

Міністерство освіти і науки України
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:

**«Розробка системи електропостачання промислових
споживачів з оптимізацією схеми міської розподільчої мережі»
«Development of a power supply system for industrial consumers
with optimization of the urban distribution network schem»**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-22МБ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Родіон ДМИТРИЧЕНКО
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
асистент
_____ Світлана ДУБЕНКО
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ *Петро ПЛЄШКОВ*

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ *Дмитриченко Родіона Андрійовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Розробка системи електропостачання промислових споживачів з оптимізацією схеми міської розподільчої мережі*

2. Керівник роботи (проекту) *Світлана Вячеславівна Дубенко, асистент*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту *02.06.2025 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____

Вступ; Розрахунок електричних навантажень; Побудова графіків електричних навантажень підприємств промислової зони; Побудова картограми електричних навантажень промзони та вибір місця розміщення ГПП та ЦРП; Вибір електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання і напруги підприємств промислової зони; Режими реактивної потужності системи електропостачання; Вибір кількості, потужності та місця розташування ЦРП і трансформаторів підстанцій підприємств промзони; Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання; Оптимізація схеми міської розподільчої мережі напругою 10 кВ; Висновки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	5.05.25	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	9.05.25	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень підприємств промислової зони</i>	14.05.25	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень промзони та вибір місця розміщення ГПП та ЦРП</i>	16.05.25	
5	<i>Вибір електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання і напруги підприємств промислової зони</i>	19.05.25	
6	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	22.05.25	
7	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування ЦРП і трансформаторів підстанцій підприємств промзони</i>	25.05.25	
8	<i>Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання</i>	27.05.25	
9	<i>Оптимізація схеми міської розподільчої мережі напругою 10 кв</i>	30.05.25	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	01.06.25	
11	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	02.06.25	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2025р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 88 с.; 12 рис.; 18 табл.; 12 джерел

Дмитриченко Р.А. Розробка системи електропостачання промислових споживачів з оптимізацією схеми міської розподільчої мережі – Рукопис.

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

В кваліфікаційній роботі проведено розробку системи електропостачання промислових споживачів, яка відповідає вимогам щодо енергоефективності та стабільної роботи. Для досягнення поставленої мети виконано комплекс техніко-економічних розрахунків, зокрема визначення електричних навантажень, аналіз режимів реактивної потужності та оцінка струмів коротких замикань. Окрім цього, обрано схеми зовнішнього й внутрішнього електроживлення підприємства, а також підібрано відповідне обладнання — трансформаторні підстанції, конденсаторні установки, струмопроводи та елементи високовольтної частини.

У спеціальному розділі цієї кваліфікаційної роботи було розглянуто питання модернізації та оптимізації міської розподільчої мережі напругою 10 кВ. Проведена в рамках проєкту оптимізація мережі 10 кВ була спрямована на покращення надійності електропостачання, зменшення енергетичних втрат і забезпечення адаптивності системи до можливих змін у характері навантажень.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, електричне обладнання, міська розподільча мережа, втрати, метод Лагранжа.

ABSTRACT

Qualification work: 88 p.; 12 fig.; 18 tables; 12 sources

Dmytrychenko R.A. Development of a power supply system for industrial consumers with optimization of the city distribution network scheme – Manuscript.

Qualification work in specialty 141 “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”, OPP “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”. – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

In the qualification work, a power supply system for industrial consumers was developed that meets the requirements for energy efficiency and stable operation. To achieve the set goal, a set of technical and economic calculations was performed, in particular, determining electrical loads, analyzing reactive power modes and estimating short-circuit currents. In addition, the schemes of the external and internal power supply of the enterprise were selected, as well as the appropriate equipment was selected - transformer substations, capacitor units, power lines and elements of the high-voltage part.

In a special section of this qualification work, the issue of modernization and optimization of the 10 kV urban distribution network was considered. The optimization of the 10 kV network carried out within the framework of the project was aimed at improving the reliability of power supply, reducing energy losses and ensuring the adaptability of the system to possible changes in the nature of loads.

Keywords: electrical loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, electrical equipment, urban distribution network, losses, Lagrange method.

ВСТУП

Збільшення електричних навантажень як у побутовому секторі, так і у промисловості, обумовлює необхідність відповідного розвитку систем розподілу електроенергії. Розподільчі мережі відіграють ключову роль в забезпеченні надійного електропостачання, оскільки вони з'єднують джерела живлення з кінцевими споживачами та забезпечують передачу електроенергії по всій території населеного пункту.

Через ці мережі здійснюється електроживлення житлових будинків, об'єктів соціальної та комунальної інфраструктури, а також промислових підприємств різних масштабів. На сьогодні частка електроенергії, що передається через міські розподільчі мережі, становить до 40% від загального обсягу виробленої у країні електроенергії. Це зумовлює перетворення таких мереж на окрему складову енергетичного комплексу, що потребує ефективного проектування та модернізації.

Актуальність питання підтверджується тим, що енергетичні компанії, проектні установи та наукові заклади зосереджують зусилля на пошуку оптимальних підходів до формування ефективної структури міських електромереж. У численних роботах досліджено специфічні риси їх функціонування, визначаються оптимальні параметри для різних схем побудови, а також умови їх практичного застосування.

Враховуючи викладене, актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи полягає в необхідності оптимізації структури міської розподільчої мережі напругою 10 кВ в умовах зміни обсягів і структури електроспоживання.

Метою роботи є розроблення раціональної схеми електропостачання промислових споживачів у м.Новоархангельськ та оптимізаціні заходи щодо існуючої мережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати розрахунок навантажень промислових підприємств, провести техніко-економічну оцінку

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіантів побудови мереж 10 кВ, а також здійснити вибір основного електротехнічного обладнання, такого як силові трансформатори, кабельні та повітряні лінії електропередачі та ін.

У процесі проектування системи електроживлення слід враховувати ряд важливих технічних та організаційних факторів: споживану потужність, категорії надійності для окремих елементів, добові графіки навантажень, розміщення енергоємних об'єктів на плані, кількість і параметри трансформаторних підстанцій, рівень напруги споживачів, а також резервування на випадок аварійних ситуацій, умови навколишнього середовища тощо.

У спеціальному розділі даної кваліфікаційної роботи розглядається питання оптимізації схеми міської мережі електропостачання напругою 10 кВ у м.Новоархангельськ з урахуванням сучасних вимог до надійності та ефективності енергопостачання.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для визначення розрахункових навантажень електроприймачів у даній роботі використовується метод упорядкованих діаграм, методика якого докладно подана у [2].

1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

При розрахунку електричних навантажень в розподільчих мережах низької напруги (до 1000 В) доцільно дотримуватись поетапного підходу, який забезпечує врахування як технічних характеристик електроприймачів, так і особливостей режиму їх роботи. Рекомендований порядок виконання розрахунків включає такі етапи:

1) На основі даних по розрахунковому вузлу визначається загальна кількість силових електроприймачів, а також виконується підсумовування їх номінальних потужностей.

2) Визначаються середні активні та реактивні навантаження для робочих електроприймачів, що враховують фактичну тривалість і режим їх експлуатації.

3) Обчислюється груповий коефіцієнт використання потужності, а також розраховується середньозважене значення коефіцієнта потужності для всієї групи.

4) Проводиться розрахунок ефективної кількості електроприймачів у вузлі, що дозволяє врахувати ступінь рівномірності навантаження.

5) За відповідними графіками або табличними даними визначається коефіцієнт максимуму, після чого обчислюється максимальне значення активної потужності групи електроприймачів із змінним навантаженням.

6) У випадку наявності в даному вузлі споживачів з постійним графіком навантаження, обчислюється їх сумарна номінальна потужність і середнє навантаження.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7) Загальне розрахункове навантаження по вузлу визначається як сума розрахункових навантажень електроприймачів із змінним графіком та середніх навантажень електроприймачів з постійним графіком.

Такий підхід дозволяє отримати обґрунтовані розрахункові значення, які необхідні для подальшого вибору перерізів проводів, апаратури захисту та іншого елементу обладнання мережі, а також для оцінки режимів роботи системи електропостачання в цілому.

$$P_p = P_{зм} \cdot K_M = 37,1 \cdot 1,2 = 44,5 \text{ кВт},$$

$$K_B = \Sigma P_{зм} / \Sigma P_H = 37,1 / 59,1 = 0,63,$$

$$m = P_{H \max} / P_{H \min} = 7,5 / 1,1 = 6,82,$$

$$Q_p = Q_{зм} = 30,4 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = 44,5^2 + 30,4^2 = 53,9 \text{ кВА}$$

Таблиця 1.1 містить підсумкові дані щодо електричних навантажень у мережі низької напруги.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі виробничого приміщення відповідно до [2].

$$P_v = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 1030 \cdot 18 \cdot 10^{-3},$$

$$P_{Росв} = K_C \cdot P_v = 0,9 \cdot 18,5 = 16,7 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 16,7 \cdot 0,9 = 15 \text{ квар}.$$

Освітлювальні навантаження розраховано та наведено у табличній формі (табл. 1.2).

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Для силових електричних мереж з рівнем напруги вище 1000 В розрахунок навантажень здійснюється з урахуванням характеру роботи споживачів, типу навантаження (перервне, тривале, змінне), а також режимів функціонування мережі. Розрахункові значення визначаються як активна, реактивна і повна потужності, що необхідні для правильного вибору апаратури, кабельних ліній та трансформаторного обладнання.

При цьому використовуються такі етапи:

- визначення сумарного середнього та максимального навантаження на кожному з підрозділів;
- урахування коефіцієнтів попиту, одночасності, використання і навантаження;
- приведення потужностей до одного рівня напруги;
- визначення розрахункових струмів із урахуванням активної та реактивної складових;
- побудова розрахункових графіків навантаження.

Навантаження на промисловому підприємстві (на шинах ЦРП або ГЗП) визначається таким самим чином, як і навантаження на окремих трансформаторних підстанціях (ТП). У разі, якщо в склад вузла навантаження входять синхронні двигуни або батареї конденсаторів, що використовуються для підвищення коефіцієнта потужності, їх реактивне навантаження при розрахунку приймається із від'ємним знаком.

Розрахунок навантажень в мережах напругою понад 1000 В наведено в таблиці 1.3.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 1.1 Розрахунок навантаження на шинях 0.4 кВ групи цехів РП-1 заводу

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K_e	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження, кВт		K_M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					$P_{зм}$	$Q_{зм}$		P_p	Q_p	S_p	
	Сирзавод														
	Сирцех														
1	Насосне обладнання	8	1,1	7,5	14,1 >3	0,7	0,80	0,75	9,9	7,40					
2	Пристрої для сепарації	3	5,5	7,5	13 <3	0,65	0,80	0,75	8,5	6,34					
3	Ємності для сиру	4	1,5	1,5	6 <3	0,4	0,80	0,75	2,4	1,80					
4	Системи вентиляції	2	5,5	5,5	11 <3	0,6	0,80	0,75	6,6	4,95					
5	Компресорні установки	2	7,5	7,5	15 <3	0,65	0,70	1,02	9,8	9,95					
6	Всього по сирцеху	19	1,1	7,5	59,1 >3	0,63	0,77	0,82	37,1	30,44	16	1,20	44,5	30,4	53,9
7	Компресорна														
8	Аміачне компресорне обладнання	5	28	80	298 <3	0,65	0,8	0,75	193,7	145,28					
9	Помпи	10	1,1	22	121,6 >3	0,6	0,7	1,02	73,0	74,43					
10	Системи повітрообміну	20	1,1	11	26,6 >3	0,65	0,8	0,75	17,3	12,97					
11	Всього по компресорній	35	1,1	7,5	446,2 >3	0,64	0,77	0,82	284,0	232,68	35	1,12	319,1	232,7	394,9
12	Котельня														
13	Помпи	16	0,75	0,75	51,95 <3	0,65	0,82	0,70	33,8	23,57					
14	Димовий витяжний пристрій	2	11	11	22 <3	0,65	0,82	0,70	14,3	9,98					
	Димосос	1	3	3	3 <3	0,6	0,82	0,70	1,8	1,26					

Продовження табл.1.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт				
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P		
	Система розпилення	4	1,1	4,4	4,4	>3	0,6	0,81	0,75	2,6	1,98					
	Пристрій для циркуляції повіт	1	1,1	1,1	1,1	<3	0,64	0,8	0,88	0,7	0,62					
	Всього по котельній	24	1,1	7,5	82,45	>3	0,65	0,82	0,70	53,2	37,41	22	1,16	61,5	37,4	72,0
	Резервуар для зберігання мазуту															
	Помпа	1	22	22	22	1	0,75	0,75	0,88	13,2	11,60	1	1,00	13,2	12,8	18,4
	Робоча майстерня															
	Обладнання для обробки	6	1,5	10,0	24,9	>3	0,20	0,5	1,73	5,0	8,63					
	Циркулярна пилка	1	4,5	4,5	4,5	<3	0,10	0,4	2,29	0,5	1,03					
	Станок для заточування	1	2,2	2,2	2,2	<3	0,12	0,5	1,73	0,3	0,46					
	Апарат для зварювання	2	13,0	13,0	26,0	<3	0,12	0,8	0,75	3,1	2,34					
	Рейсмусовий станок	1	3,5	3,5	3,5	<3	0,12	0,7	1,02	0,4	0,43					
	Зварювальний трансформатор	1	15,0	15,0	15,0	<3	0,30	0,5	1,73	4,5	7,79					
	Всього по майстерні	12	1,1	15	76,1	>3	0,18	0,57	1,44	13,7	19,82	10	1,89	25,9	19,8	32,6
	Цех приймального обладнання															
	Помпи	2	5,5	5,5	11,0	<3	0,60	0,8	0,75	6,6	4,95					
	Помпи	5	1,1	1,1	5,5	<3	0,60	0,7	1,02	3,3	3,37					
	Помпи	1	1,5	1,5	1,5	<3	0,65	0,8	0,75	1,0	0,73					
	Пристрої для сепарації	3	5,5	5,5	16,5	<3	0,60	0,86	0,60	9,9	5,94					

Продовження табл.1.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _p	Q _p	S _p	
	Ємність для сироваріння	1	1,5	1,5	1,5	0,4	0,8	0,88	0,6	0,53					
	Система вентиляції	2	2,2	5,5	<3	0,50	0,7	1,02	3,9	3,93					
	Всього по цеху	14	1,1	5,5	>3	0,62	0,79	0,77	25	19	14	1,22	30,8	19,4	36,4
	Лабораторне приміщення														
	Ємність для закваски	2	0,75	0,75	1,5	<3	0,70	0,8	1,1	0,79					
	Система вентиляції	1	2,2	2,5	<3	0,64	0,5	1,73	1,4	2,44					
	Всього по лабораторії	3	1,1	5,5	>3	0,60	0,70	1,31	2	3	1	2,73	6,7	3,5	7,6
	Склад для зберігання сиру														
	Підйомний механізм	1	1,1	1,1	1,1	<3	0,10	0,50	0,1	0,19					
	Системи вентиляції	9	1,5	11	38,5	>3	0,64	0,75	24,6	21,73					
	Обладнання для миття сиру	2	1,1	2,2	2,2	<3	0,40	0,75	0,9	0,78					
	Пристрій для пропарювання	1	1,1	1,1	1,1	<3	0,60	0,80	0,7	0,50					
	Апарат для нанесення парафін	2	10	10	20	<3	0,60	0,80	12,0	9,00					
	Машина для очищення	1	2,5	2,5	2,5	<3	0,60	0,75	1,5	1,32					
	Всього по складу зберігання	16	1,1	5,5	65	>3	0,65	0,76	40	34	16	1,19	47,2	33,5	57,9
	Приміщення для прання														
	Автомат для прання	3	0,75	1,1	2,6	<3	0,3	0,8	0,78	0,585					

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}			P _p	Q _p	S _p	
	Обладнання для віджиму	1	2,2	2,2	<3	0,4	0,8	0,75	0,9	0,66						
	Всього по приміщенню для	4	0,75	2,2	<3	0,34	0,80	0,75	1,66	1,25	4	2,02	3,4	1,4	3,6	
	Зона очищення автомобілів															
	Пристрій для вентиляції	1	0,75	0,75	<3	0,64	0,75	0,88	0,5	0,42						
	Помпова установка	1	7,5	7,5	<3	0,7	0,8	0,75	5,3	3,94						
	Всього по автомобільній ми	2	0,75	7,5	>3	0,69	0,79	0,76	5,73	4,36	2	1,70	9,8	4,8	10,9	
	Відділення з виробництва плавлених сирів															
	Подрібнювальний пристрій дл	1	0,75	0,75	<3	0,4	0,7	1,02	0,3	0,31						
	Перекачувальна установка	1	1,1	1,1	<3	0,7	0,7	1,02	0,8	0,79						
	Дозувальний шприц	1	2	2	<3	0,2	0,65	1,17	0,4	0,47						
	Термічний чан для розплавлен	1	4,1	4,14	<3	0,7	0,5	1,73	2,9	4,97						
	Коагуляційний насос	1	4	4	<3	0,7	0,8	0,75	2,8	2,10						
	Обладнання для відокремлен	1	0,75	0,75	<3	0,4	0,5	1,73	0,3	0,52						
	Всього по приміщенню	6	0,75	4	>3	0,69	0,79	1,23	7,44	9,15	6	1,29	9,6	10,1	13,9	
	Всього по сирзаводу	136	0,75	80	>3	0,61	0,79	0,83	483,5	402,9	21	1,18	571,5	402,9	699,2	

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _P	Q _P	S _P	
	Ремонтно-транспортне підприємство														
	Столярна ділянка														
	Дискова пилка	4	11	44,0	<3	0,21	0,51	1,69	9,2	15,58					
	Обладнання для стругання де	1	16	16,0	<3	0,15	0,41	2,22	2,4	5,34					
	Установа для стисненого пові	1	6,5	6,5	<3	0,70	0,78	0,80	4,6	3,65					
	кран-балка	1	5,5	5,5	<3	0,11	0,48	1,83	0,6	1,11					
	Всього по столярній ділянці	7	5,5	16	<3	0,21	0,52	1,64	16,795	25,6795	7	2,011	33,7681	28,24743	44,0
	Діляниця обслуговування акумуляторів														
	Підзарядки батарей	1	2,2	2,2	<3	0,21	0,51	1,69	0,5	0,78					
	примусова вентиляція	1	0,5	0,5	<3	0,62	0,82	0,70	0,3	0,22					
	Всього по акумуляторній ділі	2	0,5	2,2	>3	0,26	0,61	1,299	0,8	1,00	2	3,322	2,56496	1,095158	2,8
	Зварювальна діляниця														
	Трансформатор	9	5,5	25	>3	0,36	0,42	2,16	79,2	171,13					
	Вентиляційне обладнання	5	0,4	20	>3	0,63	0,78	0,80	37,8	30,33					
	Всього по акумуляторній ділі	14	0,4	25	>3	0,26	0,79	0,776	117,0	201,46	14	1,567	183,293	201,4594	272,4
	Ковальська діляниця														
	Пневмомолот	2	6,5	6,5	<3	0,71	0,81	0,72	9,2	6,68					
	Вентиляційне обладнання	1	1,2	1,2	<3	0,63	0,81	0,72	0,8	0,55					
	Всього ковальському цеху	3	1,2	6,5	>3	0,68	0,81	0,724	10,0	7,23	3	1,501	14,9901	7,952713	17,0
	Ковальська діляниця														
	Обладнання для свердління	1	1,3	1,3	<3	0,11	0,41	2,22	0,14	0,32					
	Пристрій для вентиляції повіт	6	0,5	0,5	<3	0,63	0,82	0,70	1,89	1,32					
	Станція для перевірки гідроси	1	6	6	<3	0,10	0,52	1,64	0,60	0,99					
	Система для тестування пали	3	4,5	4,5	<3	0,10	0,52	1,64	1,35	2,22					
	Зачувальний верстат	1	1,2	1,2	<3	0,13	0,54	1,56	0,16	0,24					
	Підвісний підйомник	2	8	8	<3	0,10	0,45	1,98	2,40	4,76					
	Підвісний підйомник	1	3,3	3,3	<3	0,10	0,45	1,98	0,66	1,31					
	Універсальний верстат	14	0,25	0,25	<3	0,12	0,45	1,98	0,42	0,83					

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _P	Q _P	S _P
	Фрезерна машина	1	2,5	2,5	<3	0,12	0,45	1,98	0,30	0,60				
	Всього ремонтній дільниці	30	0,25	6	61,6	>3	0,68	0,81	7,919	12,5851	21	1,143	9,05203	12,58506
	Адміністрація РТП													
	Складське приміщення 1													
	Вантажна машина	1	6,5	6,5	13	<3	0,42	0,81	5,5	3,95				
	Вентиляційне обладнання	3	2,1	2,1	6,3	<3	0,62	0,81	3,9	2,83				
	Всього по складському приміщ	4	1,2	6,5	19,3	>3	0,50	0,81	9,4	6,78	4	1,691	15,8404	7,458954
	Складське приміщення 2													
	Підйомник	1	5	5	5	<3	0,12	0,60	0,6	0,80				
	Вентиляційне обладнання	2	1,4	1,4	2,8	<3	0,50	0,80	1,4	1,05				
	Всього по складському приміщ	3	1,2	6,5	7,8	>3	0,30	0,81	2,0	1,85	2,4	2,728	5,45683	2,035
	Всього по Рем-Трансп підпр	63	0,25	25	458	>3	0,61	0,79	1,57	257	37	1,13	185,3	256,6
	ДЕП													
	Асфальтобетонний завод 1													
	Пристрій для змішування	2	25	25	50	<3	0,60	0,85	30,00	18,59				
	Компресорна установка	1	5	5	5	<3	0,70	0,81	3,50	2,53				
	Помпа перекачування бітуму	2	7,5	7,5	15	<3	0,72	0,81	10,80	7,82				
	Транспортер типу елеватор	1	5	5	5	<3	0,45	0,76	2,25	1,92				
	Барабан для сушіння	1	7,5	7,5	7,5	<3	0,50	0,81	3,75	2,71				
	Пристрій для видалення диму	3	24	24	72	<3	0,65	0,81	46,80	33,88				
	Вентилятор для подачі повітр	1	4,5	4,5	4,5	<3	0,60	0,8	2,70	1,95				
	Помпа для подачі палива	1	4	4	4	<3	0,60	0,81	2,40	1,74				
	Транспортуючий механізм	2	2,5	2,5	5	<3	0,50	0,76	2,50	2,14				
	Транспортуючий механізм	2	1,5	1,5	3	<3	0,40	0,76	1,20	1,03				
	Устаткування для подачі мате	2	2,5	2,5	7	<3	0,41	0,76	2,87	2,45				

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K_e	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження,кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					$P_{зм}$	$Q_{зм}$			P_P	Q_P	S_P	
	Вібраційні механізми	3	0,25	0,75	<3	0,20	0,66	1,14	0,15	0,17						
	Електричні нагрівальні прилад	9	3	27	<3	0,81	0,90	0,48	21,87	10,59						
	Всього по АБЗ 1	30	0,25	24	205,75	>3	0,30	0,81	0,7	130,79	87,5407	17	1,45	189,696	87,54065	208,9
	АБЗ 2															
	Пристрій для змішування комп	2	15	15	30	<3	0,61	0,82	18,30	12,77						
	Установка для стиснення пові	1	5	5	5	<3	0,79	0,82	3,95	2,76						
	Перекачувальний насос	4	1,1	2,2	<3	0,65	0,82	0,70	1,43	1,00						
	Спіральний транспортер	2	2,2	4,4	<3	0,45	0,73	0,94	1,98	1,85						
	Помпа для бітуму	2	2	2	4	<3	0,72	0,81	2,88	2,09						
	Спіральний транспортер	1	12	12	12	<3	0,45	0,76	5,40	4,62						
	Механізм приводу естакади	2	0,25	0,5	<3	0,22	0,82	0,70	0,11	0,08						
	Сито для сортування	1	3,5	3,5	<3	0,40	0,81	0,72	1,40	1,01						
	Транспортер типу елеватор	2	2	2	4	<3	0,45	0,72	1,80	1,73						
	Обладнання для сушіння в ба	2	5,5	5,5	11	<3	0,81	0,90	8,91	4,32						
	Пристрій для видалення диму	2	25	25	50	<3	0,81	0,82	40,50	28,27						
	Вентилятор для повітряного п	2	7,5	7,5	15	<3	0,70	0,82	10,50	7,33						
	Насос для подачі палива	1	1,5	1,5	1,5	<3	0,72	0,82	1,08	0,75						
	Транспортуючі системи	2	2,5	4	6,5	<3	0,45	0,76	2,93	2,50						
	Устаткування для подачі мате	5	1	1	5	<3	0,45	0,76	2,25	1,92						
	Вібраційні механізми	5	0,25	1,25	<3	0,10	0,60	1,33	0,1	0,2						
	Помпа для бітуму	4	6	6	24	<3	0,75	0,70	18,0	18,4						
	Електричні нагрівальні пристр	14	2,2	30,2	<3	0,81	0,95	0,33	24,5	8,0						
	Трансформатор для зварюван	1	10	10	10	<3	0,20	0,42	2,0	4,3						
	Всього по АБЗ 2	55	0,25	24	220,05	>3	0,67	0,81	0,7	148,002	103,896	18	1,159	171,515	103,8957	200,5
	Дільниця ДЕУ															
	Верстат заточування інструме	2	2	4	<3	0,10	0,45	1,98	0,4	0,8						
	Прилади електричного нагріву	2	2	4	<3	0,82	0,90	0,48	3,3	1,6						

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _p	Q _p	S _p	
	Станція заправки автомобілів	1	3	3	<3	0,20	0,85	0,62	0,6	0,4					
	Станок зварювальних робіт	2	6	12	<3	0,60	0,60	1,33	7,2	9,6					
	Всього по ДЕУ	7	2	6	23	0,35	0,50	1,12	11,48	12,3542	7	1,683	19,3154	13,58965	23,6
	АТП														
	Обладнання для токарних роб	1	4,5	4,5	<3	0,14	0,40	2,29	0,6	1,4					
	Шліфувальний станок	1	4,5	4,5	<3	0,15	0,51	1,69	0,7	1,1					
	Установка для стиснення пові	1	5,5	5,5	<3	0,75	0,82	0,70	4,1	2,9					
	тельфер	1	7,5	7,5	<3	0,20	0,5	1,64	1,5	2,5					
	Трансформатор для зварюван	1	16	16	<3	0,21	0,45	1,98	3,4	6,7					
	Всього по АТП	5	4,5	16	38	0,25	0,64	1,12	10,29	14,5931	7	1,892	19,4734	16,05245	25,2
	Відкрите гірниче підприємство														
	Привод дробильного обладнан	6	25	70	<3	0,58	0,9	0,62	116,0	71,9					
	Сито для сортування матеріал	2	7	4	<3	0,51	0,81	0,72	7,1	5,2					
	Транспортуючі системи	8	5	40	<3	0,45	0,85	0,62	18,0	11,2					
	Устаткування для подачі мате	1	7	7	<3	0,40	0,8	0,86	2,8	2,4					
	Машина для копання ґрунту	2	170	340	<3	0,40	0,7	0,96	136,0	131,1					
	Всього по кар'єру	19	4,5	16	601	>3	0,25	0,64	0,9	279,94	7	1,892	529,775	243,8628	583,2
	Всього по відкритому ДЕП	116	0,25	170	1088	>3	0,40	0,79	581	440	13	1,42	822,0	440,1	932,4
	ТОВ "Новий світ"														
	Цех ДСП 32														
	Пристрої для вентиляції	4	2	50	128	>3	0,65	0,8	83,2	73,4					
	Помпа для палива	1	1,5	1,5	1,5	<3	0,65	0,81	1,0	0,7					
	Ланцюговий елеватор	2	15,5	15,5	31	<3	0,38	0,78	11,8	9,5					
	Ланцюговий елеватор	3	6	6	18	<3	0,38	0,78	6,8	5,5					
	Транспортуючий механізм	4	2	2	8	<3	0,50	0,78	4,0	3,2					

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _P	Q _P	S _P	
	Комплекс енергозабезпечення	2	2	2	4 <3	0,40	0,82	0,70	1,6	1,1					
	Бункер для зберігання зерна	1	1,2	1,2	1,2 <3	0,30	0,82	0,70	0,4	0,3					
	Установака для обробки зерна	2	20	20	40 <3	0,30	0,7	1,02	12,0	12,2					
	Всього по цеху ДСП 32	19	1,5	50	231,7 >3	0,50	0,64	1,201	120,755	105,84	9	1,396	168,551	116,4235	204,9
	Насосна установака скважини	1	5,8	5,8	5,8	1	0,60	0,698	3,5	2,4	1	3,48	2,67196	4,4	
	Цех ОКЦ 50														
	Установака ГУАР -30	1	25	25	25 <3	0,30	0,78	0,80	7,5	6,0					
	Ланцюговий елеватор НЦГ-10	5	20	55	170 <3	0,60	0,70	1,02	102,0	104,1					
	Транспортуючий механізм	2	5,5	12	20,5 <3	0,70	0,75	0,88	14,4	12,7					
	Регулювальні засувки	4	0,25	0,25	1 <3	0,55	0,8	0,75	0,6	0,4					
	Спіральний транспортер	2	2,5	4,5	7 <3	0,55	0,7	1,02	3,9	3,9					
	Очищувальний сепаратор	2	14	14	28 <3	0,65	0,76	0,86	18,2	15,6					
	Присрій для дозування зерна	3	2	2	6 <3	0,45	0,8	0,70	2,7	1,9					
	Завантажувальний елеватор	1	2	2	2 <3	0,60	0,8	0,75	1,2	0,9					
	Машина для подрібнення	3	40	40	120 <3	0,45	0,80	0,75	54,0	40,5					
	спіральний транспортер	1	20	20	20 <3	0,50	0,78	0,80	10,0	8,0					
	Шлюзовий затвор	2	2	2	4 <3	0,40	0,82	0,70	1,6	1,1					
	Спіральний транспортер	10	2	6	28 >3	0,35	0,75	0,88	9,8	8,6					
	Ланцюговий елеватор	2	3	3	6 <3	0,45	0,70	1,02	2,7	2,8					
	Регулювальні засувки	10	0,3	0,3	3 <3	0,45	0,80	0,75	1,4	1,0					
	Розвантажувальний елеватор	1	7,5	7,5	7,5 <3	0,40	0,8	0,88	3,0	2,6					
	Регулювальні засувки	1	0,3	0,3	0,3 <3	0,45	0,82	0,70	0,1	0,1					
	Вентиляційне обладнання	2	25	25	50 <3	0,70	0,75	0,88	35,0	30,9					
	Обладнання для подрібнення	1	72	72	72 <3	0,62	0,75	0,88	44,6	39,4					
	Присрій для змішування	1	20	20	20 <3	0,50	0,75	0,88	10,0	8,8					

Продовження табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _p	Q _p	S _p	
	Спіральний транспортер	2	1,5	2	3,5 <3	0,45	0,70	1,02	1,6	1,6					
	Ланцюговий елеватор	2	1,5	2	3,5 <3	0,35	0,76	0,86	1,2	1,0					
	Дозуючі пристрої	3	2,1	6,3	>3	0,40	0,85	0,62	0,0	0,0					
	Установка АС-1	1	7,5	7,5	7,5 <3	0,55	0,8	0,70	4,1	2,9					
	Шлюзовий затвор	1	1	1	1 <3	0,50	0,82	0,70	0,5	0,3					
	Вентилятори	2	1,3	3,2	4,5 <3	0,65	0,82	0,70	2,9	2,0					
	Пожежна насосна станція	2	2,5	2,5	5 <3	0,60	0,82	0,70	3,0	2,1					
	Всього по цеху ОКЦ 50	67	0,25	72	615 >3	0,5	0,81	0,724	336	299	17	1,197	402,024	299,2851	501,2
	Робоча майстерня														
	Обладнання для свердління	1	0,5	0,5	0,5 <3	0,10	0,60	1,33	0,05	0,07					
	Верстат для грубої обробки	1	5	5	5 <3	0,1	0,50	1,73	0,50	0,87					
	Пристрій для зварювання	1	18	18	18 <3	0,10	0,5	1,98	1,80	3,57					
	Машина для обробки деревини	4	0,6	18	30 >3	0,1	0,45	1,98	3,00	5,95					
	Всього по майстерні	7	0,5	18	54 >3	0,2	0,40	2,291	5	10	6	1	5,35	11,50416	12,7
	Лабораторне приміщення														
	Стенд для досліджень	1	0,2	0,2	0,2 <3	0,20	0,5	1,98	0,04	0,08					
	Дистильована рідина	1	3	3	3 <3	0,20	0,70	1,02	0,60	0,61					
	Шафа для висушування	1	3,5	3,5	3,5 <3	0,60	0,95	0,33	2,10	0,69					
	Електрична плита	1	1	1	1 <3	0,8	0,9	0,48	0,80	0,39					
	Всього по лабораторії	4	0,2	3,5	7,7 >3	0,30	0,81	0,724	3,54	1,7692	4	2,137	7,56351	1,946117	7,8
	Гараж														
	Верстат для первинної обробки	1	5	5	5 <3	0,10	0,52	1,64	0,50	0,82					
	Обладнання для свердління	1	0,7	0,7	0,7 <3	0,10	0,6	1,33	0,07	0,09					
	Повітряний компресор	1	2,7	2,7	2,7 <3	0,70	0,75	0,88	1,89	1,67					
	Прес з гідравлічним приводом	1	2,7	2,7	2,7 <3	0,40	0,45	1,98	1,08	2,14					
	Підймальний механізм (кран-б	1	1,5	1,5	1,5 <3	0,10	0,10	9,95	0,15	1,49					
	Установка для вулканізації	1	2,5	2,5	2,5 <3	0,30	0,25	3,87	0,75	2,90					
	Токарне устаткування	1	1,5	1,5	1,50 <3	0,12	0,1	8,27	0,18	1,49					
	Всього по гаражу	6	0,7	5	15,1 >3	0,40	0,81	0,724	4,44	9,12196	6	1,667	7,40174	10,03415	12,5

Продовження табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _P	Q _P	S _P	
	Компресорна														
	Прес	1	7,5	7,5	<3	0,4	0,75	0,88	3,00	2,65					
	Пристрій для обігріву повітря	2	10	20	<3	0,5	0,9	0,48	10,00	4,84					
	Повітряний вентилятор	1	0,2	0,2	<3	0,6	0,7	1,02	0,12	0,12					
	Помпа для перекачування ріди	1	0,2	0,2	<3	0,75	0,82	0,70	0,15	0,10					
	Всього по компресорній	5	0,2	10	>3	0,40	0,81	0,724	13,27	7,7161	5	1,754	23,2777	8,487707	24,8
	Сховище ПММ														
	Заправний модуль для бензин	1	0,7	0,7	<3	0,3	0,81	0,72	0,21	0,15					
	Дозатор дизельного пального	1	1,6	1,6	<3	0,3	0,81	0,72	0,48	0,35					
	Всього по сховищу ПММ	2	0,7	1,6	<3	0,30	0,81	0,75	0,69	0,49955	2	3,08	2,12505	0,549507	2,2
	ГУАР														
	Вертикальний елеватор (норія	3	6	6	<3	0,4	0,8	0,75	7,20	5,40					
	Стрічковий транспортер	2	6,5	6,5	<3	0,5	0,7	1,02	6,50	6,63					
	Машина для завантаження ма	3	10,8	10,8	<3	0,3	0,75	0,88	9,72	8,57					
	Всього по ГУАР	8	6	10,8	<3	0,40	0,70	1,02	23,42	20,6036	8	1,554	36,4032	22,66392	42,9
	Всього по ТОВ "Новий світ"	119	0,2	72	>3	0,35	0,8	0,75	511	458	28	1,296	662,079	457,7224	804,9
	Хлібзавод														
	Головна споруда														
	Всього по головній споруді	60	0,5	160	>3	0,52	0,85	0,62	218,40	135,35	5,3	1,542	336,861	148,8874	368,3
	Компресорна														
	Всього по компресорній	8	3	100	>3	0,6	0,9	0,484	372,60	180,46	8	1,331	495,831	198,5043	534,1
	Виробнича ділянка														
	Токарне устаткування	1	6,5	6,5	<3	0,20	0,50	1,73	1,30	2,25					
	Свердлильне устаткування	3	1,3	1,6	<3	0,20	0,50	1,73	0,84	1,45					
	Машина для фрезерування	1	1,2	1,2	<3	0,14	0,50	1,73	0,17	0,29					
	Шліфувальна машина	1	5,5	5,5	<3	0,12	0,6	1,33	0,66	0,88					
	Всього по компресорній	6	1,2	6,5	>3	0,22	0,47	1,88	2,968	4,87757	5,4	2,167	6,43171	5,365331	8,4

Продовження табл. 1.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількі сть ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{эм}	Q _{эм}		P _P	Q _P	S _P	
	Сховище зберігання борошна														
	Механізми подачі сировини	10	2	20	<3	0,7	0,8	0,75	14,00	10,50					
	Установка для просіювання	2	1,1	2,2	<3	0,5	0,8	0,75	1,65	1,24					
	Всього по сховищу	12	1,1	2,2	<3	0,6	0,8	0,75	15,65	11,7375	12	1,258	19,6867	11,7375	22,9
	Дільниця для зварювання														
	Зварювальний пристрій	2	22	44	<3	0,25	0,85	0,62	11,00	6,82					
	Агрегат для циркуляції повітря	2	4	8	<3	0,4	0,85	0,62	3,20	1,98					
	Всього по дільниці	4	1,1	2,2	<3	0,6	0,85	0,62	29,85	20,5379	4	1,527	45,5829	22,59166	50,9
	Електротехнічний цех														
	Охолоджувальна камера	3	1,1	3,3	<3	0,7	0,75	0,88	2,31	2,04					
	Система повітрообміну	2	1,1	2,2	<3	0,7	0,75	0,88	1,54	1,36					
	Всього по цеху	5	1,1	2,2	<3	0,7	0,75	0,88	3,85	3,40	5	1,315	5,06085	3,734919	6,3
	Гараж														
	Свердлильна установка	4	2,2	8,8	<3	0,12	0,4	2,29	1,06	2,42					
	Зварювальний пристрій	2	16	32	<3	0,4	0,6	1,33	12,80	17,07					
	Всього по гаражу	6	1,1	2,2	<3	0,3	0,5	1,73	13,86	19,49	6	1,858	25,7471	21,43489	33,5
	Прохідна														
	Електропривод воріт	1	3,5	3,5	<3	0,3	0,8	0,75	1,05	0,79					
	Повітрообдув	1	2,5	2,5	<3	0,3	0,7	1,02	0,75	0,77					
	Всього по прохідній	2	1,1	2,2	<3	0,4	0,75	0,88	1,80	1,55	2	2,617	4,70985	1,707918	5,0
	Адмін корпус														
	Кондиціонери	3	2,5	7,5	<3	0,4	0,8	0,75	3,00	2,25					
	Комп'ютери	3	0,4	1,2	<3	0,4	0,8	0,75	0,48	0,36					
	Всього по адмінкорпусу	6	0,4	2,5	>3	0,4	0,8	0,75	3,48	2,61	6	1,667	5,80136	2,871	6,5
	Котельня														
	Витяжний агрегат	4	28	112	<3	0,70	0,70	1,02	78,40	79,98					
	Повітродувна установка	4	10,5	42	<3	0,60	0,70	1,02	25,20	25,71					
	Підживлювальний насос	4	28	112	<3	0,7	0,8	0,75	78,40	58,80					
	Помпа	4	55	220	<3	0,8	0,8	0,75	176,00	132,00					

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлення промислових споживачів

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВт	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВт	S _p , кВт
	Сирзавод									
	Сирцех	1030,0	18,0	18,5	0,9	16,7	0,90	16,7	15,0	22,4
	Компресорна	85,0	12,0	1,0	0,9	0,9	0,90	0,9	0,8	1,2
	Котельня	110,0	14,0	1,5	0,9	1,4	0,80	1,2	1,1	1,7
	Резервуар для зберігання мазуту	62,0	8,0	0,5	0,9	0,4	0,90	0,4	0,4	0,6
	Робоча майстерня	150,0	18,0	2,7	0,9	2,4	0,90	2,4	2,2	3,3
	Цех приймального обладнання	180,0	16,0	2,9	0,9	2,6	0,90	2,6	2,3	3,5
	Лабораторне приміщення	120,0	20,0	2,4	0,9	2,2	0,95	2,3	2,1	3,1
	Склад для зберігання сиру	65,0	12,0	0,8	0,9	0,7	0,80	0,6	0,6	0,8
	Приміщення для прання	80,0	16,0	1,3	0,9	1,2	0,90	1,2	1,0	1,5
	Зона очищення автомобілів	120,0	10,0	1,2	0,9	1,1	0,90	1,1	1,0	1,5
	Відділення з виробництва плавлених сири	1400,0	18,0	25,2	0,9	22,7	0,95	23,9	21,5	32,2
	Освітлення території	56170,0	0,1	5,6	0,9	5,1	1,00	5,6	5,1	7,6
	Всього по сирзаводу							59,0	53,1	79,4
	Ремонтно-транспортне підприємство									
	Столярна ділянка	140,0	16,0	2,2	1,64	3,7	1,0	2,1	3,5	4,1
	Дільниця обслуговування акумуляторів	50,0	12,0	0,6	1,30	0,8	0,9	0,5	0,7	0,9
	Зварювальна дільниця	150,0	14,0	2,1	0,78	1,6	0,9	1,9	1,5	2,4
	Ковальська дільниця	120,0	18,0	2,2	0,73	1,6	0,8	1,7	1,3	2,1
	Адміністрація РТП	240,0	18,0	4,3	1,12	4,8	0,8	3,5	3,9	5,2
	Складське приміщення 1	380,0	22,0	8,4	0,73	6,1	0,8	6,7	4,9	8,3
	Складське приміщення 2	140,0	10,0	1,4	0,73	1,0	0,9	1,3	0,9	1,6
	Освітлення території	40520,0	0,1	4,1	1,12	4,5	0,9	3,6	4,1	5,5
	Всього по РТП							21,3	20,7	29,7
	ДЕП									
	Асфальтобетонний завод 1	1010,0	18,0	18,2	1,12	20,4	0,90	16,4	18,3	24,6
	АБЗ 2	1500,0	17,0	25,5	1,12	28,6	0,90	23,0	25,7	34,5
	Дільниця ДЕУ	120,0	15,0	1,8	1,12	2,0	0,80	1,4	1,6	2,2
	АТП	90,0	14,0	1,3	1,12	1,4	0,80	1,0	1,1	1,5
	Відкрите гірниче підприємство	9450,0	0,1	0,9	1,12	1,1	0,60	0,6	0,6	0,9
	Освітлення території	98600,0	0,1	9,9	1,00	9,9	1,00	9,9	9,9	13,9
	Всього по ДЕП							52,2	57,3	77,5
	ТОВ "Новий світ"									
	Цех ДСП 32	340,0	20,0	6,8	1,20	8,2	0,90	6,1	7,3	9,6
	Цех ОКЦ 50	1080,0	20,0	21,6	0,90	19,4	0,90	19,4	17,5	26,2

Робоча майстерня	86,0	18,0	1,5	0,90	1,4	0,90	1,4	0,90	1,4	1,3	1,9
Лабораторне приміщення	120,0	20,0	2,4	0,90	2,2	0,90	2,2	0,80	1,9	1,7	2,6
Гараж	250,0	14,0	3,5	0,90	3,2	0,90	3,2	0,90	3,2	2,8	4,2
Компресорна	160,0	18,0	2,9	0,90	2,6	0,90	2,6	0,90	2,6	2,3	3,5
Сховище ПММ	560,0	8,0	4,5	0,90	4,0	0,90	4,0	0,80	3,6	3,2	4,8
Освітлення території	240,0	8,0	1,9	1,12	2,2	1,00	1,9	1,00	1,9	2,2	2,9
Всього по "Новий світ"							40,1			38,4	55,5
Хлібзавод											
Головна споруда	1825,0	18,0	32,9	0,6	20,4	0,90	29,6	0,90	29,6	18,3	34,8
Компресорна	62,0	12,0	0,7	0,9	0,7	0,90	0,7	0,90	0,7	0,6	0,9
Виробнича ділянка	102,0	16,0	1,6	1,9	3,1	0,90	1,5	0,90	1,5	2,8	3,1
Сховище зберігання борошна	160,0	6,0	1,0	0,8	0,7	0,85	0,8	0,85	0,8	0,6	1,0
Дільниця для зварювання	54,0	16,0	0,9	0,6	0,5	0,90	0,8	0,90	0,8	0,5	0,9
Електротехнічний цех	190,0	16,0	3,0	0,9	2,7	0,90	2,7	0,90	2,7	2,4	3,6
Гараж	225,0	12,0	2,7	1,7	4,7	0,90	2,4	0,90	2,4	4,2	4,9
Прохідна	72,0	18,00	1,3	0,9	1,1	0,85	1,1	0,85	1,1	1,0	1,5
Адмін корпус	310,0	20,00	6,2	0,8	4,7	0,85	5,3	0,85	5,3	4,0	6,6
Котельня	125,0	6,00	0,8	0,8	0,6	0,85	0,6	0,85	0,6	0,5	0,8
Освітлення території	8438,0	0,10	0,8	1,1	0,9	1,00	0,8	1,00	0,8	0,9	1,3
Всього по хлібзаводу							46,3			35,7	58,5

Табл.1.3 Розрахунок навантаження по підстанціям групи цехів РП-1 заводу

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _e	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}			P _P	Q _P	S _P	
	ТП 1.1															
	Сирзавод															
	силове	136	0,75	80	824 >3	0,61	0,79	0,83	483,5	402,9	21	1,2	571,5	402,9	699,2	
	освітлювальне												59,00	53,10	91,50	
	Всього по 0,4 кВ												630,50	456,00	778,12	
	РТП															
	силове	63	0,25	25	458 >3	0,61	0,79	1,57	164	257	37	1,1	185,3	256,6	316,5	
	освітлювальне												21,3	20,7	29,7	
	Всього по 0,4 кВ												206,6	277,3	345,8017	
	Всього на шинах 0,4 кВ												837,1	733,3	1112,86	
	КУ 0,4 кВ													-600,0		
	З урахуванням КУ												837,1	133,3	847,65	
	Втрати в трансформаторах												10,2	11,2		
	Всього на шинах 10 кВ												847,3	144,5	859,53	
	ТП 2.1															
	ДЕП															
	силове	116	0,25	170	1088 >3	0,4	0,79	0,76	581	440	13	1,4	822	440,1	932,4	
	освітлювальне												52,2	57,3	77,5	
	Всього на шинах 0,4 кВ												874,2	497,4	1005,80	
	КУ 0,4 кВ													-400,0		
	З урахуванням КУ												874,2	97,4	879,61	
	Втрати в трансформаторах												10,32	59,84		
	Всього на шинах 10 кВ												884,52	157,24	898,39	

Продовження Табл.1.3

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _с	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _м	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{зм}	Q _{зм}		P _p	Q _p	S _p	
	ТП 3.1														
	Новий світ														
	силове	119	0,2	72	1023 >3	0,35	0,8	0,75	511	458	1,3	662,079	457,7	804,9	
	освітлювальне											40,10	38,40	51,40	
	Всього на шинах 0,4 кВ											702,18	496,10	859,75	
	КУ 0,4 кВ												-400		
	З урахуванням КУ											702,18	96,10	708,7246	
	Втрати в трансформаторах											10,1	59,36		
	Всього на шинах 10 кВ											712,3	155,5	729,0468	
	ТП 4.1														
	Хлібзавод														
	Головна споруда														
	силове	60	0,5	160	420 >3	0,52	0,85	0,62	218,4	135,35	1,5	336,861	148,8874	368,3	
	освітлювальне											29,6	18,3	34,8	
	Компресорна														
	силове	8	3	100	621 >3	0,6	0,9	0,48	372,6	180,46	8	495,831	198,5043	534,1	
	освітлювальне											0,7	0,6	0,7	
	Виробнича ділянка														
	силове	6	1,2	6,5	17,4 >3	0,22	0,47	1,88	2,968	4,87757	5,4	6,43171	5,365331	8,4	
	освітлювальне											1,5	2,8	3,1	
	Сховище зберігання борошна														
	силове	12	1,1	2,2	23,3 <3	0,6	0,8	0,75	15,65	11,7375	12	19,6867	11,7375	22,9	
	освітлювальне											0,8	0,6	1	

2 ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОЇ ЗОНИ

У даній кваліфікаційній роботі побудовано графіки електричних навантажень для активної та реактивної потужностей у зимовий та літній періоди, як для робочого, так і для вихідного дня. Окрім цього, побудовано річні графіки навантажень за тривалістю для активної та реактивної складових.

Графіки реактивної потужності складаються у двох варіантах: з урахуванням компенсуючих пристроїв та без них. Для побудови графіків використовуються розрахункові значення активної та реактивної потужностей на шинах 10 кВ. При побудові літніх графіків навантаження активна та реактивна потужності зменшуються на 15 % відносно зимових значень.

Річні графіки за тривалістю формуються на основі добових графіків навантажень. Тривалість зимового періоду приймається рівною 147 діб, літнього — 105 діб. Кількість вихідних днів становить відповідно 65 у зимовий період та 48 у літній.

Графіки навантажень розробляються окремо для кожного підприємства промислової зони, із застосуванням типових добових графіків електроспоживання відповідних галузей промисловості. На основі індивідуальних графіків формується сумарний графік навантаження для всієї промислової зони, за яким визначається значення розрахункового навантаження.

Вихідні дані для побудови графіків по окремому підприємству (на прикладі сирзаводу) наведено в таблицях 2.1–2.2, для всієї промислової зони — в таблицях 2.3–2.5. Результати побудови графіків навантаження для сирзаводу подано на рис. 2.1–2.2. Графіки для інших підприємств будуються за аналогічною методикою. Узагальнені графіки електричних навантажень по промисловій зоні наведено на рис. 2.3–2.6.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. - Дані для побудови добових графіків по активній потужності зимового та літнього періодів (Сирзавод).

Робочий день					Вихідний день			
t,год	Pз,%	Pз, кВт	Pл,%	Pл,кВт	Pз,%	Pз,кВт	Pл,%	Pл,кВт
0-1	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
1-2	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
2-3	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
3-4	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
4-5	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
5-6	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
6-7	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
7-8	70	441,35	59,5	375,1475	30	189,15	25,5	160,7775
8-9	90	567,45	76,5	482,3325	26	163,93	22,1	139,3405
9-10	100	847	85	535,925	26	163,93	22,1	139,3405
10-11	98	617,89	83,3	525,2065	26	163,93	22,1	139,3405
11-12	96	605,28	81,6	514,488	26	163,93	22,1	139,3405
12-13	95	598,975	80,75	509,1288	26	163,93	22,1	139,3405
13-14	92	580,06	78,2	493,051	26	163,93	22,1	139,3405
14-15	95	598,975	80,75	509,1288	26	163,93	22,1	139,3405
15-16	90	567,45	76,5	482,3325	26	163,93	22,1	139,3405
16-17	85	535,925	72,25	455,5363	26	163,93	22,1	139,3405
17-18	85	535,925	72,25	455,5363	30	189,15	25,5	160,7775
18-19	90	567,45	76,5	482,3325	30	189,15	25,5	160,7775
19-20	90	567,45	76,5	482,3325	30	189,15	25,5	160,7775
20-21	86	542,23	73,1	460,8955	30	189,15	25,5	160,7775
21-22	86	542,23	73,1	460,8955	30	189,15	25,5	160,7775
22-23	70	441,35	59,5	375,1475	30	189,15	25,5	160,7775
23-24	55	346,775	46,75	294,7588	30	189,15	25,5	160,7775
		11931,19		9957,487		4312,62		3665,727

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.2 - Дані для побудови добових графіків по реактивній потужності для зимового та літнього періодів (без компенсації) Сирзавод.

Робочий день					Вихідний день			
t,год	Qз,%	Qз, кВар	Qл,%	Qл,кВар	Qз,%	Qз,кВар	Qл,%	Qл,кВар
0-1	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
1-2	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
2-3	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
3-4	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
4-5	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
5-6	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
6-7	70	319,2	59,5	271,32	32	145,92	27,2	124,032
7-8	95	433,2	80,75	368,22	32	145,92	27,2	124,032
8-9	95	433,2	80,75	368,22	28	127,68	23,8	108,528
9-10	100	456	85	387,6	28	127,68	23,8	108,528
10-11	78	355,68	66,3	302,328	28	127,68	23,8	108,528
11-12	73	332,88	62,05	282,948	28	127,68	23,8	108,528
12-13	80	364,8	68	310,08	28	127,68	23,8	108,528
13-14	90	410,4	76,5	348,84	28	127,68	23,8	108,528
14-15	82	373,92	69,7	317,832	28	127,68	23,8	108,528
15-16	78	355,68	66,3	302,328	28	127,68	23,8	108,528
16-17	85	387,6	72,25	329,46	28	127,68	23,8	108,528
17-18	85	387,6	72,25	329,46	32	145,92	27,2	124,032
18-19	74	337,44	62,9	286,824	32	145,92	27,2	124,032
19-20	74	337,44	62,9	286,824	32	145,92	27,2	124,032
20-21	62	282,72	52,7	240,312	32	145,92	27,2	124,032
21-22	62	282,72	52,7	240,312	32	145,92	27,2	124,032
22-23	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
23-24	40	182,4	34	155,04	32	145,92	27,2	124,032
		7309,68		6213,228		3337,92		2837,232

Таблиця 2.3 - Дані для побудови добових графіків по активній потужності для зимового та літнього періодів. Промзона

Робочий день			Вихідний день	
t,год	Рз, кВт	Рл,кВт	Рз,кВт	Рл,кВт
0-1	1502,802	1277,382	1109,394	942,9849
1-2	1567,027	1331,973	1109,394	942,9849
2-3	1567,027	1331,973	1109,394	942,9849
3-4	1567,027	1331,973	1109,394	942,9849
4-5	1631,252	1386,564	1109,394	942,9849
5-6	1631,252	1386,564	1109,394	942,9849
6-7	2343,087	1991,624	1109,394	942,9849
7-8	2871,361	2440,657	1109,394	942,9849
8-9	3243,587	2757,049	961,4748	817,2536
9-10	3806,545	3051,538	961,4748	817,2536
10-11	3451,188	2933,51	961,4748	817,2536
11-12	3345,703	2843,847	961,4748	817,2536
12-13	3268,466	2778,196	961,4748	817,2536
13-14	3083,329	2620,829	961,4748	817,2536
14-15	3317,726	2820,067	961,4748	817,2536
15-16	3189,266	2710,876	961,4748	817,2536
16-17	3167,776	2692,61	961,4748	817,2536
17-18	3219,426	2736,512	1109,394	942,9849
18-19	3052,706	2594,8	1109,394	942,9849
19-20	3218,523	2735,745	1109,394	942,9849
20-21	3087,17	2624,094	1109,394	942,9849
21-22	2761,913	2347,626	1109,394	942,9849
22-23	1961,491	1667,267	1109,394	942,9849
23-24	1730,599	1471,009	1109,394	942,9849
	63586,25	53864,29	25294,18	21500,06

Таблиця 2.4 - Дані для побудови добових графіків по реактивній потужності для зимового та літнього періодів (без компенсації). Промзона

Робочий день			Вихідний день	
t,год	Qз, кВар	Qл,кВар	Qз,кВар	Qл,кВар
0-1	971,18	825,503	792,576	673,6896
1-2	1008,68	857,378	792,576	673,6896
2-3	1008,68	857,378	792,576	673,6896
3-4	1008,68	857,378	792,576	673,6896
4-5	1046,18	889,253	792,576	673,6896
5-6	1046,18	889,253	792,576	673,6896
6-7	1743,53	1482,001	792,576	673,6896
7-8	2190,152	1861,629	792,576	673,6896
8-9	2241,695	1905,441	693,504	589,4784
9-10	2429,352	2064,949	693,504	589,4784
10-11	2096,904	1782,368	693,504	589,4784
11-12	2010,564	1708,979	693,504	589,4784
12-13	2040,95	1734,808	693,504	589,4784
13-14	2102,755	1787,342	693,504	589,4784
14-15	2090,976	1777,33	693,504	589,4784
15-16	2021,904	1718,618	693,504	589,4784
16-17	2142,78	1821,363	693,504	589,4784
17-18	2142,78	1821,363	792,576	673,6896
18-19	1922,2	1633,87	792,576	673,6896
19-20	2034,7	1729,495	792,576	673,6896
20-21	1846,895	1569,861	792,576	673,6896
21-22	1659,395	1410,486	792,576	673,6896
22-23	1125,275	956,4838	792,576	673,6896
23-24	1083,68	921,128	792,576	673,6896
	41016,07	34863,66	18130,18	15410,65

					Арк.
					34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 2.5 - Дані для побудови добових графіків по реактивній потужності для зимового та літнього періодів (з врахуванням компенсації). Промзона

Робочий день			Вихідний день		
t,год	Qз, кВар	Qл,кВар	Qз,кВар	Qл,кВар	
0-1	259,53	220,6005	203,616	173,0736	
1-2	271,475	230,7538	203,616	173,0736	
2-3	271,475	230,7538	203,616	173,0736	
3-4	271,475	230,7538	203,616	173,0736	
4-5	283,42	240,907	203,616	173,0736	
5-6	283,42	240,907	203,616	173,0736	
6-7	442,905	376,4693	203,616	173,0736	
7-8	545,177	463,4005	203,616	173,0736	
8-9	568,8	483,48	178,164	151,4394	
9-10	622,407	529,046	178,164	151,4394	
10-11	548,872	466,5412	178,164	151,4394	
11-12	529,002	449,6517	178,164	151,4394	
12-13	516,275	438,8338	178,164	151,4394	
13-14	529,61	450,1685	178,164	151,4394	
14-15	540,878	459,7463	178,164	151,4394	
15-16	524,982	446,2347	178,164	151,4394	
16-17	552,8	469,88	178,164	151,4394	
17-18	552,8	469,88	203,616	173,0736	
18-19	508,316	432,0686	203,616	173,0736	
19-20	544,151	462,5284	203,616	173,0736	
20-21	506,578	430,5913	203,616	173,0736	
21-22	446,853	379,8251	203,616	173,0736	
22-23	317,04	269,484	203,616	173,0736	
23-24	295,365	251,0603	203,616	173,0736	
	10733,61	9123,565	4657,716	3959,059	

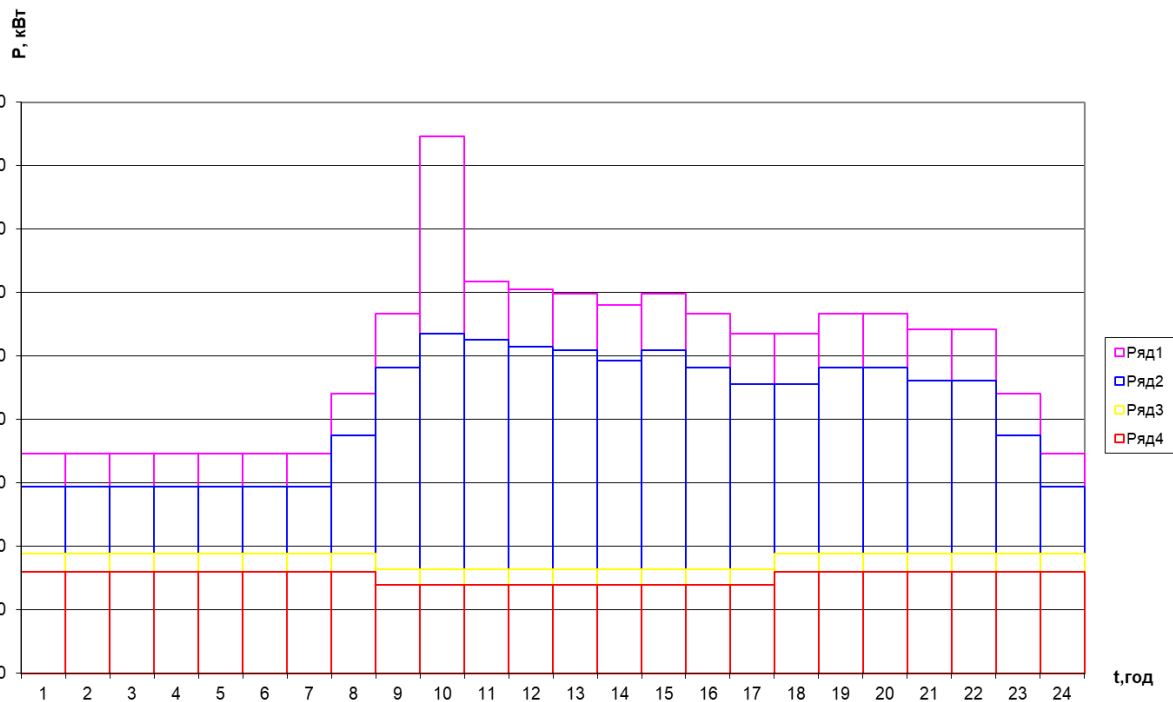


Рисунок 2.1 - Добові графіки для активного навантаження "Сирзавод": 1,2- робочі для зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні для зимового та літнього періодів.

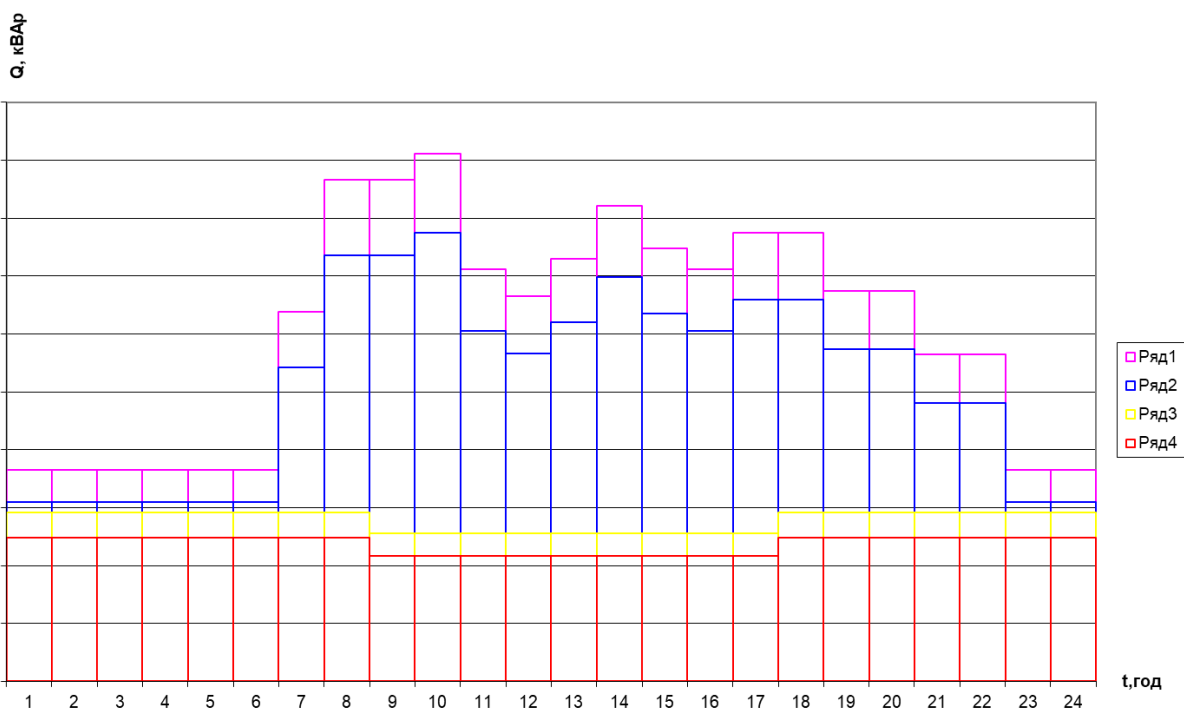


Рисунок 2.2 - Добові графіки для реактивного навантаження "Сирзавод": 1,2- робочі для зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні для зимового та літнього періодів (без компенсації).

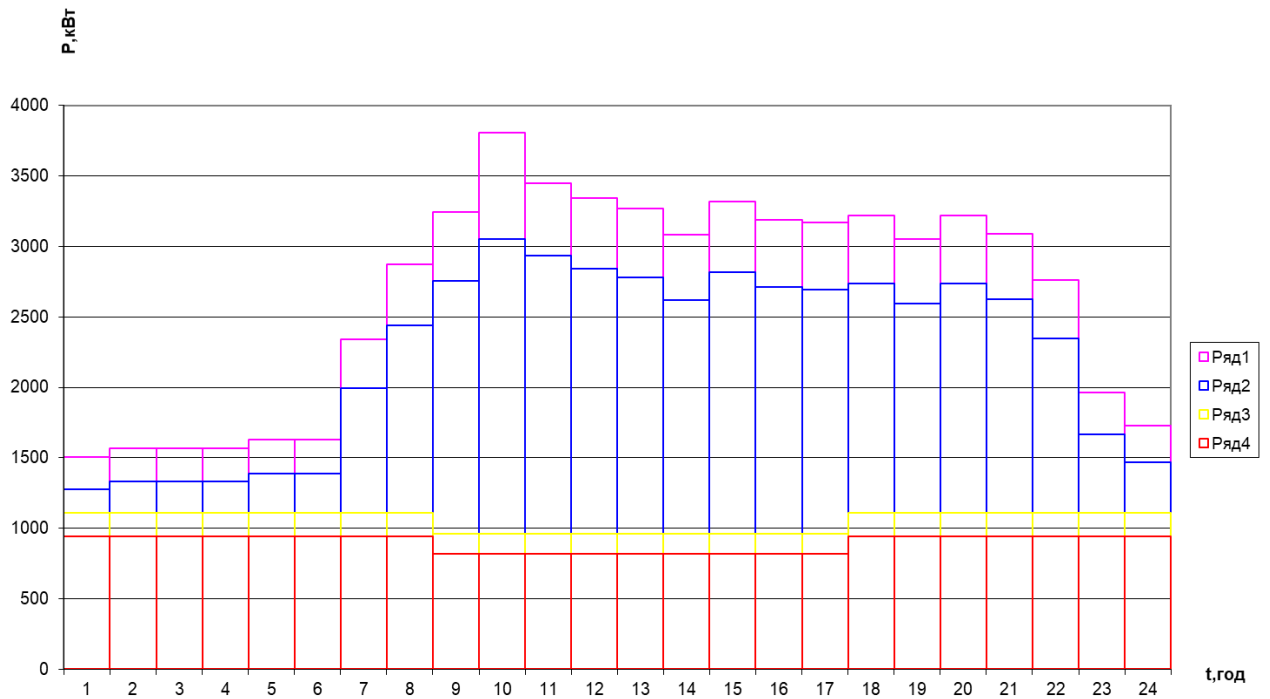


Рисунок 2.3 - Добові графіки для активного навантаження промзони: 1,2- робочі для зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні для зимового та літнього періодів.

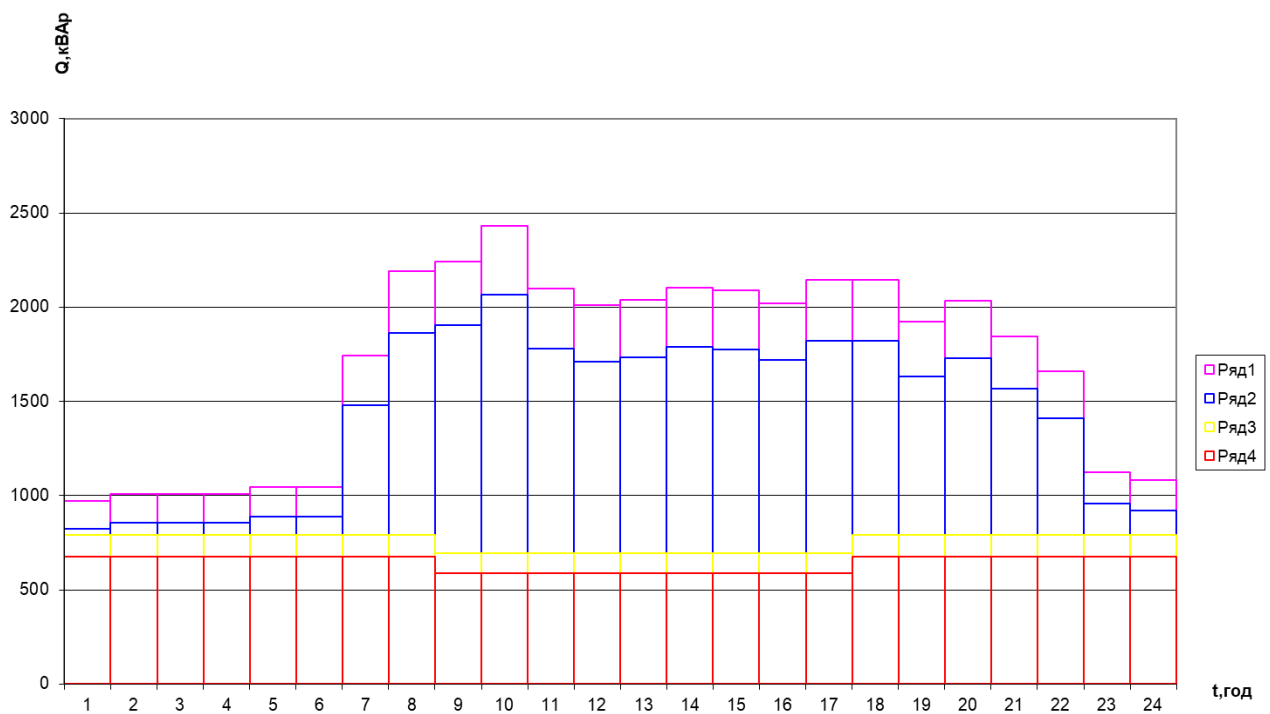


Рисунок 2.4 - Добові графіки для реактивного навантаження промзони: 1,2- робочі для зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні для зимового та літнього періодів (без компенсації).

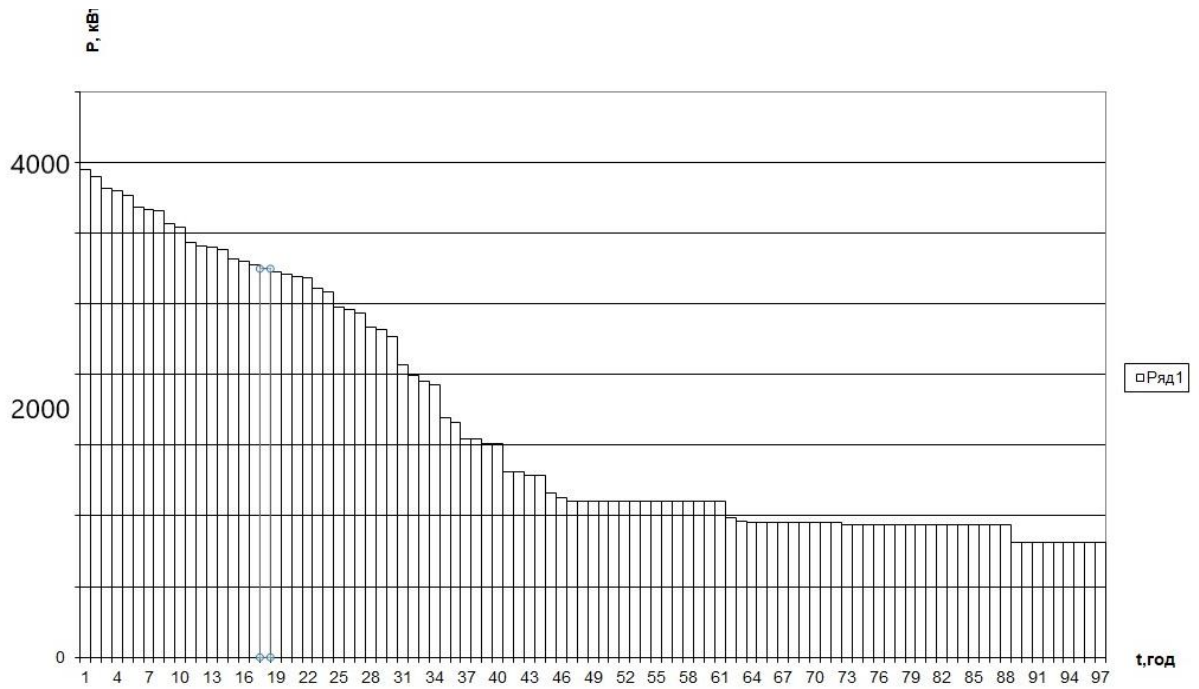


Рисунок 2.5 - Добові графіки реактивного навантаження промзони: 1,2- робочі зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні зимового та літнього періодів (без компенсації).

$$T_{\max} = 4650,279298$$

$$\tau = 3039,316182$$

					Арк.
					38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

3 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОМЗОНИ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗМІЩЕННЯ ГПП ТА ЦРП

Визначення місця розташування ГПП, ЦРП та центру електричних навантажень (ЦЕН) у промисловій зоні починається з аналізу навантажень і географічного розташування споживачів.

Центр електричних навантажень визначається як умовна точка, в якій зосереджено всі навантаження з урахуванням їхньої потужності та розміщення. Для його визначення необхідно мати координати кожного споживача та відповідну розраховану потужність. Координати центру навантажень розраховуються за формулою центра ваги:

$$x_{\text{цен}} = \frac{\sum S_i \cdot x_i}{\sum S_i}, \quad y_{\text{цен}} = \frac{\sum S_i \cdot y_i}{\sum S_i}$$

S_i — потужність споживача, x_i та y_i — координати його розташування.

Точка з координатами $x_{\text{цен}}$, $y_{\text{цен}}$ — це центр електричних навантажень.

ГПП зазвичай встановлюється поблизу центру електричних навантажень, але її точне місце розташування обирається з урахуванням можливості підключення до високовольтної мережі (наприклад, ЛЕП 110 кВ), наявності вільної території, зручності під'їзду, а також із урахуванням екологічних та будівельних обмежень. Також враховується рівномірність розподілу навантаження навколо ГПП.

ЦРП служить для поділу району на окремі ділянки з живленням. Розташування ЦРП визначається для кожної групи споживачів окремо. В межах цієї групи також визначається свій центр електричних навантажень, який стає оптимальним місцем встановлення ЦРП. Важливо, щоб відстань від ЦРП до споживачів не перевищувала допустимі технічні межі (біля 1–1,5 км), а також щоб забезпечувалася можливість резервного підключення від іншої ЦРП або ГПП.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Радіус кола, що відповідає розрахунковому навантаженню визначається за виразом:

$$R = \sqrt{P_p / \pi \cdot m} = \sqrt{630,5 / 3,14 \cdot 0,5} = 20; m = 0,5 \text{ кВт/см}^2, \quad (3.1)$$

де m – масштаб кола на зображенні, кВт/см².

Кут α знаходимо за формулою:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{осв}}{P_p} = \frac{360 \cdot 59}{571,5} = 16,8, \quad (3.4)$$

де α – значення кута сектора, що відповідає у вибраному масштабі величині освітлювального навантаження.

Дані для побудови картограми навантажень по промзоні наведені в таблиці 3.1.

Обчислюємо координати центру електричних навантажень:

$$x_0 = \frac{413137,5}{3642,9} = 113,41 \text{ см.} \quad y_0 = \frac{363181,8}{3642,9} = 99,7 \text{ см.}$$

Із розрахунків визначено координати $x_0 = 113,41$ см, $y_0 = 99,7$ см. Щоб завадити зворотнім перетокам потужності, переміщуємо ЦРП в ближче до джерела живлення.

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ І НАПРУГИ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОЇ ЗОНИ

Ефективне проектування системи зовнішнього електропостачання для промислових об'єктів значною мірою залежить від обґрунтованого вибору напруги та відповідної схеми підключення.

На прийняття рішення щодо даних параметрів впливають численні чинники. Серед основних можна виділити:

- передбачене навантаження виробництва;
- рівень напруги потенційних джерел енергії;
- дистанція між живильним пунктом та підприємством;
- вимоги до стабільності та безперебійності електропостачання тощо.

Процес визначення оптимального рівня напруги передбачає вибір стандартної величини, яка, яке відповідає технічним критеріям і забезпечує мінімальні витрати.

Остаточне рішення приймається за допомогою аналізу та порівняння сумарних витрат для кожного з можливих варіантів.

4.1 Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання.

Імовірні варіанти електропостачання підприємства приведені на рисунку 4.1.

I варіант.

Електропостачання промзони здійснюється кабельними лініями 10 кВ довжиною 1,1 км від п/ст. „Новоархангельська”. Передбачається встановлення ЦРП - 10 кВ із комплектних шаф 10 кВ.

					Арк.
					40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

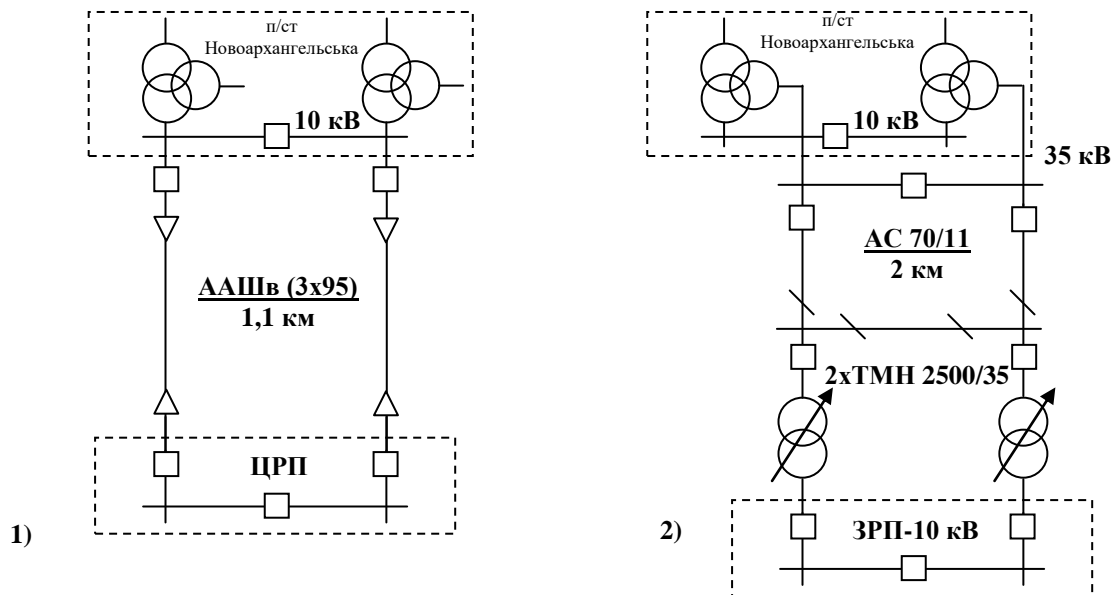


Рисунок 4.1 - Варіанти схем зовнішнього електропостачання промзони.

II варіант.

Електропостачання промзони виконується дволанцюговою лінією 35 добжиною 1,1 км від шин підстанції “Новоархангельська”. При цьому варіанті потрібно встановлення ГЗП - 35/10 кВ.

Ці обидва варіанти схем приймаємо до розрахунків.

Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання промзони виконуємо відповідно до методики, викладеній в [2].

Варіант I

Розрахунок струму у лінії:

$$I_{роз} = \frac{S_{роз}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3857,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 106,2 A \quad (4.2)$$

Переріз кабельної лінії обираємо відповідно економічній щільності струму:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{106,2}{1,4} = 75,8 \text{ мм}^2, \quad (4.3)$$

Приймаємо до прокладки 2 кабельні лінії марки ААШв (3x95), $I_d = 205 \text{ A}$, з втратами потужності на 1 км $\Delta P_{1 \text{ км}} = 42 \text{ кВт}$.

					Арк.
					41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Завантаження кабельної лінії в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_d} = \frac{212,3}{2 \cdot 205} = 0,52$$

По умові нагріву:

$$I_p = 106,2 \leq K_n I_{дон} = 0,84 \cdot 205 = 172,2 \text{ А}$$

По умові нагріву для аварійного режиму:

$$I_{p.ав.} = 2I_p = 2 \cdot 106,2 = 212,3 \leq K_{ан} K'_n I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 205 = 256,25 \text{ А}$$

Втрати потужності та енергії:

$$\Delta P_{\Pi} = \Delta P_{1км} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 42 \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot 0,52^2 = 40,88 \text{ кВт}$$

де l_{Σ} - сумарна довжина кабелю.

$$\Delta E = \Delta P_{\Pi} \cdot \tau_M = 40,88 \cdot 3039,3 = 124284,7 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Вартість втрат енергії

$$C_{вт} = \Delta E \cdot C_o = 124284,7 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 88,387 \text{ тис. грн.}$$

де C_o - вартість електроенергії, грн./кВт·год.

Варіант II

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3857,1}{\sqrt{3} \cdot 35} = 63,7 \text{ А}$$

Площу перерізу проводів повітряної лінії, що вибираємо по економічній щільності струму:

$$F_{\varnothing} = \frac{I_p}{j_{\varnothing}} = \frac{63,7}{1,1} = 57,9 \text{ мм}^2$$

Приймаємо дволанцюгову ЛЕП із проводом АС-70/11, площею перерізу 70 мм² з: $I_d = 165 \text{ А}$, $\Delta P_{1км} = 125 \text{ кВт/км}$.

Завантаження лінії при нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{2 \cdot I_d} = \frac{63,7}{2 \cdot 125} = 0,25$$

					Арк.
					42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Встановлюємо два трансформатори потужністю $S_H = 2,5$ МВА, типу ТМН-2500/35 із параметрами $\Delta P_{xx} = 6,8$ кВт, $\Delta P_{кз} = 25$ кВт, $I_{xx} = 1,1$ %, $U_k = 6,5$ %.

Завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{3857,1}{2 \cdot 2500} = 0,77.$$

При відключенні одного трансформатора другий, працюючи з допустимим аварійним перевантаженням, забезпечить живлення:

$$S = 1,4 \cdot S_H = 1,4 \cdot 2500 = 3500 \text{ МВА.}$$

Втрати енергії в лінії:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{лкм} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 125 \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot 0,25^2 = 25,9 \text{ кВт.}$$

$$\Delta E_n = \Delta P_{л} \cdot \tau_M = 25,9 \cdot 3039,3 = 78778,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Втрати енергії в трансформаторах

$$\begin{aligned} \Delta E_{тр} &= 2 \cdot (\Delta P_x \cdot t_{вкл} + \Delta P_k \cdot \tau \cdot K_3^2) = 2 \cdot (6,8 \cdot 8760 + 25 \cdot 3039,3 \times 0,77^2) = \\ &= 2209236 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Загальні втрати:

$$\Delta E = \Delta E_{л} + \Delta E_{тр} = 78778,6 + 209236 = 288014,65 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат:

$$C_{втр} = \Delta E \cdot C_0 = 288014,6 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 518,43 \text{ тис грн.}$$

Розрахунок можливого збитку від перерви в електроживленні:

Варіант I

Вимикач 10 кВ та кабельна лінію довжиною 1,1 км.

$$\lambda_{a1} = 0,02 \text{ 1/рік}; \quad \lambda_{a2} = \frac{2,51 \cdot 1,1}{100} = 0,055 \text{ 1/рік}$$

$$\lambda_a = \sum_1^n \lambda_{ai} = 0,02 + 0,055 = 0,075 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення одного ланцюга:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{ai} \cdot T_{ei}}{\lambda_a} = \frac{0,02 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,055 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,075} = 5,43 \cdot 10^{-3}$$

					Арк.
					43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга:

$$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{\text{нм}} = 1,2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} = 3,24 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою при відключенні одного ланцюга для планового ремонту і в цей час аварійне відключення:

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot K_{\Pi}^2 = 0,5 \cdot 0,075 \cdot (3,24 \cdot 10^{-3})^2 = 0,39 \cdot 10^{-6} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга:

$$K_a = \lambda_a \cdot T_B = 0,075 \cdot 5,43 \cdot 10^{-3} = 0,408 \cdot 10^{-3} \text{ в.о}$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (0,408 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,39 \cdot 10^{-6} = 0,95 \cdot 10^{-6} \text{ в.о.}$$

Середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,95 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,083$$

Середньорічне активне навантаження промзони:

$$P_{CP} = \frac{P_{\text{роз}} \cdot T_{\text{н}}}{8760} = \frac{3857,1 \cdot 4650,3}{8760} = 2047,6 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовідпуску 1 кВт·год:

$$Y = Y_o \cdot P_{\text{сп}} \cdot T_a \cdot 10^{-3} = 10,5 \cdot 2047,6 \cdot 0,083 \cdot 10^{-3} = 1,8 \text{ тис.грн.}$$

Варіант II

2 вимикача 35 кВ;

дволанцюгова ПЛ 35 кВ 1,1 км;

трансформатор ТМН-2500/35.

Розраховуємо аналогічно.

Середньорічне активне навантаження підприємства:

$$P_{CP} = \frac{P_p \cdot T_{\text{н}}}{8760} = \frac{3857,1 \cdot 4650,3}{8760} = 2047,6 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовідпуску 1 кВт год. електроенергії:

$$Y = Y_o \cdot P_{\text{сп}} \cdot T_a \cdot 10^{-3} = 10,5 \cdot 2047,6 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3} = 16,34 \text{ тис.грн.}$$

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо капітальні вкладення в варіанти схем електропостачання.

Таблиця 4.1. Капітальні вкладення в варіанти схем

Варіант	Складова схеми	Одиниця вимірювання	Кількість	Вартість одного, т. грн.	Всього, т. грн.
I	Шафи КРУ 10 кВ з вакуумними вимикачами	шт.	2,0	88	176
	Провід-кабель ААШВ-(3x185) в траншеї	км	2,0	151,3	302,6
	Всього				478,6
II	ПЛ-35 кВ АС-70/11	км	1,1	1600	1760
	ВРП-35 кВ з трьома вимикачами	шт.	1,0	257,9	257,9
	ТМ-2500/35	шт.	2,0	1748	3496
	Всього				5513,9

Результати розрахунків поточних витрат подані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок поточних витрат за варіантами.

Варіант	Складова схеми	K_j , т.грн.	H_{ej} , %	H_{ej} , %	$H_{a.e.j}$, %	C_j , т.грн.
I	Шафа КРУ 10 кВ з вимикачем	176	5	5	10	17,6
	Кабель в траншеї	302,6	15	5	20	60,5
	Всього	478,6				78,12
II	ПЛ-35 кВ	1760	5	5	10	176
	ВРП-35 кВ	257,9	15	5	20	51,6
	ТМ-2500/35	3496	15	5	20	699,2
	Всього	5513,9				926,8

Приведені витрати:

$$Z_I = 0,12 \cdot 478,6 + 78,12 + 223 + 1,8 = 360,4 \text{ тис. грн.}$$

$$Z_{II} = 0,12 \cdot 5513,9 + 699,2 + 518,43 + 16,34 = 1895,6 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 4.3. Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення, тис.грн	478,6	5513,9
Поточні витрати, тис.грн	78,12	699,2
Вартість втрат електроенергії, тис.грн	223	518,43
Збитки, тис.грн	1,8	16,34
Приведені витрати, тис.грн	360,4	1895,6

Згідно з результатами розрахунків, постачання електроенергії напругою 10 кВ виявляється економічно вигіднішим. Враховуючи це, саме цей варіант обирається як основа для подальшого проектування.

4.2 Вибір напруг та електричних схем внутрішнього електропостачання.

У розподільчих мережах промислової зони передбачається використання напруги 10 кВ, оскільки застосування 6 кВ у нових проектах не рекомендується через підвищені втрати електроенергії.

Для внутрішньоцехових мереж, що живлять силове обладнання та освітлення, приймаємо стандартну напругу 380/220 В. Варіант з напругою 660 В використовується лише у специфічних випадках і потребує додаткового техніко-економічного обґрунтування.

Розподіл електроенергії в системі передбачається здійснювати кабельними лініями на 10 кВ із використанням радіальної схеми живлення.

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Одним із ключових аспектів, які враховуються під час проєктування та експлуатації систем енергозабезпечення на промислових підприємствах, є необхідність вирішення питання щодо компенсації реактивної потужності.

Передача великого обсягу реактивної енергії від енергетичної системи до кінцевих споживачів не є ефективною з кількох причин: по-перше, це призводить до додаткових втрат активної енергії у всіх складових елементів енергомережі, пов'язаних із навантаженням реактивною складовою; по-друге, виникає додаткове падіння напруги в мережах живлення.

Застосування заходів для компенсації реактивної потужності безпосередньо в електричних мережах промислових підприємств не тільки покращує якість електропостачання, а й дозволяє скоротити втрати енергії та підвищити продуктивність електрообладнання.

Розрахунки виконуються згідно з методикою, описаною у джерелі [2].

5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтній та низьковольтній мережах.

Проводимо розрахунок для конкретного об'єкта промислової інфраструктури — хлібзаводу.

Визначаємо економічно обґрунтовану величину потужності, яку доцільно передавати від енергосистеми до цього підприємства.

$$Q_c = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{св}} = 1284,5 \cdot 0,15 = 192,7 \text{ квар} \quad (5.8)$$

Визначимо мінімально потрібну кількість трансформаторів :

$$N_{\text{Tmin}} = P_p / (K_3 \cdot S_T) = 1284,5 / (0,7 \cdot 630) = 2,91 \text{ шт}$$

Приймаємо 3 трансформатори.

					Арк.
					47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Варіант I: $N = N_0$

$$Q_{\Pi 1} = \sqrt{(n \cdot S_{T1} \cdot K_3)^2 - P_{H1}^2} = \sqrt{(3 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 1284,5^2} = 316,84 \text{ квар.}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{\Pi} = 714,7 - 316,84 = 397,86 \text{квар}$$

$$Q_{KH} = 350 \text{ квар (3x100 квар, 1x50) квар; табл. 5.2)}$$

$$Q_{\Pi} = Q_H - Q_{KH} = 913,71 - 550 = 363,71 \text{ квар}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 714,7 - 350 - 192 = 171,3 \text{ квар}$$

$$\Delta P_{\Pi\Pi} = Q_{\Pi}^2 \cdot R_{ек} / U_H^2 = 364,2^2 \cdot 655 \cdot 10^{-6} / 10,5^2 = 0,79 \text{ кВт};$$

$$\text{де } R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U_H^2) / (N_{тр} \cdot S_{H тр}^2) = (7,8 \cdot 10^2) / (3 \cdot 630^2) = 655 \cdot 10^{-6} \text{ ком};$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{\Pi\Pi} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 350 = 1,58 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{\Pi\Pi} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 171,3 = 0,514 \text{ кВт}$$

$$K_{KH} = \sum N_{бк0,4i} \cdot K_{ккy0,4i} = 45,4 + 10,05 = 146,7 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{KB} = \sum N_{бк10i} \cdot K_{ккy10i} = 1 \cdot 72,4 = 72,4 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{кгп} = N_{гп(2)} \cdot K_{гп(2)} + N_{гп(1)} \cdot K_{гп(1)} = 1 \cdot 52,0 = 52 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію РП:

$$Z_1 = E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{кгп}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{\Pi\Pi}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (146,7 + 72,4 + 52) + (1,58 + 0,514 + 0,79) \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3039,3 = 39,67 \text{ тис. грн.}$$

Варіант $N = N_0 + 1$ проведено аналогічно, результати наведено в таблиці 5.2.

Розгляд можливості встановлення п'яти трансформаторів на території підприємства є недоцільним, оскільки вже при використанні чотирьох трансформаторів, передача повного обсягу реактивної потужності в мережу низької напруги стає можливою за умови, що трансформатори цехів завантажені на 70%.

Таким чином, варіант із найменшими приведеними витратами — перший — обирається як оптимальний для подальших розрахунків.

Баланс реактивної потужності для хлібокомбінату представлено в таблиці 5.1.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 — Баланс реактивної потужності хлібзаводу

Показники	Варіант I	Варіант II
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	350	-
Потужність КП в мережі 10 кВ	171,3	521,3
Споживання реактивної потужності	192,7	192,7
Всього за умовою балансу	714,7	714,7

Для решти підприємств, розташованих у межах промислової зони, розрахунок виконується за тією ж методикою. Схему розміщення конденсаторних установок наведено в таблиці 5.2.

На стороні з напругою 10 кВ планується встановлення двох конденсаторних установок загальною потужністю 660 квар. Вони будуть забезпечувати компенсацію реактивної потужності одночасно для всіх підприємств, які підключені до центрального розподільного пункту (ЦРП). Обраний тип обладнання — 2хУК-10,5-330 Л(П) УЗ.

5.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.

Розрахунки проведено згідно методики [2] і зведено в таблицю 5.3.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2. Результати розрахунку компенсації реактивної потужності для підприємств промзони

№ п/п	Найменування	P _p , кВт	Q _p , кВАр	Q _c , кВАр	Q _л , кВАр	S _{н.гр.} , кВА	Варіант № 1			Варіант № 2				
							No	Q _{кн} , кВАр	Q _{кв} , кВАр	3, тис.грн	No	Q _{кн} , кВАр	Q _{кв} , кВАр	3, тис.грн
1	Сирзавод, РТП	837,1	1230	125,565	277,83	630	2	250	100	19,6	3	0	350	26,25
2	ДЕП	874,2	497,4	131,13	117,04	630	2	300	-	21,35	3	0	300	25,16
3	ТОВ «Новий світ»	702,2	496,1	105,33	361,00	630	2	250	100	18,12	3	0	350	29,15
4	Хлібокомбінат	1284,5	714,7	192,675	316,84	630	3	350	150	39,7	4	0	500	49,8
	Всього							1150	350			0	1500	

Таблиця 5.3. Вибір кількості, потужності та місяця встановлення БК

№ ТП	N _{тр}	P _p , кВт	Q _p , квар	Q _п , квар	Q _{кп} , квар	N _{БК}	Тип БК	Q _{БК} , квар
№4.2	2	935,6	423,2	198	228,5	1	1хУКЛН-0,38-100У3	100
№4.1	1	348,5	182,5	13,14	169,36	2	2хУКМ58-0,4-100-33 1/3У3	150
							1хУКЛН-0,38-50У3	
							Всього	350
							Сирзавод, РТП	
№1.1	2	1731,8	1230	452	778	2	2хУКЛН-0,38-350У3	700
№2.1	2	874,2	497,4	0	497,4	2	2хУКЛН-0,38-200У3	400
							ДЕП	
№3.1	2	702,2	496,1	361	342,1	2	2хУКМ58-0,4-150-33 1/3У3	300
							ТОВ „Новий світ”	

6 ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП І ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМЗОНИ

Центральний розподільний пункт (ЦРП), розподільчі пункти (РП) і цехові трансформаторні підстанції (ТП) становлять основу системи електропостачання промислових підприємств (СЕПП). Їхнє розташування на території підприємства істотно впливає на техніко-економічні показники роботи системи.

Позиції ЦРП, РП і ТП визначаються з урахуванням рівня та характеру електричних навантажень, а також їхнього просторового розміщення згідно з генеральним планом підприємства. При цьому обов'язково враховуються будівельні, архітектурні та експлуатаційні вимоги, особливості планування виробничих приміщень, розташування технологічного обладнання, умови зовнішнього середовища, а також вимоги до охолодження, пожежної безпеки та електрозахисту.

Процес вибору кількості, потужності та оптимального розміщення ЦРП, РП і трансформаторів на підстанціях промислових підприємств здійснюється згідно з положеннями джерела [2].

Під час проєктування цехових підстанцій доцільно використовувати комплектні трансформаторні підстанції (КТП), які забезпечують компактність і зручність в обслуговуванні. Кількість і потужність трансформаторних підстанцій визначаються залежно від питомої щільності електричного навантаження. Якщо щільність навантаження не перевищує 0,2 кВА/м², зазвичай встановлюються трансформатори потужністю до 1000 кВА.

Номінальна потужність кожного трансформатора становить:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{1,4 S_{\text{р}}}{n}$$

Проводимо обчислення потужності трансформаторів цехових ТП.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ТП №1.1:

обираємо потужність силових трансформаторів:

$$S_{\text{тр п}} = 1,4 S_p / n = 1,4 \cdot 859,53 / 2 = 601,67 \text{ кВА} \quad (6.1)$$

Приймаємо до встановлення трансформатор ТМ - 630/10.

КТП 10/0,4 з двома трансформаторами 630 кВА Хмельницького заводу трансформаторних підстанцій.

Коефіцієнт завантаження при нормальному режимі:

$$K_z = S_p / (n S_{\text{тр}}) = 859,53 / (2 \cdot 630) = 0,68 \quad (6.2)$$

В аварійному режимі необхідне вимикання 1,5 % споживачів III категорії.

Аналогічним чином виконуються розрахунки для решти трансформаторних підстанцій. Отримані результати узагальнюються та подаються у зведеній таблиці 6.1.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1. Вибір потужності і місця розташування цехових ТП

№ ТП	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	$N_{тр \times S_{тр}}$, кВА	K_3	Вид ТП	Місце розташування ТП	Категорія за пожежною безпекою	Категорії споживачів	% відключаємих спожив. 3 категорії
1.1	847,3	144,5	859,53	2хТМ 630	0,72	КТП	Сирзавод, РТП	Д	І,ІІ	1,5
2.1	884,52	157,24	898,39	2хТМ 630	0,72	КТП	ДЕП	Д	І,ІІ	1,5
3.1	712,3	155,5	729,05	2хТМ 630	0,71	КТП	Новий світ	Д	І,ІІ	2,8
4.1	891,4	386,8	971,71	2хТМ 630	0,71	КТП	Хлібзавод	Д	І,ІІ	0,7
4.2	393,09	452,10	562,5	1хТМ 630	0,712	КТП	Хлібзавод	Д	І,ІІ	1,8

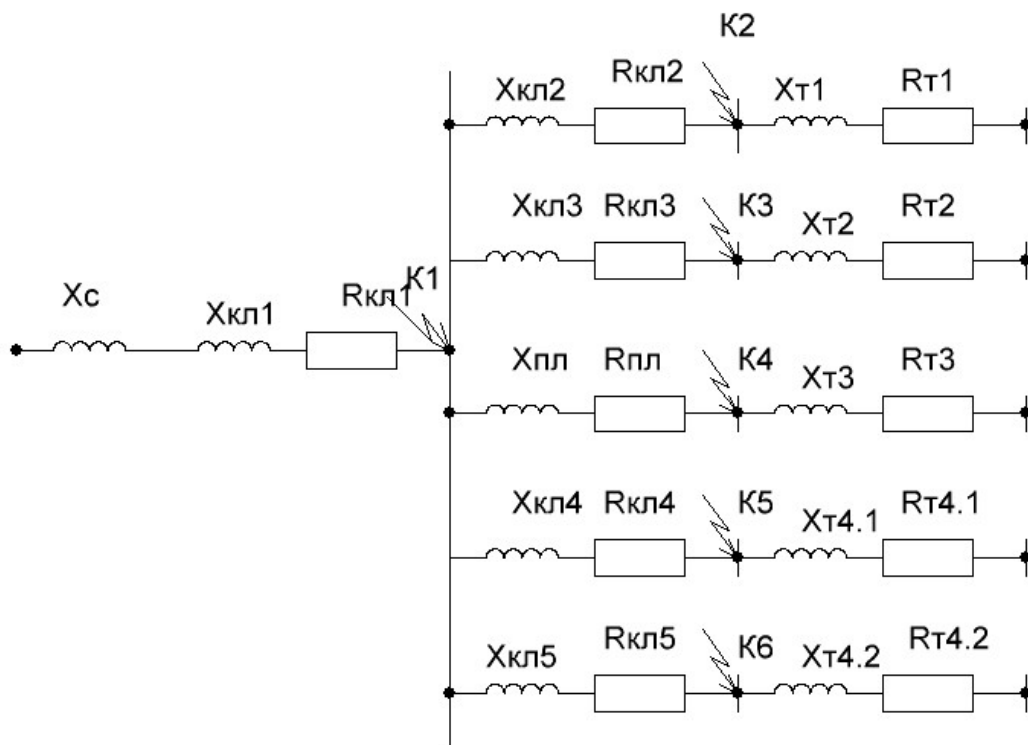


Рисунок 7.2 - Схема заміщення для визначення струмів кз.

Обчислення струмів короткого замикання проводиться у відносних одиницях, які приведені до прийнятих базисних параметрів. За основу беремо базисну потужність $S_6=100$ МВА.

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$x_c = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 5,5} = 0,7$$

$$x_{кл-1} = x_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,083 \cdot 1,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0828$$

$$x_{кл-2} = x_o \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,086 \cdot 0,7 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0546$$

$$r_{кл-1} = r_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,34 \cdot 1,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,339$$

$$r_{кл-2} = r_o \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,46 \cdot 0,7 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,2921$$

					Арк.
					56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Розрахунок опорів кабельних ліній зведено до таблиці А1 Додатку А.

Результуючий опір до т. К1 та К3:

$$x_{к1} = x_c + x_{кп-1} = 0,7 + 0,0828 = 0,78$$

$$r_{к1} = r_{кп-1} = 0,339$$

$$z_{к1} = \sqrt{(x_{к1}^2 + r_{к1}^2)} = \sqrt{0,7828^2 + 0,339^2} = 0,85$$

$$x_{к2} = x_{к1} + x_{кп-2} = 0,7828 + 0,0546 = 0,8374$$

$$r_{к1} = r_{к1} + r_{кп-2} = 0,339 + 0,2921 = 0,6311$$

$$z_{к2} = \sqrt{(x_{к2}^2 + r_{к2}^2)} = \sqrt{0,8374^2 + 0,6311^2} = 1,049$$

Визначаємо надперехідні струми в т. К1 та К2:

$$I_{к1}'' = \frac{I_6}{z_{к1}} = \frac{5,5}{0,85} = 6,47 \text{ кА}$$

$$I_{к2}'' = \frac{I_6}{z_{к2}} = \frac{5,5}{1,049} = 5,24 \text{ кА}$$

$$T_a = x_{рез} / \omega r_{рез} = 0,753 / (314 \cdot 0,3392) = 0,011$$

Ударні струми в точках К1 та К3:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot I_{к1}'' \cdot \left(1 + \ell \frac{-0,01}{T_a} \right) = \sqrt{2} \cdot 6,47 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,011}} \right) = 13,52 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot I_{к2}'' \cdot \left(1 + \ell \frac{-0,01}{T_a} \right) = \sqrt{2} \cdot 5,24 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,011}} \right) = 10,95 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів КЗ в інших точках проводиться аналогічно, результати наведено в таблиці А2 Додатку А.

7.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі

Обираємо кабельну лінію від підстанції енергосистеми до ЦРП.

Переріз кабельної лінії обираємо за економічною щільністю струму:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{106,2}{1,4} = 75,86 \text{ мм}^2,$$

					Арк.
					57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Струм у лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3857,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 106,2 \text{ А}$$

де S_p – розрахункова потужність підприємства, кВА;

U_H - номінальна напруга даного варіанту.

Приймаємо кабель АСБУ - 95 мм², $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$

Здійснюємо перевірку кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_{\text{ав}} = K_{\text{п}} K_{\text{ав}} I_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 1,35 \cdot 205 = 249,08 > I_{\text{р.мак}} = 212,63 \text{ А}$$

Умова виконується.

За умовою термічної стійкості:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{42,19}}{94} = 69,09 \text{ мм}^2,$$

$$B_k = I^2 (t_{\text{відк}} + T_a) = 6,646^2 (1 + 0,011) = 42,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Таким чином, кабель АСБУ (3х95) відповідає умовам перевірки. Вибір кабелів для ТП аналогічний. Результати вибору кабелів зведені в таблицю А3 Додатку А.

7.3. Вибір високовольтного обладнання.

Електричне обладнання та провідні елементи повинні відповідати таким критеріям: здатність стабільно функціонувати в штатних умовах експлуатації, при нетривалих перевантаженнях або підвищеній напрузі, а також витримувати допустимий рівень нагріву в ситуаціях аварійного характеру; надійність при короткому замиканні; економічна та технічна доцільність їх використання.

У стандартному режимі експлуатації безперебійна робота пристроїв досягається за рахунок правильного підбору їх характеристик відповідно до номінальної напруги та тривалості можливих відхилень параметрів, що не виходять за межі, в яких зберігається працездатність установки завдяки запасу міцності. У випадку короткого замикання важливо, щоб обрані

					Арк.
					58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

параметри відповідали вимогам до термічної та електродинамічної витривалості.

Вибір вимикачів.

На всіх етапах схеми електропостачання передбачається встановлення вимикачів серії ВР-1. Підбір ввідних і секційних вимикачів представлено у таблиці А4 Додатку А.

Розрахунковий струм для ввідного вимикача:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3857,1}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 212,33 \text{ А}$$

Розрахунковий струм для секційного вимикача:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3857,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 106,2 \text{ А}$$

$$B_K = I_{K1\Sigma}^2 \cdot (t_{\text{відк}} + T_a) = 6,646^2 \cdot (1,3125 + 0,011) = 58,458 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$\text{де } T_a = \frac{x_{K1}}{\omega \cdot r_{K1}} = \frac{0,753}{314 \cdot 0,3392} = 0,011 \text{ с};$$

$$t_{\text{відк}} = t_{\text{п.з.}} + t_{\text{о.в.}} + \Delta t = 0,0125 + 0,1 + 1,2 = 1,3125 \text{ с}$$

Як вимикачі для відхідних ліній обираються пристрої типу ВР-1.

Вибір параметрів вимикачів зведено до таблиці А5 Додатку А.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,64 \text{ А}$$

Усі вимикачі на напругу 10 кВ змонтовані в стандартних комірках розподільних пристроїв внутрішнього виконання типу КУ-10. Технічні дані КРП наведено в таблиці А6 Додатку А.

Вибір трансформаторів власних потреб.

Потужність трансформаторів для забезпечення власних потреб визначається на основі навантаження відповідних споживачів з урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності.

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок навантаження виконується за формулою:

$$S_{розр} = \kappa_c \cdot \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

де κ_c — коефіцієнт попиту, який включає в себе вплив одночасної роботи обладнання та його завантаження (приймається $\kappa_c=0,8$).

Трансформатор підбирається за умовою:

$$S_{тр} \geq S_{розр}$$

Для визначення необхідної потужності трансформаторів виконано розрахунок навантаження споживачів власних потреб, результати якого наведено у таблиці А7 Додатку А.

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

$$S_{розр} = \kappa_c \cdot \sqrt{(P_{ест}^2 + Q_{ест}^2)} = 0,8 \cdot \sqrt{26^2 + 0^2} = 20,8 \text{кВ} \cdot \text{А}$$

Потужність трансформатора:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{20,8}{1,4} = 14,9 \text{кВ} \cdot \text{А};$$

Обираємо трансформатор ТМ – 25/10 .

Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_{розр}}{S_{ном}} = \frac{20,8}{2 \cdot 25} = 0,416.$$

Вибір запобіжників.

У комірках КРП передбачається встановлення запобіжників типу ПК, які використовуються для захисту трансформаторів власних потреб від перевантажень і струмів короткого замикання.

Крім того, застосовуються запобіжники типу ПКТ, призначені для захисту трансформаторів напруги.

					Арк.
					60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

8 ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМИ МІСЬКОЇ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 10 КВ

8.1. Характеристика розподільчих мереж

Розподільні електромережі використовуються для передачі електроенергії від пунктів розподілу енергосистеми до місця її споживання. Під час цього процесу частина енергії втрачається в самих мережах, які визначаються:

$$\Delta W = W_{\text{надх}} - W_{\text{відп}}, \quad (8.1)$$

де $W_{\text{надх}}$ – енергія, яка надходить в електричну мережу з енергосистеми та яку потрібно розподілити між споживачами;

$W_{\text{відп.}}$ – електроенергія, передана споживачам.

У сучасних міських розподільних мережах стандартна номінальна напруга становить 0,4 кВ, а живлення надходить від підстанції 10/0,4 кВ, як продемонстровано на рисунку 8.1.

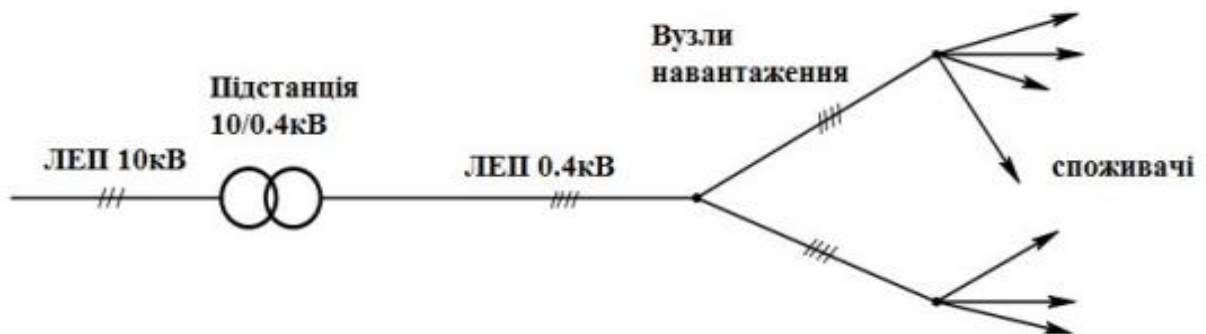


Рисунок 8.1 - Схема міської розподільної мережі.

Раніше розподільні електромережі не були в центрі уваги серед об'єктів із надмірними втратами енергії та потужності. Основним пріоритетом було забезпечення належної надійності електропостачання. Однак такі мережі спочатку не проектувалися з урахуванням ефективного керування, оскільки в

					Арк.
					61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

них були відсутні засоби телеінформації про поточні параметри режиму роботи, а також можливості регулювання. Як наслідок, при транспортуванні та розподілі електроенергії втрати можуть досягати 15–16%.

Збільшені втрати також негативно впливають на якість електроенергії. У більшості випадків в мережах спостерігається відхилення від стандартних параметрів напруги та частоти, що призводить до вагомих економічних збитків. Це створює нагальну потребу у впровадженні заходів з енергозбереження саме в розподільних мережах.

Аналіз втрат у складових системи електропередачі показує, що їх найбільша частка припадає на лінії електропередач, деколи до 65%. Втрати у трансформаторах становлять біля 30% загальних втрат у мережі цього рівня напруги, при цьому приблизно половина з них пов'язана з втратами в сталі. В інших елементах мережі, таких як реактори, компенсуючі установки, вимірювальні прилади трансформаторів напруги та струму, втрати незначні та не перевищують 3–5% від загального обсягу.

Отже, найбільш поширеним способом підвищення ефективності використання електроенергії є зменшення її втрат у складових електропостачальної системи. Це стосується силових трансформаторів усіх рівнів напруги, ліній електропередач, реакторів та пристроїв компенсації реактивної потужності.

За даними енергетичних служб, фактичні втрати електроенергії при її передачі часто перевищують нормативні показники. Основною причиною цього є поступове погіршення технічного стану електрообладнання через його знос і старіння під впливом навколишніх факторів, таких як кліматичні умови, механічні навантаження, особливості режиму роботи та електромагнітні впливи. Зношеність елементів системи електропостачання не лише знижує їхню надійність, а й спричиняє додаткові втрати електроенергії.

Ця проблема особливо актуальна для обладнання, яке експлуатується тривалий час без належного або вчасного технічного обслуговування. Значний вплив на ефективність функціонування мережі мають

					Арк.
					62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

характеристики електрообладнання. Наприклад, використання трансформаторів зі зниженими втратами холостого ходу (магнітними втратами) та застосування схеми з'єднання обмоток «зірка-зірка з нулем» дозволяє суттєво зменшити умовно-постійні втрати електроенергії.

8.2. Втрати електричної енергії в елементах електричної мережі

При проходженні електричного струму через елемент мережі у трифазній системі змінного струму з опором R відбуваються втрати потужності:

$$\Delta P = I_A^2 R + I_B^2 R + I_C^2 R = (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) R, \quad (8.2)$$

де I_A , I_B і I_C - діючі величини змінного струму у фазах А , В і С елементів мережі.

Втрати електроенергії протягом інтервалу часу T з постійним струмом і однаковим завантаженням фаз $I_A = I_B = I_C = I$ будуть дорівнювати:

$$\Delta W = \Delta P T = 3 I^2 R T. \quad (8.3)$$

При зміні величини струму протягом інтервалу часу T :

$$\Delta W = \int_0^T \Delta P(t) dt = 3R \int_0^T I^2(t) dt. \quad (8.4)$$

Площина під графіком $\square P(t)$ дорівнює площі прямокутника, в якого сторони є величинами $\square P_{cp}$ і T , де $\square P_{cp}$ - середні втрати потужності протягом інтервалу часу T , рис.8.2,

$$\Delta W = \Delta P_{cp} T. \quad (8.5)$$

Значення $\square P_{cp}$ таким чином:

$$\Delta P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta P(t) dt = \frac{3R}{T} \int_0^T I^2(t) dt, \quad (8.6)$$

					Арк.
					63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де $\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt$ - середня величина квадрату струму протягом інтервалу

часу T .

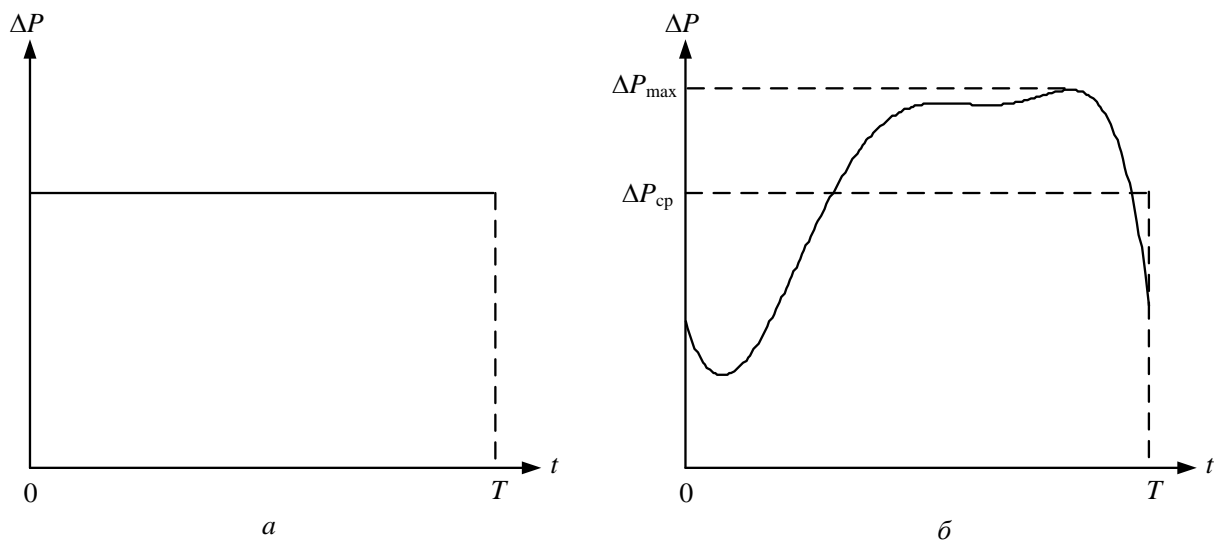


Рисунок 8.2 - Графіки втрат електричної енергії:

а) - для постійного струму; б) - для зміни струму

Середньоквадратичний струм в інтервалі часу T - це квадратний корінь з даної величини:

$$I_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} \quad (8.7)$$

Таким чином, підзагальнюючи:

$$\Delta W = 3I_{\text{ср.кв}}^2 RT. \quad (8.8)$$

Обчислення за формулою (8.7) не завжди можливо, по цьому застосовують ступінчастий графік струму I_i : $I=1,2,3,\dots,N$, де N - число ступенів у графіку струму.

$$I_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i^2} \quad (8.9)$$

					Арк.
					64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Виведемо співвідношення між середньоквадратичним і середнім значенням струму протягом інтервалу часу T .

Введемо відхилення миттєвого значення струму I_i від середнього значення $I_{\text{ср}}$:

$$\Delta I_i = I_i - I_{\text{ср}}$$

Тоді для значення середньоквадратичного відхилення струму від його середнього значення отримаємо:

$$I_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} \quad (8.10)$$

Розкриваємо квадрат в підінтегральному виразі:

$$I_{\text{ср.кв}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (I_{\text{ср}}^2 + 2I_{\text{ср}}(I_i - I_{\text{ср}}) + (I_i - I_{\text{ср}})^2) dt \quad (8.11)$$

Далі, враховуючи, що середнє значення відхилення $(I_i - I_{\text{ср}})$ дорівнює нулю, отримуємо остаточне співвідношення між середньоквадратичним і середнім значенням струму.

$$\begin{aligned} \Delta I_{\text{ср.кв}}^2 = \sigma_I^2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta I_i^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i - I_{\text{ср}})^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i^2 - 2I_{\text{ср}} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{\text{ср}}^2 = \\ &= I_{\text{ср.кв}}^2 - 2I_{\text{ср}}^2 + I_{\text{ср}}^2 = I_{\text{ср.кв}}^2 - I_{\text{ср}}^2, \end{aligned} \quad (8.12)$$

Звідки

$$I_{\text{ср.кв}}^2 = I_{\text{ср}}^2 + \sigma_I^2. \quad (8.13)$$

Втрати електроенергії:

$$\Delta W = 3I_{\text{ср.кв}}^2 RT = 3(I_{\text{ср}}^2 + \sigma_I^2) RT. \quad (8.14)$$

					Арк.
					65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

З цієї формули витікають два базові методи розрахунку втрат електроенергії в розподільчих електричних мережах:

1) Метод середніх навантажень.

Перетворюючи (8.14), отримаємо:

$$\Delta W = 3I_{\text{ср}}^2 \left(1 + \frac{\sigma_I^2}{I_{\text{ср}}^2} \right) RT = 3I_{\text{ср}}^2 k_{\phi}^2 RT = \Delta P_{\text{ср}} \quad (8.15)$$

В якому $k_{\phi}^2 = 1 + \frac{\sigma_I^2}{I_{\text{ср}}^2} = \frac{I_{\text{ср.кв}}^2}{I_{\text{ср}}^2}$ - це коефіцієнт форми в квадраті на графіку струму протягом інтервалу часу T.

2) Виходить з (8.14) шляхом множення і ділення виразу праворуч на квадрат максимального струму $I_{\text{макс}}^2$ протягом інтервалу часу T.

$$(I_{\text{макс}} = \max_i (I_i), i = 1, 2, 3, \dots, N).$$

$$\Delta W = 3I_{\text{ср.кв}}^2 RT \frac{I_{\text{макс}}^2}{I_{\text{макс}}^2} = 3I_{\text{макс}}^2 \left(\frac{I_{\text{ср}}^2 + \sigma_I^2}{I_{\text{макс}}^2} \right) RT = 3I_{\text{макс}}^2 \tau_0 RT = \Delta P_{\text{макс}} \tau_0 T, \quad (8.16)$$

$$\text{де } \tau_0 = \frac{I_{\text{ср}}^2 + \sigma_I^2}{I_{\text{макс}}^2} = \frac{I_{\text{ср.кв}}^2}{I_{\text{макс}}^2} - \text{це значення відносного часу максимальних}$$

втрат;

□ $P_{\text{макс}}$ – значення найбільших на інтервалі часу T втрат потужності.

Цей підхід відомий як метод часу (або методу числа годин) найбільших втрат.

Розглянуті методи використовуються для знаходження навантажувальних втрат, які виникають через протікання струму навантаження по елементах електромережі. Узагальнена інформація щодо цих методів представлена в таблиці 8.1.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.1. - Основні методи розрахунку навантажувальних втрат електричної енергії

Методи обчислення втрат електричної енергії	Обчислення
За середньоквадратичним струмом $\Delta W = 3I_{\text{ср.кв}}^2 RT.$	$I_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i^2}$
За середніми навантаженнями $\Delta W = 3I_{\text{ср}}^2 k_{\phi}^2 RT,$	$I_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i; k_{\phi}^2 = \frac{I_{\text{ср.кв}}^2}{I_{\text{ср}}^2}$
За часом найбільших втрат $\Delta W = 3I_{\text{max}}^2 \tau_0 RT$	$I_{\text{max}} = \max_i (I_i), i=1, 2, \dots, N; \tau_0 = \frac{I_{\text{ср.кв}}^2}{I_{\text{max}}^2}$

При наявності графіка струму на інтервалі часу T розрахунок виконують за середньоквадратичним струмом, розрахунки по двох інших методам, в цьому випадку, дають такий самий результат. Застосування двох останніх методів обгрунтовано відсутністю повної інформації про завантаження елемента електромережі на всьому інтервалі часу T . Введені коефіцієнти k_{ϕ}^2 і τ_0 носять назву інтегруючих множників і їх поява та методів, в яких вони використовуються, викликана неповнотою інформації, потрібної для розрахунку втрат електричної енергії за середньоквадратичним струмом. Інтегруючі множники можуть бути отримані приблизно за іншими графіками, наприклад, активної та реактивної потужності, або приймаються на основі досвіду для ряду характерних випадків.

8.3. Метод оцінки втрат за конфігурацією схем і навантаженням мережі

Електромережі напругою 0,38 кВ мають велику кількість однофазних навантажень, чотирипровідну схему з нейтральним провідником та невизначеність у споживаній потужності або енергії. Це ускладнює проведення точних розрахунків поточкорозподілу, а в деяких випадках навіть робить їх неможливими.

Через це в таких мережах застосовують методи наближеної оцінки втрат електроенергії. Достовірні результати такими методами можна отримати, якщо виконувати розрахунки для групи ліній, загальна кількість яких не менша за сумарну кількість ліній, що відходять від щонайменше 100 трансформаторних підстанцій 6-20/0,4 кВ. Це відповідає декільком сотням ліній.

Втрати електроенергії в N лініях мережі 0,38 кВ із середнім перетином головних проводів $F_{г.ср}$ (мм²), обсягом відпущеної електроенергії в лінії $W_{0,38}$ (тис. кВт·год) за період D днів визначаються згідно з методом оцінки втрат, який враховує узагальнені параметри схем і навантажень мережі. Розрахунок проводиться за наступною формулою:

$$\Delta W = f(N, F_{г.ср}, W_{0,38}, D),$$

де функція f встановлюється на основі емпіричних залежностей істатистичних даних для подібних мереж.

$$\Delta W = k_{0,38} \left(\frac{W_{0,38}}{N} \right)^2 \cdot \frac{(1 - d_n)^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) L_{зкв}}{F_{г.ср} \cdot D} \cdot \frac{1 + 2}{3k_t} \quad (8.17)$$

де $L_{зкв}$ - еквівалентна загальна довжина ліній, км; $\operatorname{tg} \varphi$ - середній коефіцієнт потужності; $k_{0,38}$ - коефіцієнт, якій враховує характер розподілу навантажень по довжині лінії і неоднорідність навантажень фаз; d_n - частка електроенергії, яка споживається на відстані 1-2 прольоту від ТП, по відношенню до загального відпуску в мережу 0,38 кВ.

					Арк.
					68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Еквівалентна загальна довжина N ліній обчислюється таким чином:

$$L_{\text{екв}} = L_{\text{м}} + 0,44L_{2-3} + 0,22L_1, \quad (8.18)$$

де $L_{\text{м}}$ - загальна довжина магістралей N 0,38 кВ; L_{2-3} - загальна довжина двофазних та трифазних відгалужень N мереж 0,38 кВ; L_1 - загальна довжина однофазних відгалужень N мереж 0,38 кВ.

При використанні цієї формули необхідно враховувати такі положення:

1. Визначення магістралі. Для кожної лінії 0,38 кВ обчислюється найбільша відстань від шин 0,38 кВ трансформаторної підстанції (6-20)/0,4 кВ до найвіддаленішого споживача, підключеного до трифазної або двофазної лінії.

2. Визначення еквівалентної довжини лінії. У розрахунок довжини відгалуження не включаються:

- Електромережі, що належать до загальнобудинкового майна багатоквартирних житлових будинків (зокрема, внутрішньобудинкові електричні мережі).

- Відгалуження до житлових будинків, якщо межа балансової належності (експлуатаційної відповідальності) розташована на опорі.

Якщо в магістралі або відгалуженнях використовуються проводи з різних матеріалів (алюмінієві, сталеві, мідні), у формулу (8.18) підставляються довжини ліній, що визначаються за спеціальною формулою, яка враховує питомий опір і переріз кожного типу проводу:

$$L = L_{\text{а}} + 4L_{\text{с}} + 0,6L_{\text{мід}}, \quad (8.19)$$

де $L_{\text{а}}$, $L_{\text{с}}$, $L_{\text{мід}}$ - довжина алюмінієвих, сталевих та мідних кабелів.

Коефіцієнт $k_{0,38}$ обчислюють:

$$k_{0,38} = k_{\text{и}} (7,78 - 2,67d_{\text{п}} - 1,48d_{\text{п}}^2) \cdot (1,25 + 0,14 \quad (8.20)$$

					Арк.
					69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де d_p - частка енергії, яка відпускається населенню відносно загального відпуску в мережу 0,38 кВ, в.о.; $k_u = 1$ для мереж 400/230 В і $k_u = 3$ для мережі 220/127 В.

Коефіцієнт $F_{г.ср}$:

$$F_{г.ср} = \frac{\sum_{i=1}^N F_{гi} \cdot L_{гi}}{\sum_{i=1}^N L_{гi}}, \quad (8.21)$$

де $F_{гi}$ - переріз головної ділянки i -ої лінії ; $L_{гi}$ - довжина головної ділянки i -ої лінії.

Якщо відсутні дані про коефіцієнт заповнення графіка і коефіцієнти потужності, то приймається $k_3=0,5$; $\text{tg}\varphi=0,6$.

Якщо в мережі 0,4 кВ відсутній облік електроенергії, її обсяг визначається методом балансового розрахунку. Для цього з величини енергії, відпущеної в мережу 6-20 кВ, віднімаються:

1. Втрати електроенергії в обладнанні 6-20 кВ
2. Енергія, подана в трансформаторні підстанції 6-20/0,4 кВ
3. Електроенергія, спожита абонентами, підключеними безпосередньо до шин ТП
4. Енергія, відпущена в лінії 0,38 кВ, що знаходяться на балансі споживачів

Таким чином, отримане значення є оцінкою електроенергії, що надійшла в мережу 0,4 кВ.

Приклад. Визначення втрат електричної енергії в мережі 0,38 кВ, яка містить 382 лінії 0,38 кВ.

Вихідні дані та отримані за поередніми формулами результати розрахунків представлено в таблиці 8.2.

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.2 - Вихідні дані і розрахункові параметри

Найменування параметру	Позначення	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4
Загальний обсяг електроенергії, переданий у лінії	$W_{0,38}$	тис. кВт ч	84230,78
Число електричних ліній	N	шт.	383
Кількість днів у розрахунковому періоді	D	кількість днів	366
Коефіцієнт, що характеризує рівномірність графіка навантаження	k_3	в.о.	0,51
Середній перетин основних ділянок ліній	$F_{г.ср.}$	мм ²	52
Середнє значення коефіцієнта реактивної потужності	$tg\varphi$	в.о.	0,62
Коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження вздовж лінії та різницю в навантаженнях фаз	$k_{0,38}$	в.о.	7,79
Коефіцієнт, що приймає значення 1 для ліній 400/230 В і 3 для ліній 220/127 В	k_u	в.о.	1,0
Частка електроенергії, що постачається населенню, відносно загального відпуску в мережу 0,38 кВ	d_p	в.о.	0,56
Частка енергії, спожитої на відстані 1–2 прольотів від трансформаторної підстанції, у співвідношенні до загального обсягу електроенергії, поданої в мережу 0,4 кВ	d_n	в.о.	0,41
Загальна протяжність ліній електропередач	L	км	129,93
Довжина кабельних ліній з алюмінієвими жилами	$L_{аКЛ}$	км	84,82
Протяжність повітряних ліній з алюмінієвими проводами	$L_{аПЛ}$	км	42,48
Загальна протяжність магістралей для N ліній	L_M	км	127,29
Сукупна довжина двофазних і трифазних відгалужень у N лініях	L_{2-3}	км	5,0
Загальна протяжність однофазних відгалужень у N лініях	L_1	км	2,0
Еквівалентна загальна довжина N ліній	$L_{\text{ЭКВ}}$	км	129,92
Втрати електроенергії, спричинені навантаженням у мережах 0,38 кВ	$\Delta W_{0,38}$	тыс. кВт ч	1758,026
Відносний рівень втрат у лініях 0,38 кВ	$\Delta W_{0,38,\%}$	%	2,089

					Арк.
					71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Зменшення втрат електроенергії за допомогою технічних рішень передбачає модернізацію мереж, оновлення або додавання обладнання, електричних пристроїв і механізмів. Зокрема, оновлення інфраструктури включає зміну перерізу проводів, перехід на вищий рівень напруги, а також зменшення протяжності мережі шляхом введення в експлуатацію додаткових підстанцій.

У випадках, коли проєктування мереж здійснюється з урахуванням мінімізації сукупних витрат при дотриманні стандартів якості електропостачання та забезпеченні необхідної надійності, втрати електроенергії вважаються економічно виправданими й оптимальними.

Розрахунок такого рівня проводиться на основі відповідних методик, результати яких представлені в таблиці 1.2 [1].

Таблиця 8.3 - Оптимальна величина втрат електроенергії у мережах 10 кВ.

Показник	Локалізація	Значення		
		мінімальне	середнє	максимальне
Втрати електроенергії відносно загального обсягу в мережу	Сумарні	3,12	4,0	6,54
	В лініях	0,10	1,21	3,91
	В трансформаторах	2,50	2,93	3,21
Втрати електроенергії відносно загальних витрат в мережі	В лініях	3,50	30,1	62,0
	В трансформаторах	15,9	26,5	43,65
	Умовно-постійні в трансформаторах	21,0	44,2	67,33

Для оцінки економічної ефективності заходів, спрямованих на зниження втрат електроенергії, необхідно аналізувати їх величину, розподіл у різних частинах мережі та ключові параметри її роботи, такі як граничні значення струмів, потужність, а також мінімальні та максимальні рівні напруги.

Оптимізація споживання електроенергії досягається шляхом застосування різноманітних методів, які можна умовно розділити на конструктивні та експлуатаційні. Перші передбачають зміну мереж шляхом додавання нових ліній живлення, заміни декількох трансформаторів одним більшої потужності, використання проводів із більшим перерізом, а також встановленням компенсуючих пристроїв поблизу електроприймачів. Останнє дозволяє зменшити навантаження на електромережу, знизити рівень реактивної потужності та підвищити рівень напруги в мережах наступних класів: 380 до 660 В, 6 до 10 кВ, 10 до 20 кВ.

Експлуатаційні заходи, які не потребують значних фінансових вкладень, потрібно реалізовувати насамперед. В міських розподільних мережах промислових підприємств широко використовується метод глибокого секціонування, що передбачає окрему роботу секцій шин розподільних пунктів на усіх рівнях напруги. Проте така схема може призводити до нерівномірного перерозподілу навантаження в лініях і трансформаторах, різниці напруг між секціями, що в підсумку викликає додаткові втрати електроенергії.

У ході дослідження встановлено, що рівень технічних втрат залежить від наступних факторів:

- постійного перегляду конфігурації мереж у процесі їхньої модернізації;
- змін в умовах експлуатації, інтенсивності використання та технічного стану обладнання електропостачання впродовж його роботи.

Останній фактор пояснюється тим, що протягом експлуатації електрообладнання поступово зношується та старіє під впливом зовнішніх умов, таких як кліматичні фактори, механічні навантаження, особливості режиму роботи та електромагнітні впливи.

Частка недопостачання електроенергії споживачам через технологічні збої в мережах напругою 6(10) кВ варіюється від 40,5 % до 96 %. Високий рівень втрат пояснюється недостатнім рівнем систем автоматизації

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітряних мереж 10 кВ. Крім того, в системах 6(10) кВ значні втрати електроенергії обумовлені обмеженою пропускнуою здатністю цих ліній.

Добовий розподіл навантаження в міських електромережах характеризується вагомою нерівномірністю. У системах 6(10) кВ спостерігається підвищений рівень аварійних ситуацій і технологічних збоїв. Перевантаженість мереж у поєднанні з інфраструктурою, яка не відповідає сучасним навантаженням, призводить до зниження надійності електропостачання.

Сучасне електрообладнання в промисловій, комунальній та побутовій сферах є чутливим до як короткочасних, так і тривалих перебоїв в подачі електроенергії. Це спричиняє значні економічні втрати, які включають не тільки втрати від недопостачання електроенергії, а й пошкодження техніки та порушення технологічних процесів.

Методи зниження втрат електроенергії, а також послідовність їх впровадження, наведені на рисунках 8.3 і 8.4.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

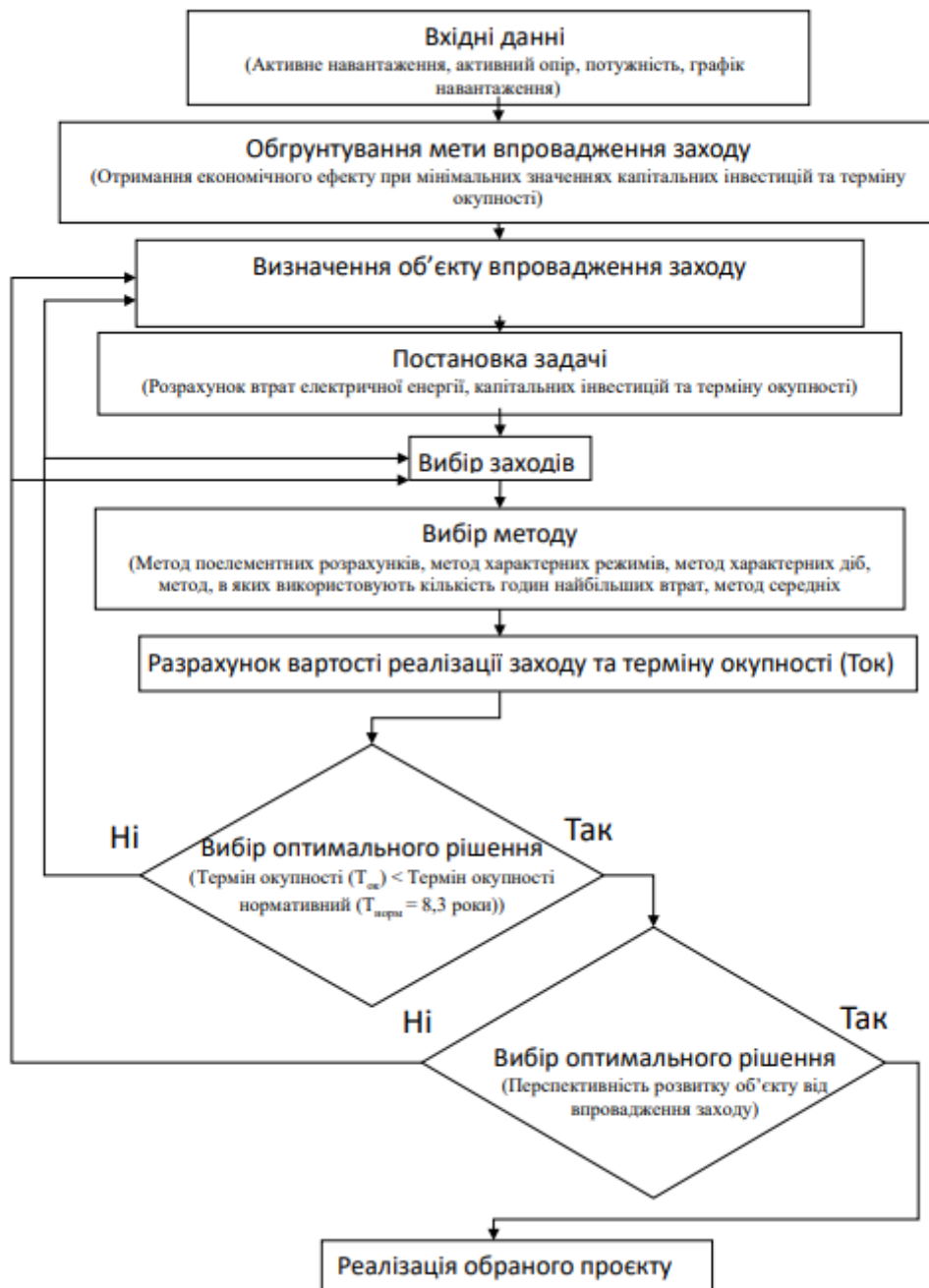


Рисунок 8.4 - Блок-схема алгоритму вирішення задачі впровадження заходу по скороченню втрат

8.4. Методи оптимізації схеми міської розподільчої мережі напругою 10 кв.

Оптимізація функціонування енергосистем, яка включає процеси виробництва, транспортування та розподілу електроенергії, розпочалася ще з появою перших енергоустановок. Із розширенням енергетичних мереж потреба у вдосконаленні режимів їх роботи ставала дедалі актуальнішою.

					Арк.
					76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Для цього розроблялися та вдосконалювалися методи оптимізації, а також їх програмна і алгоритмічна реалізація.

Одним із відомих підходів є метод Лагранжа, який відноситься до варіаційних методів і дозволяє знаходити умовний екстремум безперервних функцій. Це означає, що можна визначити максимальне або мінімальне значення функції за наявності обмежень у вигляді рівнянь.

Сучасні оптимізаційні задачі енергетики вирішуються за допомогою математичних методів, які базуються на лінійному, нелінійному, динамічному та стохастичному програмуванні. Основою їх застосування є системний підхід, який передбачає комплексний розгляд всіх складових енергосистеми в їх взаємозв'язку, де приватні інтереси узгоджуються із загальними цілями.

Метод множників Лагранжа дозволяє знайти систему рівнянь, якій задовольняє екстремум функції $f(x_1, \dots, x_n)$ на множині N , і що визначається системою рівнянь $g_i(x)$ для $i = 1, 2, 3, \dots, m$.

Щоб знайти точку екстремума потрібно знайти m чисел $\lambda_1, \dots, \lambda_m$, які разом із вектором X задовольняли б наступній системі $(m + n)$ рівнянь із $(m + n)$ невідомими

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial g_i(x)}{\partial x_j} = 0, j=1, \dots, n; g_i(x) = 0; i=1, \dots, m.$$

Рівняння отримані в якості умов екстремума функції Лагранжа

$$L(X, Y) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot g_i(x), \quad (8.22)$$

де $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ – множники Лагранжа.

Застосування методу Лагранжа для визначення оптимального режиму роботи енергосистеми передбачає розв'язання складної системи нелінійних рівнянь за допомогою послідовних наближень, тобто ітераційного підходу. Проте, якщо кількість обмежень значна, цей метод може виявитися малоефективним через необхідність великої кількості ітерацій. У таких випадках доцільніше використовувати градієнтний метод.

					Арк.
					77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Суть градієнтного методу полягає у виборі початкового набору змінних, які відповідають заданим обмеженням. Для цього спочатку задаються $(n - 1)$ незалежних змінних, а потім, використовуючи рівняння зв'язку, знаходять значення решти залежних змінних.

Отриманий набір величин, звісно, не відповідає оптимуму. Потім визначають часні похідні :

$$\frac{\partial g(x)}{\partial x_{i+1}}; \frac{\partial g(x)}{\partial x_{i+2}}; \dots; \frac{\partial g(x)}{\partial x_n},$$

які в загальному випадку не дорівнюють нулю.

Далі незалежні змінні коригують на величини $\partial x_{i+1}, \partial x_{i+2}, \dots, \partial x_n$ таким чином, щоб їх зміна сприяла зменшенню цільової функції $g(x)$, що веде до отримання найбільш економічного режиму роботи енергосистеми. З розвитком енергетики та ускладнення задач оптимізації почали застосовувати спеціалізовані математичні методи, які стали складовою частиною прикладної математики. Зокрема, до них належать методи, що засновані на варіаційному численні, що дозволяють знаходити екстремальні значення складних функцій шляхом вивчення аналітичних залежностей між змінними за допомогою спеціальних математичних прийомів.

Ці методи не забезпечують пошуку глобального екстремуму, що робить їх непридатними для вирішення багатоекстремальних задач. Як відомо, необхідною умовою існування локального екстремуму є звернення першої похідної $f'(x_0)$ у нуль у точці x_0 . Достатня умова визначається знаком другої похідної: якщо $f''(x_0) > 0$, то функція має локальний мінімум, а якщо $f''(x_0) < 0$, то точка x_0 відповідає локальному максимуму.

Методи пошуку глобального екстремуму для функцій з численними локальними екстремумами розвинені недостатньо, тому при вирішенні практичних задач оптимізації використовують різноманітні спрощення, які дозволяють врахувати специфіку оптимізованої системи. Варіаційне числення не завжди забезпечує отримання розв'язку навіть в випадку

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одноекстремальних задач, якщо додаткові обмеження виражені у формі нерівностей.

З цієї причини оптимізаційні процеси в електроенергетиці дедалі більше зводяться до операційних задач, що передбачають виконання певної послідовності дій, об'єднаних спільною метою. Ступінь досягнення цієї мети визначається певною величиною – цільовою функцією (критерієм оптимальності), яка набуває числових значень. Якщо цільова функція виражена математично, тоді завдання оптимізації зводиться до знаходження її екстремального значення.

Для впливу на цю функцію у необхідному напрямку використовуються певні активні засоби — регулюючі параметри $x_{y,1}, \dots, x_{y,n}$, які дозволяють змінювати вихідні характеристики y_1, y_2, \dots, y_m , що виступають аргументами цільової функції. Крім того, на результат операції впливають і некеровані параметри $x_1, x_2, \dots, x_n, x_y$, що визначають умови виконання процесу. У таких випадках знаходження екстремальних значень базується на математичній моделі аналізованого (оптимізованого) процесу або їх сукупності.

8.5. Математична модель.

Математичну модель можна розглядати як спосіб представлення процесу в формі певних функціональних залежностей: $y_i = \varphi_i(x_{y,1}, x_{y,2}, \dots, x_{y,n}, x_{1,ny}, x_{2,ny}, \dots, x_{k,ny})$, $i = 1, 2, 3, \dots, m$. Оптимізація процесу передбачає пошук методики, яка з множини можливих рішень дозволяє вибрати варіанти, при яких значення керуючих параметрів відповідають встановленим обмеженням і забезпечують максимізацію або мінімізацію цільової функції.

Якщо математична модель має складну структуру, має значну кількість керованих та вхідних параметрів, містить нелінійні або дискретні елементи, а також передбачає, що керуючі чи вихідні величини представлені не числами, а функціями (скалярними, векторними чи матричними), то отримання

					Арк.
					79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

оптимального рішення може ускладнюватися. Для вирішення подібних завдань застосовуються методи лінійного, нелінійного, динамічного та стохастичного програмування, які забезпечують систематизований перебір варіантів.

Технологічний процес можна описати через систему рівнянь, що встановлюють зв'язки між параметрами виробництва, визначають вхідні і вихідні характеристики, а також накладають певні обмеження.

Повна математична модель процесу включає такі компоненти:

1) Рівняння зв'язку – відображають залежність між вхідними і вихідними параметрами та характеризують сам процес.

2) Обмеження – задають допустимі діапазони зміни параметрів та визначають умови здійснення технологічних операцій. Вони можуть бути лінійними або нелінійними, представленими у вигляді детермінованих або стохастичних співвідношень.

3) Рівняння ефективності (цільова функція) – вимірюють, наскільки отримані результати відповідають поставленим управлінським завданням.

4) Рівняння адаптації – в разі, якщо система має адаптивний характер, її функціонування базується на аналізі попередніх сценаріїв і прагненні відтворити оптимальні варіанти або мінімізувати відхилення. У процесі адаптації можуть змінюватися як параметри керування, так і структура самої системи.

5) Рівняння керування – визначають оптимальний алгоритм впливу на систему, встановлюючи зв'язки між контрольованими і неконтрольованими параметрами. Формування таких закономірностей є завершальним етапом процесу оптимізації, для чого застосовують спеціалізовані методи, що забезпечують пошук найкращого рішення.

Оптимізація міської розподільчої мережі шляхом заміни кабелів більшого перерізу може бути здійснена за допомогою методу Лагранжа, який дозволяє знайти оптимальні значення параметрів мережі при наявності

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмежень, таких як витрати на матеріали, допустимі значення струму чи напруги та інші фактори.

Приклад

1. Цільова функція: Мінімізувати витрати на реконструкцію:

$$C(x_1, x_2) = c_1 x_1 + c_2 x_2$$

де c_1, c_2 — це коефіцієнти вартості кабелів для двох різних ліній.

2. Обмеження: Максимальні струми для кожної лінії:

$$g_1(x_1) = x_1 - I_{max1} \leq 0, \quad g_2(x_2) = x_2 - I_{max2} \leq 0$$

де I_{max1} та I_{max2} — це максимальні допустимі струми для кожної лінії.

Застосувавши метод Лагранжа, отримуємо оптимальні перерізи кабелів, які забезпечують мінімальні витрати при виконанні всіх технічних і економічних обмежень.

Функціонал оптимізаційної моделі:

$$\{Z = f(F, \Delta U) \rightarrow \min$$

$$\{ \Delta U_{\min \text{ доп}} < \Delta U_{\text{сп}} < \Delta U_{\max \text{ доп}},$$

де $\Delta U_{\min \text{ доп}}$ та $\Delta U_{\max \text{ доп}}$ — мінімальні та максимальні допустимі норми відхилення напруги (-5% і +5%)

Розрахунок приведених витрат здійснюється за формулою:

$$Z = p_n \cdot K + p_a \cdot K + C_0 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau,$$

де p_n — встановлений нормативний коефіцієнт;;

K — обсяг інвестицій у прокладання кабельних ліній, тис. грн;

p_a — ставка амортизаційних нарахувань;

C_0 — середня вартість електроенергії, грн/кВт·год;

ΔP_{Σ} — загальний обсяг втрат потужності на кабельних ділянках, кВт;

τ — кількість годин за рік, коли спостерігаються найбільші втрати.

					Арк.
					81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Зведені витрати для вихідної конфігурації системи електропостачання (варіант I):

$$Z = p_n \cdot K + p_a \cdot K + C_0 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 0,12 \cdot 5513,9 + 0,05 \cdot 5513,9 + 2,7 \cdot 25,9 \cdot 3039,3 = 213475,6 \text{ тис.грн.}$$

Розраховані витрати для другого варіанту СЕП (із впровадженням кабелів більшого перерізу):

$$Z = p_n \cdot K + p_a \cdot K + C_0 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 0,12 \cdot 6125,3 + 0,05 \cdot 6125,3 + 2,7 \cdot 26,3 \cdot 3039,3 = 216841 \text{ тис.грн.}$$

Оцінка витрат для третього варіанта електропостачальної мережі:

$$Z = p_n \cdot K + p_a \cdot K + C_0 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 0,12 \cdot 6215,1 + 0,05 \cdot 6215,1 + 2,7 \cdot 11,8 \cdot 3039 = 97879,1 \text{ тис.грн.}$$

Витрати, що відповідають четвертому рішенняю щодо СЕП:

$$Z = p_n \cdot K + p_a \cdot K + C_0 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 0,12 \cdot 7555,3 + 0,05 \cdot 7555,3 + 2,7 \cdot 22,3 \cdot 3039 = 184263 \text{ тис.грн.}$$

Аналіз результатів засвідчив, що з урахуванням енергетичних втрат найраціональнішим є третій варіант СЕП, за якого перетин кабельних ліній подвоюється.

Такий варіант модернізації дозволяє досягти економічної доцільності реконструкції мережі, відповідаючи при цьому технічним вимогам і сприяючи оптимальному функціонуванню розподільчої інфраструктури.

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Збільшення електричних навантажень у промисловому секторі зумовлює потребу в подальшому розвитку розподільчих мереж, що є ключовою складовою системи електропостачання будь-якого населеного пункту. Виконуючи функцію зв'язуючої ланки між джерелами енергії та кінцевими споживачами, ці мережі забезпечують ефективну передачу й розподіл електроенергії по всій міській території.

У межах цієї кваліфікаційної роботи було розроблено проєкт системи електропостачання для промислових споживачів м. Новоархангельськ. Під час виконання проєкту проведено розрахунок електричних навантажень підприємств, здійснено підбір основного силового обладнання з урахуванням експлуатаційних умов, технічних параметрів та критеріїв енергоефективності. Окрім того, проаналізовано техніко-економічні чинники проєктування мережі, що дало змогу побудувати оптимальну схему електропостачання відповідно до вимог сучасних нормативів.

На основі проведених розрахунків сформульовано такі висновки щодо доцільності прийнятих технічних рішень:

- Впровадження електропостачання через лінії напругою 10 кВ визнано оптимальним з огляду на наявне навантаження району, оскільки застосування напруги 35 кВ і вище економічно необґрунтоване;
- Забезпечено високий рівень компенсації реактивної потужності, що сприяє зниженню витрат на електроенергію та зменшенню втрат у мережі. Доцільним визнано використання реактивної потужності, яку генерують високовольтні синхронні електродвигуни, у загальному балансі системи;
- Для підвищення енергоефективності передбачено відключення трансформаторів на районних підстанціях у періоди мінімального навантаження;

						Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі розрахунків струмів короткого замикання було здійснено вибір обладнання для підстанції та перевірено його відповідність вимогам.

У спеціальному розділі цієї кваліфікаційної роботи було розглянуто питання модернізації та оптимізації міської розподільчої мережі напругою 10 кВ, що забезпечує електропостачання промислових споживачів у місті Новоархангельськ. На основі аналізу поточного стану системи живлення та прогнозованого розвитку споживання електроенергії, з урахуванням змін у структурі навантажень, виявлено необхідність удосконалення існуючої інфраструктури для забезпечення її стабільної та ефективної роботи.

Проведена в рамках проєкту оптимізація мережі 10 кВ була спрямована на покращення надійності електропостачання, зменшення енергетичних втрат і забезпечення адаптивності системи до можливих змін у характері навантажень. Запропоновані технічні рішення можуть бути застосовані як основа для подальших проєктів з реконструкції або проєктування аналогічних систем.

У підсумку, усі поставлені у роботі завдання були успішно виконані, а отримані результати підтверджують доцільність впровадження запропонованих методів у процесі оновлення міських електричних мереж.

						Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

2. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

3. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш, О. І. Сіріков, О. А. Козловський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

4. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

5. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с. ISBN 978-966-402-076-0

						Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Збірник завдань та методичні вказівки до курсового проектування по курсу “Електротехнічні комплекси та системи електроспоживання” : для здобувачів освіти II рівня спец. 141 “Електротехнічні системи електроспоживання” / [уклад.: П. Г. Плешков, І. В. Савеленко, А. І. Котиш, Н. Ю. Гарасьова] ; М-во освіти і науки України ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 135 с.

8. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту „Електропостачання промислових підприємств (Електропостачання заводу). П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович. Кіровоград: КНТУ, 2004 р.

9. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії : монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 164 с.

10. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії : монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 164 с.

11. Моделі оптимального розвитку енергосистем: Навчальний посібник. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної та освітньо-наукової програм магістерської, освітньо-наукової програми бакалаврської підготовки «Електричні системи та мережі» / В. А. Баженов; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Електронні текстові данні (1 файл: 993 кбайт).– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.

12. Основи електропостачання сільського господарства : Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с.

					Арк.
					86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 7.5. Вибір вимикачів 10 кВ для відходящих ліній.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
34,64 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
6,646 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
10,13 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 39,60$ кА
6,47 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
9,86 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
34,12 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² · с

Таблиця А6 - Технічна характеристика КРП КУ-10.

Параметри	Каталожні дані
Номінальна напруга	10 кВ
Номінальний струм, А: Збірних шин Шафи	1000 А 630А
Кількість і переріз силових кабелів, мм ²	4 (3x240)
Номінальний струм відключення, кА	31,5
Електродинамічна стійкість, кА	81
Тип привода до вимикача	Електромагнітний
Тип вимикача	ВР-1

Таблиця А7. Розрахунок потужності споживачів власних потреб.

№ п/п	Споживач	Встановлена потужність, кВт
1	Підігрів шаф КУ-10	1 x 18
2	Опалення і освітлення приміщення	6
3	Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2
Всього		26