

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання фабрики
збагачення кварцового піску»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–22мб

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Максим ФІЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____ Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

« _____ » _____ 2025 р.

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

Філенка Максима Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання фабрики збагачення кварцового піску *Development of a power supply system for a quartz sand enrichment factory*

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 03.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є проектування ефективної та надійної електричної інфраструктури, яка забезпечить безперебійне функціонування всіх технологічних процесів фабрики збагачення кварцового піску
Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної 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. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>03.02.25</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)</i>	<i>03.03.25</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>31.03.25</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>14.04.25</i>	
5	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>28.04.25</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>05.05.25</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>19.05.25</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>26.05.25</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>26.05.25</i>	

Дата видачі завдання

«03» лютого 2025 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«03» лютого 2025 р.

Підпис здобувача _____

Максим ФІЛЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 80 с.; 12 рис.; 41 табл.; 10 джерел.

Філенко М.М. Розроблення системи електропостачання фабрики збагачення кварцового піску. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОПІ «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне технічне обґрунтування системи електропостачання промислового об'єкта. Розглянуто основні принципи побудови систем електропостачання, визначено навантаження електроприймачів, обрано оптимальну конфігурацію електричної мережі з урахуванням надійності, енергоефективності та безпеки.

У спеціальному розділі роботи виконано дослідження енергетичних характеристик технологічного процесу на основі нелінійного кореляційного аналізу. Метою цього аналізу було виявлення закономірностей у споживанні електроенергії залежно від питомої встановленої потужності, що дозволяє оцінити ефективність енергоспоживання та оптимізувати роботу системи електропостачання. Отримані результати можуть бути застосовані для енергетичного аналізу та прогнозування споживання електроенергії на подібних підприємствах, а також для підвищення енергоефективності електротехнічних систем.

Ключові слова: система електропостачання, фабрика збагачення, енергетичні характеристики, кореляційний аналіз, поліном, метод Гауса, енергоефективність.

ABSTRACT

Qualification work: 80 p.; 12 fig.; 41 tables; 10 sources.

Filenko V. V. Development of a power supply system for a quartz sand enrichment factory. – Manuscript.

Bachelor's thesis on speciality 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

In this qualification work, a comprehensive technical justification of the power supply system for an industrial facility was carried out. The fundamental principles of designing power supply systems were considered, the loads of electrical consumers were determined, and an optimal configuration of the electrical network was chosen, taking into account reliability, energy efficiency, and safety.

In the special section of the work, the energy characteristics of the technological process were investigated using nonlinear correlation analysis. The purpose of this analysis was to identify patterns in electricity consumption depending on the specific installed capacity, which allows assessing energy consumption efficiency and optimizing the operation of the power supply system. The obtained results can be applied for energy analysis and forecasting electricity consumption at similar enterprises, as well as for improving the energy efficiency of electrical engineering systems.

Key words: power supply system, beneficiation plant, energy characteristics, correlation analysis, polynomial, Gaussian method, energy efficiency.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	11
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	11
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	14
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	16
1.4. Графіки електричних навантажень.....	20
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП)	25
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства	28
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	28
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	31
4. Компенсація реактивної потужності.....	33
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	33
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	34
5. Трансформаторні підстанції	43
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	43
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	44
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	46

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення системи електропостачання фабрики збагачення кварцового піску Development of a power supply system for a quartz sand enrichment factory	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		М. Філенко				5	80	
Перевір.		К. Петрова						
Н.контр.		К. Петрова				ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб		
Затв.		П. Плешков						

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- АД – асинхронні двигуни
ГЕН – графіки електричних навантажень фабрики
ЕЕ – електрична енергія
ЕН – електричне навантаження
КЗ – коротке замкнення
КП – компенсуючий пристрій
ПЛ – повітряна лінія електропередач
СЕП – система електропостачання
СД – синхронні двигуни

						Арк.

Таблиця 1.1. Визначення обсягів ел.нав. в мережі до 1000 В

Технологічні підрозділи	№ на плані	n	Р од		P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	tg φ	Зн.сер.зм. нав-ня		n_E	K_M	Зн. розр. нав.		
			min	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Цех гравітац. збагачення	1	46	20	300	4720	15,0	0,70	1,02	3304	3371	31	1,00	3304	3371	4720	
Цех дроблення і подрібнення	2															
а) 0,38 кВ		48	10	90	1810	9,0	0,40	0,88	724	639	40	1,21	877	639	1085	
Цех флотації (опцально)	3	138	5	500	6700	100.	0,7.	0,80	4690	3518	27	1,00	4690	3518	5863	
Цех магнітної сепарації	4															
а) 0,38 кВ		32	20	120	1020	6,0	0,7.	1,02	714	728	17	1,00	714	728	1020	
Сушильний цех	5	18	10	150	3990	15,0	0,5.	1,02	1995	2035	18	1,26	2518	2035	3237	
Цех підготовки до відвантаження	6	28	5	60	580	12,0	0,6.	0,48	348	169	19	1,19	414	169	447	
Цех сортування	7	156	2,5	30	890	12,0	0,50	0,88	445	392	59	1,13	504	392	639	
Всього по фабриці		466	2,5	500	19710	200	0,63	0,89	12220	10851	79	1,00	12220	10851	16343	

Зм

Арк

№ докум

Підпис

Дата

Арк.

Таблиця 1.3. Визначення ел. нав. для мережі > 1кВ

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного		P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Сер. знач.		n_E	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	16	17
ТП № 1, 2 (4,0 X1600)																
	Цех гравіт.збагачення															
1	Силове навантаження	46	20	300	4720	15	0,71	0,70	1,02	3304	3370,754	31	1	3304	3371	4720
	Освітлювальне навантаження									5,9	2,9			6,0	2,9	6,7
Всього по підприємках																
	Цех дроблення і подрібнення															
2	Силове навантаження	48	10	90	1810	9,0	0,40	0,75	0,89	724	638,508	40	1,21	877	639	1085
	Освітлювальне навантаження									1,8	3,1			1,7	3,0	3,4
Всього по дробильному відділенню																
	Силова по ТП 1-2	94	10	300	6530	30	0,62	0,71	1,00	4028,0	4009,3	44	1,00	4028,0	4009,3	5683,2
	Освітлювальна по ТП 1-2									7,7	6,0			7,7	5,9	9,7
	На шинях 0,4 кВ по ТП 1-2									4035,7	4015,2			4035,7	4015,1	5692,8
	Втр. в тр-рах ТП 1,2 (4x1000), Кз=0,6512													32,9	238,8	241,0
	На шинях 10 кВ для ТП 1,2													4068,6	4253,9	5886,4

1.4. Графіки електричних навантажень

Графіки електричних навантажень є важливим інструментом для аналізу режимів споживання електроенергії на підприємстві. Вони дозволяють оцінити зміну навантаження впродовж доби, зміни або року, що необхідно для оптимального вибору обладнання та режимів його роботи. У цьому підпункті розглядається побудова графіків навантажень та їх використання в процесі проектування системи електропостачання фабрики.

У табл.1.4. та 1.5 зведено інформацію для зручної побудови графіків ел. навантажень фабрики.

Таблиця 1.4. Погодинне значення ел. нав. добового графіка фабрики

№ з/п	Активна потужність		Реактивна потужність	
	$P_{РОБ}, \%$	$P_{ВИХ}, \%$	$Q_{РОБ}, \%$	$Q_{ВИХ}, \%$
1	74	37	74	37
2	74	36	74	36
3	74	36	74	36
4	74	36	74	36
5	82	36	82	36
6	82	37	82	37
7	82	27	82	27
8	82	27	82	27
9	82	27	82	27
10	82	27	82	27
11	91	27	91	27
12	96	27	96	27
13	96	27	96	27
14	96	27	96	27
15	96	27	96	27
16	86	37	86	37
17	86	37	86	37
18	86	37	86	37
19	100	37	100	37
20	100	37	100	37
21	100	37	100	37
22	88	37	88	37
23	86	37	86	37
24	86	37	86	37

Таблиця 1.5. Інформація для побудови ГЕН

№	Зим. сезон						Літн. сезон					
	дні роб.			дні вих.			дні роб.			дні вих.		
	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>
1	12297,5	5365	16321	6148,7	10730	8160	10452,8	4560,3	13872,5	5226,4	9120,5	6936,2
2	12297,5	5365	16321	5982,6	10730	8036	10452,8	4560,3	13872,5	5085,2	9120,5	6830,4
3	12297,5	5365	16321	5982,6	10730	8036	10452,8	4560,3	13872,5	5085,2	9120,5	6830,4
4	13626,9	5365	17344	5982,6	10730	8036	11582,9	4560,3	14742,7	5085,2	9120,5	6830,4
5	13626,9	5365	18085	5982,6	11890	8036	11582,9	4560,3	15372,2	5085,2	10106,5	6830,4
6	13626,9	5365	18085	6148,7	11890	8160	11582,9	4560,3	15372,2	5226,4	10106,5	6936,2
7	13626,9	3915	18085	4486,9	11890	5955	11582,9	3327,8	15372,2	3813,9	10106,5	5061,6
8	13626,9	3915	18085	4486,9	11890	5955	11582,9	3327,8	15372,2	3813,9	10106,5	5061,6
9	13626,9	3915	18085	4486,9	11890	5955	11582,9	3327,8	15372,2	3813,9	10106,5	5061,6
10	15122,6	3915	19237	4486,9	11890	5955	12854,2	3327,8	16351,5	3813,9	10106,5	5061,6
11	15953,5	3915	20703	4486,9	13195	5955	13560,5	3327,8	17597,7	3813,9	11215,8	5061,6
12	15953,5	3915	21173	4486,9	13920	5955	13560,5	3327,8	17996,7	3813,9	11832,0	5061,6
13	15953,5	3915	21173	4486,9	13920	5955	13560,5	3327,8	17996,7	3813,9	11832,0	5061,6
14	15953,5	3915	21173	4486,9	13920	5955	13560,5	3327,8	17996,7	3813,9	11832,0	5061,6
15	14291,7	3915	19950	4486,9	13920	5955	12147,9	3327,8	16957,8	3813,9	11832,0	5061,6
16	14291,7	5365	18967	6148,7	12470	8160	12147,9	4560,3	16122,1	5226,4	10599,5	6936,2
17	14291,7	5365	18967	6148,7	12470	8160	12147,9	4560,3	16122,1	5226,4	10599,5	6936,2
18	16618,2	5365	20777	6148,7	12470	8160	14125,5	4560,3	17660,1	5226,4	10599,5	6936,2
19	16618,2	5365	22055	6148,7	14500	8160	14125,5	4560,3	18746,6	5226,4	12325,0	6936,2
20	16618,2	5365	22055	6148,7	14500	8160	14125,5	4560,3	18746,6	5226,4	12325,0	6936,2
21	14624,0	5365	20594	6148,7	14500	8160	12430,4	4560,3	17504,9	5226,4	12325,0	6936,2
22	14291,7	5365	19159	6148,7	12760	8160	12147,9	4560,3	16285,2	5226,4	10846,0	6936,2
23	14291,7	5365	18967	6148,7	12470	8160	12147,9	4560,3	16122,1	5226,4	10599,5	6936,2
24	14291,7	5365	18967	6148,7	12470	8160	12147,9	4560,3	16122,1	5226,4	10599,5	6936,2

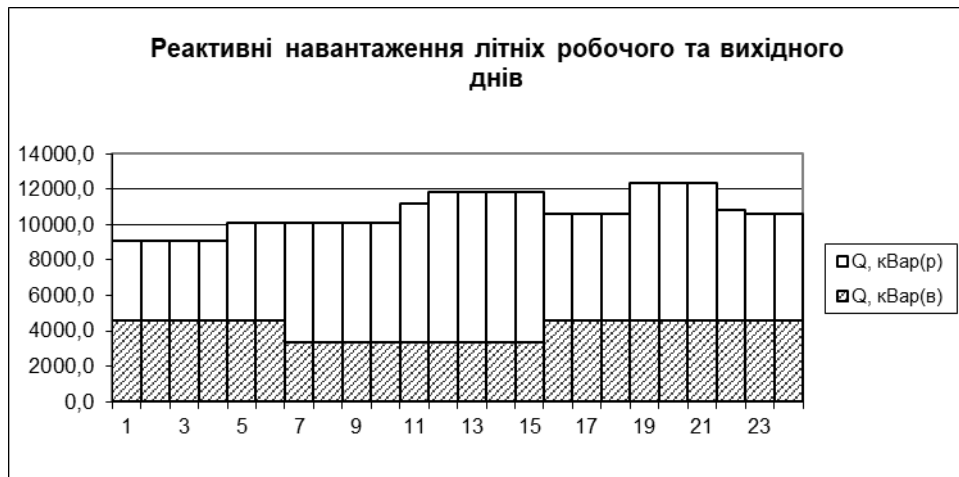


Рис. 1.4. Добові графіки літнього сезону (реактивне навантаження)

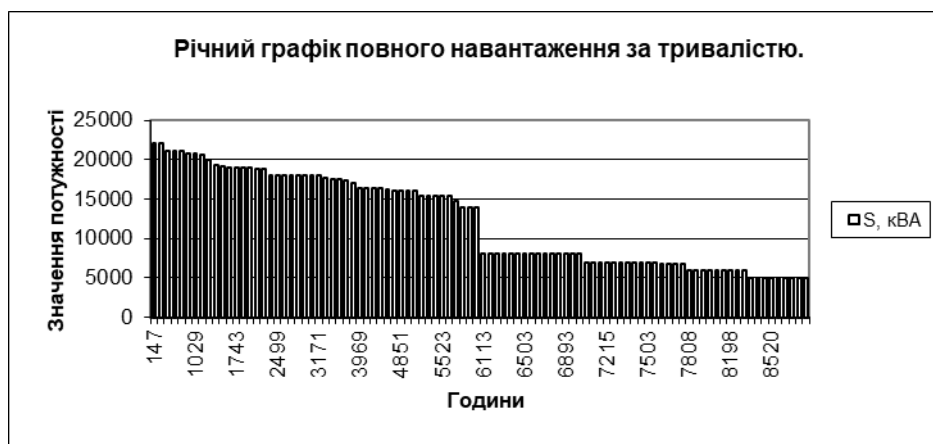


Рис. 1.5. Графік річного навантаження за тривалістю (активне навантаження)

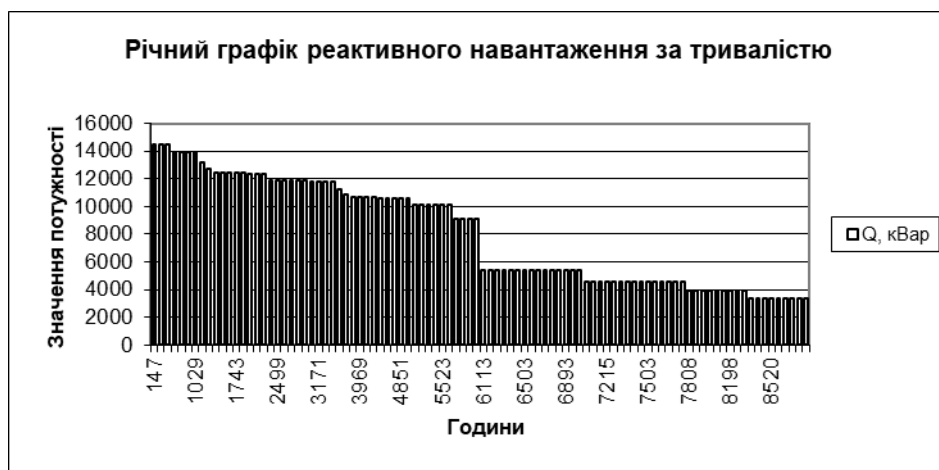


Рис. 1.6. Графік річного навантаження за тривалістю (реактивне навантаження)

Таблиця 2.1. Зведена інформація для побудови картограми навантажень виробничих підрозділів фабрики збагачення кварц.піску

№ з/п	Виробничий підрозділ	$P_{P_{свл}}$, кВт	$P_{P_{осе}}$, кВт	$P_{P_{Σ}}$, кВт	R , м	a	x , м	y , м	P_x , кВт·м	P_y , кВт·м
1	Цех гравіт. збагачення	3304,00	6,02	3310,02	45,90	0,65	24,0	126,0	79440,43	417062,27
2	Цех дроблення і подрібнення									
	а) 0,38 кВ	877,01	1,71	878,72	23,65	0,7	54,0	126,0	47451,05	110719,13
	б) 10,5 кВ (АД)	1125,0		1125,0	26,76	0,00	54,0	126,0	60750,00	141750,00
3	Цех флотації (опціонально)	4690,0	6,26	4696,26	54,68	0,48	98,0	106,0	460233,12	497803,17
4	Цех магнітної сепарації									
	а) 0,38 кВ	714,0	6,49	720,49	21,42	3,24	124,0	88,0	89340,81	63403,16
	б) 10,5 кВ (АД)	1125,000		1125,000	26,76	0,00	124,0	88,0	139500,0000	99000,0000
5	Сушильний цех	2517,56	4,33	2521,89	40,07	0,62	196,0	68,0	494291,16	171488,77
6	Цех підготовки до відвантаження	414,49	7,56	422,05	16,39	6,45	276,0	52,0	116484,44	21946,34
7	Цех сортування	504,16	44,26	548,43	18,69	29,05	64,0	74,0	35099,20	40583,45
8	Насосна	1120	14,96	1120,000	26,70	4,810	124,0	64,0	138880,00	71680,00
	Освітлення території		11,72	11,72	2,73	360,00	0,0	0,0	0,00	0,00
	Загалом для фабрики збаг. кварц. піску	16418	16391	103,3					1661470,22	1635436,29

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФАБРИКИ

3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Одним з ключових етапів проектування системи електропостачання є вибір оптимальної схеми зовнішнього та внутрішнього енергозабезпечення підприємства. Такий вибір повинен ґрунтуватися не лише на технічних показниках, а й на економічній доцільності запропонованих рішень. У цьому розділі здійснюється техніко-економічне обґрунтування різних варіантів приєднання фабрики до електричної мережі, визначення напруги живлення, а також аналіз конфігурацій внутрішньої системи електропостачання з урахуванням специфіки технологічного процесу та потреб споживачів.

Виходячи з можливостей приєднання розглянемо 2 варіанти живлення підприємства, напругою 10 та 150 кВ (рис.3.1).

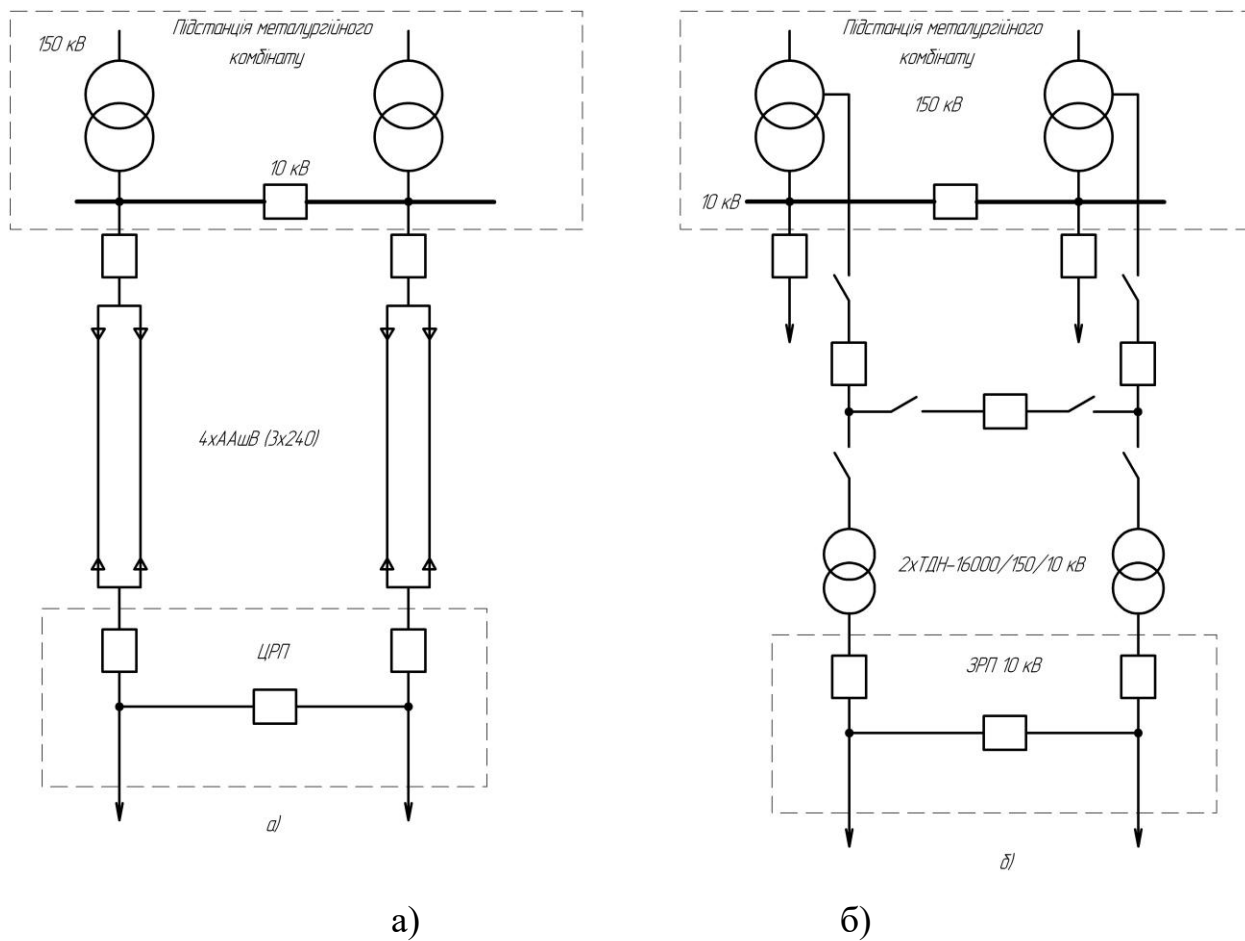


Рисунок 3.1. Запропоновані варіанти схем електропостачання

Як приклад розглянемо схему електропостачання з використанням $U_{ном} = 150 \text{ кВ}$ (див. рис.3.1 б):

$$I_p = \frac{S_p'}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{22054,8}{2\sqrt{3} \cdot 150} = 42,5 \text{ А.}$$

$$F = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{42,44}{1,1} = 38,6 \text{ мм}^2$$

Враховуючи умову мінімального значення поперечного перетину для відповідного класу мереж оберемо до встановлення ПЛ типу АС з $F = 120 \text{ мм}^2$.

Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{44,5}{380} = 0,12.$$

Визначимо коефіцієнт завантаження для обраних трансформаторів 2хТРДН-16000/150/10:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{НОМ}} = \frac{22,05}{2 \cdot 16} = 0,69.$$

Крім того, враховуючи можливість фактичного перевантаження у випадку аварій, визначаємо:

$$K_{3.ав} = \frac{S_p}{S_{ном}} = \frac{22,05}{16} = 1,37 < 1,4$$

Отже, втрати набудуть значень:

$$\text{- у ПЛ: } \Delta P_l = \Delta P_{1км} I K_3^2 = 61 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,0144^2 = 8,78 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_l = \Delta P_l \tau_{нб} = 8,78 \cdot 4375 = 38416,54 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- для трансформаторів:

$$\Delta W_{ТР} = n(\Delta P_x T_p + \Delta P_k K_3^2 \tau) = 2(19,9 \cdot 8760 + 90 \cdot 0,48^2 \cdot 4375) = 722760,75 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Відповідно:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_l + \Delta W_m = 38416,54 + 722760,75 = 761177,29 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість втрат:

$$C_{ВТР} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 761177,29 \cdot 10,2 \cdot 10^{-3} = 7764,01 \text{ тис. грн.}$$

У відповідних таблицях (табл.3.1, 3.2) подано результати розрахунків для варіанту 150 кВ.

Таблиця 3.1. Розрахунок обсягів капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
2	ЛЕП 150 кВ на зал/бет опорах	км	5,0	83,50	417,50
	ВРП напр. 150 кВ	шт.	1,0	95	95
	2 х ТМН-16000/150	шт.	2,0	1100,0	2200,0
Загально					2712,50

Таблиця 3.2. Розрахунок обсягів поточних витрат для встановлення обладнання

№ вар	Назва елемента схеми	K _j , тис.грн.	P _{aj} , %	C _{aj} , тис.грн.	P _{ej} , %	C _{aj} , тис.грн.	C _j , тис.грн.
2	ЛЕП 150 кВ на зал/бет опорах	417,50	5	20,8750	5	20,875	41,750
	ВРП напр. 150 кВ	95,0	15	14,250	5	4,75	19,2
	2 х ТМН-16000/150	2200,0	15	330,00	5	110,0	440,0
Загально							500,750

Таблиця 3.3. Визначення фактичних зведених витрат

Витрати	Згідно з запропонованими варіантами, тис.грн.	
	1	2
Капітальні вкладення	1252,91	2712,52
Поточні витрати	127,432	500,751
Вартість фактичних втрат електроенергії	36496,29	7764,01
<i>Зведені витрати</i>	<i>36781,488</i>	<i>8595,63</i>

Відповідно до виконаних розрахунків виявилось, що II варіант не лише дозволяє подальшу можливість зростання потужності, а й кращим за економічними показниками.

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Схема внутрішнього електропостачання підприємства визначається типом виробництва, кількістю цехів та технологічними потребами. Для збагачувальної фабрики важливо враховувати особливості функціонування кожного окремого цеху, рівень споживаної енергії та вимоги до стабільності живлення. Обрана схема повинна забезпечувати раціональний розподіл електроенергії по всіх виробничих ділянках, а також мати можливість для подальшої модернізації. Крім того, необхідно передбачити застосування автоматичних систем управління і захисту для запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення безпеки експлуатації. В якості основної напруги для внутрішнього електропостачання фабрики було обрано напругу 10 кВ.

Для невеликих споживачів, зокрема освітлювальних систем та інших малопотужні пристрої, зазвичай використовуються напруги 380\220 В. Внутрішня електрична мережа фабрики побудована за схемою кабельних ліній 10 кВ з використанням різних типів топологій, таких як магістральна, радіальна

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Табл. 4.1. Зведена вхідна інформація для визначення комп. пристроїв

Розрахунковий параметр	Значення параметру	Розрахунковий параметр	Значення параметру
$P_n, \text{кВт}$	13117,3	$P_в, \text{кВт}$	2250
$Q_n, \text{кВар}$	11314,5	$Q_в, \text{кВар}$	1394,4
$\Delta P_{ТП}, \text{кВт}$	130,9	Тип встановленого Тр-ра	ТМ-1600-10/0,4
$\tau, \text{год}$	4375,4	$C_0, \text{грн./кВт}\cdot\text{год}$	10,2
$\Delta Q_{ТП}, \text{кВар}$	951,1	α_m	1,21
$P_n, \text{кВт}$	400	η	0,85
Кількість СД, шт	4	Параметр СД D_1	0,85
$K_{вик}$	0,7	Параметр СД D_2	0,75
$tg\varphi_{сд}$	0,484		

$$P_n = \sum P_{ТП} = 13117,3 \text{ кВт},$$

$$Q_n = \sum Q_{ТП} = 11314,5 \text{ кВар}.$$

$$\Delta P_T = \sum \Delta P_{ТП} = 130,9 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = \sum \Delta Q_{ТП} = 951,1 \text{ кВар}.$$

$$P_в = \sum P_в = 2250 \text{ кВт},$$

$$Q_в = \sum Q_в = 1394,4 \text{ кВар}.$$

$$Q_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot tg\varphi_{сд} = 400 \cdot 0,484 = 193,6 \text{ кВар}.$$

$$P_{сд} = N_{сд} \cdot P_{НОМ} \cdot K_{ВИК} = 4 \cdot 400 \cdot 0,7 = 1120 \text{ кВт}.$$

Таблиця 4.2. Визначення потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , кВАр	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , кВАр
1	12	2927,46	8387,04	1677,85
2	13	6319,02	4995,48	5260,73
3	14	8590,63	2723,87	7532,34

Таблиця 4.3. Розміщення пристроїв, необхідних для компенсації реактивної потужності

Номер ТП	n	P_p	Q_p	Q_{PP}	Q_{KP}	$Q_{KP(CT)}$	$Q_p - Q_{KP}$	K_3	S_p	K_i , тис грн
ТП № 1, 2	4,0	4 017	3 997	1984,02	2 013	2 140	1 857	0,69	4425,21	705,28
ТП № 3, 4, 5	5,0	5 472	4 306	1188,89	3 117	2 760	1 546	0,71	5686,40	351,21
ТП № 6, 7	3,0	2 704,0	2 217,0	1994,32	223	150	2 067	0,71	3403,89	193,53

Отже, значення сумарної потужності КП на стороні напругою 0,4 кВ становить:

$$Q_{KH} = 5050,0 \text{ кВар.}$$

$$Q_n = Q_n - Q_{KH} = 10520,0 - 5050,0 = 5470,0 \text{ кВар.}$$

Значення КП 10 кВ:

$$Q_B = Q_{KP} - Q_{KH} = 11314,5 - 5050,0 = 5399,0 \text{ кВар.}$$

Пропонуємо для встановлення - 2хУКЛ-10,5-2700 УЗ; $Q_{KB} = 2 \cdot 2700,0 = 5400$ кВар.

Відповідні втрати становлять:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 5050 = 22,73 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 5400 = 16,21 \text{ кВт.}$$

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_{екв} \cdot 10^{-3} = \frac{13156,8^2 + 2744,79^2}{10^2} \cdot 0,0349 \cdot 0,001 = 42,73 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{N \cdot S_{НОМ}^2} \cdot 10^3 = \frac{11,6 \cdot 10^2}{13 \cdot 1600^2} \cdot 10^3 = 0,0349 \text{ Ом}.$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{СД} &= Q_{СД} \cdot \left(\frac{D_1}{Q_{НОМ}} + \frac{2 \cdot D_2 \cdot Q_{СД}}{Q_{НОМ}^2 \cdot N} \right) + Q_{СД}^2 \cdot \frac{D_2}{Q_{НОМ}^2 \cdot N_{СД}} = \\ &= 1102,38 \cdot \left(\frac{0,85}{194} + \frac{2 \cdot 0,75 \cdot 1102,38}{193,6^2 \cdot 4} \right) + 1102,38^2 \cdot \frac{0,75}{193,6^2 \cdot 4} = 23,08 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Щодо вартісних показників та витрат на встановлення комп. Пристроїв маємо:

$$K_{КН} = \sum_{i=1}^n N_{КН} \cdot K_{КН} = 1134 \text{ тис.грн}$$

$$K_{КВ} = \sum_{i=1}^n N_{КВ} \cdot K_{КВ} = 2 \cdot 37,96 = 76 \text{ тис.грн}.$$

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = 5 \cdot 154 + 3 \cdot 78 = 1004 \text{ тис.грн}.$$

$$\begin{aligned} Z &= E_H \cdot (K_{КН} + K_{КВ} + K_{КТП}) + C_0 \cdot \tau \cdot (\Delta P_{КН} + \Delta P_{КВ} + \Delta P_{ТП} + \Delta P_{СД}) + Z_{сд} = \\ &= 0,12 \cdot (1134 + 76 + 998,75) + 10,2 \cdot 4375 \cdot (22,7 + 16,2 + 42,73 + 23,08) \cdot 10^{-3} \\ &+ 712,4 = 5385,35 \text{ тис.грн}. \end{aligned}$$

У вигляді табл.4.3. подано результати за всіма розглянутими варіантами.

Таблиця 4.3. Витрати на КП та загальний баланс реактивної потужності мережі

Основні показники	I вар.	II вар.	III вар.
1	2	3	4
КП у мережі 0,4 кВ	2 739	5050	5 050
КП у мережі 10 кВ	3 000	5 400	5 400

Таблиця 4.4. Локалізація та інформація щодо обраних КП
для встановлення в системі електропостачання фабрики

ТП СЕП	N_{mp}	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_n , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Тип пристрою	$N_{бк}$	$\Sigma Q_{бк}$ кВАр	K_3	S , кВА
1,2	4,0	4 017,2	3 997	1984,02	2031	УКМ 58-0,4-402	4,0	2140	0,691	4425
						УКМ 58-0,4-133	4,0			
3,4,5	5,0	5472,1	4306	1188,89	3117	УКМ 58-0,4-402	5,0	2760	0,711	5686
						УКМ 58-0,4-150	5,0			
6,7	3,0	2 704,3	2 217	1994,32	223	УКМ 58-0,4-50	3,0	150	0,712	3403
Всього				5167				5050		

Таблиця 4.5. Ел. навантажень фабрики збагачення кварцового піску з врахуванням розміщення комп. пристроїв в системі електропостачання

№	Назва групи споживачів	Кіл-ть	Родн.		P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Сер. ел. нав.		n_E	K_M	Розр. ел. нав.		
			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	16	17
	ТП № 1, 2 (4,0X1600)															
	Цех гравітаційного збагачення															
1	Силове навання	46	20	...	300	15,0	0,7	0,7	1,02	3304	3371	31	1	3304	3370,75	4720
	Освітлювальне навання									5,9	2,9			6,0	2,9	6,7
	Всього									3309,9	3373,6			3310,0	3373,7	4726,3
	Цех дроблення і подрібнення															
2	Силове навання	48	10	...	90	9,0	0,4	0,75	0,88	724	639	40	1,2	877	639	1085
	Освітлювальне навання									1,8	3,1			1,7	3,0	3,4
	Всього по цеху									725,8	641,6			878,7	641,5	1088,0
	Силова по ТП 1,2	94	10	...	300	30,0	0,62	0,71	1	4028	4009,262	44	1	4028	4009,26	5683,21
	Освітлювальна по ТП 1,2									7,7	6,0			7,7	5,9	9,7
	На шинах 0,4 кВ по ТП 1,2									4035,7	4015,2			4035,7	4015,1	5692,8
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ														-2140,0	
	Навання з ур. КП 0,4 кВ													4035,7	1875,1	4450,1
	Втрати в тр-рах ТП 1,2 (4,0x1600), Kз=0,691													35,4	257,7	260,1
	На шинах 10 кВ по ТП 1,2													4071,1	2132,8	4595,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 3, 4, 5 (5.0X1600)																
1	Цех флотажії (опціонально)															
	Силове навання	138	5	500	6700	100	0,7	0,8	0,75	4690	3517,5	27	1	4690	3517,5	5862,5
	Освітлювальне навання									5,9	10,2			6,3	10,8	12,5
2	Всього по флотажійному відділенню									4695,9	3527,7			4696,3	3528,3	5874,0
	Цех магнітної сепарації															
	Силове навання	32	20	120	1020	6	0,7	0,7	1,02	714	728,4257	17	1	714	728,426	1020
Силова по ТП 3, 4, 5	Освітлювальне навання									6,1	10,6			6,5	11,2	13,0
	Всього по цеху									720,1	739,0			720,5	739,7	1032,6
	Силова по ТП 3, 4, 5	170	5	500	7720	100	0,7	0,79	0,79	5404	4245,926	31	1	5404	4245,93	6872,4887
Освітлювальна по ТП 3, 4, 5									12,0	20,7			12,7	22,1	25,5	
На шинях 0,4 кВ по ТП 3, 4, 5									5416,0	4266,7			5416,7	4268,0	6896,2	
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-2760,0	
Навання з урахуванням встановлених КП 0,4 кВ														5416,7	1508,0	5622,7
Втрати в тр-рах ТП 3,4,5(5,0x1600), Кз=0,711														36,7	298,8	301,1
Всього на шинях 10 кВ по ТП 3,4,5														5453,4	1806,8	5744,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	ТП № 6, 7 (3,0x1600)																
	Сушильний цех																
1	Силове навання	18	10	...	150	3990	15	0,5	0,7	1,02	1995	2035,3	18	1,26	2517,6	2035,3	3237,4
	Освітлювальне навання									3,8	1,8			4,3	2,1	4,8	
	Всього									1998,8	2037,1			2521,9	2037,4	3242,1	
	Цех підготовки до відвантаження																
2	Силове навання	28	5	...	60	580	12	0,6	0,9	0,48	348	168,5	19	1,19	414,5	168,5	447,4
	Освітлювальне навання									7,6	0,0			7,6	0,0	7,6	
	Всього									355,6	168,5			422,0	168,5	454,5	
	Силова по ТП 6, 7	46	5	...	150	4570	30	0,51	0,73	0,94	2343,0	2203,9	46	1,15	2690,9	2203,9	3478,2
	Освітлювальна по ТП 6, 7									11,4	1,8			11,9	2,1	12,1	
	На шинях 0,4 кВ по ТП 6, 7									2354,4	2205,7			2702,7	2205,9	3488,7	
	Втрати в тр-рах ТП 6, 7 (3x1600), Кз=0,61													34,7	252,4	254,7	
	На шинях 10 кВ по ТП 6, 7													2737,4	2458,3	3679,2	
	ТП № 8 (1,0x1600)																
	Насосна																
	Силове навання																
1	Освітлювальне навання									17,6	0,0			15,0	0,0	15,0	
	Всього									17,6	0,0			15,0	0,0	15,0	

Продовження табл. 4.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	Цех сортування																
	Силове навання	157	2,5	...	30	1759	12	0,46	0,74	0,9	809,8	731,8	117	1,1	891,1	731,8	1153,1
	Освітлювальне навання									41,6	72,1				44,3	76,7	88,5
	Всього									851,4	803,9				935,4	808,5	1236,3
3	Освітлення території фабрики									17,4	30,2				11,7	16,9	20,6
	Всього по території фабрики									17,4	30,2				11,7	16,9	20,6
	Силова по ТП 8	157	3	...	30	1759	12	0,46	0,74	0,90	810	732	117	1,10	891,1	731,8	1153,1
	Освітлювальна по ТП 8									77	102				70,9	93,6	117,4
	На шинах 0,4 кВ по ТП 8									886,4	834,1				962,0	825,4	1267,6
	Втрати в тр. ТП 8 (1,0x1600), Кз=0,579														28,8	207,6	209,6
	На шинах 10 кВ по ТП 8														990,8	1033,0	1431,4
	По фабриці на стороні 0,4 кВ														13117,3	11314,5	17322,8
	Загальні втрати в тр-рах ТП 1- 8														130,9	951,1	960,1
	Всього по фабриці на стороні 10 кВ														13248,2	12265,6	18054,4
1	Цех дроблення і подрібнення	2,0	750	...	750	1 500	1	0,75	0,85	0,62	1125,0	697,2			1125,0	697,2	1323,5
2	Цех магнітної сепарації																
	б) 10,5 кВ (з АД)	2,0	750	...	750	1 500	1	0,75	0,85	0,62	1125,0	697,2			1125,0	697,2	1323,5
3	Насосна 10,5 (з СД)	4,0	400	...	400	1 600	1	0,70	0,80	0,75	1120,0	840,0			1120,0	840,0	1400,0
	Всього														16618,2	14500,0	22054,81

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Оберемо значення потужності трансформатора, доцільного до встановлення:

$$S_T = \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав}(n-1)} = \frac{22054,8 \cdot 0,9}{1,4(2-1)} = 14178 \text{ кВА.}$$

Відповідно до розрахунку, найближчий за технічними характеристиками є ТДН-16000/150/10.

Додатково перевіряємо значення K_3 :

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{НОМ}} = \frac{22054,8}{2 \cdot 16000} = 0,689.$$

За аналогічним підходом обираємо й потужність цехових трансформаторів, зокрема, для ТП №1, 2:

$$S_{ТР P} = \frac{S_p}{K_3 \cdot (n-1)} = \frac{5886,4}{1,4 \cdot (4-1)} = 1401,52 \text{ кВА.}$$

Тобто, доречно обрати трансформатор - 1600 кВА.

Додатково оцінимо значення коефіцієнту завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ТР}} = \frac{5886,4}{4 \cdot 1600} = 0,72.$$

У табл. 5.1. згруповані дані обраних до встановлення силових трансформаторів.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 5.1. Характеристики встановлених трансформаторів (ТМ-1600 класом напруги 10/0,4)

№ ТП	n	$S_p, \text{кВА}$	K_3	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K2$	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K1$
ТП 1	2	2297,95	0,718	790,0	1024,0
ТП 2	2	2297,95	0,718	790,0	1024,0
ТП 3	2	2297,96	0,718	812,0	1053,0
ТП 4	2	2297,96	0,718	812,0	1053,0
ТП 5	1	1148,98	0,718	812,0	1053,0
ТП 6	2	2394,2	0,748	810,0	1051,0
ТП 7	1	1197,1	0,748	810,0	1051,0
ТП 8	1	1431,4	0,894	908,0	1176,6

5.2. Компонування та місце розташування трансформаторних підстанцій

Отже, для надійного забезпечення передавання електричної енергії запропоновано КТП напругою 10/0,4 кВ з використанням ТМ-1600. До табл. 5.2. зведено фінальні результати обчислень та вказане остаточне місце розташування КТП у будівлях підрозділів фабрики.

Таблиця 5.2. Інформація щодо тр-них п/ст

№ ТП	n	$S_p, \text{кВА}$	K_3	Локалізація	Тип КТП
1	2	3	4	5	6
ТП 1	2	2297,95	0,718	Цех гравітаційного збагачення	Вбудована
ТП 2	2	2297,95	0,718	Цех гравітаційного збагачення	Вбудована

Арк.

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

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ)

Метою даного розділу є встановлення параметрів струмів короткого замикання, необхідних для забезпечення безпечного та надійного функціонування електроустановок, а також обґрунтування вибору обладнання, здатного ефективно працювати навіть в умовах аварійних режимів тощо.

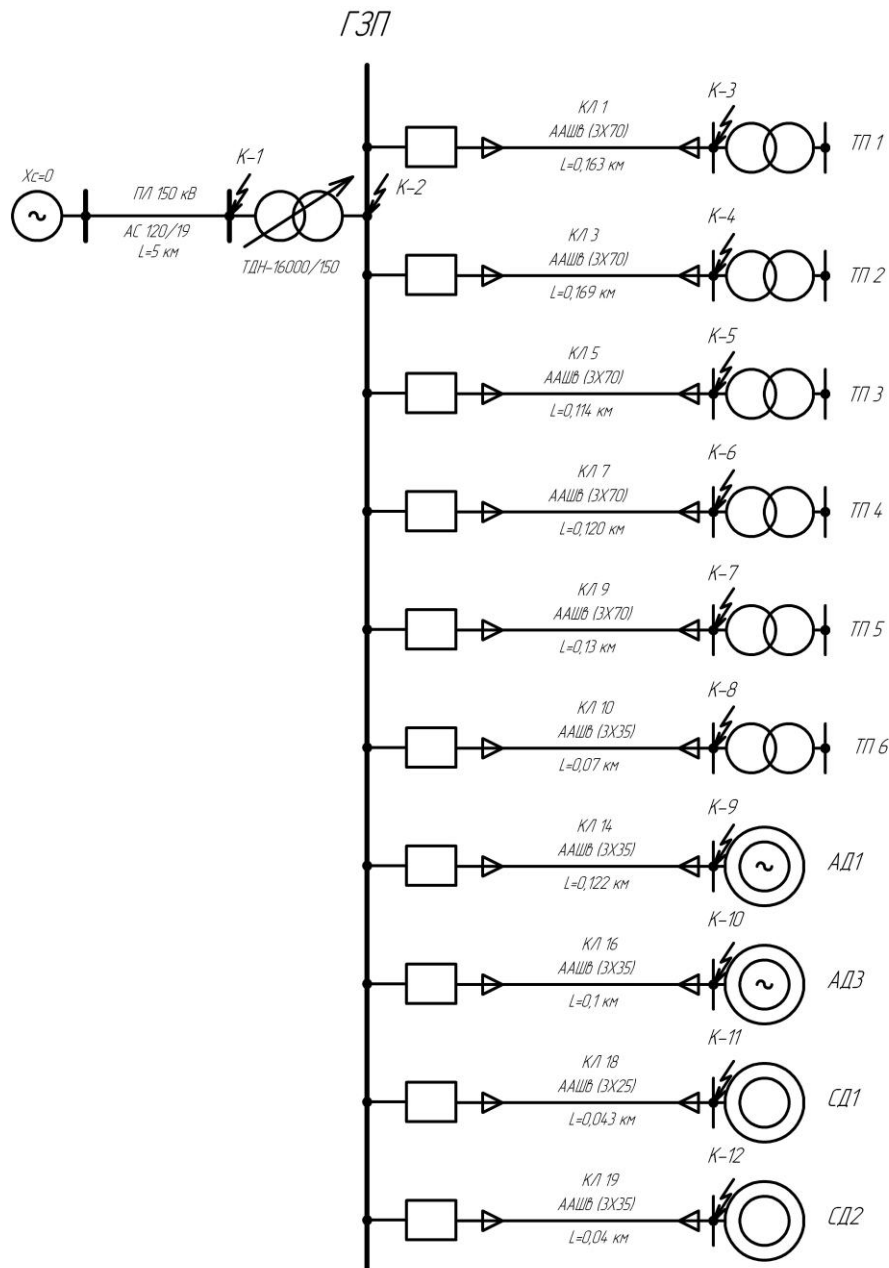


Рисунок 6.1. Розрахункова схема для обчислення струмів короткого замикання

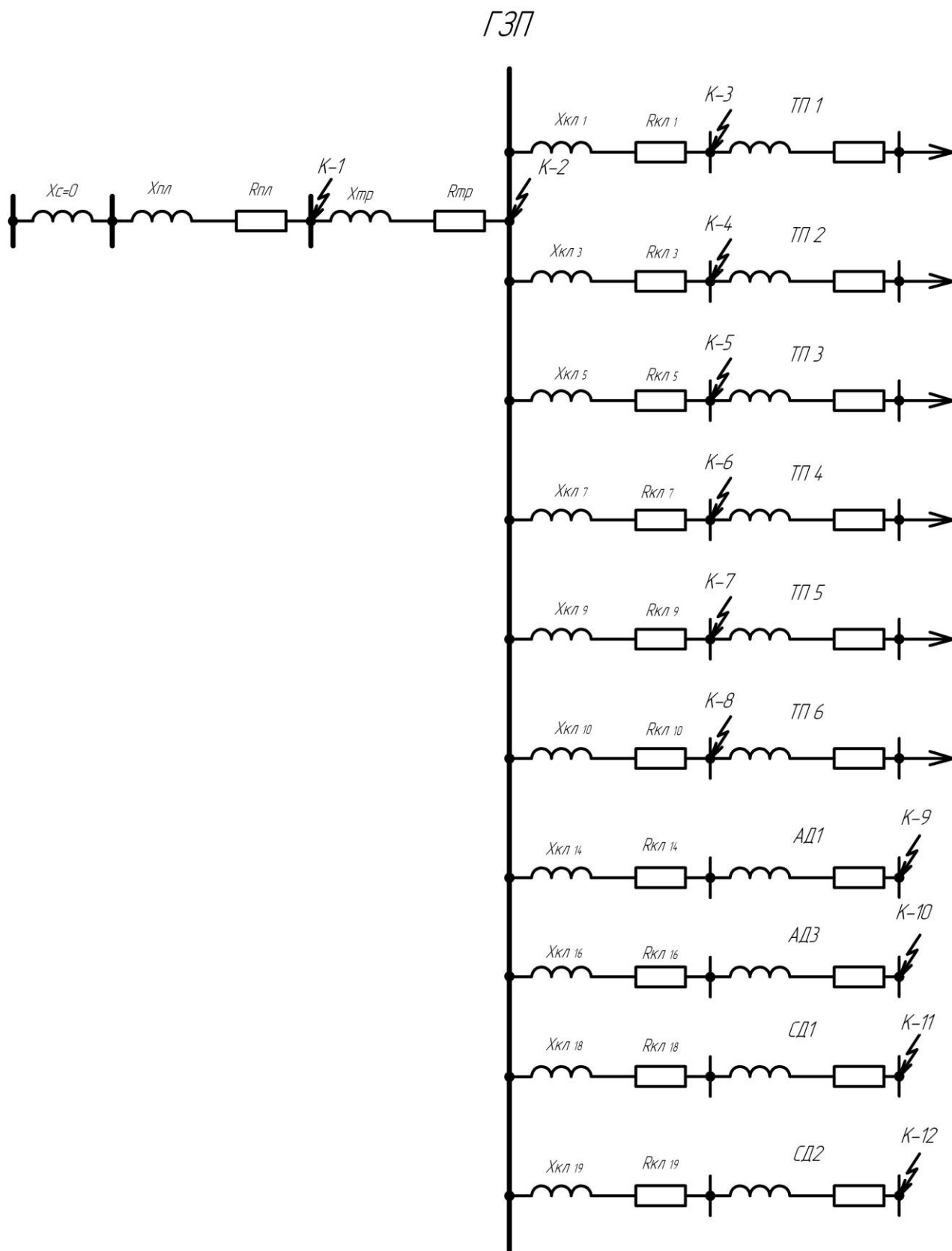


Рисунок 6.2. Умовна (еквівалентна) схема,
призначена для визначення параметрів струмів КЗ

Прийmemo $S_{\phi} = 100 \text{ MVA}$, виходячи із цього:

									Арк.
Зм.	Арк.								

$$I_{\kappa 2}'' = \frac{I_{\delta 2}}{z_{\kappa 2}} = \frac{5,499}{1,0248} = 5,366 \text{ кА.}$$

У цей же час, період затухання аперіодичної складової матиме наступне значення:

$$T_{a1} = \frac{x_{\kappa 1}}{\omega \cdot r_{\kappa 1}} = \frac{0,3766}{314 \cdot 0,1837} = 0,0065, K_{\gamma \delta 1} = 1,21;$$

$$T_{a2} = \frac{x_{\kappa 2}}{\omega \cdot r_{\kappa 2}} = \frac{1,0016}{314 \cdot 0,2166} = 0,0015, K_{\gamma \delta 2} = 1,51.$$

А відповідні значення ударних струмів без врахування асинхронних двигунів матимуть наступні значення:

$$i_{\gamma \delta 1} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}'' \cdot K_{\gamma \delta 1} = \sqrt{2} \cdot 1,917 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,0065}}) = 6,37 \text{ кА};$$

$$i_{\gamma \delta 2} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 2}'' \cdot K_{\gamma \delta 2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,015}}) = 11,459 \text{ кА.}$$

Доцільно отримати й значення періодичних складових струмів з безпосереднім врахуванням додаткової генерації асинх. двигунів, що матимуть наступні значення:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\#}}{\sqrt{3} \cdot U_{\#} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,963 \cdot 0,9} = 83,27 \text{ А.}$$

$$I_{AD}'' = n \cdot K_n \cdot I_{\text{ном}} = 2 \cdot 6 \cdot 0,08327 = 0,99924 \text{ кА.}$$

Отриманий ударний та відповідний повний струм з врахуванням АД матимуть наступні значення:

$$i_{\gamma \delta AD} = \sqrt{2} \cdot I_{AD}'' \cdot K_{\gamma \delta 2} = \sqrt{2} \cdot 0,99924 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,015}}) = 2,134 \text{ кА.}$$

$$I_{\Sigma \kappa 2}'' = I_{\kappa 2}'' + I_{AD}'' = 5,366 + 0,99924 = 6,36524 \text{ кА};$$

$$i_{\gamma \delta \Sigma \kappa 2}'' = i_{\gamma \delta \kappa 2}'' + i_{\gamma \delta AD}'' = 11,459 + 2,134 = 13,593 \text{ кА.}$$

Для визначення струмів короткого замикання на рівні 10 кВ необхідно мати інформацію про кабельні лінії, що проходять між головною знижувальною підстанцією (ГЗП) та трансформаторними підстанціями (ТП). У таблиці 6.1

									Арк.
Зм.	Арк.								

подано результати попереднього вибору перерізів кабельних ліній. Детальний розрахунок буде проведено для ТП 1 і ТП 2, при цьому для решти трансформаторних підстанцій обчислення здійснюється за аналогічною методикою.

Початкове значення розрахункової потужності:

$$S_p = 4595,9 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{4595,9}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 64,36 \text{ А.}$$

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 64,36 = 128,72 \text{ А.}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{64,36}{1,1} = 58,5 \text{ мм}^2.$$

Для розробки системи електропостачання використано кабель типу 4хААШв–10 із трьома жилами по 70 мм²: $I_{дон} = 165 \text{ А} > I_{p.ав} = 128,72 \text{ А}$.

Основні технічні характеристики кабельної лінії 1 наведені нижче:

$$r_0 = 0,443 \text{ Ом/км}, \quad x_0 = 0,086 \text{ Ом/км}, \quad l = 0,163 \text{ км}$$

Проведено розрахунок активного та індуктивного опору для КЛ1 відповідно:

$$R_{кт} = l \cdot r_0 = 0,163 \cdot 0,443 = 0,0722 \text{ Ом};$$

$$X_{кт} = l \cdot x_0 = 0,163 \cdot 0,086 = 0,01401 \text{ Ом.}$$

Аналогічним чином підібрано всі інші кабельні лінії та визначено їх електричні характеристики. Підсумкові дані розрахунків представлено у табл.6.1–6.2.

Таблиця 6.1. Попередній вибір перерізів каб. ліній

№ каб. лінії	$S_p, \text{кВА}$	n	$I_p, \text{А}$	$I_{p.ав}, \text{А}$	$F_{ек}, \text{мм}^2$	Переріз каб. лінії
1- 4	4595,9	4,0	64,36	128,72	58,5	70
5 - 9	5744,94	5,0	63,18	126,4	57,43	70
10 -12	3591,32	3,0	65,82	131,6	59,84	70
13 - 16	2647,06	4,0	36,39	72,79	33,09	35
17 - 20	1400,00	4,0	19,26	38,49	17,51	25
21	1431,35	1,0	78,7	78,7	71,55	95

Розрахунок струмів короткого замикання проведено для секції шин, яка має найбільше навантаження.

Таблиця 6.2. Підсумкові значення струмів короткого замикання для точок 1–12

№ т. КЗ	$X_{сум}$	$R_{сум}$	$Z_{сум}$	Ta, c	$K_{уд}$	без АД		з АД	
						I'' , кА	$I_{уд}$, кА	I'' , кА	$I_{уд}$, кА
1	0,377	0,184	0,419	0,007	1,216	3,723	6,4051		
2	1,002	0,217	1,025	0,015	1,507	5,366	11,439	6,366	13,569
3	1,01	0,318	1,059	0,010	1,372	5,195	10,082	6,2	12,212
4	1,01	0,304	1,054	0,011	1,388	5,219	10,245	6,22	12,375
5	1,02	0,374	1,085	0,009	1,316	5,069	9,432	6,07	11,562
6	1,023	0,416	1,104	0,008	1,279	4,980	9,008	5,98	11,138
7	1,01	0,296	1,052	0,011	1,399	5,225	10,337	6,22	12,467
8	1,03	0,454	1,123	0,007	1,25	4,898	8,656	5,89	10,786
9	1,03	0,446	1,119	0,007	1,256	4,916	8,728	5,915	10,858
10	1,011	0,303	1,055	0,011	1,39	5,211	10,246	6,211	12,376
11	1,01	0,234	1,037	0,014	1,483	5,304	11,12	6,303	13,25
12	1,015	0,26	1,048	0,012	1,448	5,249	10,75	6,249	12,878

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Початкові значення потужності, струму та обґрунтування вибору перерізу кабельної лінії для ТП1 та ТП2:

$$S_p = 4595,9 \text{ кВА}$$

- у нормальних умовах роботи розрахунковий струм становить:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{4595,9}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 64,36 \text{ А.}$$

- відповідний струм у штатному режимі:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 64,36 = 128,72 \text{ А.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

Виходячи з економічної густини струму, обраний поперечний переріз кабелю дорівнює:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{64,36}{1,1} = 58,5 \text{ мм}^2.$$

Розраховане значення теплового імпульсу B_k дорівнює:

$$B_k = I_{КЗ}^2 (t_{відкл} + T_a) = 3,7234^2 (0,2 + 0,0065) = 2,8633 \text{ кА}^2\text{с}$$

А $F_{тер}$, відповідно, становитиме:

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{2,8633 \cdot 10^6}}{94} = 18,0014 \text{ мм}^2$$

Для кабельних ліній №1 та №2 обрано марку 4хААШВ–10 із трьома жилами по 70 мм²: $I_{дон} = 165 \text{ А} > I_{p.ав} = 128,72 \text{ А}$.

Здійснено перевірку кабелів на відповідність умовам експлуатації як у нормальному, так і в аварійному режимах:

$$I_p = 64,36 \text{ А} < K_n I_{дон} = 132,11 \text{ А}.$$

$$I_{p.ав} = 128,72 \text{ А} < K_{ан} K_n' I_{дон} = 182,34 \text{ А}.$$

У таблиці 6.4 подано результати підбору кабельних ліній №1–21 згідно з описаною вище методикою.

Таблиця 6.3 Результати розрахунків параметрів ліній 1-21

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p.ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка КЛ
1- 4	4595,94	4	64,36	128,72	58,5	ААШВ-4 х (3 х 70)
5- 9	5744,94	5	63,18	126,4	57,434	ААШВ-5 х (3 х 70)
10 -12	3591,32	3	65,82	131,6	59,84	ААШВ-3 х (3 х 70)
13 -16	2647,06	4	36,39	72,78	33,08	ААШВ-4 х (3 х 35)
17-20	1400,00	4	19,25	38,49	17,495	ААШВ-4 х (3 х 25)
21	1431,35	1	78,7	78,7	71,549	ААШВ-4 х (3 х 95)

6.3. Вибір електрообладнання

Результати підбору електротехнічного обладнання представлені в таблицях 6.4–6.14.

						Арк.
Зм.	Арк.					

Таблиця 6.5. Додаткові розрахунки для обґрунтування вибору вимикачів на напругу 150 кВ

Критерії вибору обладнання	Отримані значення параметрів вимикачів
$U_{уст} \leq U_{ном}$	150 кВ = 150 кВ
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	81,85 А < 1000 А
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	3,72 кА ≤ 52,000 кА 6,4 кА < 132,41 кА
$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	3,73 кА ≤ 40 кА $\sqrt{2} \cdot 3,72 \cdot e^{\frac{0,030}{0,0065}} \leq \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 0,30$ 0,00011 ≤ 8,5
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	15 кА < 1200,0 кА

Для встановлення рекомендовано застосувати вимикач типу ЛТВ 170 D1 з відповідними технічними характеристиками:

$$\begin{aligned}
 U_{ном} &= 150,00 \text{ кВ} & I_{ТН} &= 20,00 \text{ кА} & I_{дин.ст} &= 52,00 \text{ кА} \\
 I_{ном} &= 1000,00 \text{ А} & U_{max.роб} &= 175,00 \text{ кВ} & t_{відкл.вл} &= 0,020 \text{ с} \\
 I_{відкл} &= 40,00 \text{ кА} & t_{відкл.зас} &= 0,040 \text{ с} & t_{ТН} &= 3,00 \text{ с} \\
 \beta_n &= 0,30.
 \end{aligned}$$

Таблиця 6.6. Додаткові обчислення для визначення параметрів вимикачів на вводі

Критерії вибору обладнання	Розраховані параметри вимикачів
1	2
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10.5 кВ ≤ 11,00 кВ
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	1175,7 А ≤ 1250 А
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	6,37 кА ≤ 52,00 кА 13,5687 кА ≤ 132,37 кА

1	2
$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} \beta_H$	$6,4 \text{ кА} \leq 31,500 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot 6,38 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,0149}} \leq \sqrt{2} \cdot 20,0 \cdot 0,35$ $0,15529 \leq 9,899$
$B_K \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$44,01 \text{ кА} < 1200,0 \text{ кА}$

Для встановлення доцільно використати секційний вимикач типу ВР1-10-20/1250 У2 :

$$U_{ном} = 11,0 \text{ кВ} \quad I_{ТН} = 20,0 \text{ кА} \quad I_{дин.ст} = 52,0 \text{ кА}$$

$$U_{max.роб} = 12,0 \text{ кВ} \quad I_{ном} = 1250,0 \text{ А} \quad I_{відкл} = 20,0 \text{ кА}$$

$$t_{відкл.вл} = 0,050 \text{ с} \quad t_{відкл.зас} = 0,070 \text{ с} \quad t_{ТН} = 3,0 \text{ с}$$

$$\beta_H = 0,350.$$

Таблиця 6.7. Додаткові розрахунки для вибору секційного вимикача на напругу 10,5 кВ

Критерії вибору обладнання	Розраховані параметри вимикачів
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,500 \text{ кВ} \leq 11,000 \text{ кВ}$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$588 \text{ А} \leq 630,00 \text{ А}$
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст}$	$6,4 \text{ кА} \leq 32,000 \text{ кА}$ $13,6 \text{ кА} \leq 81,5 \text{ кА}$
$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} \beta_H$	$6,4 \text{ кА} \leq 12,500 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot 6,4 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,0149}} \leq \sqrt{2} \cdot 12,50 \cdot 0,300$ $0,15528 \leq 5,300$
$B_K \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$44 \text{ кА} < 469 \text{ кА}$

Додаткові розрахунки для вибору трансформатора власних потреб (ТР) виконано з урахуванням навантаження основних споживачів.

Таблиця 6.10. Допоміжні розрахунки трансформаторної системи на КЛ 10 кВ (для вводів 10 кВ)

№ з/п	Перелік споживачів	n_x $P_{ном},$ кВт	$\cos\varphi$	$P_{уст},$ кВт	$tg\varphi$	$Q_{уст},$ кВар
1	Електродвигуни охолодження трансформаторів	2x6,0	0,85	14,12	0,62	7,44
2	Системи підігріву комірок розподільчих пристроїв	32x0,6	1,00	19,20	0,00	0,00
	Шафи рел. захисту	32x0,5	1,00	16,00	0,00	0,00
3	Осв. та опал. для приміщення персоналу, що обслуговує територію п/ст	1x6,0	1,00	6,00	0,00	0,00
4	Система зовн. освітлення	1x5,0	1,00	5,00	0,00	0,00
5	Додаткове споживання оперативних кіл	1x3,0	1,00	3,00	0,00	00,00
	<i>Загалом</i>			57,32		7,44

Таблиця 6.11. Допоміжні розрахунки для підбору трансф. струму

Критерії вибору обладнання	Розраховані параметри
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 = 10
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	78,9 ≤ 100,0000
$i_y \leq I_{дин.ст}$	13,6 ≤ 74,5000
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	13,29 ≤ 19,80
$Z_2 \leq Z_{ном}$	0,381 ≤ 0,400

Таблиця 6.12. Додаткові розрахунки для розрахунку вторинного навантаження ТС

Найменування приладу	Обрана модель	Навантаження, (за фазами А / С / В)
Ліч. ак. ел.ен.	САЗУ-5007	1,5/ 1,5- /
Ліч. реак. ел.ен.	СР4У-5008	1,5/ 1,5- /
Варметр	Д-304	0,5/ 0,5- /
Ватметр	Д-335	0,5/ 0,5- /
Амперметр	Е 377	0,1/ 0,1- /
<i>Загалом</i>		4,1/ 4,1- /

$$Z_{\text{прил}} = \frac{I_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{4.1}{5^2} = 0.16$$

Для встановлення трансформаторів струму доцільно застосувати модель ТПЛ-10, що має наступні характеристики:

$U_{\text{ном}} = 10,00 \text{ кВ}$; $I_{\text{ном}} = 1500,00 \text{ А}$; клас точності: 0.500; $I_{\text{дин.ст}} = 128,00 \text{ кА}$,
 $Z_{2\text{ном}} = 0.800 \text{ Ом}$, $I_{\text{терм.ст}} = 400,0 \text{ кА}$, $t_{\text{ТН}} = 3,00 \text{ с}$.

Додатково здійснено перевірку на відповідність необхідним технічним умовам, у т.ч.:

$$Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{конт}} \leq Z_{2\text{ном}}$$

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0.4 - 0.16 - 0.1 = 0.14 \text{ Ом}$$

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0.0175 \cdot 10}{0.136} = 1.29 \text{ мм}^2$$

Для підключення обрано кабельну лінію типу АКРВГ-1,5, з розрахунковим опором:

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0.0175 \cdot 10}{1.5} = 0.1167 \text{ Ом.}$$

Визначено еквівалентне навантаження на трансформатор струму, яке складає:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст}} + R_{\text{конт}} = 0.16 + 0.1167 + 0.1 = 0.3807 \text{ Ом.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

$$p_y = \frac{P_{уст}}{A_o} = \frac{22107}{8000} = 2,76 \text{ в. од.}$$

$$\left(\frac{w}{p_y}\right) = \frac{26,25}{2,76} = 9,6 \text{ в. од.}$$

Таблиця 7.1. Кореляційна таблиця для аналізування залежностей $w/p_y=f(\alpha)$.

α	$\left(\frac{w}{p_y}\right)_i$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	n_i
6,6			1	1	2	2	1	7
7,6		1	1	2	5	4	2	15
8,6		1	8	6	3	1		19
9,6		10	2	21	1			34
10,6	1	2	2	1				6
11,6	4	1		1				6
12,6	1							1
n_α	6	15	14	32	11	7	3	88
$\left(\frac{\bar{w}}{\bar{\partial}_o}\right)_\alpha$	11,6	9,66(6)	8,814	9,2875	7,8727	7,4571	7,266(6)	

На основі вихідних даних із таблиці 7.1 було проведено обчислення таких статистичних показників:

1. Повні середні значення (див. табл. 7.2) — дозволяють отримати загальну оцінку характеристик вибірки:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{\bar{i}} \sum \bar{i}_\alpha \cdot \alpha = \frac{1}{88} (6 \cdot 0,7 + 15 \cdot 0,8 + 14 \cdot 0,9 + 32 \cdot 1 + 11 \cdot 1,1 + 7 \cdot 1,2 + 3 \cdot 1,3) = \frac{85,2}{88} = 0,968.$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\bar{w}}{\bar{\partial}_o}\right) &= \frac{1}{\bar{i}} \sum \bar{i}_\alpha \cdot \left(\frac{w}{\partial_o}\right) = \frac{1}{88} (7 \cdot 6,6 + 15 \cdot 7,6 + 19 \cdot 8,6 + 34 \cdot 9,6 + 6 \cdot 10,6 + 6 \cdot 11,6 + 1 \cdot 12,6) = \\ &= \frac{795,8}{88} = 9,043. \end{aligned}$$

2. Нормативні показники — застосовуються для подальшого визначення відхилень та порівняння з еталонними значеннями.

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{i} \sum \ddot{i}_{\alpha} \cdot \alpha^2 - \bar{\alpha}^2} = \sqrt{\frac{1}{88} (6 \cdot 0,7^2 + 15 \cdot 0,8^2 + 14 \cdot 0,9^2 + 32 \cdot 1^2 + 11 \cdot 1,1^2 + 7 \cdot 1,2^2 + 3 \cdot 1,3^2) - 0,968^2} = \sqrt{\frac{1}{88} \cdot 84,34 - 0,668^2} = 0,145.$$

$$\sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y}\right)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_i \cdot \left(\frac{\omega}{p_y}\right)^2 - \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{88} (7 \cdot 6,6^2 + 15 \cdot 7,6^2 + 19 \cdot 8,6^2 + 34 \cdot 9,6^2 + 6 \cdot 10,6^2 + 6 \cdot 11,6^2 + 1 \cdot 12,6^2) - 9,043^2} = 1,322.$$

3. Коваріаційні величини (табл. 7.3) — визначають силу та напрямок взаємозв'язку між змінними:

$$\mu_{ii} = \frac{1}{n} \sum n_{\alpha_i} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{\omega}{p_y}\right) - \bar{\alpha} \cdot \left(\frac{\bar{\omega}}{p_y}\right) = \frac{1}{88} \cdot 759,22 - 0,968 \cdot 9,043 = -0,1279.$$

Таблиця 7.2. Додаткові розрахунки для аналізування залежності $\frac{\omega}{p_y} = f(\alpha)$ фабрики збагачення кварцового піску

α	n_{α}	$n_{\alpha} \cdot \alpha$	α^2	$n_{\alpha} \cdot \alpha^2$	(ω/p_y)	n_i	$n_i \cdot (\omega/p_y)$	$(\omega/p_y)^2$	$n_i \cdot (\omega/p_y)^2$
0,7	6	4,2	0,49	2,94	6,6	7	46,2	43,56	304,92
0,8	15	12	0,64	9,6	7,6	15	114	57,76	866,4
0,9	14	12,6	0,81	11,34	8,6	19	163,4	73,96	1405,24
1,0	32	32	1	32	9,6	34	326,4	92,16	3133,44
1,1	11	12,1	1,21	13,31	10,6	6	63,6	112,36	674,16
1,2	7	8,4	1,44	10,08	11,6	6	69,6	134,56	807,36
1,3	3	3,9	1,69	5,07	12,6	1	12,6	158,76	158,76
Σ	88	85,2		84,34		88	795,8		7350,28

Таблиця 7.3. Додаткові розрахунки для аналізування залежності $\omega/p_y = f(\alpha)$ фабрики збагачення кварцового піску

α	(ω/p_y)	$\alpha(\omega/p_y)$	$n_{\alpha,i}$	$n_{\alpha,i}(\omega/p_y) \cdot \alpha$	α	$(\omega/p_y)_{\alpha}$	$(\omega/p_y)_{\alpha}^2$	n_{α}	$n_{\alpha}(\omega/p_y)_{\alpha}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,7	10,6	7,42	1	7,42	0,7	11,6	134,56	6	807,36
0,7	11,6	8,12	4	32,48	0,8	9,67	93,44	15	1401,667
0,7	12,6	8,82	1	8,82	0,9	8,81	77,692	14	1087,683
0,8	7,6	6,08	1	6,08	1	9,29	86,258	32	2760,245
0,8	8,6	6,88	1	6,88	1,1	7,87	61,98	11	681,778
0,8	9,6	7,68	10	76,8	1,2	7,45	55,609	7	389,263
0,8	10,6	8,48	2	16,96	1,3	7,27	52,804	3	158,413
0,8	11,6	9,28	1	9,28					
0,9	6,6	5,94	1	5,94					
0,9	7,6	6,84	1	6,84					
0,9	8,6	7,74	8	61,92					
0,9	9,6	8,64	2	17,28					
0,9	10,6	9,54	2	19,08					
1	6,6	6,6	1	6,6					
1	7,6	7,6	2	15,2					

Таблиця 7.4. Значення коефіцієнтів до аналізу зв'язку

α	$x=1/\alpha$	n_x	$n_x \cdot x$	x^2	$n_x \cdot x^2$	x^3	$n_x \cdot x^3$
0,7	1,1952	6	7,171	1,429	8,57	1,71	10,24
0,8	1,118	15	16,771	1,25	18,75	1,4	20,96
0,9	1,054	14	14,757	1,1111	15,56	1,17	16,4
1,0	1	32	32	1	32	1	32
1,1	0,9535	11	10,488	0,909	10	0,87	9,53
1,2	0,9129	7	6,39	0,833	5,83	0,76	5,33
1,3	0,8771	3	2,631	0,769	2,31	0,67	2,02
Σ		88	90,209		93,02		96,49

Продовження таблиці 7.4.

x^4	$n_x \cdot x^4$	\bar{y}_h	$n_x \cdot \bar{y}_h$	$n_x \cdot \bar{y}_h \cdot x$	$n_x \cdot \bar{y}_h \cdot x^2$
2,04082	12,2449	11,6	69,6	83,18791	99,42857
1,5625	23,4375	9,6667	145	162,1149	181,25
1,23457	17,28395	8,81429	123,4	130,075	137,111
1	32	9,2875	297,2	297,2	297,2
0,82645	9,09091	7,87273	88,6	82,569	78,7273
0,69444	4,86111	7,45714	52,2	47,65186	43,5
0,59172	1,77515	7,26667	21,8	19,11986	16,7692
Σ	100,69352		795,8	821,91945	853,98619

Продовження таблиці 7.4.

x^5	$n_x \cdot x^5$	x^6	$n_x \cdot x^6$	$n_x \cdot \bar{y}_h \cdot x^3$
1	2	3	4	5
2,43924	14,63545	2,91545	17,49271	118,83983
1,74693	26,20392	1,95313	29,29688	202,64366
1,30135	18,2188	1,37174	19,20439	144,5278

Перше рівняння матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 - b_{10} = 0 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 - b_{20} = 0 \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 - b_{30} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 88 \cdot x_1 + 90,209x_2 + 93,02x_3 - 795,8 = 0 \\ 90,209x_1 + 93,02x_2 + 96,49x_3 - 821,9195 = 0 \\ 93,02x_1 + 96,49x_2 + 100,6935x_3 - 853,9862 = 0 \end{cases}$$

Проведений аналіз вказує, що дана система належить до розряду слабо обумовлених лінійних алгебраїчних систем. З огляду на необхідність отримання точного результату з мінімальною похибкою, обґрунтовано застосувати метод Гауса з вибором головного елемента.

Таблиця 7.5. Схема поетапного розв'язання системи за методом Гауса

№	m_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	b_{i0}	S_i	система рівнянь
(1)	-0,9238	88	90,209	93,02	795,8	1067,029	I
(2)	-0,95825	90,209	93,02	96,49	821,9195	1101,6385	
(3)	-1	93,02	96,49	<u>100,6935</u>	853,9862	1144,1897	
Σ		271,229	279,719	290,2035	2471,7057	3312,8572	
(1)		2,0681	1,0715		6,888	10,0276	II
(2)	-0,51864	1,0726	0,5585		3,5875	5,2186	
Σ		3,1407	1,63		10,4755	15,2462	
(1)			0,0028		0,1296		III

За допомогою обчислювальної техніки отримано наступні рівняння:

$$x_1 = 0,93366;$$

$$x_2 = 4,62766;$$

$$x_3 = 3,184059.$$

Для полінома першого порядку: $x_1 = -2,47878; x_2 = 11,2398;$

Для полінома третього порядку: $x_1 = -3,38296; x_2 = -4,59479, x_3 = 14,07241 ;$

$$x_4 = -4,10752.$$

Оцінювання точності моделей

Крім аналітичного аналізу отриманих моделей, важливо порівняти розрахункові результати з експериментальними. Для цього визначимо середньоквадратичну похибку у відсотках на одиницю ваги за формулою:

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{1}{n-k} \cdot \sum \left[\frac{Y_p - \bar{Y}_z}{Y_p} \cdot 100 \right]^2} \cdot n_\alpha,$$

де n – загальна кількість дослідних даних;

k - число невідомих, що визначалися для даного виду зв'язку.

Рівняння першого порядку: $Y_p = -2,47878 + 11,2398 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}}.$

Таблиця 7.7. Дані для оцінки похибки для рівняння першого порядку

Y_p	\bar{Y}_z	$ \bar{Y}_z - Y_p $	$\left[\frac{\bar{Y}_z - Y_p}{Y_p} \cdot 100 \right]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$n_\alpha \cdot [\Delta Y\%]^2$
1	2	3	4	5	6	7
10,955	11,6	0,645	5,884	34,625	6	207,7524
10,088	9,667	0,421	4,174	17,42	15	261,2984
9,369	8,814	0,555	5,921	35,056	14	490,7883
8,761	9,288	0,526	6,009	36,112	32	1155,5916

Продовження табл. 7.7

1	2	3	4	5	6	7
8,238	7,873	0,365	4,433	19,655	11	216,20576
7,782	7,457	0,325	4,171	17,396	7	121,7723
7,379	7,267	0,113	1,525	2,325	3	6,974099
				$\Sigma =$	88	2460,3629

$$\sigma_{\%1} = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum \left[\frac{Y_p - Y_z}{Y_p} \right]^2 \cdot n_a} = \sqrt{\frac{1}{88-2} \cdot 2460,3629} = 5,349 \%$$

Рівняння другого порядку:

$$y = 0,93366 + 4,62766 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} + 3,184059 \cdot \alpha^{-1}$$

Таблиця 7.8. Дані для оцінювання похибки для рівняння другого порядку

Y_p	\bar{Y}_z	$ \bar{Y}_z - Y_p $	$\left[\frac{\bar{Y}_z - Y_p}{Y_p} \cdot 100 \right]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_a	$n_a \cdot [\Delta Y\%]^2$
11,01338	11,6	0,58662	5,3264	28,37086	6	170,2251
10,08761	9,6667	0,42091	4,17254	17,4101	15	261,1519
9,34943	8,814	0,53513	5,72366	32,7603	14	458,6447
8,745379	9,288	0,542121	6,19894	38,4269	32	1229,66
8,240577	7,873	0,367877	4,464214	19,9292	11	219,2213
7,811386	7,457	0,354286	4,5355	20,5708	7	143,9958
7,441656	7,267	0,174956	2,351036	5,52737	3	16,58211
				$\Sigma =$	88	2499,48

$$\sigma_{\%2} = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum \left[\frac{Y_p - Y_z}{Y_p} \right]^2 \cdot n_a} = \sqrt{\frac{1}{88-3} \cdot 2499,48} = 5,42 \%$$

Арк.

Рівняння третього порядку:

$$y = 0,93366 + 4,62766 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} + 3,184059 \cdot \alpha^{-1}$$

Таблиця 7.9. Дані для оцінки похибки для рівняння третього порядку

Y_p	\bar{Y}_z	$ \bar{Y}_z - Y_p $	$\left[\frac{\bar{Y}_z - Y_p}{Y_p} \cdot 100 \right]$	$[\Delta Y\%]^2$	n_α	$n_\alpha \cdot [\Delta Y\%]^2$
10,98	11,6	0,62	5,647	31,889	6	191,336
10,095	9,667	0,428	4,241	17,989	15	269,835
9,364	8,814	0,55	5,869	34,443	14	482,199
8,752	9,288	0,535	6,118	37,424	32	1197,566
8,234	7,873	0,361	4,384	19,235	11	211,581
7,79	7,457	0,333	4,272	18,251	7	127,756
7,406	7,267	0,139	1,881	3,538	3	10,613
				$\Sigma =$	88	2490,886

$$\sigma_{\%3} = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum \left[\frac{Y_p - Y_z}{Y_p} \right]^2} \cdot n_\alpha = \sqrt{\frac{1}{42-4} \cdot 2490,886} = 5,445 \%$$

Результати свідчать, що саме рівняння першого порядку має найменшу похибку, тому його можна вважати найточнішим для опису основної енергетичної характеристики:

$$y = -2,47878 + 11,2398 \cdot x^2$$

Узагальнення залежності: помноживши це рівняння на коефіцієнт α , отримаємо:

$$24K_{\text{н}} = -2,47878 \alpha + 11,2398 \alpha^{1/2}$$

Питоме споживання електроенергії при відповідному значенні питомої встановленої потужності визначається як:

$$\omega = (-2,47878 + 11,2398 \alpha^{-1/2}) \cdot p_{\text{н}}$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

7. Проведено дослідження залежності між основними енергетичними показниками з використанням методів кореляційного аналізу. На основі статистичних даних встановлено наявність нелінійного зв'язку між питомою встановленою потужністю та питомим споживанням електроенергії, що дозволяє зробити висновок про недоцільність використання лінійних моделей для подібних задач. Було здійснено побудову кореляційного зв'язку у вигляді поліномів першого, другого та третього порядків. Для кожної моделі визначено коефіцієнти за допомогою методу найменших квадратів та розв'язання відповідних систем нормальних рівнянь методом Гауса з вибором головного елемента. Проведено оцінювання точності отриманих рівнянь шляхом обчислення середньоквадратичної похибки. Найменше значення похибки було отримано для полінома першого порядку, що свідчить про його кращу апроксимаційну здатність у межах досліджуваного діапазону значень. Таким чином, у результаті виконаного аналізу обґрунтовано доцільність використання нелінійних математичних моделей для визначення енергетичних характеристик, що підвищує точність розрахунків та ефективність енергетичних систем у цілому. Отримані залежності можуть бути використані для подальшої оптимізації режимів роботи електроустановок та при проектуванні енергетичного обладнання.

Виконане дослідження підтверджує доцільність впровадження запропонованої системи електропостачання. Рішення є технічно обґрунтованими, економічно вигідними та екологічно безпечними, що дозволяє підвищити ефективність і надійність роботи збагачувальної фабрики.

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. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Засл. працівника освіти України, канд. техн. наук, проф. Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.

3. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств: ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015. – [Чинний від 2015–10–28]. – К.: Мінрегіон, 2016. – 83 с. – (Національний стандарт України).

4. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

5. Журахівський А.В. Надійність електричних систем і мереж: [навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. електротехн. спец.] / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух.; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : Вид. Львівської політехніки, 2012. – 280 с.

6. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.

7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

