17,85	13,62					
	Всього по лабораторії	41	1,0-15	195	0,212	0,75	0,882	41,35	36,49	26	1,35	55,82	36,5	66,69
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14,0	15
	Корпус допоміжних цехів													
1	Верстати	94	2,0-65	1280	0,17	0,65	1,169	217,6	254,4					
2	Фарбопульти	10	7,0-15	100	0,2	0,8	0,75	20	15					
3	Конвеєри	5	7,0-20	80	0,2	0,6	1,333	16	21,33					
4	Насоси	15	5,0-10	75	0,5	0,7	1,02	37,5	38,26					
	Всього по корпусу	124	2,0-65	1535	0,19	0,66	1,13	291,1	329	47	1,24	361,0	329,0	488,4
	Гараж													
1	Миючі машини	3	15	45	0,25	0,7	1,02	11,25	11,48					
2	Водонагрівачі	2	10	20	0,52	0,98	0,203	10,4	2,112					
3	Верстати	6	1,0-11	30	0,2	0,7	1,02	6	6,12					
	Всього по гаражу	11	1,0-15	95	0,291	0,81	0,713	27,65	19,71	11	1,55	42,858	19,71	47,173
	Склад													
	Всього	34	0,5-19	155	0,35	0,8	0,75	45	33,7	16	1,41	63,45	33,7	71,844
	Столова №1													
	Технологічне обладнання	25	4,0-40	530	0,35	0,6	1,333	185,5	247,3	25	1,24	230,0	247,3	337,76
	Котельня													
1.	Мережні насоси	4	40-160	450	0,72	0,8	0,75	324	243					
2.	Димососи	2	55	110	0,7	0,8	0,75	77	57,75					
3.	Вентилятори	1	75	75	0,7	0,81	0,724	52,5	38,01					
4.	Мазутні насоси	2	22	44	0,75	0,8	0,75	33	24,75					
5.	Конденсатні насоси	2	15	30	0,7	0,82	0,698	21	14,66					
6.	Щити управління	2	15	30	0,7	0,8	0,75	21	15,75					
	Всього по котельні	13	1,0-160	739	0,715	0,8	0,745	528,5	393,9	9	1,2	634,2	433,31	768,09
	Ремонтно-будівельний цех													
1	Деревооброблюючі верстати	20	2,0-15	175	0,3	0,7	1,02	52,5	53,56					
2	Металооброблюючі верстати	15	1,0-22	215	0,25	0,6	1,333	53,75	71,67					
3	Крани	2	20	40	0,35	0,8	0,75	14	10,5					
4	Мішалки	5	10	50	0,4	0,7	1,02	20	20,4					
5	Вентилятори	3	10	30	0,6	0,75	0,882	18	15,87					
	Всього по цеху	45	1,0-22	510	0,31	0,68	1,087	158,3	172	44	1,16	183,57	172,0	251,56
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Кузня і енергоблок													
1.	Преси	10	35	350	0,3	0,66	1,138	105	119,5					
2.	Штампи	6	22	132	0,35	0,7	1,02	46,2	47,13					
3.	Конвеєри	2	12	24	0,26	0,72	0,964	6,24	6,014					
4.	Зварювальні машини	5	14	70	0,35	0,65	1,169	24,5	28,64					
5.	Вентилятори	2	12	24	0,6	0,75	0,882	14,4	12,7					
	Всього по цеху	25	10,0-35	600	0,327	0,68	1,09	196,3	214	24	1,25	245,43	214,01	325,63
	Механоскладальний корпус													
1.	Термопластавтомати	75	5,0-44	2020	0,37	0,5	1,732	747,4	1295					
2.	Литтєві автомати	58	1,0-22	875	0,14	0,5	1,732	122,5	212,2					
3.	Намоточні барабани	62	5,0-60	2152	0,24	0,65	1,169	516,5	603,8					
4.	Нарізуючі верстати	35	70	2450	0,14	0,65	1,169	343	401					
5.	Конвеєри	18	10,0-25	380	0,25	0,7	1,02	95	96,92					
6	Гальванічне обладнання	13	1,0-282	1005	0,18	0,65	1,169	180,9	211,5					
7	Зварювальні автомати	26	3,0-5	491	0,35	0,6	1,333	171,9	229,1					
8	Вентилятори	10	5,0-10	72	0,6	0,8	0,75	43,2	32,4					
	Всього по корпусу	297	1,0-280	9445	0,235	0,58	1,388	2220	3082	67	1,16	2575,6	3081,5	4016,1
	Столова №2													
	Технологічне обладнання	25	4,0-40	530	0,35	0,6	1,333	185,5	247,3	25	1,24	230,0	247,3	337,76
	Адміністративний корпус													
	Всього по корпусу	45	0,5-5	186	0,35	0,72	0,964	45	33,7	45	1,16	52,2	33,7	62,133
	ВСЬОГО ПО ЗАВОДУ	1351	0,5-282	26285	0,297	0,71	0,993	7814	7762	188	1,08	8439,1	7762	11466

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень									
Найменування	F, м ²	p ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	K _c	K ₁	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар
Головний корпус	28 180	15	422,70	0,90	1,12	0,60	1,33	426,1	568,1
Побутова споруда	1 265	17	21,51	0,90	1,20	0,90	0,48	23,2	11,2
Інженерний корпус	890	20	17,80	0,90	1,20	0,90	0,48	19,2	9,3
Лабораторія	320	20	6,40	0,90	1,20	0,90	0,48	6,9	3,3
Корпус допоміжних цехів	6 755	15	101,33	0,80	1,12	0,50	1,73	90,8	157,2
Гараж	540	11	5,94	0,70	1,00	1,00	0,00	4,2	0,0
Склад	700	7	4,90	0,60	1,00	1,00	0,00	2,9	0,0
Столова №1	960	13	12,48	0,85	1,20	0,90	0,48	12,7	6,2
Котельня	750	9	6,75	0,60	1,12	0,50	1,73	4,5	7,9
Ремонтно-будівельний цех	800	15	12,00	0,80	1,12	0,50	1,73	10,8	18,6
Кузня і енергоблок	530	13	6,89	0,80	1,12	0,50	1,73	6,2	10,7
Механоскладальний корпус	16 280	15	244,20	0,90	1,12	0,50	1,73	246,2	426,4
Столова №2	960	13	12,48	0,85	1,20	0,90	0,48	12,7	6,2
Адміністративний корпус	2 320	20	46,40	0,90	1,20	0,90	0,48	50,1	24,3
Територія заводу	260 000	0,22	57,20	1,00	1,12	0,50	1,73	64,1	111,0
Всього по заводу								980,6	1360,3

1.3. Електричні силові навантаження в мережі підприємства вище 1000В

Рекомендований порядок розрахунку силових електричних навантажень в мережах напругою вище ніж 1000 В виконується у відповідності настанов [3, 4, 5]. При цьому враховуються ще й втрати в трансформаторах а також вибрані компенсуючи пристрої, які встановлені на високій і низькій стороні схеми електропостачання (див. п. 4).:

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k K_z^2) \quad (1.10)$$

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_n + \frac{U_k}{100} S_n K_z^2\right) \quad (1.11)$$

де n – число трансформаторів;

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати відповідно х.х і к.з., %;

K_z – коефіцієнт завантаження трансформатора;

Готові результати розрахунків силових навантажень в мережах вище 1000 В представлено у табл. 1.3.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		пз	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарне				Рср	Qср			Pr	Qp	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТП 1,2,3,4														
Головний корпус														
	Силове	578	4,5-90	11198	0,33	0,79	0,76	3730	2846	249	1,07	3995	2846	
	Освітлювальне							504	874			426,0	568,0	
	Всього по головному корпусу							4234,0	3720,0			4421,0	3414,0	
Побутова споруда														
	Силове	42	1,0-15	395	0,276	0,68	1,06	109	116	40	1,23	135	116	
	Освітлювальне							27,2	13,2			23	11	
	Всього по споруді							136,2	129,2			158,0	127,0	
Гараж														
	Силове	11	1,0-15	95	0,29	0,84	0,65	27,25	17,6	11	1,55	43,0	19,0	
	Освітлювальне							5,3	0			4,0	0,0	
	Всього по корпусу							32,6	17,6			47,0	19,0	
Склад														
	Силове	34	0,5-19	155	0,35	0,8	0,75	45	33,7	16	1,41	63,45	33,7	
	Освітлювальне							4,3	0			2,9	0,0	
	Всього по складу							49,3	33,7			66,4	33,7	
Столова №1														
	Силове	25	4,0-40	530	0,35	0,6	1,33	185,5	247,3	25	1,24	230,0	247,3	
	Освітлювальне							14	6,8			12,7	6,2	
	Всього по столовій							199,5	254,1			242,7	253,5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Всього по ТП 1,2,3,4														
	Силове	693	1,0-90	12378	0,33	0,78	0,80	4096,8	3260,8	275	1,05	4301,6	3260,8	
	Освітлювальне							575,9	904,2			468,6	585,2	
	Всього по ТП 1,2,3,4							4672,7	4164,8			4770,2	3845,8	6127,41
	Втрати в тр-рах (8*1000 кВА)											74,5	460,5	
	Комп. Пристрій 0,4 кВ												-4000,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП1,2,3,4											4844,7	306,3	4854,36
ТП 5														
Корпус допоміжних цехів														
	Силове	124	2,0-65	1535	0,19	0,66	1,13	291,1	329,0	47	1,24	361,0	329,0	
	Освітлювальне							105,8	183,4			91,0	157,0	
	Всього по корпусу							396,9	512,4			452,0	486,0	
Лабораторія														
	Силове	41	1,0-15	195	0,212	0,75	0,88	41,0	36,0	26	1,35	55,8	36,5	
	Освітлювальне							7,4	3,5			6,9	3,3	
								48,4	39,5			62,7	39,8	
Інженерний корпус														
	Силове	46	1,0-10	172	0,306	0,757	0,86	52	45,3	34	1,28	67	45	
	Освітлювальне							21,1	10,2			19	9,3	
	Всього по корпусу							73,1	55,5			86,0	54,3	
Всього по ТП 5														
	Силове	211	1,0-65	1902	0,20	0,68	1,07	394,1	410,3	59	1,2	460,9	410,3	
	Освітлювальне							134,3	197,1			110,4	159,1	
	Всього по ТП 5							518,4	607,4			571,3	569,4	806,61
	Втрати в тр-рах (1*1000 кВА)											8,1	49,7	
	Комп. Пристрій 0,4 кВ												-270,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП5											579,4	299,4	652,20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТП 6														
Котельня														
	Силове	13	1,0-160	739	0,71	0,8	0,75	528	394	9	1,2	634,0	433,0	
	Освітлювальне							6,8	11,8			4,5	7,9	
	Всього по котельні							534,8	405,8			638,5	440,9	
Ремонтно-будівельний цех														
	Силове	45	1,0-22	510	0,31	0,68	1,09	158	172	44	1,16	183,0	172,0	
	Освітлювальне							14,1	24,5			10,8	18,6	
	Всього по цеху							172,1	196,5			193,8	190,6	
Кузня і енергоблок														
	Силове	25	10,0-35	600	0,327	0,68	1,09	196,0	214,0	24	1,25	245,0	214,0	
	Освітлювальне							8,2	14,3			6,2	10,7	
	Всього по цеху							204,2	228,3			251,2	224,7	
Освітлення території														
								58,2	100,9			64,0	111,0	
Всього по ТП 6														
	Силове	83	1,0-160	1849	0,48	0,75	0,88	882,0	780,0	23	1,19	1049,6	780,0	
	Освітлювальне							87,3	151,5			80,2	139,1	
	Всього по ТП 6							969,3	931,5			1129,8	919,1	1456,42
	Втрати в тр-рах (2*1000 кВА)											13,0	49,7	
	Комп. Пристрій 0,4 кВ												-400,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП6											1142,8	519,1	1255,15
ТП 7, 8														
Механоскладальний корпус														
	Силове	297	1,0-280	9445	0,23	0,58	1,39	2220	3082,0	67	1,16	2575	3081	
	Освітлювальне							291,5	505,0			246,2	426,4	
	Всього по корпусу							2511,5	3587,0			2821,2	3507,4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Столова №2														
	Силове	25	4,0-40	530	0,35	0,6	1,33	185,5	247,33	25	1,24	230,0	247,3	
	Освітлювальне							14	6,8			12,7	6,2	
	Всього по столовій							199,5	254,1			242,7	253,5	
Адміністративний корпус														
	Силове	45	0,5-5	186	0,35	0,72	0,96	45	33,7	45	1,16	52,2	33,7	
	Освітлювальне							55,2	26,7			50,1	24,3	
	Всього по корпусу							100,2	60,4			102,3	58,0	
Всього по ТП 7, 8														
	Силове	370	1,0-280	10166	0,24	0,59	1,37	2450,5	3363,0	73	1,12	2744,6	3363,0	
	Освітлювальне							360,7	538,5			324,0	484,4	
	Всього по ТП 7, 8							2811,2	3901,5			3068,6	3847,4	4921,26
	Втрати в тр-рах (4*1000 кВА)											54,6	335,5	
	Комп. Пристрій 0,4 кВ												-3100,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП 7,8											3123,2	747,4	3211,35
Всього по ЗАВОДУ														
	Силове	1351	0,5-282	26285	0,30	0,71	0,99	7814	7762	188	1,08	8439,1	7762	11466
	Освітлювальне											980,6	1360,3	
	Всього											9419,7	9122,3	
	Втрати в трансформаторах (15*1000 кВА)											150,2	928,5	
	Комп. Пристрій 0,4 кВ												-7770,0	
	Всього по ЗАВОДУ											9569,9	2280,8	
	Комп. Пристрій 10 кВ												-1800,0	
	Всього на шинах 10 кВ ГПП											9569,9	480,8	9582

1.4. Графіки електричних навантажень

Графіки електричних навантажень створюються з метою візуалізації та аналізу динаміки споживання електроенергії протягом певного періоду часу. Головні цілі цього аналізу включають:

Виявлення пікових навантажень: Графіки дозволяють визначити моменти, коли споживання електроенергії є найвищим. Це допомагає оптимізувати робочий режим системи, уникнути перевантажень та зменшити ризик відмов.

Планування обслуговування та технічне обслуговування обладнання: Знання годин пікового споживання дозволяє планувати роботу обладнання таким чином, щоб забезпечити його ефективне використання та уникнути перевантажень.

Оцінка енергоефективності: Графіки дозволяють аналізувати тенденції у споживанні електроенергії та виявляти можливості для оптимізації енергоефективності.

Прогнозування потреб: Аналізуючи історичні дані щодо споживання електроенергії, можна розробляти прогнози майбутніх потреб та планувати виробництво електроенергії.

Оптимізація тарифів: Шляхом аналізу графіків можна визначити найвигідніші часи для споживання електроенергії, враховуючи різні тарифні плани.

Усього враховуючи, побудова графіків електричних навантажень є ключовим інструментом для ефективного управління та оптимізації електропостачальних систем.

В даній роботі побудуємо зимовий та літній графіки навантажень $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$ з урахуванням кількості робочих й вихідних днів, а також річний графік за тривалістю.

Споживання активної й реактивної енергії в умовах проектування визначається виразами:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_z = \sum P_i T_i \quad (1.12)$$

$$V_z = \sum Q_i T_i \quad (1.13)$$

Кількість годин використання максимумального навантаження:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_F^2 + Q_F^2}}{P_P} \quad (1.14)$$

$$\tau = (0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4})^2 \cdot 8760 \quad (1.15)$$

Програма для побудови річного графіку за тривалістю				
Робочі дні:				
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Кількість днів робочих:	
	Wг= 23427637		зимою	147
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		літом	105
	Vг= 22529882,97			
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Кількість днів вихідних:	
	Wг= 12692253,21		зимою	65
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		літом	48
	Vг= 13678857,52			
Вихідні дні:				
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Wp = 5204739777 Vp = 4934209221	
	Wг= 4501146			
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:			
	Vг= 3044593,5			
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:			
	Wг= 2825334,72			
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:			
	Vг= 1911067,92			
Час викорористання максимального навантаження, год:				
$T_{м} = 4040,836549$				
Час максимальних втрат, год:				
$\tau_{м} = 2442,921756$				

Зовнішній вигляд графіків електричних навантажень наведено на рис.

1.1 – 1.5

Побудову графіків навантаження виконано із застосуванням математичного пакету електронних таблиць **Microsoft Excel**.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

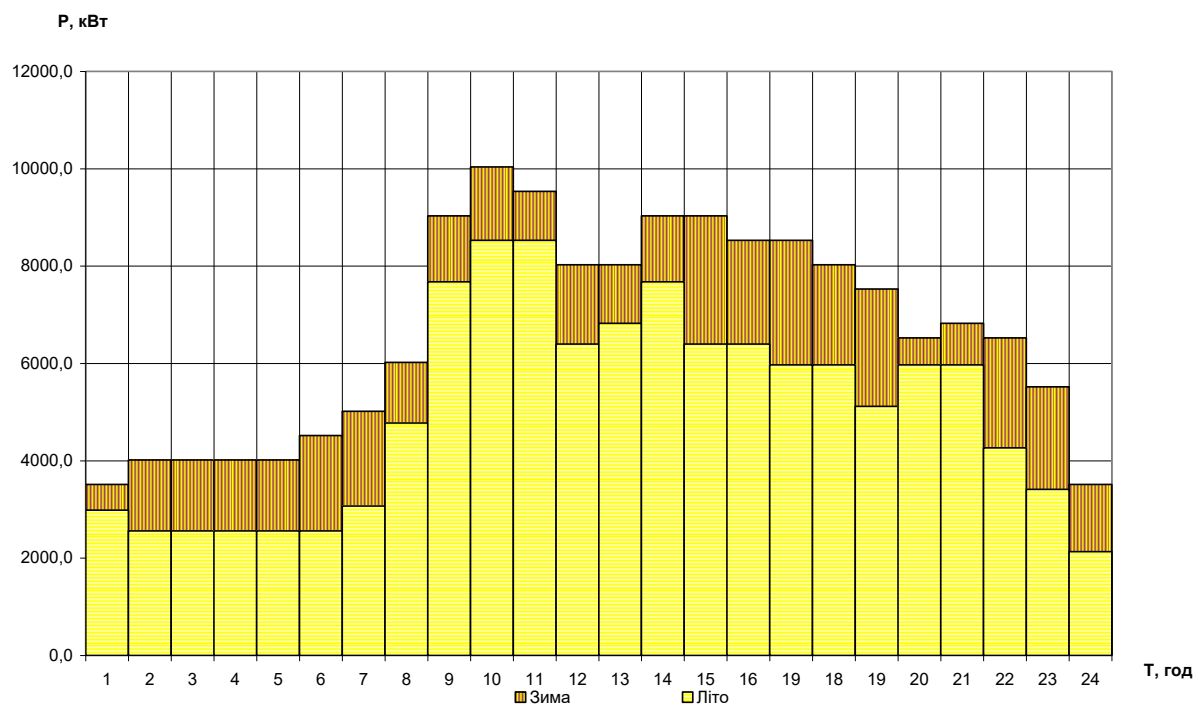


Рис. 1.1 Споживання активної потужності в робочий день

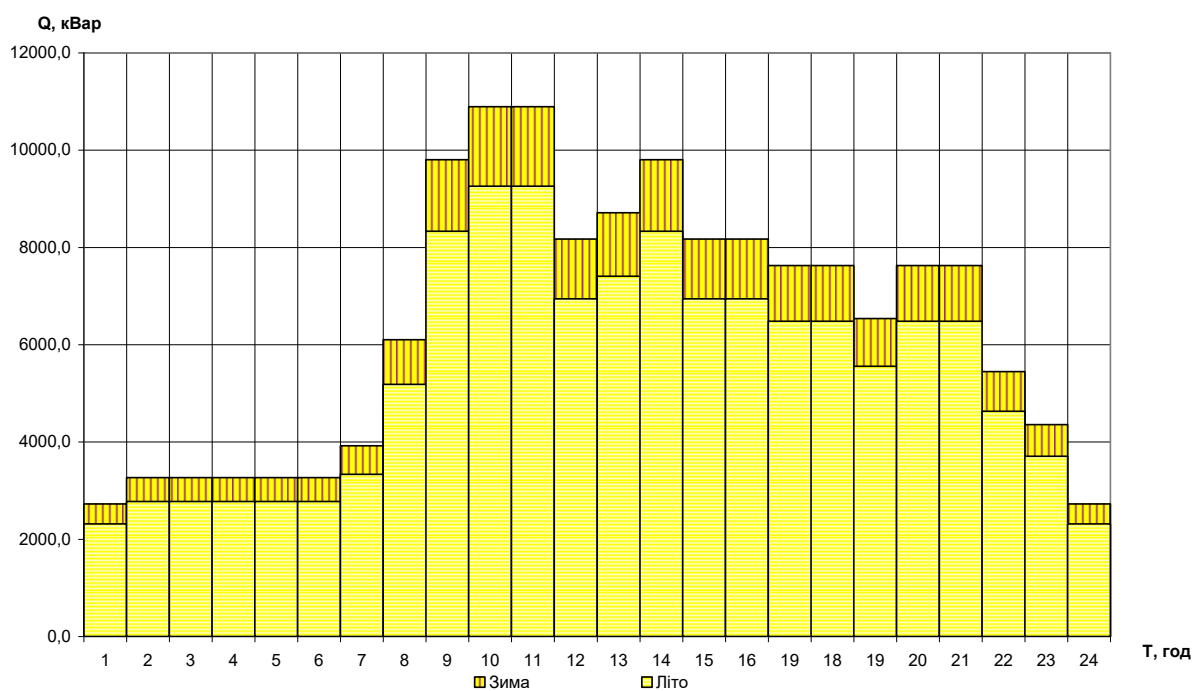


Рис. 1.2 Споживання реактивної потужності в робочий день

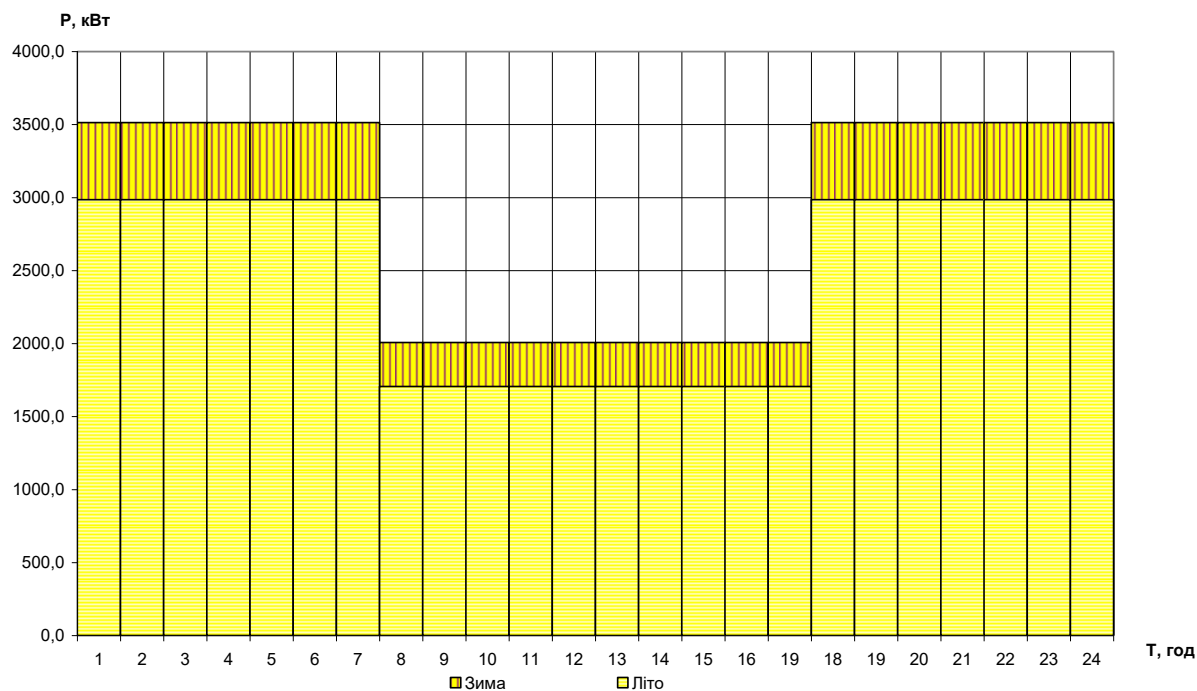


Рис. 1.3 Споживання активної потужності у вихідний день

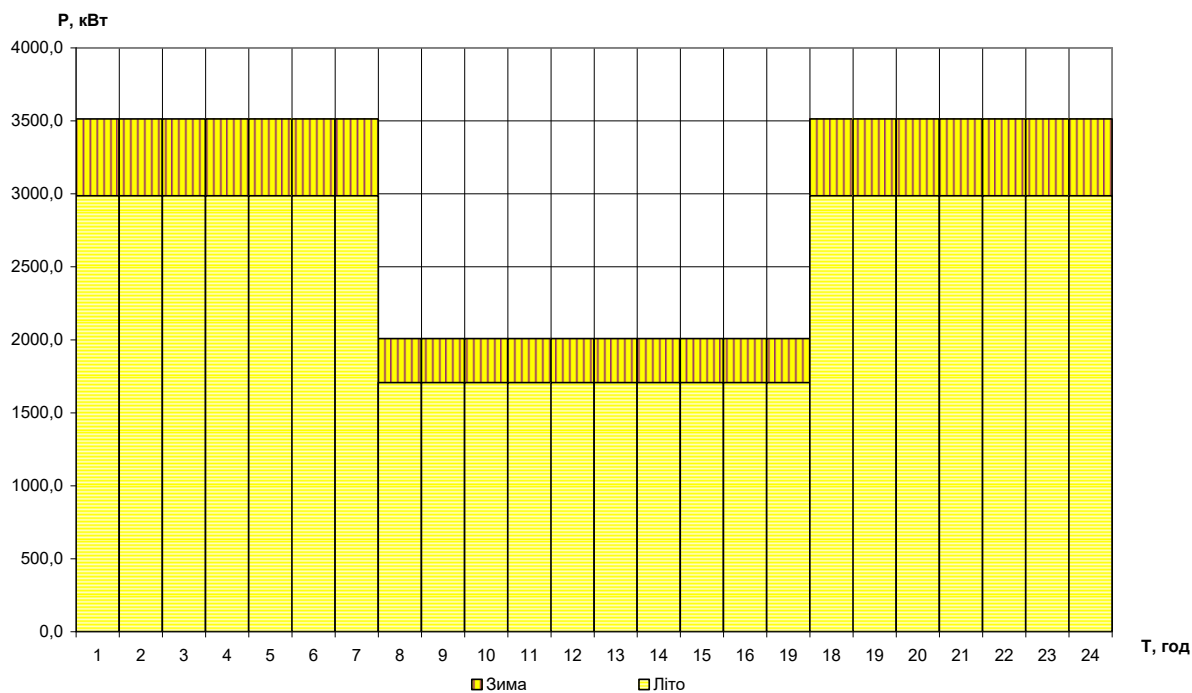
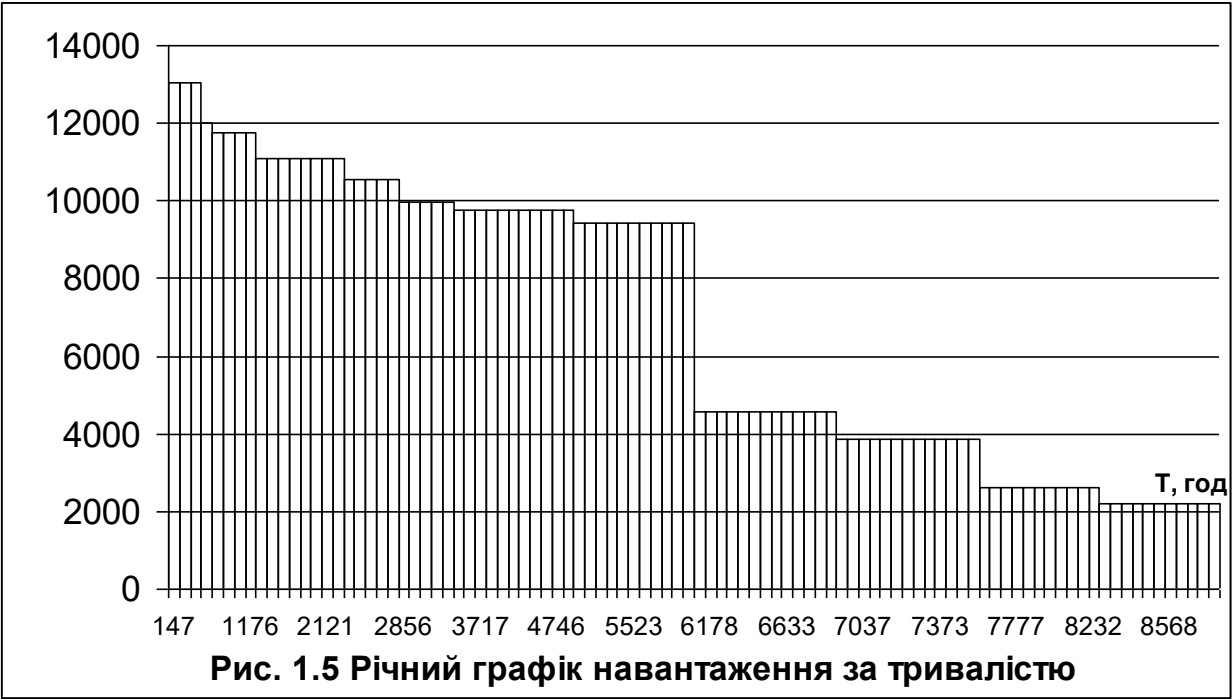


Рис. 1.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день



2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної знижувальної підстанції, центральної розподільної установки

Картограма електричних навантажень - це графічне зображення розподілу електричних навантажень на певній території підприємства, зазвичай на карті. Вона може містити інформацію про різні типи навантажень, їх інтенсивність, розподіл у часі та просторі.

Для створення коректної картограми навантажень підрозділи та підприємства визначають радіуси кіл R_i та їх площу πR_i^2 , кожна з яких у вибраному масштабі відповідає повному навантаженню.

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (2.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (2.2)$$

де m - масштаб певного кола, $\text{кВт}/\text{мм}^2$.

Координати центру навантажень (X , Y) для підприємства в цілому визначаються за наступними формулами:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

де X_i й Y_i , - координати центрів електричного навантаження i -го цеху або підрозділу

Освітлювальне навантаження визначається як кут α , який відповідає площі цього освітлюваного навантаження:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (2.4)$$

Для прикладу наведемо побудову для Головного корпусу

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = \sqrt{\frac{P}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{P_{Pocв} + P_{Pcил}}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{426 + 3995}{3,14 * 0,5}} = 53.мм$$

$$\alpha = \frac{P_{Pocв} * 360^0}{\pi * R^2} = \frac{426 * 360^0}{3,14 * 53^2} = 17^0$$

Результати розрахунків для інших цехів й підрозділів заводу зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Допоміжна таблиця до побудови картограми навантажень.

№п/п	Назва підрозділу	m	Pp осв	Pp сил	Pp сил +Pp осв	R	α	Xi	Yi	Pi*Xi	Pi*Yi
1	Головний корпус	0,5	426	3995	4421	53	17	20	17	88420	75157
2	Побутова споруда	0,5	23	135	158	10	26	25	17	3950	2686
3	Інженерний корпус	0,5	20	67	87	7	41	30	21	2610	1827
4	Лабораторія	0,5	7	56	63	6	20	33	20	2079	1260
5	Корпус допоміжних цехів	0,5	91	361	452	17	36	32	17	14464	7684
6	Гараж	0,5	4	43	47	5	15	17	12	799	564
7	Склад	0,5	3	63	66	6	8	21	12	1386	792
8	Столова №1	0,5	13	230	243	12	10	25	12	6075	2916
9	Котельня	0,5	4,5	634	639	20	1	9	19	5747	12132
10	Ремонтно-будівельний цех	0,5	10,8	183	194	11	10	8	16	1550	3101
11	Кузня і енергоблок	0,5	6,2	245	251	13	4	12	15	3014	3768
12	Механоскладальний корпус	0,5	246	2575	2821	42	16	7	4	19747	11284
13	Столова №2	0,5	12,7	230	243	12	9	2	6	485	1456
14	Адміністративний корпус	0,5	50	53	103	8	87	2	3	206	309

Координати (у масштабі) центру електричних навантажень знаходяться у точці:

$$X_0 = 15,38 \text{ См}$$

$$Y_0 = 12,77 \text{ См}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

При обґрунтуванні техніко-економічних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства необхідно враховувати різноманітні аспекти для забезпечення ефективності, надійності, економічності та стійкості електропостачання.

При виборі напруги для системи зовнішнього електропостачання зазвичай обирається таке стандартне значення, яке відповідає всім технічним вимогам і є найбільш економічним варіантом. У випускній кваліфікаційній роботі зазвичай розглядаються лише декілька можливих варіантів в залежності від існуючих у найближчих точках приєднання до енергосистеми.

У даному випадку можливим джерелом електрозабезпечення заводу з розрахунковим навантаженням $S_p = 9582 \text{ кВА}$ - є п/ст енергосистеми - з двома трансформаторами 63 МВ*А 150/35/10 кВ. Відстань між підстанцією і заводом $L = 1,1$ км. Тобто для порівняння схем зовнішнього електропостачання підприємства можна обрати два варіанти: 1) із наругою 35 кВ; 2). із наругою 10 кВ.

Остаточне рішення даного проекту вибирається шляхом порівняння загальних витрат для кожного з варіантів.

Приведені витрати по кожному варіанту

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + U_i \quad (3.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/рік;

K_i - сумарні капітальні витрати, тис. грн.;

C_i - поточні витрати на передачу та розподіл електричної енергії, тис.грн./рік;

$C_{втр.i}$ - вартість втрат електроенергії, тис.грн./рік;

U_i - ймовірний збиток від перервів у електропостачанні, тис.грн/рік.

Поточні витрати C_i :

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$C_i = C_{ai} + C_{ei}. \quad (3.2)$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{emp} = c_0 \Delta W \quad (3.3)$$

де C_0 – вартість 1 кВт*год втрат, грн.

ΔW втрати електроенергії в повітряних і кабельних лініях, кВт*год;

$$\Delta W = \Delta P_{1KM} l_{\Sigma} K_3^2 \tau \quad (3.4)$$

де ΔP_{1KM} – втрати потужності в лініях (повітряних та кабельних) електропередач на 1 км довжини при максимально допустимому навантаженні в них, кВт;

l_{Σ} – сумарна довжина ланцюгів ліній, км;

K_3 – коефіцієнт завантаження певної лінії електропередач;

τ – число годин максимальних річних втрат.

Втрати електроенергії в трансформаторі:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_{\kappa} K_3^2 \tau \quad (3.5)$$

де t число годин роботи певного трансформатора на рік.

Збитки визначаються:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6)$$

де λ_i - параметр потоку відмов одного з елементів системи електропостачання, 1/рік;

n - кількість елементів ланцюга схеми.

Середній час відновлення одній лінії (ланцюга схеми):

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} \quad (5.7)$$

Загальна методика розрахунку, що використана у цій роботі надійності викладена у [6].

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки викладеним положенням здійснюємо техніко – економічне порівняння 2-х варіантів схем зовнішнього електропостачання заводу (Рис 3.1).

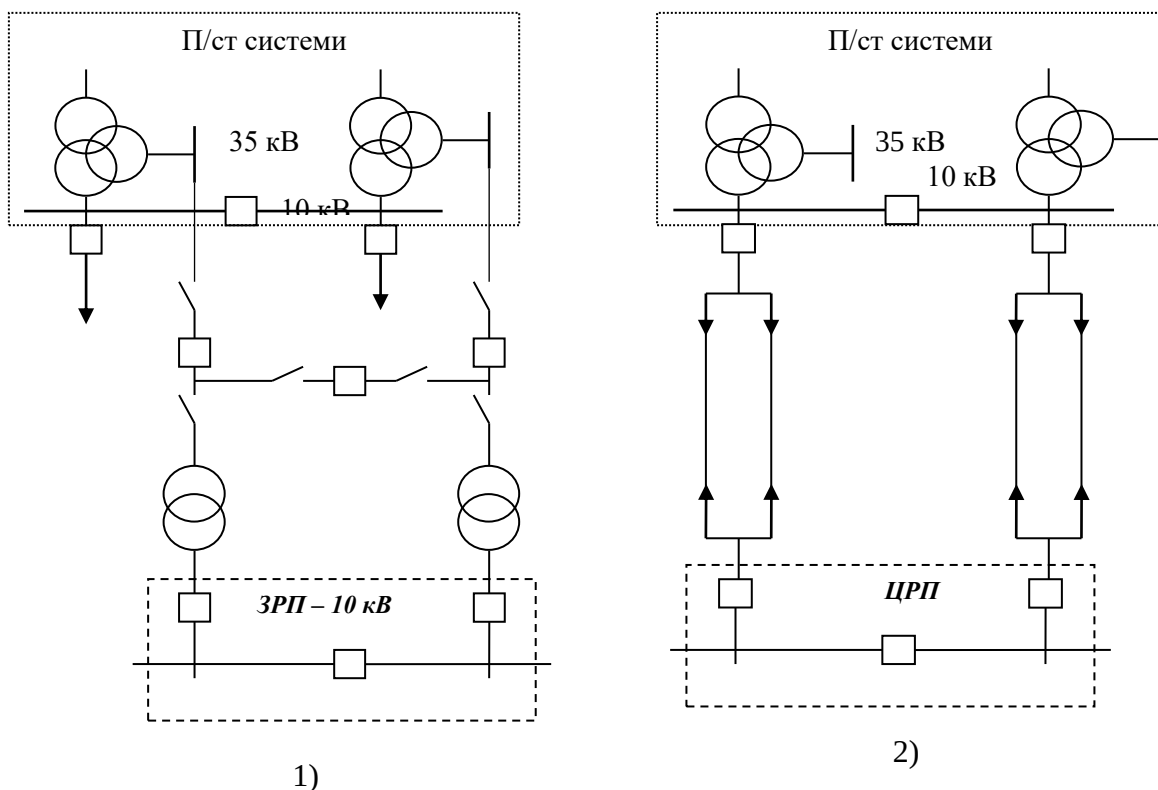


Рис 3.1. Схеми зовнішнього електропостачання

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	1,2	65,94	79,128
	ВРП 35 кВ	шт.	1	125	125
	2 х ТМН-10000/35	шт.	2	1000	2000
Всього					2204,128

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{эж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	79,128	5	3,9564	5	3,9564	7,9128
	ВРП 35 кВ	125	15	18,75	5	6,25	25
	2 х ТМН-10000/35	2000	15	300	5	100	400
Всього							432,913

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 15,5 \cdot 4,7 \cdot 0,01236 = 0,9$$

II Варіант

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
2	КЛ 10 кВ	км	14,4	887	12772,8
	Траншея	км.	2,4	18,2	43,68
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	168,7	337,4
Всього					13153,88

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{эж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
2	КЛ 10 кВ	12772,8	5	638,64	5	638,64	1277,28
	Траншея	43,68	5	2,184	5	2,184	4,368
	Шафи КРП серії КУ-10	337,4	15	50,61	5	16,87	67,48
Всього							1349,13

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 25,5 \cdot 4,7 \cdot 0,03001 = 3,6$$

Загальні результати розрахунку заносимо у підсумкову таблицю 3.3.

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 3.3. Техніко – економічні показники варіантів схем

Показники	Варіанти (тис. грн)	
	I	II
Капітальні вкладення	2204,13	13153,9
Поточні витрати	432,9	1349,13
Вартість втрат електроенергії	1721,8	236,9
Збиток	0,9	3,6
Приведені витрати	2420,1	3168,1

Із розрахунків видно, що економічно вигіднішим виявився I варіант, із живленням підприємства ПЛ напругою 35 кВ.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Компенсация реактивной мощности

Реактивная мощность у электрических сетях вызывает потери электрической энергии, які можна уникнути або зменшити за допомогою компенсації. Це сприяє підвищенню ефективності використання електроенергії. Надмірна реактивна потужність може перенавантажити електричну мережу і призвести до втрати напруги, тож компенсація допомагає уникнути цього та забезпечує стабільність системи. Перевищення реактивної потужності може призвести до недоліків у роботі обладнання через пониження напруги, що збільшує теплові навантаження та скорочує термін його служби.

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності

Загальна потужність компенсуючих пристроїв (КП), що належить до встановлення в системі електропостачання визначається таким чином:

$$Q_{кп} = Q_p - Q_e. \quad (4.1)$$

де Q_p – реактивне розрахункове навантаження в максимальному режимі;
 Q_e - економічно обгрунтована реактивна потужність системи, яка за технічними вимогами може бути передана споживачеві в режимі максимальних навантажень.

Реактивна потужність Q_e знаходиться за формулою:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.2)$$

де P_p - активне розрахункове навантаження в максимальному режимі;
 $\operatorname{tg} \varphi$ — заданий рівень компенсації реактивної потужності (згідно положення ПрАТ "Кіровоградобленерго" $\operatorname{tg} \varphi = 0,15$).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питання компенсації реактивної потужності вирішується одночасно із питанням вибору кількості та потужності цехових ТП.

Мінімальна кількість трансформаторів, що необхідна для живлення максимуму навантаження, визначається за виразом для кожної групи трансформаторів з однаковою потужністю $S_{ном}$.

$$N_0 = \frac{P_p}{K_z \cdot S_{ном}} + \Delta N \quad (4.3)$$

де P_p - споживання активної потужності в мережі напругою до 1000 В;

K_z — коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{ном}$ - номінальна потужність трансформатора;

ΔN - добавка до найближчого більшого цілого числа.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 380 В при встановленні певної кількості N ТП, визначається за формулою:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{ном})^2 - P_p^2} \quad (4.4)$$

$$N_0 = \frac{8439 + 980}{0,7 \cdot 1000} = 14,4 \text{ приймаємо } 15 \text{ трансформаторів.}$$

Далі будуть розглядатися наступні варіанти компенсації при числі трансформаторів $N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$

Варіант 1 $N=15$

$$Q_1 = \sqrt{(15 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 9419^2} = 4640 \text{квар}$$

Потужність КП, що встановлюється в мережі 380 В $Q_{кн}$, визначається із умови балансу потужності на шинах ТП:

$$Q_{кн} = Q_H - Q_1 = 9122 - 4640 = 4482 \text{квар}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо до встановлення $Q_{KH} = (15 \times 300 \text{ квар})$

Потужність КП, які встановлюються в мережі 10 кВ
 Q_{KB} визначається за умов балансу потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_H - Q_{KH} - Q_{\Sigma} = 9122 - 4482 - 1528 = 3112 \text{квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{KB} = (2 \times 1500 \text{ квар})$

Розраховуємо витрати на компенсацію

$$Z = (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) * E_H + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) * C_0 * \tau \quad (4.5)$$

де вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH} * K_{КЦ}^{0,4} = 15 * 20,42 + 1 * 8,2 = 306,3 \text{тис.грн.}$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB} * K_{КЦ}^{10} = 2 * 48,42 = 96,84 \text{тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = 0$$

Втрати активної потужності в КП :

$$\Delta P_{KH} = P_{ПІТ}^{KH} * Q_{KH} = 4,5 * 4,5 = 20,25 \text{кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПІТ}^{KB} * Q_{KB} = 2,5 * 3,0 = 7,5 \text{кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{Q_1^2}{U_{ном}^2} * R_{СК} = \frac{4640^2}{10^2} * 2,12 * 10^{-4} = 45,6 \text{кВт}$$

$$\text{де } R_{СК} = \frac{\Delta P_{КЗ} * U_{ном}^2}{N * S_{номтр}^2} = \frac{7,6 * 10^2}{15 * 1000^2} = 2,12 * 10^{-4}$$

$$Z = (306,3 + 96,84 + 0) * 0,12 + (20,25 + 7,5 + 45,6) * 5,217 * 2443 * 10^{-3} = 983,2 \text{тис.грн.}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Розрахунок за варіантами $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$ аналогічний приведеному вище.

Результати здобутих розрахунків зводимо в таблицю 4.1

Табл.4.1 Баланс реактивної потужності

Показники	Одиниця виміру	Варіант		
		1	2	3
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	квар	4500	3000	0
Потужність КП в мережі 10 кВ	квар	3000	4500	7500
Споживання реактивної потужності із системи	квар	1528	1528	1528
Всього за умовою балансу	квар	9028	9028	9028
Затрати на компенсацію	Тис.грн.	983,2	1123,3	1385,4

Розрахунки показують, що найбільш економічно доцільним виявляється І-й варіант із кількістю цехових трансформаторів 15 штук.

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Кількість компенсуючих пристроїв для компенсації реактивної потужності обирається на основі детального аналізу електричних систем та проведених вище розрахунків. Основні кроки в цьому процесі включають:

Аналіз потужності та характеру навантаження: Проводиться оцінка потужності та характеру електричних навантажень, включаючи вимір реактивної потужності. Це дозволяє з'ясувати, наскільки значна є проблема недостатньої компенсації.

Визначення потреби в компенсації: На основі аналізу визначається необхідний рівень компенсації реактивної потужності для оптимізації роботи системи.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Вибір типу та розміру компенсуючих пристроїв: Після визначення потреби в компенсації обираються типи та розміри компенсуючих пристроїв, таких як конденсатори, реактори або синхронні компенсатори.

Розрахунки та симуляції: Проводяться розрахунки та симуляції, щоб визначити оптимальну кількість компенсуючих пристроїв для досягнення необхідної компенсації.

Встановлення та налаштування: Після вибору кількості пристроїв їх встановлюють і налаштовують відповідно до розрахунків та вимог системи.

Цей процес дозволяє забезпечити ефективну компенсацію реактивної потужності, що підвищує ефективність та надійність роботи електричної системи.

Вибір кількості та місця розташування КП виконуємо у вигляді табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Вибір кількості та місця розташування КП

№ КТП	К-сть трансформаторів	S _н , кВА	Тип КП	К-сть КП	QΣ, квар	Місце встановлення КП
КТП 1,2,3,4	8	1000	УКН-0,38-108У3	8	300	КТП 1 Шини 0,4 кВ КТП 2 Шини 0,4 кВ КТП 3 Шини 0,4 кВ КТП 4 Шини 0,4 кВ
КТП 5	2	1000	УКН-0,38-108У3	1	300	КТП 5 Шини 0,4 кВ
КТП 6	2	1000	УКН-0,38-108У3	1	300	КТП 6 Шини 0,4 кВ
КТП 7,8	4	1000	УКН-0,38-108У3	2	300	КТП 7 Шини 0,4 кВ КТП 8 Шини 0,4 кВ
			УКЛН-10-700 У3	2	1500	ГПП Шини 10 кВ

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Трансформаторні підстанції

Трансформаторні підстанції на підприємствах є ключовим елементом електропостачання, де електрична енергія перетворюється на потрібний рівень напруги для подальшого використання в обладнанні та механізмах підприємства. Ці підстанції можуть бути одно- або двотрансформаторними, в залежності від потреби і вимог до надійності електропостачання.

Однотрансформаторні підстанції є більш простими у встановленні та економічно вигідними, але менш надійними в разі відмови трансформатора, оскільки в цьому випадку весь процес вироблення електроенергії може припинитися. Тому на великих підприємствах часто використовують двотрансформаторні підстанції, де один трансформатор може забезпечити роботу у випадку відмови іншого.

Резервні трансформатори можуть використовуватися для забезпечення безперебійності електропостачання, особливо на підприємствах з високим рівнем важливості неперервності виробничого процесу. Також, однотрансформаторні підстанції можуть обслуговувати споживачів різних категорій, забезпечуючи резервування підстанції на вторинній напрузі за допомогою автоматичного вводу резервного живлення.

Потужність трансформаторів ГЗП визначають таким чином:

$$S_{\text{т. розр}} = \frac{S_p}{(n-1) \cdot 1,4} \quad (5.1)$$

де n – кількість трансформаторів на п/ст. $n=2$

$$S_{\text{т. розр}} = \frac{9582}{(2-1) \cdot 1,4} = 6844,3 \text{ кВА}$$

Вибираємо силові трансформатори ТДН-10000/35, у котрих $S_{\text{ном}}=10$ МВА; $U_{\text{ном.в}}=36,75$ кВ; $U_{\text{ном.н}}=10,5$ кВ; $\Delta P_x=12$ кВт, $\Delta P_k=60$ кВт, $U_k\%=8$, $I_x\%=0,75$.

Знаходимо коефіцієнт завантаження у максимальному режимі (при підключенні усіх компенсуючих пристроїв)

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_3 = \frac{9582}{2 \cdot 10000} = 0,48$$

Потужність трансформаторних підстанцій ще перевіряється на аварійне перевантаження

$$S_{доп} = 1,4 S_{ном} \geq S_{ав} \quad (5.2)$$

Одним із найбільш ефективних методів вибору потужності цехових трансформаторів є використання питомої густини навантаження, котре для промислового підприємства може рости у часі.

$$s_{\gamma\delta} = \frac{S_p}{F_{\Sigma}} \quad (5.3)$$

де S_p – розрахункове навантаження по підприємству;

F_{Σ} - сумарна площа підрозділів і цехів підприємства

$$s_{\gamma\delta} = \frac{9582}{61200} = 0,158$$

У цьому випадку найбільш доцільним вважається встановлення ТП з одиничною потужністю трансформаторів 1000 кВА.

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Вибір трансформаторних цехових підстанцій

Номер КТП	S_p , кВА	$S_{ном}$, кВА	N	Марка трансф.	K_3	$K_{3.ав}$	Категорійність приймачів	Тип КТП	Місце розташування
1,2,3,4	4854	1000	8	ТМ-1000/10	0,7	1,4	I, II, III	вбудована	Головний корпус
5	652	1000	1	ТМ-1000/10	0,65	-	II, III	вбудована	Корпус дод. цехів
6	1255	1000	2	ТМ-1000/10	0,58	1,16	I, II, III	вбудована	Кузня та енергоблок
7, 8	3211	1000	4	ТМ-1000/10	0,81	1,62	II, III	вбудована	Механоскл. корпус

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань

Розрахунок струмів короткого замикання є необхідним для кількох важливих аспектів електричної системи:

Знання максимальних струмів короткого замикання допомагає вибрати відповідне захисне обладнання, таке як вимикачі, випрямляючі пристрої та вимикачі, які забезпечать надійний захист обладнання в разі короткого замикання.

Розрахунок допомагає врахувати можливі навантаження та аварії, які можуть виникнути внаслідок коротких замикань. Це дозволяє планувати систему таким чином, щоб забезпечити її надійність та довговічність.

У випускній кваліфікаційній роботі необхідно буде визначити наступні величини:

- початкове значення періодичної складової струму КЗ, котре визначається за формулою:

$$I_{n0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PEZ}}, \quad (6.1)$$

де E_{Σ}'' - результуюча надперехідна ЕРС, кВ;

$X_{рез}$ - результуючий опір, приведений до тієї ступені напруги, де розраховується струм КЗ, Ом.

У випадку великої віддаленості місця КЗ від джерел живлення вважається, що точка КЗ живиться від джерела нескінченної потужності, тобто:

$$S_{K3} = \infty, x_c = 0, E_{\Sigma}'' = U_c = \text{const.}$$

Ударний струм КЗ визначається за виразом:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_d}} \right), \quad (6.2)$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де T_a - стала часу затухання аперіодичної складової струму $K3$:

$$T_a = \frac{x_{рез}}{\omega r_{рез}}, \quad (6.3)$$

де $x_{рез}$ $r_{рез}$ - відповідно результуючі індуктивний і активний опори кола $K3$.

Розрахунок струмів $K3$ виконуємо на комп'ютері за допомогою прикладної програми TKZ-RS, яка дозволяє точно розрахувати струми $K3$ як на стороні 10 кВ так і на стороні 0,4 кВ кожної ТП.

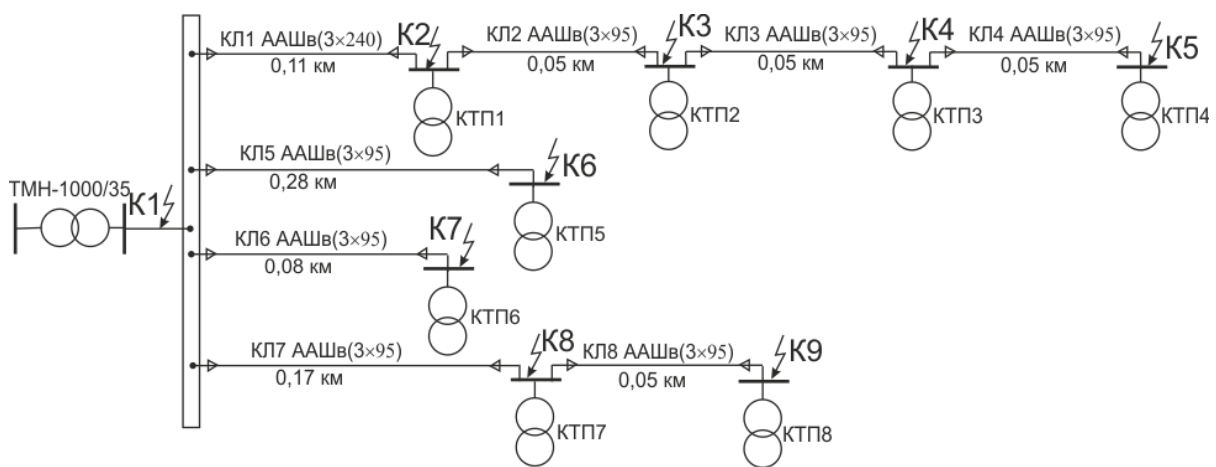


Рис.6.1. Розрахункова схема мережі щодо розрахунку струмів короткого замикання

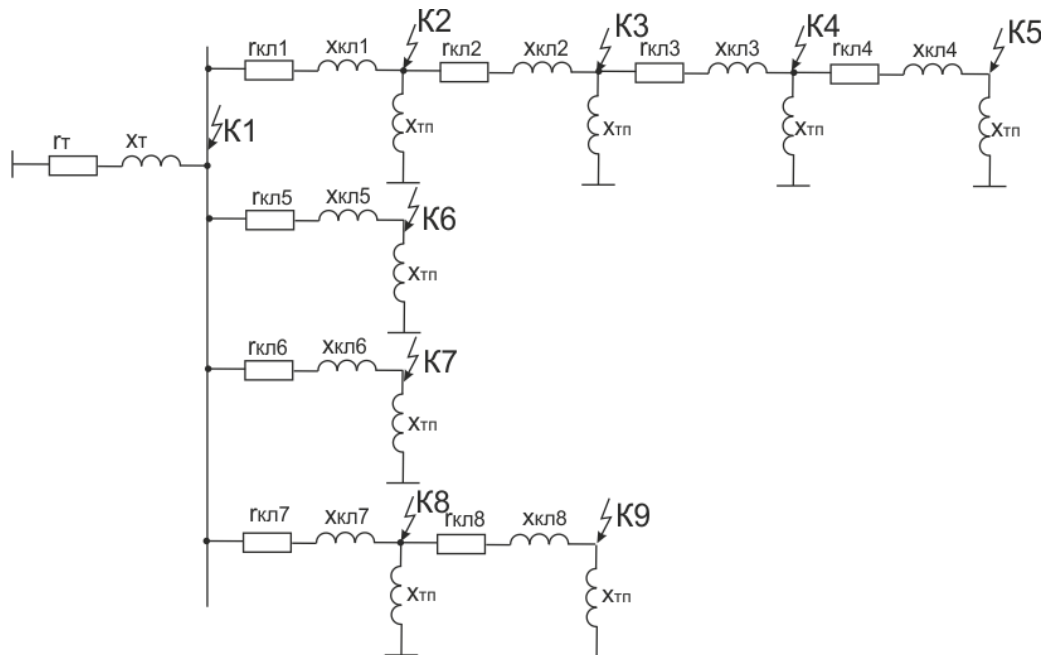


Рис.6.2. Схема заміщення мережі для розрахунку струмів $K3$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Расчет производится для схемы САДОВСЬКИЙ

Токи КЗ в максимальном режиме						
N п/п	Начало	Конец	Z трассы (к Ун Вн)	I кз 3-фазн.	I кз удар.	
-	-	-	[Ом]	[Ом]	[кА]	[кА]
1	0	1	.068	.632	10.0215	24.2106
2	1	ТР1	.083	.640	9.7903	23.0339
	НН	ТР1	.002	.008	26.6048	56.7116
3	ТР1	ТР2	.093	.644	9.6321	22.2411
	НН	ТР2	.002	.009	26.5621	56.5350
4	ТР2	ТР3	.112	.650	9.3955	21.0796
	НН	ТР3	.002	.008	26.4962	56.2574
5	ТР3	ТР4	.126	.652	9.1701	20.0243
	НН	ТР4	.002	.008	26.4310	55.9826
6	1	ТР5	.160	.655	8.7396	18.0834
	НН	ТР5	.002	.008	26.2997	55.4121
7	1	ТР6	.095	.641	9.6188	22.1092
	НН	ТР6	.002	.008	26.5604	56.5066
8	1	ТР7	.124	.645	9.2024	20.1101
	НН	ТР7	.002	.008	26.4425	56.0093
9	ТР7	ТР8	.140	.650	8.9861	19.1383
	НН	ТР8	.002	.008	26.3772	55.7362

Расчет производится для схемы САДОВСЬКИЙ

Токи КЗ в минимальном режиме						
N п/п	Начало	Конец	Z трассы (к Ун Вн)	I кз 3-фазн.	I кз 2-фазн.	
-	-	-	[Ом]	[Ом]	[кА]	[кА]
1	0	1	.055	.632	9.5151	8.2401
2	1	ТР1	.070	.642	9.2968	8.0515
	НН	ТР1	.002	.008	25.2182	21.8396
3	ТР1	ТР2	.080	.644	9.1470	7.9216
	НН	ТР2	.002	.008	25.1776	21.8044
4	ТР2	ТР3	.096	.648	8.9223	7.7271
	НН	ТР3	.002	.008	25.1153	21.7505
5	ТР3	ТР4	.112	.652	8.7082	7.5415
	НН	ТР4	.002	.008	25.0533	21.6968
6	1	ТР5	.147	.655	8.2984	7.1866
	НН	ТР5	.002	.008	24.9288	21.5890
7	1	ТР6	.081	.641	9.1328	7.9092
	НН	ТР6	.002	.008	25.1761	21.8032
8	1	ТР7	.113	.645	8.7377	7.5672
	НН	ТР7	.002	.008	25.0642	21.7063
9	ТР7	ТР8	.127	.650	8.5325	7.3893
	НН	ТР8	.002	.008	25.0025	21.6528

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Перетин жил кабелів вибираємо згідно [10] за економічною густиною струму

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (6.4)$$

де $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$

Перевірку правильності обраних перерізів здійснюємо за умовами:

$$1. I_{роб.форс.} \leq I_{доп} \quad (6.5)$$

$$2. F_{min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (6.6)$$

де C – тепловий коефіцієнт, для алюмінію $C=91 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$

Для прикладу покажемо вибір КЛ1 ГПП-ТП1. Розрахунковий струм в кабелі:

$$I_p = S_p / n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном} = 4854/2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 = 140 \text{ А}$$

Розрахунковий струм в кабелі в аварійному режимі:

$$I_{р.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 140 = 280 \text{ А}$$

Економічно доцільний переріз за формулою (6.4):

$$F_{ек} = I_p / j_{ек} = 140/1,25 = 112 \text{ мм}^2,$$

де $j_{ек} - 1,25$ визначене згідно [10]

Приймаємо кабель ААШв (3х240): $F = 240 \text{ мм}^2$, $I_{доп} = 355 \text{ А}$. При роботі 2-х кабелів, прокладених в одній траншеї $k_n = 0,92$

Перевіряємо вибраний переріз за струмом навантаження в нормальному режимі

$$I_p \leq k_n \cdot I_{доп} \quad : \quad 140 \text{ А} < 0,92 \cdot 355 = 327 \text{ А}$$

Перевіряємо кабель по умові роботи в аварійному режимі

$$I_{р.ав} \leq k_{ап} \cdot k'_n \cdot I_{доп} \quad : \quad 280 \text{ А} < 1,25 \cdot 1 \cdot 355 = 444 \text{ А},$$

де $k_{ап} = 1,25$ - коефіцієнт аварійного перевантаження при попередньому завантаженні $k_3 = I_p / (k_n \cdot I_{доп}) = 140 / (0,92 \cdot 355) = 0,43$;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$k'_n = 1$ - коефіцієнт, що враховує кількість працюючих кабелів в аварійному режимі, при двох кабелях.

Мінімальна площа перерізу за вимогами термічної стійкості:

$$F_{\min} = \sqrt{B_k / C} = \sqrt{133,78 \cdot 10^6 / 94} = 124 \text{ мм}^2$$

Таким чином обраний кабель задовольняє усім умовам. За цією ж аналогією здійснюємо вибір інших кабелів, а дані розрахунків зводимо до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 Вибір кабелів 10 кВ.

№ КЛ	S _p , кВА	n	I _p , А	I _{p.ав} , А	F _{ек} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	B _к , кА ² ·с	F _{min} , мм ²
КЛ-1	4854	2	140	280	112	ААШВ(3х240)	355	133,78	123
КЛ-2	3958	2	120	240	96	ААШВ(3х150)	275	108,5	110
КЛ-3	2800	2	80	160	64	ААШВ(3х95)	205	81,5	94
КЛ-4	1350	2	40	80	32	ААШВ(3х95)	205	78,4	92
КЛ-5	652	1	37	37	30	ААШВ(3х95)	205	65,6	87
КЛ-6	1255	2	35	70	28	ААШВ(3х95)	205	73,2	90
КЛ-7	3211	2	95	190	76	ААШВ(3х95)	205	75,4	91
КЛ-8	1605	2	48	96	38	ААШВ(3х95)	205	72,1	90

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір вимикачів

Вибір вимикачів виконується за такими параметрами:

- по напрузі

$$U_{вст} \leq U_{ном} \quad (6.7)$$

- по тривалому струму

$$I_{ном} \leq I_{ном}; I_{роб.форс} \leq I_{ном} \quad (6.8)$$

- по відключаючій здатності

$$I_{п.т} \leq I_{відк.ном} \quad (6.9)$$

$$i_{a.т} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} * I_{відк.ном} * (1 + \beta_n) \quad (6.10)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $i_{a.ном}$ – номінальне припустиме значення періодичної складової у струмі відключення для часу τ ;

β_n – нормоване значення аперіодичної складової у струмі відключення;

$i_{a.\tau}$ - аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача τ ;

τ - найменший час від початку процесу КЗ до моменту розходження дугогасних контактів вимикача;

$$\tau = t_{з.мін} + t_{в.в} \quad (6.11)$$

де $t_{з.мін} = 0,015$ с – мінімальний час дії релейного захисту [9];

$t_{в.в}$ - власний час відключення вимикача.

Якщо умова (6.9) виконується, а (6.10) не виконується, то дозволяється проводити перевірку по відключаючій здатності за повним струмом КЗ:

$$(\sqrt{2}I_{н.\tau} + i_{a.\tau}) \leq \sqrt{2}I_{вкл.ном} (1 + \beta_n) \quad (6.12)$$

По включаючій здатності перевірка виконується за умовою:

$$i_y \leq i_{вкл}; I_{н.о.} \leq I_{вкл} \quad (6.13)$$

де i_y - ударний струм КЗ у колі вимикача;

$I_{н.о.}$ - початкове значення періодичної складової струму КЗ;

$I_{вкл}$ - номінальний струм включення;

$i_{вкл}$ - найбільший пік струму включення.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється за граничним наскрізним струмом КЗ.:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{н.о.} \leq I_{зр.ск}; i_y \leq i_{зр.ск} \quad (6.14)$$

На термічну стійкість вимикач перевіряється за тепловим імпульсом КЗ:

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер} \quad (6.15)$$

де B_k - тепловий імпульс струму КЗ;

$I_{тер}$ - струм термічної стійкості;

$t_{тер}$ - час протікання струму термічної стійкості.

На вводі 35 кВ ГЗП підприємства передбачається встановлення вакуумних вимикачів ВБЗЕ – 35.

Розрахунки по вибору та перевірці вимикачів приведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Вибір вимикачів 35 кВ на вводах.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
158А	$I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$	1000 А
7,17 кА	$I_K \leq I_{динс}$	26 кА
16,8 кА	$i_y \leq 1,8 * \sqrt{2} * I_{динс}$	66,185 кА
7,17 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\,відкл}$	16 кА
$\sqrt{2} * 7,07 + 0,077 = 11,467$	$\sqrt{2} * I_{ном\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} * I_{н\,відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} * 16 * (1 + 0,3) = 29,416 \text{ кА}$
$B_k = I_K^2 * t_{спр\,зах} = 7,07^2 * 2,124 = 137,8 \text{ кА}^2 * \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	$26^2 * 3 = 2028 \text{ кА}^2 * \text{с}$

На вводах ГЗП 10 кВ підприємства приймаємо до встановлення розподільчі комірки типу КУ-10Ц, які комплектуються вакуумними вимикачами ВР-1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3 Вибір вимикачів 10 кВ.

Параметри мережі	Умови вибору	Параметри вимикача
10 кВ 280 А 560 А 6,94 кА $i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п.о.} \cdot e^{-\tau/T} = \sqrt{2} \cdot 6,95 \cdot e^{-0,065/0,045} = 3,56$ кА 16,13 кА 6,94 кА 16,12 кА $B_k = I_{п.о.}^2 \cdot (t_{відк.} + T_a) = 6,95^2 \cdot (2,55 + 0,26) = 133,88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{вст} \leq U_{ном}$ $I_{ном} \leq I_{ном}$ $I_{max} \leq I_{ном}$ $I_{п.\tau} \leq I_{відк.ном}$ $i_{a.\tau} \leq i_{a.ном}$ $i_y \leq i_{вкл.}$ $I_{п.о} \leq I_{вкл.}$ $I_{п.о} \leq I_{гр.ск.}$ $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	10 кВ 630 А 630 А 20 кА $i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{відк.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,31 \text{ кА}$ 52 кА 20 кА 52 кА $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

На фідерах 10 кВ мережі встановлюються ті ж самі вимикачі

Вибір роз'єднувачів 35 кВ виконується у вигляді таблиці 6.4. Для встановлення приймаються роз'єднувачі типу РНДЗ – 1,2 – 35/1000.

Таблиця 6.4. Вибір роз'єднувачів 35 кВ.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри роз'єднувача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
158 А	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	1000 А
16,18	$i_y \leq i_{динс}$	64 кА
$B_k = I_k^2 \cdot t_{сп.зах} = 8,054^2 \cdot$ $\cdot 2,124 = 137,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибір трансформаторів власних потреб

Потужність трансформаторів власних потреб (ТВП) вибирається згідно до навантаження власних потреб із урахуванням коефіцієнтів завантаження та попиту.

Розрахункове навантаження ТВП:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)}, \quad (6.16)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K_C – коефіцієнт попиту, що враховує коефіцієнти одночасності та завантаження ($K_C = 0,8$).

Потужність ТВП обираємо за умовою:

$$S_{mp} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} \quad (6.17)$$

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

$$S_{розр} = K_C * \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)} = 0,8 * \sqrt{26^2 + 0^2} = 21 \text{ кВ} * A$$

Потужність трансформатора:

$$S_{mp} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{21}{1,4} = 14,8 \text{ кВ} * A;$$

Вибираємо трансформатор ТМ – 40/10 із наступними параметрами:

$$S_{ном} = 40,0 \text{ кВА}, U_{вн} = 10 \text{ кВ}, U_{нн} = 0,4 \text{ кВ},$$

Коефіцієнт завантаження:

$$K_z = \frac{S_{роз}}{S_{ном}} = \frac{26}{40} = 0,65.$$

Таблиця 6.4. Навантаження власних потреб ЦРП

№ п/п	Споживач	Потужність, кВт
1	Обігрів кімнат КРП 10 кВ.	8×1
2	Освітлення, опалення і вентиляція приміщення ЗРУ	10
3	Навантаження яке споживають оперативні кола	2,0
1	Електродвигуни обдуву силових трансформаторів.	4×1,5
Всього		26

Вибір трансформаторів струму

На вводі 10 кВ приймаємо до встановлення вимірювальні трансформатори струму типу ТЛК-10 з такими параметрами: $K_T=300/5$, $Z_{2ном}=0,4 \text{ Ом}$ в класі точності 0,5.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіряємо обрані трансформатори по нормальному та максимальному струму:

$$I_{\text{норм}} \leq I_{1 \text{ ном}} : 140 \text{ A} < 300 \text{ A}$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{1 \text{ ном}} : 280 \text{ A} < 300 \text{ A}$$

по електродинамічній стійкості:

$$i_y \leq i_{\text{дин.}} : 7,38 \text{ кА} < 52 \text{ кА}$$

по термічній стійкості:

$$B_k \leq I_{\text{тер.}}^2 \cdot t_{\text{тер.}} : 29,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

по вторинному навантаженню:

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном}}$$

Визначимо навантаження по фазах на трансформатор струму (табл.6.5.).

Таблиця 6.5.

Прилад	Тип	Навантаження фази, В•А		
		А	В	С
Амперметр	Э378	0,1	-	-
Багатофункціональний лічильник	A1R-3-OL-C2-T	3,6	-	3,6
Всього		3,7	0	3,6

Найбільш завантаженим трансформатором струму є ТС фази А.

Загальний опір приладів:

$$r_{\text{прил.}} = S_{\text{прил.}} / I_2^2 = 3,7 / 5^2 = 0,149 \text{ Ом.}$$

Допустимий переріз проводів:

$$r_{\text{пр.}} = Z_{2 \text{ ном}} - r_{\text{прил}} - r_k = 0,4 - 0,149 - 0,1 = 0,151 \text{ Ом}$$

де $r_k = 0,1 \text{ Ом}$ - опір контактів.

Приймаємо кабель з мідними жилами ($\rho = 0,0175$) орієнтовною довжиною 6 м (10). Трансформатори струму з'єднані в неповну зірку, тому

$$l_{\text{розр.}} = \sqrt{3} \cdot 6 = 10,4 \text{ м, тоді переріз проводу:}$$

$$q = (\rho \cdot l_{\text{розр.}}) / r_{\text{пр.}} = (0,0175 \cdot 10,4) / 0,152 = 1,20 \text{ мм}^2.$$

За умовою міцності мідні проводи повинні бути перерізом не менше 2,5 мм², тому приймаємо $q = 2,5 \text{ мм}^2$. Тоді опір проводів:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{\text{пр.}} = (\rho \cdot l_{\text{розр.}}) / q = 0,0175 \cdot 10,4 / 2,5 = 0,072 \text{ Ом.}$$

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{прил.}} + r_{\text{пр.}} + r_k = 0,148 + 0,072 + 0,1 = 0,322 \text{ Ом.}$$

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном}} : 0,322 \text{ Ом} < 0,4 \text{ Ом}$$

На фідерах, що відходять від шин підстанції до споживачів встановлюємо трансформатори струму ТЛК-10 із параметрами: $k_T = 100/5$; $Z_{2 \text{ ном}} = 0,4 \text{ Ом}$

$$i_y \leq i_{\text{дин.}} : 7,38 \text{ кА} < 52 \text{ кА}$$

$$W_k \leq I_{\text{тер.}}^2 \cdot t_{\text{тер.}} : 28 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Визначаємо навантаження по фазам на трансформатор струму (табл.6.6.).

Таблиця 6.6 Вторинне навантаження трансформатора струму на фідерах

Прилад	Тип	Навантаження фази, В•А		
		А	В	С
Амперметр	ЭЗ78	0,1	-	-
Ватметр	ДЗ66	0,5	-	0,5
Варметр	ДЗ66	0,5	-	0,5
Лічильник активної енергії	ЦЭ 6803В/1 1Т 100В 5-7,5А	0,1	-	0,1
	М6Р32			
Лічильник реактивної енергії	ЦЭ 6811 2Н 100В 5-7,5А	0,3	-	0,3
Всього		1,5	0	1,4

Найбільш завантаженою фазою є фаза А. Для неї загальний опір приладів:

$$r_{\text{прил.}} = S_{\text{прил.}} / I_2^2 = 1,5 / 5^2 = 0,090 \text{ Ом.}$$

Допустимий переріз проводів:

$$r_{\text{пр.}} = Z_{2 \text{ ном}} - r_{\text{прил.}} - r_k = 0,4 - 0,09 - 0,1 = 0,210 \text{ Ом}$$

де $r_k = 0,1 \text{ Ом}$ - опір контактів.

$$q = (\rho \cdot l_{\text{розр.}}) / r_{\text{пр.}} = (0,0175 \cdot 10,39) / 0,21 = 0,860 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо кабель з мідними жилами ($\rho = 0,0175$) орієнтовною довжиною 7 м (10). Трансформатори струму з'єднані у неповну зірку, тому

$$l_{\text{розр.}} = \sqrt{3} \cdot 7 = 10,5 \text{ м. Приймаємо } q = 2,5 \text{ мм}^2, \text{ тоді}$$

$$r_{\text{пр.}} = (\rho \cdot l_{\text{розр.}}) / q = 0,0175 \cdot 10,5 / 2,5 = 0,075 \text{ Ом.}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{прил}} + r_{\text{пр.}} + r_k = 0,09 + 0,075 + 0,1 = 0,265 \text{ Ом.}$$

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном}} : 0,265 \text{ Ом} < 0,4 \text{ Ом.}$$

Вибір трансформаторів напруги

Вибираємо для встановлення на ГЗП трансформатори напруги типу НАМИ-10 66УЗ, які мають номінальну потужність 75 В·А в класі точності 0,5. Перевіряємо по вторинному навантаженню.

Таблиця 6.9. Вторинне навантаження трансформатора напруги.

Прилад	Тип	S обмотки, В·А	Кількість обмоток	Cosφ	Sinφ	Кількість приладів	P _Σ , кВт	Q _Σ , квар
Вольтметр	Э377	2	1	1	0	1	2	0
Лічильник типу "Альфа"	A1R-3-OL-C2- Т	1,6 1,5	2 2	0,92 1	0,39 0	1 2	3,32 6	1,4 0
Ватметр	Д365	1,5	2	1	0	2	6	0
Варметр	Д365							
Лічильник активної енергії	ЦЭ 6803В/1 1Т 100В 5-7,5А М6Р32	2	2	0,25	0,96	5	4,5	17,46
Лічильник реактивної енергії	ЦЭ 6811 2Н 100В 5-7,5А	1	2	0,25	0,97	5	4,5	17,46
Всього							26,4	36,3

Вторинне навантаження трансформатора напруги:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2)} = \sqrt{(26,4^2 + 36,3^2)} = 44,5 \text{ В·А}$$

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}} : 44,5 \text{ В·А} < 75 \text{ В·А.}$$

Таким чином, вибраний трансформатор напруги може функціонувати в класі точності 0,5.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

7. Спеціальний розділ роботи

Імпульсні перешкоди в електричних мережах при перехідних процесах

Імпульсні перешкоди у ланцюгах вторинної комутації виникають через такі збурення в первинних ланцюгах:

- короткі замикання на землю у високовольтних ланцюгах;
- комутації роз'єднувачами, короткозамикачами і вимикачами у високовольтних ланцюгах, а також роботою розрядників.

Під час комутацій і коротких замикань на землю в високовольтних ланцюгах виникає перехідний процес, який призводить до розряду ємностей обладнання та шин на землю. Через заземлювач протікає імпульсний струм високої частоти, викликаючи імпульсний підйом потенціалу на заземлювальному пристрої обладнання і в місці короткого замикання. Цей потенціал з певним коефіцієнтом ослаблення передається по кабелях на вхід пристроїв систем релейного захисту і технологічного управління.

Для визначення значень імпульсних перешкод проводяться імітаційні випробування. Високочастотну складову струму короткого замикання імітують за допомогою генератора високочастотних імпульсів (ГВЧІ).

Один вихід генератора підключають до заземлюючого провідника обладнання, до якого підключені кабелі від пристроїв систем релейного захисту, автоматики та технологічного управління, а інший вихід генератора заземлюють на відстані не менше 50 м від цього обладнання. В заземлення обладнання подають імпульсний струм (коливальний загасаючий імпульс) з амплітудою до 10А, декрементом коливань 3-5 і частотою коливань 0,5; 1,0 та 2,0 МГц). Під час цього процесу вимірюють імпульсні перешкоди на вводах пристроїв автоматичних та автоматизованих систем технологічного управління. Також визначають імпульсний потенціал заземлювального пристрою та імпульсний опір заземлення обладнання. Потенціал вимірюють

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відносно точки, розташованої на відстані не менше 50 м від місця введення струму в протилежному напрямку від точки заземлення генератора.

Висока частота зумовлює різко нерівномірний розподіл потенціалу на заземлюючому пристрої. І чим менший питомий опір ґрунту, тим швидше спадає потенціал на заземлювальному пристрої зі збільшенням відстані від точки введення струму. На відстані 50 м від точки вводу імпульсного струму потенціал зменшується більш ніж у 10 разів, навіть за питомого опору ґрунту 500 Ом•м.

На реальних же об'єктах частота коливань імпульсних перешкод може варіюватися від десятків кГц до десятків МГц. Вимірювання на трьох зазначених частотах дозволять встановити залежність рівня імпульсних перешкод від частоти.

Результати вимірювань під час імітації імпульсних перешкод дозволяють визначити реальне значення високочастотної складової струму короткого замикання (КЗ). А реальний струм визначається шляхом розрахунку перехідного процесу на шинах розподільного пристрою під час комутацій і коротких замикань на землю.

Наближену оцінку можна виконати гаступним образом.

Отриману при вимірах напругу множать на так званий коефіцієнт перерахунку:

$$K_{пер} = I_{реал} / I_{измер} \quad (7.1)$$

де $I_{реал}$ - реальний струм з устаткування контур заземлення при комутаціях або однофазному короткому замиканні на землю;

$I_{измер}$ - струм отриманий при вимірюваннях в даних точках підключення ГВЧІ.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.1 Струми $I_{\text{реал}}$ при однофазних коротких замиканнях на п/ст різних класів напруг, кВ

	Номінальна напруга, кВ									
	110		150				330		750	
Кількість фідерів	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
Струм КЗ на підстанціях з розрядниками й ОПН	0,49	1,8	0,96	3,9	1,16	6,3	2,76	11,1	4,74	19,1
Максимальний струм при комутаційних процесах	0,226		0,451		0,771		1,451		2,451	
Найбільш вірогідне значення струму при комутаційних процесах	0,036		0,091		0,230		0,501		0,851	

На діючому об'єкті не завжди вдається повністю здійснити вимірювання на клемах пристроїв релейного захисту, автоматики та системи технологічного управління. У таких випадках вимірювання доповнюються розрахунками. Визначають параметри високочастотної складової струму короткого замикання (амплітуду і частоту) та перераховують отриманий імпульсний опір на реальну частоту.

Потім необхідно розрахувати синфазні напруги на вході пристрою РЗА відповідно до зображеної схеми заміщення (рис. 7.1).

При комутаціях первинного обладнання та при однофазному КЗ по ошиновці розподільного пристрою протікають імпульсні струми.

Електромагнітні поля, створювані цими струмами, взаємодіють з кабелями ланцюгів вторинної комутації, що призводить до наведення імпульсних перешкод у них. Найвищий рівень польових перешкод може спостерігатися при виникненні короткого замикання на шинах високої напруги. Визначення імпульсних польових перешкод проводиться наступним чином.

Розрахунковим шляхом визначають самі небезпечні види комутацій.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

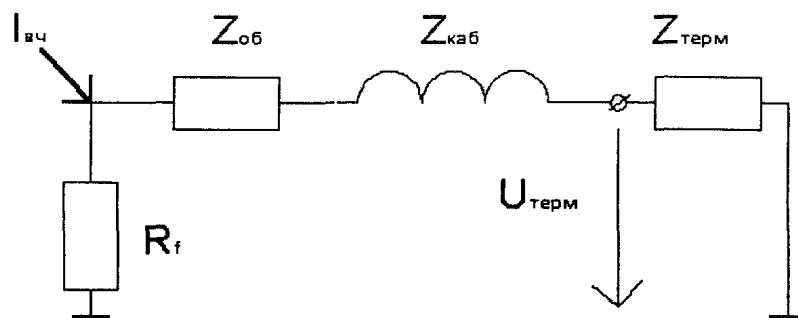


Рис. 7.1. Схема заміщення для розрахунку синфазної напруги при 1-му КЗ на шинах об'єкту дослідження

$I_{вч}$ – високочастотна складова струму КЗ;

R_f – імпульсний опір заземлення обладнання;

$Z_{об}$ – вхідний опір відносно землі;

$Z_{каб}$ – опір контрольного кабелю;

$Z_{терм}$ – вхідний опір терміналу.

На об'єкті виконують імітацію комутаційних процесів за допомогою генератора високочастотних імпульсів та контрольного проводу, прокладеного вздовж траси вторинних кабелів.

Визначають реальний коефіцієнт екранування завад щодо сусідніх кабелів. Вимірюють перешкоди на кабелях захисту та на контрольному проводі під час реальних комутацій, порівнюють отримані результати з розрахунковими даними. У разі розбіжностей між результатами розрахунків і вимірювань вносять корективи до розрахункової моделі.

Після проведення зазначених розрахунків остаточно визначають максимальні значення перешкод аналізованого типу.

Узагальнено, до пристроїв автоматичних та автоматизованих систем технологічного управління надходить загальна імпульсна перешкода, що виникає від стрибка потенціалу на землі та електромагнітного поля. Зазвичай на реальних об'єктах одна із цих складових суттєво переважає над іншою. Тому імітація імпульсних перешкод, які надходять по землі та викликані

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагнітним полем, може проводитися окремо. У випадках, коли ці перешкоди порівнюються за амплітудою, їх імітувати одночасно.

Імпульсні перешкоди при попаданнях блискавки

При ударі блискавки в об'єкт можливі такі наслідки:

- польові наведення на контрольних кабелях та вплив імпульсних магнітних полів на обладнання;
- термічний вплив струму блискавки на заземлюючі провідники, оболонки та екрани кабелів;
- Зворотні перекриття з землі на кабелі.

Визначення рівнів польових перешкод, що наводяться в кабелях, виконують розрахунковим шляхом.

Параметри струму блискавки для розрахунку вибираються відповідно до рекомендацій МЕК 1312-1:

При розрахунках розподілу потенціалу приймають максимальне значення імпульсу струму $I_m = 100$ кА, тривалість фронту імпульсу $t_{фр} = 10$ мкс; при розрахунках наведених напруги на кабелях - $I_m = 25$ кА, $t_{фр} = 0,25$ мкс.

Польові наведення можна заздалегідь оцінити за потужністю випромінювання джерела наведення. Використовуємо вираз для потужності випромінювання дипольних антен.

$$P = \frac{(I \cdot l \cdot \omega)^2}{12\pi \cdot \epsilon_0 \cdot c^3} \quad (7.2)$$

де I – амплітуда струму;

l – довжина антени;

ω – кутова частота;

ϵ_0 – електрична константа;

c – швидкість світла.

Для струму блискавки еквівалентну частоту можна визначити як

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega \approx \frac{\pi}{2 \cdot \tau} \quad (7.3)$$

де τ - час наростання струму блискавки.

Для відкритих розподільчих пристроїв визначають рівень напруги, що наводяться в кабелях вторинної комутації при ударах блискавки в блискавководводи, розташовані поблизу трас прокладки кабелів. Для будівель та споруд визначають напруги, що наводяться в кабелях при протіканні струму блискавки по струмовідводах блискавкоприймача будівлі.

При розрахунках необхідно враховувати коефіцієнт екранування електромагнітного поля блискавки, так як зазвичай використовуються екрановані кабелі, прокладені в кабельних каналах або коробах.

Принцип дії екрану полягає в тому, що електромагнітне поле індукуює в екрані струм, магнітне поле якого компенсує поле, яке саме й впливає на процес.

Залежно від співвідношення довжини кабелю l та довжини електромагнітної хвилі λ цей струм замикається різними шляхами. При $\lambda > l$ струм у екрані замикається через заземлення на кінцях екрана і ґрунт, а при $\lambda < l$ - безпосередньо в самому екрані.

Удар блискавки генерує наведення з частотою ~ 1 МГц, що відповідає довжині хвилі $\lambda \approx 300$ м. Протяжність більшості кабельних ліній вторинних ланцюгів не перевищує цієї величини, тобто струм в екрані замикається через провідники і ґрунт. Методика розрахунку коефіцієнтів екранування цього випадку полягає у наступному. Коефіцієнт екранування $k \geq 1$ для лінії із заземленням з обох сторін екраном визначається із загального виразу:

$$k = \frac{R_G + R_3 + j\omega L_3}{Z_t l + j\omega L_g} \quad (7.4)$$

де l - протяжність системи;

$Z_t = (R_3 + j\omega L_t)/l$ - погонний передавальний опір;

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

R_3 - активний опір екрану;

$L_t = M_{13} - L_3$ - передавальна індуктивність;

L_3 індуктивність екрану;

M_{13} - взаємодійність між екраном та жилою кабелю;

R_G - опір шляху протікання струму в землі;

L_g - власна індуктивність заземлюючих провідників екрану.

На рис. 7.1. наведено залежності коефіцієнтів екранування кабельного екрану з міді, сталевго короба і кабельного каналу зі сталевю арматурою від частоти зовнішнього поля.

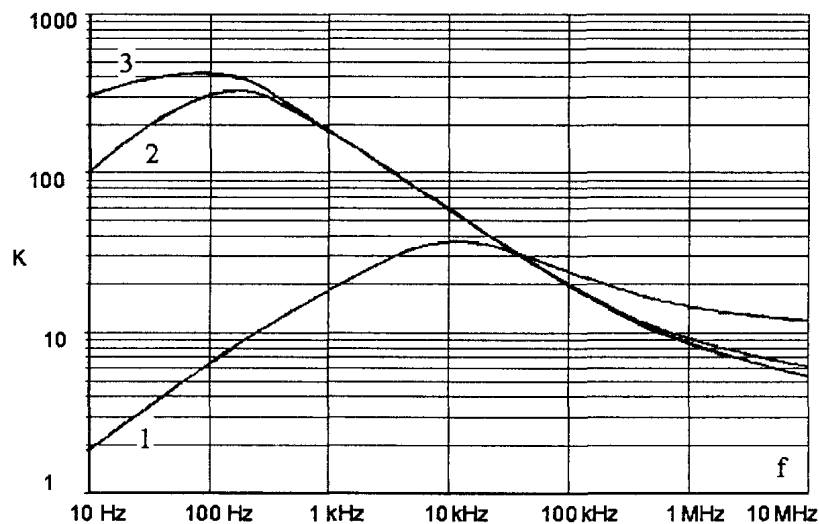


Рис. 7.1. Розрахункові коефіцієнти екранування

1- кабель; 2-короб; 3-кабельний канал

Імпульсні переешкоди радіочастотного діапазону

Проводять вимірювання радіочастотних полів на місцях, де встановлені пристрої автоматичного та автоматизованого управління технологічними системами, у діапазоні частот від 1 до 1000 МГц. Також вимірюють напруженість електромагнітного поля від переносних та стаціонарних радіопередавачів, які використовує персонал енергетичного об'єкта. Досліджують залежність напруженості поля від відстані до джерела

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювання та ефекту ослаблення поля штучними перешкодами, такими як стіни, екрани, корпуси шаф тощо.

Для оцінки перешкод у радіочастотному діапазоні часто користуються селективними високочастотними вольтметрами, які оснащені відповідним набором антен. Для сигналів з вертикальною поляризацією у діапазоні 26-300 МГц можна використовувати біконічні антени з круговою діаграмою спрямованості та вхідним опором 50 Ом. Для сигналів із горизонтальною поляризацією рекомендується використовувати дипольні антени із вхідним опором 50 Ом. Для точних вимірювань важливе правильне узгодження антенно-фідерного тракту з вольтметром на всьому діапазоні вимірюваних частот. Коефіцієнт стоячої хвилі напруги повинен перевищувати 3 для забезпечення надійності вимірів.

Використання спектроаналізаторів для вимірювання радіочастотних сигналів дозволяє швидко відобразити частотний спектр перешкод у вигляді графіка.

Електромагнітні поля промислової частоти

Вимірювання магнітних полів частотою 50 Гц проводять у звичайних режимах на місцях розташування пристроїв автоматичного та автоматизованого управління технологічними системами, а також на розподільчому пристрої високої напруги вздовж маршруту кабелів за допомогою вимірювача магнітного поля (наприклад, за допомогою ІПМ-50/200/400, що входить до комплекту КДЗ-1).

Для режиму однофазного короткого замикання на шинах високої напруги використовується метод розрахункової оцінки рівня напруженості магнітних полів. Цей метод застосовується для сценаріїв однофазних коротких замикань на шинах високої напруги, що виникають неподалік від місця розташування пристроїв систем релейного захисту, автоматики та технологічного управління. Наближені оцінки проводяться за допомогою певної формули.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$H = I_{\text{кз}} / 2\pi r \quad (7.5)$$

де r – відстань до шин, по яким протікає струм однофазного КЗ $I_{\text{кз}}$.

Точні розрахунки проводять за спеціальною програмою. У випадках, коли поблизу місць розташування пристроїв автоматичного та автоматизованого управління технологічними системами знаходяться реактори або трансформатори, проводять вимірювання напруженості магнітного поля в нормальному режимі і конвертують її у величину струмів короткого замикання. Наближений розрахунок поля, яке утворюється вздовж вісі реактора, може бути виконаний за виразом:

$$H = \frac{I \cdot n}{2} \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{1,5}} \quad (7.6)$$

где r - радіус реактора;

x - відстань від вісі реактора до точки вимірювання;

I - струм у реакторі;

n - число витків.

Перешкоди, пов'язані зі збуреннями в ланцюгах живлення низької напруги

До основних періодичних завад у колах постійного струму належить змінна складова напруги (пульсації) і кондуктивні перешкоди радіочастотного діапазону. До імпульсних перешкод у колах постійного струму належать перешкоди, що виникають під час спрацьовування реле, електромагнітів, приводів силових вимикачів, автоматів у колах постійного струму. До основних періодичних завад у колах живлення змінного струму відносяться гармонійні складові напруги. До імпульсних завад у колах постійного струму відносять завади, що виникають під час комутацій автоматичними вимикачами в цих колах.

У нормальних режимах, таких як стаціонарні режими роботи силового обладнання, режим спрацьовування реле в апаратурі автоматичних і автоматизованих систем технологічного управління, а також режими

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрацьовування автоматичних вимикачів у живленні і електромагнітних приводів силових вимикачів напруги 6-10 кВ, проводяться короточасні вимірювання. Під час вимірювань у стаціонарних режимах аналізують характеристики пульсацій або коефіцієнт синусоїдальності.

Вимірювання перешкод, що виникають при спрацьовуванні реле, проводять при примусовому спрацьовуванні, наприклад, при випробуванні силових вимикачів, перевірці захистів. У цьому випадку перешкоди вимірюють у панелях (шафах), де спрацьовують реле.

Вимірювання перешкод, які виникають під час спрацьовування автоматичних вимикачів у ланцюгах живлення, проводяться під час комутацій у силових складаннях, на щиті власних потреб та щиті постійного струму. Перешкоди реєструються у місцях, де встановлена апаратура систем релейного захисту та технологічного управління.

Вимірювання перешкод у колах оперативного струму при спрацьовуванні електромагнітних приводів силових вимикачів здійснюються у місцях, де встановлена апаратура систем релейного захисту та технологічного управління. Під час цих вимірювань можуть виконуватися комутації вимикачами на холостому ході. Особлива увага приділяється цьому виду перешкод, особливо коли живлення апаратури релейного захисту, технологічного управління та приводів вимикачів здійснюється від однієї системи шин. Здійснюється тривала реєстрація з метою визначення діапазону характеристик перешкод у тривалих режимах роботи.

У цьому типі вимірювань визначають амплітуду змінних і імпульсних перешкод у ланцюгах постійного струму, а також гармонійні складові і імпульсні перешкоди у ланцюгах змінного струму. Вимірювання проводяться у тих же ланцюгах, що і короточасна реєстрація. Для цього використовуються спеціалізовані реєстратори параметрів якості електричної енергії або самописці, тривалість яких становить не менше одного тижня.

На основі результатів вимірювань та розрахунків складають протокол, в якому порівнюють рівні електромагнітних збурень, які впливають на

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи автоматичного та автоматизованого управління технологічними процесами, з випробувальними значеннями для пристроїв цих систем і кабелів вторинної комутації. На основі цього порівняння роблять висновок про стійкість систем автоматичного та автоматизованого управління технологічними процесами до зовнішніх перешкод.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного проєктування системи електропостачання ремонтно-механічного підприємства можна зробити наступні висновки:

Аналіз потреб підприємства: Проведений докладний аналіз енергопотреб, який включав у себе оцінку потужностей різноманітного обладнання та машин, визначив основні вимоги до системи електропостачання.

Проектування системи електропостачання: На основі отриманих даних була розроблена оптимальна система електропостачання, яка відповідає потребам підприємства і враховує принципи ефективності та безпеки.

Забезпечення стабільності роботи: Розроблена система має дублювання та резервування елементів, що забезпечує стабільну роботу навіть в умовах аварій або непередбачених обставин.

Безпека та відповідність стандартам: Розроблена система відповідає всім необхідним стандартам безпеки та нормативам, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання та устаткування.

Загалом, проєктування системи електропостачання ремонтно-механічного підприємства було проведено компетентно і з урахуванням всіх необхідних аспектів, що забезпечує надійну, ефективну та безпечну роботу підприємства.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В.]; – М.-во освіти і науки України, Центральноукр. Нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив –Систем», 2021. – 209 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник –Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. – 408 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
4. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
7. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
8. Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ "В справі", 2016. — 260 с.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.
10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		