

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

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи енергопостачання
мікрорайону м. Кропивницький»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-22

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Микола ГАВРИЛЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____ Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2026 р.

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

Гавриленко Микола Іванович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи енергопостачання мікрорайону
м. Кропивницький. Design of a power supply system for a district in Kropyvnytskyi

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 29.05.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Розроблення ефективної, надійної та енергоощадної системи енергозабезпечення будівель житлового мікрорайону з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності.

Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Теплові навантаження в системі теплопостачання. 3. Теплові мережі. 4. Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування ЦРП) та джерел теплопостачання 5. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання 6. Компенсація реактивної потужності. 7. Трансформаторні підстанції 8. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання. 9. Спеціальний розділ. 10. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів валіфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	16.04.26	
2	<i>Теплові навантаження в системі теплопостачання</i>	20.04.26	
3	<i>Теплові мережі системи теплопостачання</i>	27.04.26	
4	<i>Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції) та джерел теплопостачання</i>	04.05.26	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання</i>	10.05.26	
6	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	15.05.26	
7	<i>Трансформаторні підстанції</i>	18.05.26	
8	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	25.05.26	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	28.05.26	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	28.05.26	
11	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	28.05.26	

Дата видачі завдання

«13» квітня 2026 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«13» квітня 2026 р.

Підпис здобувача _____

Микола ГАВРИЛЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 87 с.; 16 рис.; 28 табл.; 11 джерел

Гавриленко М. І. Проєктування системи енергопостачання мікрорайону м. Кропивницький. – Рукопис.

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

У ході дослідження виконано аналіз електричних навантажень масиву та обґрунтовано вибір магістральної схеми розподільчої мережі 10 кВ із будівництвом 5 понижувальних трансформаторних підстанцій. Проведено техніко-економічне порівняння варіантів конфігурації мережі, розраховано струми трифазного короткого замикання у контрольних вузлах та вибрано сучасну захисну комутаційну апаратуру.

Окрему увагу в роботі приділено розробці спеціального розділу з проєктування сучасної інфраструктури зарядних станцій для електромобілів. У ньому виконано демографічно-транспортне прогнозування розвитку екологічного транспорту, розраховано оптимальну кількість та потужність повільних станцій змінного струму (АС) для мешканців, а також обґрунтовано впровадження системи інтелектуального нічного балансування навантаження. Додатково проведено аналіз альтернативного варіанта зі швидкісними станціями постійного струму (DC) та математично розраховано термін окупності комерційного зарядного хабу.

Результати роботи можуть бути використані при проєктуванні систем електропостачання нових житлових кварталів, а також під час комплексної модернізації та цифровізації існуючих міських інженерних мереж.

Ключові слова: система електропостачання, мікрорайон, зарядна інфраструктура, електромобілі, балансування навантаження, енергоефективність

ABSTRACT

Qualification work: 87 p.; 16 fig.; 28 tables; 11 sources.

Havrylenko M.I. Design of a power supply system for a district in Kropyvnytskyi. – Manuscript.

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

In the course of the study, an analysis of the electrical loads of the residential area was performed, and the selection of a mainline configuration for the 10 kV distribution network, including the construction of 5 step-down transformer substations, was substantiated. A technical and economic comparison of network configuration alternatives was carried out, three-phase short-circuit currents were calculated at key control nodes, and modern protective switching equipment was selected.

Special attention in the thesis is paid to the development of a dedicated section on designing a modern charging infrastructure for electric vehicles. It provides a demographic and transport forecast for green transport development, calculates the optimal quantity and capacity of slow alternating current (AC) charging stations for residents, and substantiates the implementation of an intelligent overnight load balancing system. Additionally, an analysis of an alternative option featuring direct current (DC) fast charging stations was conducted, and the payback period of a commercial charging hub was mathematically calculated.

The results of this work can be utilized in the engineering design of power supply systems for new residential quarters, as well as during the comprehensive modernization and digitalization of existing urban utility networks.

Keywords: power supply system, residential district, charging infrastructure, electric vehicles, load balancing, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Електричні навантаження в системі електропостачання	10
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	10
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	12
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	20
1.4. Графіки електричних навантажень	27
2. Теплові навантаження в системі теплопостачання	32
2.1. Визначення теплових навантажень на опалення	32
2.2. Визначення теплових навантажень на вентиляцію	34
2.3. Визначення теплових навантажень на гаряче водопостачання	36
2.4. Графіки теплових навантажень	42
3. Теплові мережі системи теплопостачання	45
3.1. Вибір джерела та системи теплопостачання	45
3.2. Гідравлічний розрахунок теплової мережі	48
4. Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції) та джерел теплопостачання	52
5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання	55
5.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення	55
5.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	60

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	М.Гавриленко				Проектування системи енергопостачання мікрорайону м. Кропивницький Design of a power supply system for a district in Kropyvnytskvi			Літ.	Аркуш
Перевір.	К. Петрова								Аркушів
Н.контр.	К. Петрова				ЦНТУ гр.ЕЕ-22				
Затв.	П. Плешков								

6.	Компенсація реактивної потужності	61
6.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	61
7.	Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електро-установок та силових мереж системи електропостачання.....	68
8.	Проектування зарядної інфраструктури для електромобілів мікрорайону «Полтавська».....	72
8.1.	Прогнозування парку електромобілів та розрахунок необхідного фонду зарядних станцій	72
8.2.	Визначення електричного навантаження та режимів роботи зарядної інфраструктури	74
8.3.	Проектування швидкісної інфраструктури (DC) та порівняльний аналіз	76
8.4.	Вибір живильних кабелів та апаратів захисту для зарядної інфраструктури.....	78
8.5.	Оцінка комерційної ефективності та терміну окупності швидкісних DC -станцій.....	81
	ВИСНОВКИ.....	84
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	86

						Арк.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку урбанізованих територій надійне та якісне функціонування систем енергопостачання є базовою умовою для життєдіяльності міських мікрорайонів. Стрімке зростання побутового навантаження, викликане масовим насиченням житлового сектору сучасною побутовою технікою, кліматичним обладнанням, а також появою нових специфічних споживачів, вимагає комплексного перегляду підходів до проектування та реконструкції міських розподільчих електричних мереж. У місті Кропивницький модернізація комунальної інфраструктури, зокрема житлового масиву «Полтавська», є надзвичайно актуальним завданням, оскільки існуючі мережі часто працюють на межі своєї пропускної здатності та потребують оптимізації топології для мінімізації втрат потужності.

Додатковим чинником, що формує нові виклики для сучасної електроенергетики, є стрімка глобальна та національна інтеграція екологічного транспорту. Поява значної кількості електромобілів у житлових кварталах створює суттєве додаткове навантаження на трансформаторні підстанції у пікові години. Тому проектування інтелектуальної зарядної інфраструктури з можливістю динамічного балансування споживання є невід'ємною частиною розбудови сучасних енергетичних систем типу Smart Grid.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є розробка комплексної, надійної, економічно досконалої та енергоефективної системи електропостачання мікрорайону «Полтавська» м. Кропивницький.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішено такі *завдання*:

- проведено детальний аналіз та розрахунок очікуваних електричних навантажень об'єктів житлово-побутового та комунального призначення мікрорайону;
- здійснено техніко-економічне обґрунтування та вибір оптимальної магістральної схеми розподільчої мережі напругою 10 кВ і визначено параметри 5 понижувальних трансформаторних підстанцій;

						Арк.

- виконано розрахунок струмів трифазного короткого замикання у контрольних вузлах системи для перевірки обладнання на термічну та динамічну стійкість і вибору захисної комутаційної апаратури;
- спроектовано оптимальну за кількістю та потужністю зарядну інфраструктуру для електромобілів (АС та DC станції) з інтеграцією алгоритмів нічного вирівнювання графіка навантажень;
- оцінено комерційну ефективність та термін окупності впровадження швидкісного зарядного хабу.

Об'єкт дослідження — процеси розподілу, передачі та споживання електричної енергії в умовах сучасного міського житлового масиву.

Предмет дослідження — схеми конфігурації розподільчих мереж 10 кВ та 0,4 кВ, параметри силового трансформаторного обладнання, захисна апаратура, а також режими роботи та показники ефективності електромобільної зарядної інфраструктури.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні готового технічного рішення для розбудови чи реконструкції системи енергопостачання мікрорайону «Полтавська». Запропоновані підходи до вибору конфігурації мережі та інтеграції EV-зарядок дозволяють забезпечити високу надійність електропостачання споживачів, зменшити капітальні витрати на збільшення потужності трансформаторів та створити умови для розвитку екологічної інфраструктури міста Кропивницький.

						Арк.

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Визначення потужності споживачів є фундаментальним етапом при проектуванні будь-якої системи електропостачання. У цьому розділі обчислення проводяться згідно з нормативними методиками [2]. Продемонструємо детальний хід розрахунку на прикладі багатоквартирного житлового будинку, що розташований за адресою: *Вул. Маланюка, 3*.

Першочергово визначаємо розрахункове електричне навантаження від квартир будівлі (P_{KB}):

$$P_{KB} = P_0 \cdot n = 1,25 \cdot 33 = 41,25 \text{ кВт},$$

де P_0 — питоме розрахункове навантаження на одну квартиру, кВт/кв (за нормативами для даного типу житла становить 1,25 кВт); n — фактична кількість квартир у будинку (33 шт.).

Наступним кроком є обчислення споживаної потужності підйомно-транспортного обладнання (ліфтів):

$$P_{P.L.} = n_L \cdot P_{H.L.} \cdot k_{P.L.} = 1 \cdot 7,0 \cdot 0,80 = 5,60 \text{ кВт},$$

де n_L — кількість встановлених ліфтів (1 шт.); $P_{H.L.}$ — номінальна потужність електродвигуна одного ліфта (7,0 кВт); $k_{P.L.}$ — коефіцієнт попиту для ліфтових установок (0,80).

Далі знаходимо розрахункову активну потужність для пристроїв санітарно-технічних потреб (насосного обладнання):

$$P_{p.cm.} = P_{всм.cm.} \cdot k_{n.cm.} = 4,53 \cdot 0,75 = 3,40 \text{ кВт},$$

де $P_{p.cm.}$ — встановлена потужність електродвигунів санітарно-технічних пристроїв (4,53 кВт); $k_{n.cm.}$ — коефіцієнт попиту для насосних установок (0,75).

						Арк.

Розрахункове активне електронавантаження всієї житлової будівлі (P_p) обчислюємо з урахуванням коефіцієнта участі в максимумі навантаження силових приймачів ($K_y = 0,9$):

$$P_p = P_{KB} + K_y \cdot (P_{p.л.} + P_{p.см.}) = 41,25 + 0,9(5,60 + 3,40) = 41,25 + 8,10 = 49,35 \text{ кВт.}$$

Після визначення активних складових переходимо до розрахунку реактивної потужності.

Значення реактивної потужності квартирному фонду, ліфтових установок, насосів системи водопостачання:

$$Q_{p.кв.} = P_{кв.} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{кв.} = 41,25 \cdot 0,29 = 11,96 \text{ квар.}$$

$$Q_{p.л.} = P_{p.л.} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{л.} = 5,60 \cdot 1,17 = 6,55 \text{ квар.}$$

$$Q_{p.см.} = P_{p.см.} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{см.} = 3,40 \cdot 0,75 = 2,55 \text{ квар.}$$

Отже, сумарна реактивна потужність для всього житлового будинку становитиме:

$$Q_p = Q_{p.кв.} + Q_{p.л.} + Q_{p.см.} = 11,96 + 6,55 + 2,55 = 21,06 \text{ квар.}$$

На завершальному етапі обчислюємо повне розрахункове навантаження об'єкта (S_p):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{49,35^2 + 21,06^2} = \sqrt{2435,42 + 443,52} = 53,66 \text{ кВА.}$$

Розрахункові значення електричних навантажень для інших будівель мікрорайону проведено за аналогічним підходом, а в Таблиці 1.1 наведено результуючі значення.

Обчислення навантажень котельні виконуємо у зручній табличній формі (Таблиця 1.3) з використанням методу упорядкованих діаграм. Розрахунок навантажень для групи мережевих насосів (МН-1, МН-2)

Для цієї групи електроприймачів розрахунок проводиться наступним чином:

У групі 2 насоси по 132 кВт кожен:

$$P_{вст. \Sigma} = n \cdot P_{вст} = 2 \cdot 132 = 264,0 \text{ кВт}$$

Приймаємо коефіцієнт використання $K_B = 0,85$:

						Арк.

$$P_{cm} = P_{вст.\Sigma} \cdot K_B = 264,0 \cdot 0,85 = 224,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 224,4 \cdot 0,62 = 139,13 \text{ квар}$$

Оскільки мережеві насоси працюють у постійному режимі, коефіцієнт максимуму $K_M = 1$.

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M = 224,4 \cdot 1 = 224,4 \text{ кВт}$$

Згідно з методикою, для груп з малою кількістю споживачів:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} = 1,1 \cdot 139,13 = 153,04 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{224,4^2 + 153,04^2} = 271,62 \text{ кВА}$$

Визначення загальних значень по котельні

$$P_{p.\Sigma} = \sum P_p = 551,60 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.\Sigma} = \sum Q_p = 390,62 \text{ квар}$$

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{P_{p.\Sigma}^2 + Q_{p.\Sigma}^2} = \sqrt{551,60^2 + 390,62^2} = 675,90 \text{ кВА}$$

						Арк.

Зм	
Док	
№ докум.	
Підпис	
Дата	
Док.	

Таблиця 1.1. Розрахункові електричні навантаження житлового фонду (до 1 кВ)

Адреса об'єкту	n	P_0 , кВт/кВ	$P_{р.кв.}$, кВт	$tg\phi_{кв}$	n	$P_{п.л.}$, кВт	$k_{п.л.}$	$tg\phi_{л}$	$P_{р.л.}$, кВт	$k_{п.спп.}$	$P_{р.спп.}$, кВт	$tg\phi_{спп}$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вул. Маланюка, б. 3	33	1,25	41,25	0,29	1	7	0,8	1,17	5,6	0,75	3,4	0,75	49,35	21,06	53,66
Вул. Маланюка, б. 5	69	0,99	68,31	0,29	2	7	0,8	1,17	11,2	0,75	13,5	0,75	90,54	43,04	100,25
Вул. Маланюка, б. 7	68	0,99	67,32	0,29	2	7	0,8	1,17	11,2	0,75	13,5	0,75	89,55	42,75	99,23
Вул. Маланюка, б. 25	141	0,81	114,21	0,29	4	7	0,7	1,17	19,6	0,75	23	0,75	152,55	73,3	169,24
Вул. Маланюка, б. 22	14	1,75	24,5	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	3,4	0,75	27,56	9,66	29,2
Вул. Маланюка, б. 26	13	1,75	22,75	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	3,4	0,75	25,81	9,15	27,38
Вул. Маланюка, б. 28	14	1,75	24,5	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	13,5	0,75	36,65	17,24	40,5
Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	142	0,81	115,02	0,29	4	7	0,7	1,17	19,6	0,75	23	0,75	153,36	73,54	170,08
Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	140	0,81	113,4	0,29	4	7	0,7	1,17	19,6	0,75	23	0,75	151,74	73,07	168,41
Вул. Полтавська, б. 32	177	0,79	139,83	0,29	5	7	0,7	1,17	24,5	0,75	27	0,75	186,18	89,47	206,56
Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	214	0,77	164,78	0,29	6	7	0,65	1,17	27,3	0,75	31,6	0,75	217,79	103,4 ₃	241,09
Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	70	0,99	69,3	0,29	2	7	0,8	1,17	11,2	0,75	13,5	0,75	91,53	43,33	101,27
Вул. Полтавська, б. 24	141	0,81	114,21	0,29	4	7	0,7	1,17	19,6	0,75	23	0,75	152,55	73,3	169,24
Вул. А. Матвієнка, б. 6А	37	1,2	44,4	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	13,5	0,75	56,55	23,01	61,05
Вул. А. Матвієнка, б. 3А	57	1,05	59,85	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	18,2	0,75	76,23	31,01	82,29

Зм		
Арж		
№ докум.		
Підпис		
Дата		
Арж.		

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вул. Полтавська, б. 37	105	0,84	88,2	0,29	3	7	0,8	1,17	16,8	0,75	18,2	0,75	119,7	58,89	133,4
Вул. Полтавська, б. 73	68	0,99	67,32	0,29	2	7	0,8	1,17	11,2	0,75	13,5	0,75	89,55	42,75	99,23
Вул. Полтавська, б. 75	78	0,95	74,1	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	23	0,75	94,8	38,74	102,41
Вул. Полтавська, б. 69	32	1,25	40	0,29	1	7	0,8	1,17	5,6	0,75	3,4	0,75	48,1	20,7	52,37
Вул. Полтавська, б. 65	34	1,25	42,5	0,29	1	7	0,8	1,17	5,6	0,75	3,4	0,75	50,6	21,43	54,95
Вул. Полтавська, б. 61	69	0,99	68,31	0,29	2	7	0,8	1,17	11,2	0,75	13,5	0,75	90,54	43,04	100,25
Вул. Полтавська, б. 24, к.3	105	0,84	88,2	0,29	3	7	0,8	1,17	16,8	0,75	18,2	0,75	119,7	58,89	133,4
Пров. Кінний, б. 6, к. 1	98	0,85	83,3	0,29	0	0	0	1,17	0	0,75	27	0,75	107,6	44,41	116,41
Всього			3871,97										5057,94	2351,45	5577,8

Таблиця 1.2. Визначення розрахункової потужності об'єктів комерційної та громадської інфраструктури

№ з/п	Об'єкт	n	$P_{\text{пит}}$	Од. вимір.	Заг. наві., кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Зн. розр. наві.		
								P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Навчальний заклад (корпус 1)	1250	0,365	кВт/чол	456,25	0,92	0,43	456,25	196,19	496,65
2	Автозаправна станція "АНР"	4	15,9	кВт/місце	63,6	0,8	0,75	63,6	47,7	79,5
3	Заклад дошкільної освіти № 43	1080	0,365	кВт/чол	394,2	0,92	0,43	394,2	169,51	429,09
4	Навчальний заклад (корпус 2)	1280	0,365	кВт/чол	467,2	0,92	0,43	467,2	200,9	508,57
5	Будівля управління автодоріг	245	0,77	кВт/м²	188,65	0,92	0,43	188,65	81,12	205,35
6	Офісні приміщення ТОВ "Імперія-Агро"	225	0,77	кВт/м²	173,25	0,92	0,43	173,25	74,5	188,59
7	Продуктовий супермаркет "Еко-маркет"	25	0,77	кВт/м²	19,25	0,92	0,43	19,25	8,28	20,96
8	Автозаправна станція "БРСМ"	4	15,9	кВт/місце	63,6	0,8	0,75	63,6	47,7	79,5
9	Супермаркет "АТБ"	22	0,77	кВт/м²	16,94	0,92	0,43	16,94	7,28	18,44
	Загалом				1842,94			1842,94	833,18	2022,53

Таблиця 1.3. Параметри встановленої та розрахункової потужності електроприймачів котельні

№ з/п	Перелік споживачів	Кіл-ть ЕС	Вст.пот., кВт		m	K _и	cosφ	tgφ	Сер. нав.		n _{еф}	K _м	Розр.наван.		
			Одн.	Сум.					P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Мережеві насоси МН-1, МН-2	2	132	264	1	0,85	0,85	0,62	224,4	139,13	2	1	224,4	153,04	271,62
2	Димотяги Д-1, Д-2	2	90	180	1	0,82	0,85	0,62	147,6	91,51	2	1	147,6	100,66	178,66
3	Рецирк. насоси РН-1, РН-2	2	75	150	1	0,8	0,82	0,7	120	84	2	1	120	92,4	151,45
4	Вентилятори дуттьові ВД-1, 2	2	18,5	37	1	0,8	0,82	0,7	29,6	20,72	2	1	29,6	22,79	37,36
5	Живильні насоси ЖН-1, ЖН-2	2	7,5	15	1	0,75	0,8	0,75	11,25	8,44	2	1,2	13,5	9,28	16,38
6	Насоси хімводоочистки ХВО	2	5,5	11	1	0,7	0,8	0,75	7,7	5,78	2	1,2	9,24	6,36	11,22
7	Повітряний компресор ПК-1	1	11	11	1	0,6	0,8	0,75	6,6	4,95	1	1	6,6	5,45	8,56
8	Дренажний насос ДН-1	1	2,2	2,2	1	0,3	0,75	0,88	0,66	0,58	1	1	0,66	0,64	0,92
9	Всього по котельні	14		670,2		0,82	0,84	0,65	547,81	355,11			551,6	390,62	675,9

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Розрахунок навантаження освітлювальних установок громадських та комунальних об'єктів є обов'язковим етапом для визначення загального енергобалансу мікрорайону. Обчислення проводяться за методом питомої потужності на одиницю площі приміщень. Продемонструємо методику розрахунку на прикладі найбільшого об'єкта — *Навчального закладу (корпус 1)*.

Виходячи з площі будівлі $F = 3850 \text{ м}^2$ та прийнятої питомої щільності навантаження $p_0 = 17 \text{ Вт/м}^2$, маємо:

$$P_{\epsilon} = \frac{F \cdot p_0}{1000} = \frac{3850 \cdot 17}{1000} = 65,45 \text{ кВт.}$$

Для врахування режиму роботи закладу та втрат у пускорегулювальній апаратурі (ПРА) використовуємо коефіцієнт попиту $K_n = 0,85$ та коефіцієнт втрат $K_1 = 1,2$:

$$P_p = P_{\epsilon} \cdot K_n \cdot K_1 = 65,45 \cdot 0,85 \cdot 1,2 = 66,76 \text{ кВт.}$$

При використанні сучасних освітлювальних приладів, реактивна складова становить:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 66,76 \cdot 0,484 = 32,31 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{66,76^2 + 32,31^2} = 74,17 \text{ кВт.}$$

Аналогічні обчислення проведені для всіх інших громадських та комерційних споживачів. Загальне освітлювальне навантаження інфраструктури мікрорайону визначається як векторна сума активних та реактивних потужностей усіх об'єктів:

$$\sum P_p = 215,59 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p = 99,04 \text{ квар}$$

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{(\sum P_p)^2 + (\sum Q_p)^2} = \sqrt{215,59^2 + 99,04^2} = 237,26 \text{ кВА.}$$

Результати розрахунків для кожного окремого об'єкта представлені в Таблиці 1.4., що подана нижче.

						Арк.

Таблиця 1.4. Електричні навантаження робочого освітлення нежитлових будівель мікрорайону

№	Будівля з призначенням	F , м ²	P_0 , Вт/м ²	P_B , кВт	K_{II}	K_1	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Навчальний заклад (корпус 1)	3850	17	65,45	0,85	1,2	0,9	0,484	66,76	32,31	74,17
2	Автозаправна станція "АНР"	180	15	2,7	0,9	1	0,95	0,329	2,43	0,8	2,56
3	Заклад дошкільної освіти № 43	2150	16	34,4	0,85	1,2	0,9	0,484	35,09	16,98	38,98
4	Навчальний заклад (корпус 2)	4120	17	70,04	0,85	1,2	0,9	0,484	71,44	34,58	79,38
5	Будівля управління автодоріг	245	18	4,41	0,8	1,2	0,9	0,484	4,23	2,05	4,7
6	Офісні прим. ТОВ "Імперія-Агро"	225	18	4,05	0,8	1,2	0,9	0,484	3,89	1,88	4,32
7	Прод. супермаркет "Еко-маркет"	850	16	13,6	0,9	1,15	0,95	0,329	14,08	4,63	14,82
8	Автозаправна станція "БРСМ"	180	15	2,7	0,9	1	0,95	0,329	2,43	0,8	2,56
9	Супермаркет "АТБ"	920	16	14,72	0,9	1,15	0,95	0,329	15,24	5,01	16,04
10	Всього по інфраструктурі			212,07					215,59	99,04	237,26

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Для забезпечення електропостачання мікрорайону обрано двотрансформаторні підстанції. Технічні характеристики силових трансформаторів, що пропонуються до встановлення, наведено у Таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Технічні характеристики обраних силових трансформаторів

Тип трансформатора	Номінальна потужність $S_{ном}$, кВА	Напруга короткого замикання u_k , %	Струм неробочого ходу I_0 , %	Втрати короткого замикання ΔP_k , кВт	Втрати неробочого ходу ΔP_0 , кВт
ТМ-630-10/0,4	630	5,5	2	7,6	1,31
ТМ-1000-10/0,4	1000	5,5	1,4	10,8	1,7

Значення розрахункової потужності для кожної підстанції (взяті з результатів попередніх розрахунків на шинах 0,4 кВ), а також типи та розраховані коефіцієнти завантаження трансформаторів систематизовано у Таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. Розрахункові потужності, типи та коефіцієнти завантаження ТП

Номер ТП	Повна розрахункова потужність ТП, СТП, кВА	Кількість, шт	Тип трансформатора	Коефіцієнт завантаження в норм. режимі ($K_{зн}$)	Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі ($K_{за}$)
1	1308,38	2	ТМ-1000-10/0,4	0,65	1,31
2	1406,62	2	ТМ-1000-10/0,4	0,7	1,41
3	874,45	2	ТМ-630-10/0,4	0,69	1,39
4	1223,36	2	ТМ-1000-10/0,4	0,61	1,22
5	1237,93	2	ТМ-1000-10/0,4	0,62	1,24

Втрати активної (ΔP) та реактивної (ΔQ) потужності для трансформаторів обчислюються за класичними формулами. Розглянемо

						Арк.

детальний приклад розрахунку для підстанції ТП 3 (встановлено 2 трансформатори ТМ-630, $K_3 = 0,69$):

$$\Delta P_T = n(\Delta P_0 + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,69^2) = 2 \cdot (1,31 + 3,62) = 9,86 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = n \left(\frac{I_0}{100} \cdot S_{НОМ} + \frac{u_k}{100} \cdot S_{НОМ} \cdot K_3^2 \right) \Delta Q_T = 2 \cdot \left(\frac{2,0}{100} \cdot 630 + \frac{5,5}{100} \cdot 630 \cdot 0,69^2 \right) = 2 \cdot (12,6 + 34,65 \cdot 0,476) = 2 \cdot (12,6 + 16,49) = 58,18 \text{ квар.}$$

Відповідно до наведеного підходу, значення втрат потужності були розраховані (таб.1.7) для всіх інших трансформаторних підстанцій мікрорайону.

						Арк.

Таблиця 1.7. Зведені дані розрахункових потужностей на шинах високої напруги ТП

Місцерозташування об'єкту	Од. Вим.	Вих. дані по об'єкту	Пит. нав.	Встановлене нав., кВт	tgφ	P _м , кВт	Q _м , квар	K _в	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 1											
Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	кВт/квартиру	142	0,81	157,62	0,29	153,36	73,54	1	153,36	73,54	170,08
Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	кВт/квартиру	140	0,81	156	0,29	151,74	73,07	1	151,74	73,07	168,41
Вул. Полтавська, б. 32	кВт/квартиру	177	0,79	191,33	0,29	186,18	89,47	1	186,18	89,47	206,56
Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	кВт/квартиру	214	0,77	223,68	0,29	217,79	103,43	1	217,79	103,43	241,09
Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	кВт/квартиру	70	0,99	94	0,29	91,53	43,33	1	91,53	43,33	101,27
Вул. Полтавська, б. 24	кВт/квартиру	141	0,81	156,81	0,29	152,55	73,3	1	152,55	73,3	169,24
Вул. Полтавська, б. 61	кВт/квартиру	69	0,99	93,01	0,29	90,54	43,04	1	90,54	43,04	100,25
Вул. Полтавська, б. 24 к.3	кВт/квартиру	105	0,84	123,2	0,29	119,7	58,89	1	119,7	58,89	133,4
Продуктовий супермаркет "Еко-маркет"	кВт/м²	25	0,77	19,25	0,43	19,25	8,28	0,8	15,4	6,62	16,76
Освітлення внутрішньокв. тер. № 13	кВт/шт	1	0,38	0,38	1,73	0,38	0,67	1	0,38	0,67	0,77
Освітлення внутрішньокв. тер. № 14	кВт/шт	1	0,41	0,41	1,73	0,41	0,72	1	0,41	0,72	0,83
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 1									1179,58	566,08	1308,38
К-сть трансформаторів: 2											
Номинальна потужність тр- рів: 1000 кВА											
Втрати потужності в трансформаторах									16,49	66,86	
Всього на шинах 10 кВ ТП 1									1196,07	632,94	1353,3

Продовження табл. 1.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 2											
Вул. Маланюка, б. 25	кВт/квартиру	141	0,81	156,81	0,29	152,55	73,3	1	152,55	73,3	169,24
Вул. Маланюка, б. 22	кВт/квартиру	14	1,75	27,9	0,29	27,56	9,66	1	27,56	9,66	29,2
Вул. Маланюка, б. 26	кВт/квартиру	13	1,75	26,15	0,29	25,81	9,15	1	25,81	9,15	27,38
Вул. Маланюка, б. 28	кВт/квартиру	14	1,75	38	0,29	36,65	17,24	1	36,65	17,24	40,5
Вул. Полтавська, б. 58	кВт/квартиру	214	0,77	223,68	0,29	217,79	103,43	1	217,79	103,43	241,09
Навчальний заклад (корпус 2)	кВт/чол	1280	0,365	467,2	0,43	467,2	200,9	0,8	373,76	160,72	406,85
Будівля управління автодоріг	кВт/м²	245	0,77	188,65	0,43	188,65	81,12	0,8	150,92	64,9	164,28
Офісні приміщення ТОВ "Імперія-Агро"	кВт/м²	225	0,77	173,25	0,43	173,25	74,5	0,8	138,6	59,6	150,87
Освітлення внутрішньокв. тер. № 9	кВт/шт	1	1,17	1,17	1,73	1,17	2,02	1	1,17	2,02	2,33
Освітлення вул. Вул. Полтавська	кВт/шт	1	105,24	105,24	1,73	105,24	182,27	1	105,24	182,27	210,47
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 2									1230,05	682,29	1406,62
К-сть трансформаторів: 2											
Номінальна потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужності в трансформаторах									17,3	70,33	
Всього на шинах 10 кВ ТП 2									1247,35	752,62	1456,4

Продовження табл. 1.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 3											
Вул. Маланюка, б. 3	кВт/квартиру	33	1,25	50,25	0,29	49,35	21,06	1	49,35	21,06	53,66
Вул. Маланюка, б. 5	кВт/квартиру	69	0,99	93,01	0,29	90,54	43,04	1	90,54	43,04	100,25
Вул. Маланюка, б. 7	кВт/квартиру	68	0,99	92,02	0,29	89,55	42,75	1	89,55	42,75	99,23
Вул. А. Матвієнка, б. 6А	кВт/квартиру	37	1,2	57,9	0,29	56,55	23,01	1	56,55	23,01	61,05
Вул. А. Матвієнка, б. 3А	кВт/квартиру	57	1,05	78,05	0,29	76,23	31,01	1	76,23	31,01	82,29
Навчальний заклад (корпус 1)	кВт/чол	1250	0,365	456,25	0,43	456,25	196,19	0,8	365	156,95	397,32
Автозаправна станція "ANP"	кВт/місце	4	15,9	63,6	0,75	63,6	47,7	0,8	50,88	38,16	63,6
Супермаркет "АТБ"	кВт/м²	22	0,77	16,94	0,43	16,94	7,28	0,8	13,55	5,82	14,75
Освітлення внутрішньокв. тер. № 4	кВт/шт	1	2,48	2,48	1,73	2,48	4,3	1	2,48	4,3	4,96
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 3									794,13	366,1	874,45
К-сть трансформаторів: 2											
Номінальна потужність тр-рів: 630 кВА											
Втрати потужності в трансформаторах									10,58	52,64	
Всього на шинах 10 кВ ТП 3									804,71	418,74	907,03

Продовження табл. 1.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 4											
Вул. М. Приймаченко, б. 8	кВт/квартиру	177	0,79	191,33	0,29	186,18	89,47	1	186,18	89,47	206,56
Вул. М. Приймаченко, б. 6	кВт/квартиру	284	0,74	283,14	0,29	275,84	129,33	1	275,84	129,33	304,66
Вул. Полтавська, б. 83	кВт/квартиру	357	0,72	339,34	0,29	331,11	150,97	1	331,11	150,97	363,95
Вул. Полтавська, б. 35	кВт/квартиру	176	0,79	190,54	0,29	185,39	89,24	1	185,39	89,24	205,74
Вул. Полтавська, б. 37	кВт/квартиру	105	0,84	123,2	0,29	119,7	58,89	1	119,7	58,89	133,4
Освітлення внутрішньокв. тер. № 5	кВт/шт	1	0,46	0,46	1,73	0,46	0,8	1	0,46	0,8	0,92
Освітлення внутрішньокв. тер. № 6	кВт/шт	1	2,39	2,39	1,73	2,39	4,14	1	2,39	4,14	4,78
Освітлення внутрішньокв. тер. № 7	кВт/шт	1	1,31	1,31	1,73	1,31	2,27	1	1,31	2,27	2,62
Освітлення внутрішньокв. тер. № 8	кВт/шт	1	1,43	1,43	1,73	1,43	2,48	1	1,43	2,48	2,87
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 4									1103,81	527,59	1223,36
К-сть трансформаторів: 2											
Номинальна потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужності в трансформаторах									15,29	61,9	
Всього на шинах 10 кВ ТП 4									1119,1	589,49	1264,88

Продовження табл. 1.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 5											
Вул. М. Приймаченко, б. 5	кВт/квартиру	178	0,79	192,12	0,29	186,97	89,7	1	186,97	89,7	207,38
Вул. М. Приймаченко, б. 3	кВт/квартиру	140	0,81	156	0,29	151,74	73,07	1	151,74	73,07	168,41
Вул. М. Приймаченко, б. 1	кВт/квартиру	106	0,84	124,04	0,29	120,54	59,13	1	120,54	59,13	134,28
Вул. Полтавська, б. 73	кВт/квартиру	68	0,99	92,02	0,29	89,55	42,75	1	89,55	42,75	99,23
Вул. Полтавська, б. 75	кВт/квартиру	78	0,95	97,1	0,29	94,8	38,74	1	94,8	38,74	102,41
Вул. Полтавська, б. 69	кВт/квартиру	32	1,25	49	0,29	48,1	20,7	1	48,1	20,7	52,37
Вул. Полтавська, б. 65	кВт/квартиру	34	1,25	51,5	0,29	50,6	21,43	1	50,6	21,43	54,95
Заклад дошкільної освіти № 43	кВт/чол	1080	0,365	394,2	0,43	394,2	169,51	0,8	315,36	135,61	343,27
Автозаправна станція "БРСМ"	кВт/місце	4	15,9	63,6	0,75	63,6	47,7	0,8	50,88	38,16	63,6
Осв. внутрішньокв. тер. № 10	кВт/шт	1	1,72	1,72	1,73	1,72	2,97	1	1,72	2,97	3,43
Осв.внутрішньокв. тер. № 11	кВт/шт	1	1,38	1,38	1,73	1,38	2,4	1	1,38	2,4	2,77
Осв. внутрішньокв. тер. № 12	кВт/шт	1	5,31	5,31	1,73	5,31	9,2	1	5,31	9,2	10,62
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 5									1116,95	533,86	1237,93
К-сть трансформаторів: 2											
Номінальна потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужності в трансформаторах									15,47	62,64	
Всього на шинах 10 кВ ТП 5									1132,42	596,5	1279,79
Всього на шинах 10 кВ по мікрорайону								0,95	5224,67	2840,78	5946,88

1.4. Графіки електричних навантажень

Безпосереднє математичне моделювання конфігурації та візуальна побудова діаграм навантажень здійснювалися за допомогою спеціалізованого прикладного програмного забезпечення «*Grafik*». Для повної характеристики режимів електроспоживання мікрорайону необхідно обчислити сумарні річні витрати електроенергії, а також визначити кількість годин використання максимуму навантаження та еквівалентний час максимальних втрат. Розрахунки виконуються за наступними аналітичними виразами:

Річна кількість годин використання максимуму навантаження (T_{max}) обчислюється як:

$$T_{max} = \frac{\sqrt{W_a^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{28626122^2 + 15565137^2}}{5946,88} = \frac{32584183}{5946,88} = 5479 \text{ год.}$$

Еквівалентний час максимальних втрат визначається за емпіричною формулою:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5479}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = (0,6719)^2 \cdot 8760 = 3954 \text{ год.}$$

Отримані значення є базовими для подальшого техніко-економічного аналізу, вибору оптимальних перерізів кабельних ліній та розрахунку втрат електроенергії в мережах мікрорайону.

Таблиця 1.8. Добові графіки активного навантаження, кВт

Година	%	Зима (робочий) Рзр, кВт	%	Літо (робочий) Рлр, кВт	%	Зима (вихідний) Рзв, кВт	%	Літо (вихідний) Рлв, кВт
1	68	3552,78	58	3030,31	62	3239,3	51	2664,58
2	52	2716,83	44	2298,85	48	2507,84	39	2037,62
3	45	2351,1	38	1985,37	40	2089,87	33	1724,14
4	42	2194,36	36	1880,88	36	1880,88	30	1567,4
5	45	2351,1	38	1985,37	35	1828,63	30	1567,4
6	55	2873,57	47	2455,59	37	1933,13	31	1619,65
7	62	3239,3	53	2769,08	40	2089,87	33	1724,14

Прод. табл. 1.8.

Година	%	Зима (робочий) Рзр, кВт	%	Літо (робочий) Рлр, кВт	%	Зима (вихідний) Рзв, кВт	%	Літо (вихідний) Рлв, кВт
8	70	3657,27	60	3134,8	45	2351,1	38	1985,37
9	65	3396,04	55	2873,57	50	2612,34	42	2194,36
10	60	3134,8	51	2664,58	52	2716,83	44	2298,85
11	58	3030,31	49	2560,09	55	2873,57	47	2455,59
12	56	2925,82	48	2507,84	55	2873,57	47	2455,59
13	55	2873,57	47	2455,59	56	2925,82	48	2507,84
14	60	3134,8	51	2664,58	60	3134,8	51	2664,58
15	65	3396,04	55	2873,57	65	3396,04	55	2873,57
16	72	3761,76	61	3187,05	70	3657,27	60	3134,8
17	85	4440,97	72	3761,76	80	4179,74	68	3552,78
18	95	4963,44	81	4232	88	4597,71	75	3918,5
19	98	5120,18	83	4336,48	92	4806,7	78	4075,24
20	100	5224,67	85	4440,97	95	4963,44	81	4232
21	96	5015,68	82	4284,23	90	4702,2	77	4022,99
22	90	4702,2	77	4022,99	85	4440,97	72	3761,76
23	82	4284,23	70	3657,27	75	3918,5	64	3343,79
24	75	3918,5	64	3343,79	68	3552,78	58	3030,31
ΣРдоб		86468,29		73458,86		77534,1		65883,09

Таблиця 1.9. Добові графіки реактивного навантаження, квар

Година	%	Зима (робочий) Qзр, квар	%	Літо (робочий) Qлр, квар	%	Зима (вихідний) Qзв, квар	%	Літо (вихідний) Qлв, квар
1	68	1931,73	58	1647,65	62	1761,28	51	1448,8
2	52	1477,21	44	1249,94	48	1363,57	39	1107,9
3	45	1278,35	38	1079,5	40	1136,31	33	937,46
4	42	1193,13	36	1022,68	36	1022,68	30	852,23
5	45	1278,35	38	1079,5	35	994,27	30	852,23
6	55	1562,43	47	1335,17	37	1051,09	31	880,64
7	62	1761,28	53	1505,61	40	1136,31	33	937,46

Прод. табл. 1.9.

Година	%	Зима (робочий) Qзр, квар	%	Літо (робочий) Qлр, квар	%	Зима (вихідний) Qзв, квар	%	Літо (вихідний) Qлв, квар
8	70	1988,55	60	1704,47	45	1278,35	38	1079,5
9	65	1846,51	55	1562,43	50	1420,39	42	1193,13
10	60	1704,47	51	1448,8	52	1477,21	44	1249,94
11	58	1647,65	49	1391,98	55	1562,43	47	1335,17
12	56	1590,84	48	1363,57	55	1562,43	47	1335,17
13	55	1562,43	47	1335,17	56	1590,84	48	1363,57
14	60	1704,47	51	1448,8	60	1704,47	51	1448,8
15	65	1846,51	55	1562,43	65	1846,51	55	1562,43
16	72	2045,36	61	1732,88	70	1988,55	60	1704,47
17	85	2414,66	72	2045,36	80	2272,62	68	1931,73
18	95	2698,74	81	2301,03	88	2499,89	75	2130,59
19	98	2783,96	83	2357,85	92	2613,52	78	2215,81
20	100	2840,78	85	2414,66	95	2698,74	81	2301,03
21	96	2727,15	82	2329,44	90	2556,7	77	2187,4
22	90	2556,7	77	2187,4	85	2414,66	72	2045,36
23	82	2329,44	70	1988,55	75	2130,59	64	1818,1
24	75	2130,59	64	1818,1	68	1931,73	58	1647,65
ΣQдоб		47014,91		39945,37		42157,18		35822,24

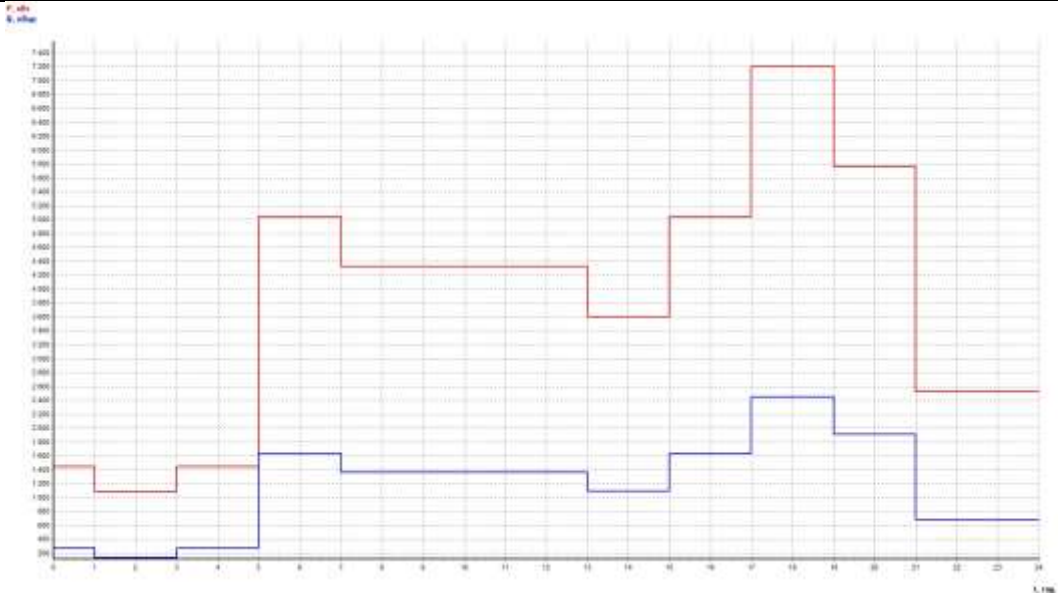


Рисунок 1.1. Добова динаміка зміни активного та реактивного навантажень
(робочий день, літній період)

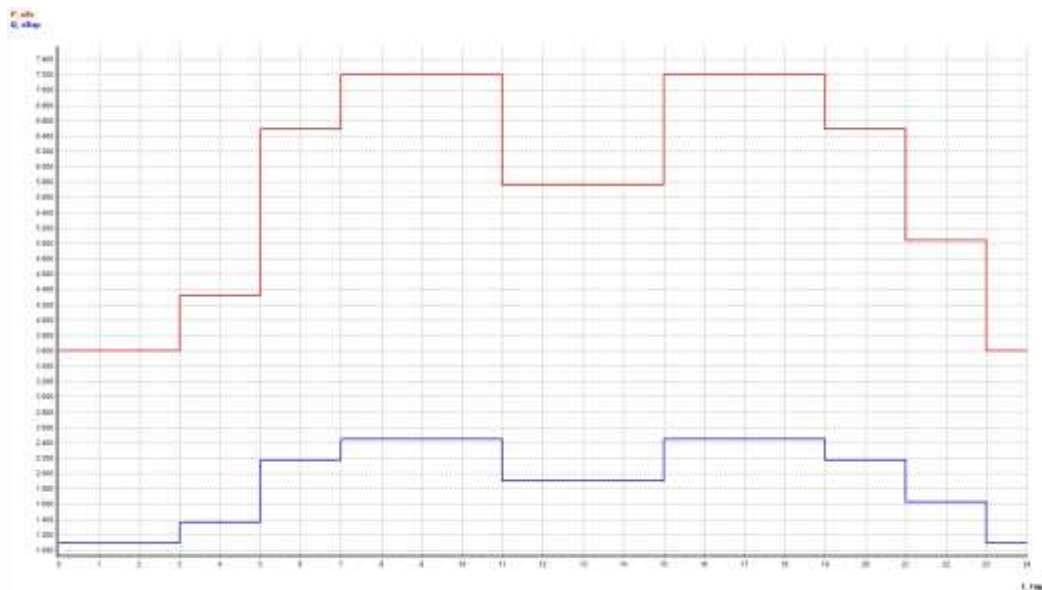


Рисунок 1.2. Добова динаміка зміни активного та реактивного навантажень
(вихідний день, літній період)

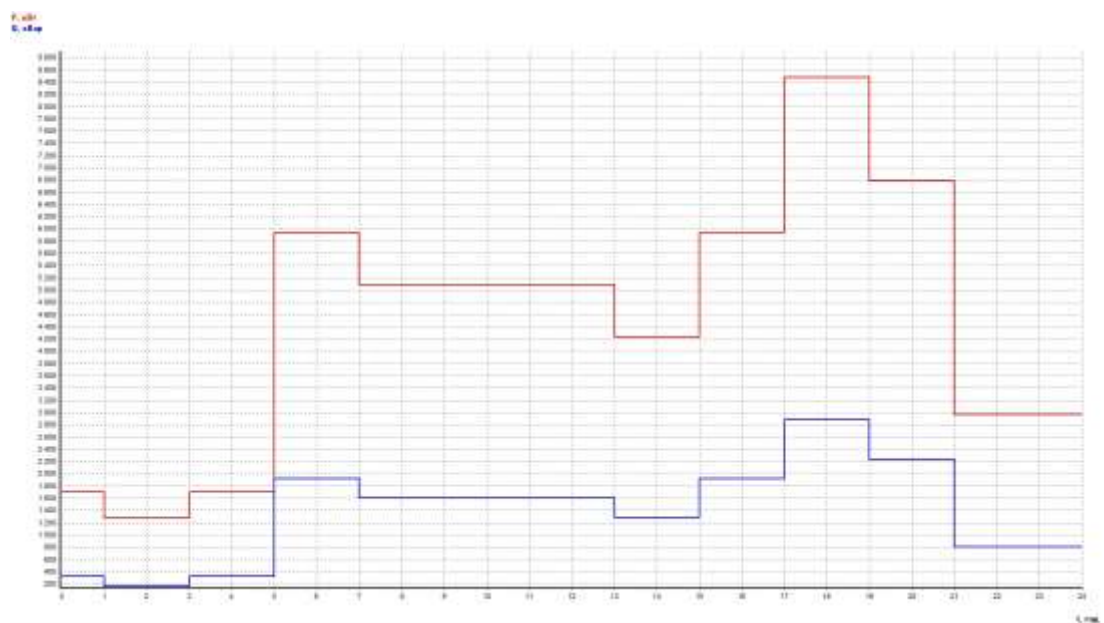


Рисунок 1.3. Добова динаміка зміни активного та реактивного навантажень
(робочий день, зимовий період)

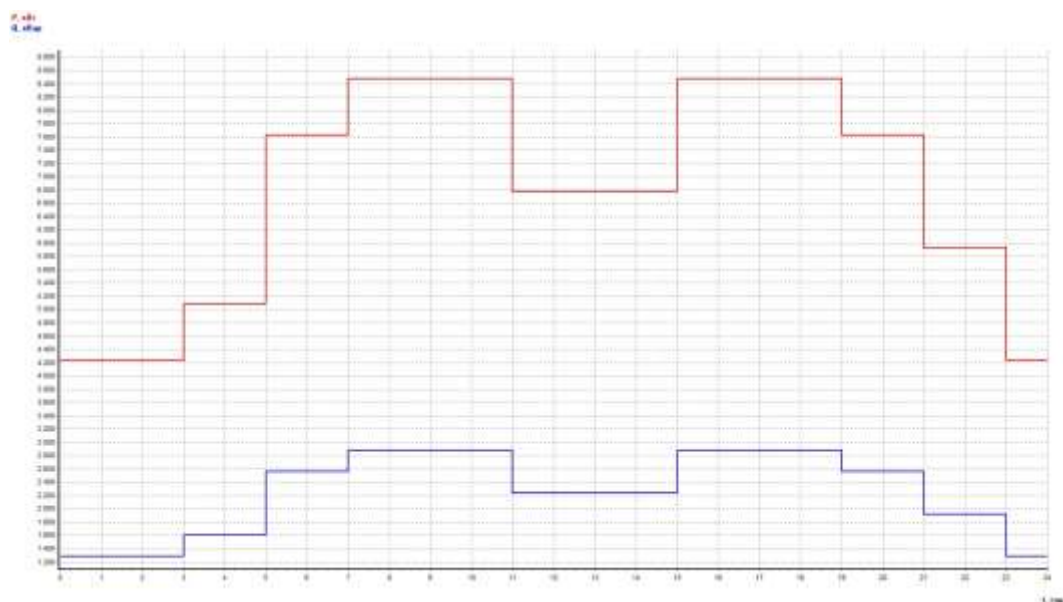


Рисунок 1.4. Добова динаміка зміни активного та реактивного навантажень
(вихідний день, зимовий період)

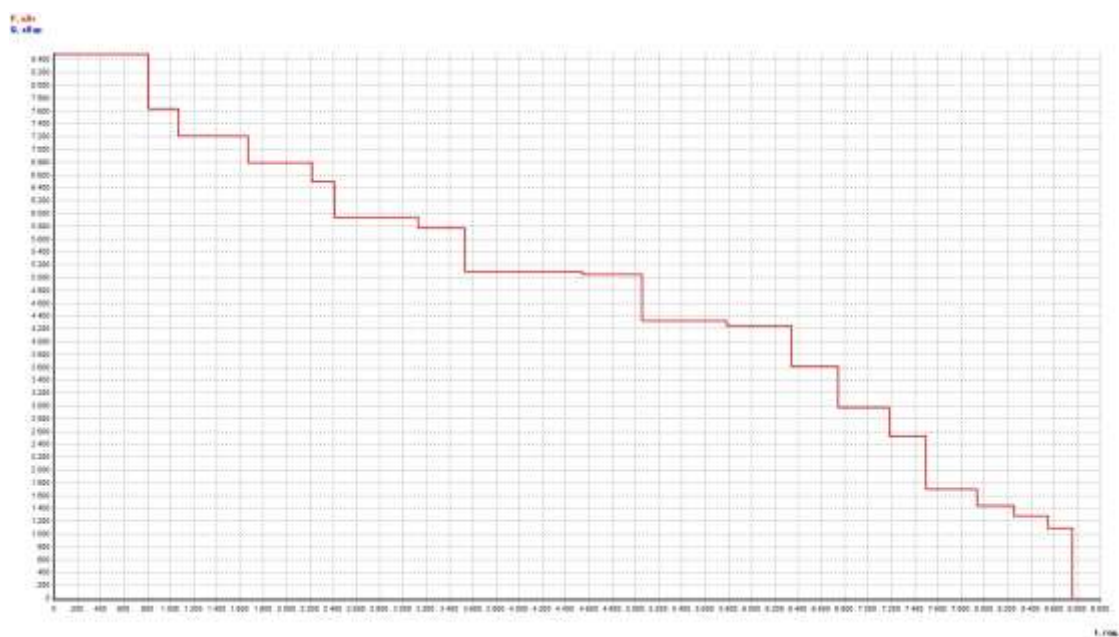


Рисунок 1.5. Річна крива тривалості електричних навантажень

2. ТЕПЛОВІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

2.1. Визначення теплових навантажень на опалення

Теплове навантаження на потреби опалення житлових та громадських будівель мікрорайону розраховується за укрупненими показниками, виходячи з будівельних об'ємів та питомих теплових характеристик. Максимальний тепловий потік на опалення $Q_{оп}$ (у кВт) визначається за формулою:

$$Q_{оп} = V \cdot q_0 \cdot (t_{вн} - t_{зо}) \cdot 10^{-3},$$

Приклад розрахунку для об'єкта «Супермаркет "АТБ"»:

Вихідні дані: $V = 2550 \text{ м}^3$; $q_0 = 0,50 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{вн} = 16^\circ\text{C}$ (торговельний зал); $t_{зо} = -21^\circ\text{C}$.

$$Q_{оп} = 2550 \cdot 0,50 \cdot (16 - (-21)) \cdot 10^{-3} = 2550 \cdot 0,50 \cdot 37 \cdot 10^{-3} = 47,18 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.1. Визначення розрахункових теплових навантажень на потреби опалення об'єктів мікрорайону

№ з/п	Назва будівлі (адреса)	$V_3, \text{ м}^3$	$q_0, \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	$Q_{оп}, \text{ Гкал}$
1	2	3	4	5	6
1	Вул. Маланюка, б. 3	8 950	0,42	18	146,6
2	Вул. Маланюка, б. 5	17 850	0,37	18	257,58
3	Вул. Маланюка, б. 7	17 920	0,37	18	258,59
4	Вул. Маланюка, б. 25	35 840	0,32	18	447,28
5	Вул. Маланюка, б. 22	3 980	0,47	18	72,95
6	Вул. Маланюка, б. 26	4 020	0,47	18	73,69
7	Вул. Маланюка, б. 28	3 950	0,47	18	72,4
8	Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	35 700	0,32	18	445,54
9	Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	35 900	0,32	18	448,03
10	Вул. Полтавська, б. 32	44 850	0,32	18	559,73
11	Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	53 750	0,32	18	670,8
12	Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	17 890	0,37	18	258,15
13	Вул. Полтавська, б. 24	35 650	0,32	18	444,91
14	Вул. А. Матвієнка, б. 6А	9 950	0,41	18	159,1

Прод. табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6
15	Вул. А. Матвієнка, б. 3А	14 850	0,38	18	220,08
16	Вул. А. Матвієнка, б. 3Б	14 920	0,38	18	221,11
17	Пров. Кінний, б. 6	44 700	0,32	18	557,86
18	Вул. Кропивницького, б. 8	53 800	0,32	18	671,42
19	Вул. Кропивницького, б. 6	45 100	0,32	18	562,85
20	Вул. Кропивницького, б. 4	26 850	0,34	18	356,03
21	Вул. Кропивницького, б. 7 к.1	35 800	0,32	18	446,78
22	Вул. Кропивницького, б. 7 к.2	35 850	0,32	18	447,41
23	Вул. М. Приймаченко, б. 8	44 950	0,32	18	560,98
24	Вул. М. Приймаченко, б. 6	71 500	0,32	18	892,32
25	Вул. М. Приймаченко, б. 5	44 800	0,32	18	559,1
26	Вул. М. Приймаченко, б. 3	35 950	0,32	18	448,66
27	Вул. М. Приймаченко, б. 1	26 900	0,34	18	356,69
28	Вул. Полтавська, б. 58	53 600	0,32	18	668,93
29	Вул. Полтавська, б. 83	89 500	0,32	18	1116,96
30	Вул. Полтавська, б. 35	44 900	0,32	18	560,35
31	Вул. Полтавська, б. 37	26 750	0,34	18	354,71
32	Вул. Полтавська, б. 73	17 950	0,37	18	259,02
33	Вул. Полтавська, б. 75	19 850	0,36	18	278,69
34	Вул. Полтавська, б. 69	8 900	0,42	18	145,78
35	Вул. Полтавська, б. 65	8 980	0,42	18	147,09
36	Вул. Полтавська, б. 61	17 800	0,37	18	256,85
37	Вул. Полтавська, б. 24 к.3	26 800	0,34	18	355,37
38	Пров. Кінний, б. 6 к. 1	24 850	0,35	18	339,2
39	Навчальний заклад (корпус 1)	10 250	0,38	16	144,12
40	Автозаправна станція "АНР"	1 050	0,5	17	19,95
41	Заклад дошкільної освіти № 43	8 150	0,38	18	120,78
42	Навчальний заклад (корпус 2)	8 250	0,38	19	125,4
43	Буд. управління автодоріг	18 350	0,465	20	349,84
44	Офісні прим. ТОВ "Імперія-Агро"	16 450	0,465	21	321,27
45	Прод. маркет "Еко-маркет"	2 950	0,5	22	63,43
46	Автозаправна станція "БРСМ"	1 150	0,5	23	25,3
47	Супермаркет "АТБ"	2 550	0,5	24	57,38

2.2. Визначення теплових навантажень на вентиляцію

Максимальний тепловий потік на вентиляцію громадських та адміністративних споруд Q_B (у кВт) визначається за укрупненими показниками залежно від призначення об'єкта. Розрахунок проводиться за формулою:

$$Q_B = V \cdot q_B \cdot (t_{BH} - t_{з.в.}) \cdot 10^{-3}$$

Приклад розрахунку для об'єкта «Навчальний заклад (корпус 1)»:

Вихідні дані: $V = 10250 \text{ м}^3$; $q_B = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{BH} = 20^\circ\text{C}$;
 $t_{з.в.} = -9,1^\circ\text{C}$.

$$Q_B = 10250 \cdot 0,12 \cdot (20 - (-9,1)) \cdot 10^{-3} = 10250 \cdot 0,12 \cdot 29,1 \cdot 10^{-3} = 35,79 \text{ кВт}.$$

Таблиця 3.4. Розрахункові теплові навантаження на вентиляцію громадських споруд

№ з\п	Розташування об'єкту	$V_z, \text{м}^3$	$q_B, \text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	$t_{B.P}, ^\circ\text{C}$	$Q_B^p, \text{Гкал}$	$Q_B^p, \text{кВт}$
1	2	3	4	5	6	7
1	Вул. Маланюка, б. 3	8 950	0,32	18	0,0668	77,65
2	Вул. Маланюка, б. 5	17 850	0,32	18	0,1333	154,87
3	Вул. Маланюка, б. 7	17 920	0,32	18	0,1338	155,47
4	Вул. Маланюка, б. 25	35 840	0,32	18	0,2677	310,95
5	Вул. Маланюка, б. 22	3 980	0,32	18	0,0297	34,53
6	Вул. Маланюка, б. 26	4 020	0,32	18	0,03	34,88
7	Вул. Маланюка, б. 28	3 950	0,32	18	0,0295	34,27
8	Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	35 700	0,32	18	0,2666	309,73
9	Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	35 900	0,32	18	0,2681	311,47
10	Вул. Полтавська, б. 32	44 850	0,32	18	0,335	389,12
11	Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	53 750	0,32	18	0,4014	466,33
12	Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	17 890	0,32	18	0,1336	155,21
13	Вул. Полтавська, б. 24	35 650	0,32	18	0,2662	309,3
14	Вул. А. Матвієнка, б. 6А	9 950	0,32	18	0,0743	86,33
15	Вул. А. Матвієнка, б. 3А	14 850	0,32	18	0,1109	128,84

Прод. табл.3.4

1	2	3	4	5	6	7
16	Вул. А. Матвієнка, б. 3Б	14 920	0,32	18	0,1114	129,45
17	Пров. Кінний, б. 6	44 700	0,32	18	0,3339	387,82
18	Вул. Кропивницького, б. 8	53 800	0,32	18	0,4018	466,77
19	Вул. Кропивницького, б. 6	45 100	0,32	18	0,3368	391,29
20	Вул. Кропивницького, б. 4	26 850	0,32	18	0,2005	232,95
21	Вул. Кропивницького, б. 7 к.1	35 800	0,32	18	0,2674	310,6
22	Вул. Кропивницького, б. 7 к.2	35 850	0,32	18	0,2677	311,03
23	Вул. М. Приймаченко, б. 8	44 950	0,32	18	0,3357	389,99
24	Вул. М. Приймаченко, б. 6	71 500	0,32	18	0,534	620,33
25	Вул. М. Приймаченко, б. 5	44 800	0,32	18	0,3346	388,69
26	Вул. М. Приймаченко, б. 3	35 950	0,32	18	0,2685	311,9
27	Вул. М. Приймаченко, б. 1	26 900	0,32	18	0,2009	233,38
28	Вул. Полтавська, б. 58	53 600	0,32	18	0,4003	465,03
29	Вул. Полтавська, б. 83	89 500	0,32	18	0,6684	776,5
30	Вул. Полтавська, б. 35	44 900	0,32	18	0,3353	389,55
31	Вул. Полтавська, б. 37	26 750	0,32	18	0,1998	232,08
32	Вул. Полтавська, б. 73	17 950	0,32	18	0,1341	155,73
33	Вул. Полтавська, б. 75	19 850	0,32	18	0,1482	172,22
34	Вул. Полтавська, б. 69	8 900	0,32	18	0,0665	77,22
35	Вул. Полтавська, б. 65	8 980	0,32	18	0,0671	77,91
36	Вул. Полтавська, б. 61	17 800	0,32	18	0,1329	154,43
37	Вул. Полтавська, б. 24 к.3	26 800	0,32	18	0,2001	232,52
38	Пров. Кінний, б. 6 к. 1	24 850	0,32	18	0,1856	215,6
39	Навчальний заклад (корпус 1)	10 250	0,12	20	0,0308	35,79
40	АЗС "ANP"	1 050	0,1	16	0,0023	2,64
41	Заклад дошкільної освіти № 43	8 150	0,15	21	0,0316	36,8
42	Навчальний заклад (корпус 2)	8 250	0,12	20	0,0248	28,81
43	Управління автодоріг	18 350	0,1	20	0,0459	53,4
44	Офіси "Імперія-Агро"	16 450	0,1	20	0,0412	47,87
45	Супермаркет "Еко-маркет"	2 950	0,15	16	0,0096	11,11
46	АЗС "БРСМ"	1 150	0,1	16	0,0025	2,89
47	Супермаркет "АТБ"	2 550	0,15	16	0,0083	9,6
	РАЗОМ				7,8421	9120,4

2.3. Визначення теплових навантажень на ГВП

Обчислення параметрів споживання гарячої води та відповідної теплової енергії виконуємо для об'єкта №1 (Вул. Маланюка, б. 3):

$$G_{\text{г.в}}^{\text{ср}} = \frac{N \cdot g_{\text{ср}}}{1000 \cdot T} = \frac{315 \cdot 112}{1000 \cdot 24} = 1,47 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Приймаємо коефіцієнт годинної нерівномірності $\beta = 2$.

$$G_{\text{г.в}}^{\text{max}} = \beta \cdot G_{\text{г.в}}^{\text{ср}} = 2 \cdot 1,47 = 2,94 \text{ т/год.}$$

Використовуємо значення густини води $\rho = 998,23 \text{ кг/м}^3$:

$$Q_{\text{г.в}}^{\text{ср}} = G_{\text{г.в}}^{\text{ср}} \cdot \rho \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{х.з}}) \cdot 10^{-6} = 1,47 \cdot 998,23 \cdot (55 - 5) \cdot 10^{-6} = 0,07337 \text{ Гкал/год.}$$

Максимальна годинна теплова потужність ($Q_{\text{г.в}}^{\text{max}}$):

$$Q_{\text{г.в}}^{\text{max}} = \beta \cdot Q_{\text{г.в}}^{\text{ср}} = 2 \cdot 0,07337 = 0,14674 \text{ Гкал/год.}$$

Середньогодинна потужність у літній період ($Q_{\text{г.в}}^{\text{л.ср}}$):

Приймаємо коефіцієнт зміни норми витрати $K_{\text{л}} = 0,8$.

$$Q_{\text{г.в}}^{\text{л.ср}} = Q_{\text{г.в}}^{\text{ср}} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{х.л}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{х.з}}} \cdot K_{\text{л}} = 0,07337 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 0,04696 \text{ Гкал/год.}$$

Таблиця 2.3. Обчислення годинних витрат теплової енергії на гаряче водопостачання

№ з/п	Найменування об'єкту	N, шт	G _{г.вср} , м³/год	Q _{г.вср} , Гкал	G _{г.вмакс} , т/год	Q _{г.вмакс} , Гкал	Q _{г.вл.ср} , Гкал	Q _{г.вср} , кВт	Q _{г.вл.ср} , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Вул. Маланюка, б. 3	315	1,47	0,0734	2,94	0,1468	0,047	85,34	54,61
2	Вул. Маланюка, б. 5	628	2,931	0,1463	5,861	0,2925	0,0936	170,11	108,87
3	Вул. Маланюка, б. 7	632	2,949	0,1472	5,899	0,2944	0,0942	171,17	109,55
4	Вул. Маланюка, б. 25	1260	5,88	0,2934	11,76	0,5868	0,1878	341,22	218,38
5	Вул. Маланюка, б. 22	140	0,653	0,0326	1,307	0,0652	0,0209	37,92	24,27
6	Вул. Маланюка, б. 26	142	0,663	0,0331	1,325	0,0661	0,0212	38,45	24,61
7	Вул. Маланюка, б. 28	139	0,649	0,0324	1,297	0,0647	0,0207	37,64	24,09
8	Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	1255	5,857	0,2922	11,713	0,5845	0,187	339,87	217,52
9	Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	1262	5,889	0,2938	11,779	0,5877	0,1881	341,75	218,72
10	Вул. Полтавська, б. 32	1578	7,364	0,3674	14,728	0,7349	0,2352	427,33	273,49
11	Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	1892	8,829	0,4405	17,659	0,8811	0,2819	512,34	327,9
12	Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	630	2,94	0,1467	5,88	0,2934	0,0939	170,61	109,19
13	Вул. Полтавська, б. 24	1254	5,852	0,292	11,704	0,584	0,1869	339,58	217,33
14	Вул. А. Матвієнка, б. 6А	350	1,633	0,0815	3,267	0,163	0,0522	94,81	60,68
15	Вул. А. Матвієнка, б. 3А	522	2,436	0,1215	4,872	0,2431	0,0778	141,35	90,46
16	Вул. А. Матвієнка, б. 3Б	525	2,45	0,1223	4,9	0,2445	0,0782	142,14	90,97
17	Пров. Кінний, б. 6	1572	7,336	0,366	14,672	0,7321	0,2343	425,7	272,45
18	Вул. Кропивницького, б. 8	1895	8,843	0,4412	17,687	0,8825	0,2824	513,16	328,42
19	Вул. Кропивницького, б. 6	1588	7,411	0,3698	14,821	0,7395	0,2366	430,04	275,23
20	Вул. Кропивницького, б. 4	945	4,41	0,22	8,82	0,4401	0,1408	255,9	163,78
21	Вул. Кропивницького, б. 7 к.1	1260	5,88	0,2934	11,76	0,5868	0,1878	341,22	218,38

Прод. Табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Вул. Кропивницького, б. 7 к.2	1262	5,889	0,2938	11,779	0,5877	0,1881	341,75	218,72
23	Вул. М. Приймаченко, б. 8	1582	7,383	0,3684	14,765	0,7367	0,2358	428,4	274,17
24	Вул. М. Приймаченко, б. 6	2515	11,737	0,5856	23,473	1,1712	0,3748	681,04	435,87
25	Вул. М. Приймаченко, б. 5	1575	7,35	0,3667	14,7	0,7335	0,2347	426,52	272,97
26	Вул. М. Приймаченко, б. 3	1265	5,903	0,2946	11,807	0,5891	0,1885	342,57	219,25
27	Вул. М. Приймаченко, б. 1	948	4,424	0,2207	8,848	0,4415	0,1413	256,72	164,3
28	Вул. Полтавська, б. 58	1885	8,797	0,4389	17,593	0,8779	0,2809	510,47	326,7
29	Вул. Полтавська, б. 83	3145	14,677	0,7323	29,353	1,4646	0,4687	851,68	545,08
30	Вул. Полтавська, б. 35	1580	7,373	0,3679	14,747	0,7358	0,2355	427,86	273,83
31	Вул. Полтавська, б. 37	942	4,396	0,2193	8,792	0,4387	0,1404	255,1	163,26
32	Вул. Полтавська, б. 73	632	2,949	0,1472	5,899	0,2944	0,0942	171,17	109,55
33	Вул. Полтавська, б. 75	698	3,257	0,1625	6,515	0,3251	0,104	189,03	120,98
34	Вул. Полтавська, б. 69	312	1,456	0,0726	2,912	0,1453	0,0465	84,49	54,07
35	Вул. Полтавська, б. 65	316	1,475	0,0736	2,949	0,1472	0,0471	85,58	54,77
36	Вул. Полтавська, б. 61	625	2,917	0,1455	5,833	0,2911	0,0931	169,27	108,33
37	Вул. Полтавська, б. 24 к.3	944	4,405	0,2198	8,811	0,4396	0,1407	255,62	163,6
38	Пров. Кінний, б. 6 к. 1	875	4,083	0,2037	8,167	0,4075	0,1304	236,94	151,64
39	Школа (корпус 1)	600	2,8	0,1397	5,6	0,2794	0,0894	162,45	103,97
40	АЗС "АНР"	15	0,07	0,0035	0,14	0,007	0,0022	4,06	2,6
41	ЗДО № 43	120	0,56	0,0279	1,12	0,0559	0,0179	32,49	20,8
42	Школа (корпус 2)	550	2,567	0,1281	5,133	0,2561	0,082	148,93	95,31
43	Управління автодоріг	45	0,21	0,0105	0,42	0,021	0,0067	12,19	7,8
44	Офіси "Імперія-Агро"	52	0,243	0,0121	0,485	0,0242	0,0077	14,08	9,01

Прод. таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45	Супермаркет "Еко-маркет"	35	0,163	0,0081	0,327	0,0163	0,0052	9,47	6,06
46	АЗС "БРСМ"	15	0,07	0,0035	0,14	0,007	0,0022	4,06	2,6
47	Супермаркет "АТБ"	42	0,196	0,0098	0,392	0,0196	0,0063	11,38	7,28
	РАЗОМ	44 876	209,42	10,449	418,84	20,899	6,688	12152,7	7777,7

На завершальному етапі попередніх розрахунків виконується консолідація всіх видів теплової потужності для кожного конкретного споживача мікрорайону. Зведена відомість (табл. 2.4) дозволяє оцінити загальну енергетичну потребу об'єктів, враховуючи одночасну дію систем опалення, примусової або природної вентиляції та середньостатистичного навантаження на систему гарячого водопостачання.

Отримані сумарні показники Q_{Σ} базою для розрахунку гідравлічних режимів теплових мереж та визначення необхідної встановленої потужності генерації тепла.

Таблиця 2.4. Результуючі показники теплової потужності об'єктів мікрорайону

№ з/п	Найменування об'єкту	$Q_{оп}$, кВт	$Q_{в}$, кВт	$Q_{гвп.ср}$, кВт	Q_{Σ} , кВт
1	2	3	4	5	6
1	Вул. Маланюка, б. 3	146,6	77,65	85,34	309,59
2	Вул. Маланюка, б. 5	257,58	154,87	170,11	582,56
3	Вул. Маланюка, б. 7	258,59	155,47	171,17	585,23
4	Вул. Маланюка, б. 25	447,28	310,95	341,22	1099,45
5	Вул. Маланюка, б. 22	72,95	34,53	37,92	145,4
6	Вул. Маланюка, б. 26	73,69	34,88	38,45	147,02
7	Вул. Маланюка, б. 28	72,4	34,27	37,64	144,31
8	Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	445,54	309,73	339,87	1095,14
9	Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	448,03	311,47	341,75	1101,25
10	Вул. Полтавська, б. 32	559,73	389,12	427,33	1376,18
11	Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	670,8	466,33	512,34	1649,47
12	Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	258,15	155,21	170,61	583,97
13	Вул. Полтавська, б. 24	444,91	309,3	339,58	1093,79
14	Вул. А. Матвієнка, б. 6А	159,1	86,33	94,81	340,24
15	Вул. А. Матвієнка, б. 3А	220,08	128,84	141,35	490,27
16	Вул. А. Матвієнка, б. 3Б	221,11	129,45	142,14	492,7
17	Пров. Кінний, б. 6	557,86	387,82	425,7	1371,38
18	Вул. Кропивницького, б. 8	671,42	466,77	513,16	1651,35
19	Вул. Кропивницького, б. 6	562,85	391,29	430,04	1384,18

Прод. Табл. 2.4.

1	2	3	4	5	6
20	Вул. Кропивницького, б. 4	356,03	232,95	255,9	844,88
21	Вул. Кропивницького, б. 7 к.1	446,78	310,6	341,22	1098,6
22	Вул. Кропивницького, б. 7 к.2	447,41	311,03	341,75	1100,19
23	Вул. М. Приймаченко, б. 8	560,98	389,99	428,4	1379,37
24	Вул. М. Приймаченко, б. 6	892,32	620,33	681,04	2193,69
25	Вул. М. Приймаченко, б. 5	559,1	388,69	426,52	1374,31
26	Вул. М. Приймаченко, б. 3	448,66	311,9	342,57	1103,13
27	Вул. М. Приймаченко, б. 1	356,69	233,38	256,72	846,79
28	Вул. Полтавська, б. 58	668,93	465,03	510,47	1644,43
29	Вул. Полтавська, б. 83	1116,96	776,5	851,68	2745,14
30	Вул. Полтавська, б. 35	560,35	389,55	427,86	1377,76
31	Вул. Полтавська, б. 37	354,71	232,08	255,1	841,89
32	Вул. Полтавська, б. 73	259,02	155,73	171,17	585,92
33	Вул. Полтавська, б. 75	278,69	172,22	189,03	639,94
34	Вул. Полтавська, б. 69	145,78	77,22	84,49	307,49
35	Вул. Полтавська, б. 65	147,09	77,91	85,58	310,58
36	Вул. Полтавська, б. 61	256,85	154,43	169,27	580,55
37	Вул. Полтавська, б. 24 к.3	355,37	232,52	255,62	843,51
38	Пров. Кінний, б. 6 к. 1	339,2	215,6	236,94	791,74
39	Школа (корпус 1)	159,7	35,79	162,45	357,94
40	АЗС "АНР"	19,43	2,64	4,06	26,13
41	ЗДО № 43	130,07	36,8	32,49	199,36
42	Школа (корпус 2)	128,54	28,81	148,93	306,28
43	Управління автодоріг	349,85	53,4	12,19	415,44
44	Офіси "Імперія-Агро"	313,62	47,87	14,08	375,57
45	Супермаркет "Еко-маркет"	54,58	11,11	9,47	75,16
46	АЗС "БРСМ"	21,28	2,89	4,06	28,23
47	Супермаркет "АТБ"	47,18	9,6	11,38	68,16
	РАЗОМ	17 235,92	9 120,40	12 152,70	38 509,02

2.4. Графіки теплових навантажень

Приклад розрахунку для вашого мікрорайону:

Згідно з таблицею 2.4, сумарне навантаження при $t_{3,0} = -21^{\circ}\text{C}$ становить:

$$Q_{\Sigma}^{max} = 38509,02 \text{ кВт}$$

Визначення навантаження при $t_{3,6} = +8^{\circ}\text{C}$:

Оскільки навантаження ГВП ($Q_{\text{ГВП}}$) вважається умовно постійним протягом зими, змінюється лише частка опалення та вентиляції:

$$Q_{\Sigma}^{+8} = (Q_{\text{ОП}} + Q_{\text{В}}) \cdot \frac{t_{\text{ВН}} - 8}{t_{\text{ВН}} - t_{3,0}} + Q_{\text{ГВП.ср}}$$

Беручи середню $t_{\text{ВН}} = 18^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\Sigma}^{+8} = (17235,92 + 9120,40) \cdot \frac{18 - 8}{18 - (-21)} + 12152,70 \approx 18910,80 \text{ кВт}$$

У літній період працює лише система ГВП з урахуванням коефіцієнта $K_{\text{Л}} = 0,8$:

$$Q_{\Sigma}^{\text{літ}} = Q_{\text{сеп.л.ср}} = 7777,70 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.1. Параметри для побудови графіка тривалості навантаження

Режим роботи	Температура тз.в , °C	Тривалість, год	Сумарна потужність Q, кВт
Максимальний (пік)	-21	0	38 509,02
Середньозимовий	-0,1 (сер. темп.)	2136	27 450,15
Початок/кінець опал. сезону	+8	5112	18 910,80
Літній мінімум	+15...+25	8760	7 777,70

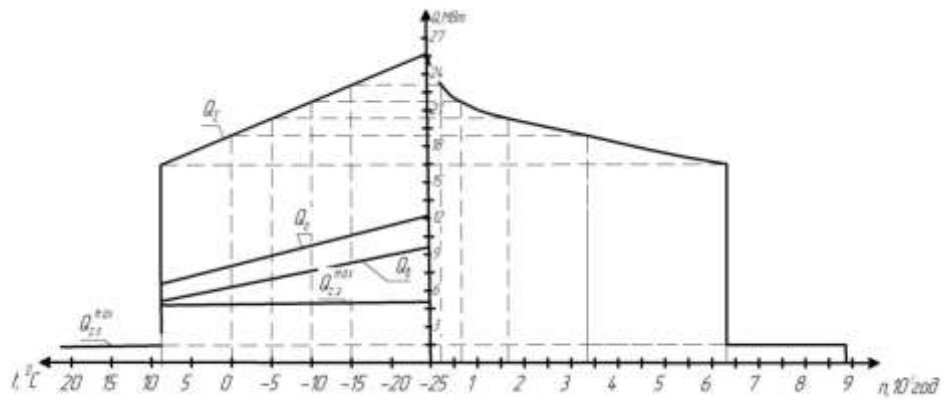
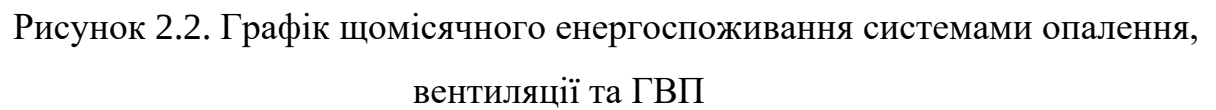


Рисунок 2.1. Графік Россандера для сумарних теплових потреб мікрорайону протягом року

Таблиця 2.5. Динаміка середньогодинних витрат теплової енергії в розрізі календарних місяців

№	Місяць	$t_{з.міс}, ^\circ\text{C}$	$Q_{o^p}, \text{кВт}$	$Q_{в^p}, \text{кВт}$	$Q_{г.з.}, \text{кВт}$	$Q_{\Sigma}, \text{кВт}$
1	Січень	-5,9	10 564,28	5 588,57	12 152,70	28 305,55
2	Лютий	-5,2	10 254,82	5 424,86	12 152,70	27 832,38
3	Березень	-0,4	8 133,26	4 302,52	12 152,70	24 588,48
4	Квітень	7,5	4 640,44	2 454,81	12 152,70	19 247,95
5	Травень	14,7	0	0	7 777,70	7 777,70
6	Червень	17,8	0	0	7 777,70	7 777,70
7	Липень	23,2	0	0	7 777,70	7 777,70
8	Серпень	21,6	0	0	7 777,70	7 777,70
9	Вересень	13,9	0	0	7 777,70	7 777,70
10	Жовтень	7,5	4 640,44	2 454,81	12 152,70	19 247,95
11	Листопад	1,2	7 425,97	3 928,36	12 152,70	23 507,03
12	Грудень	-3,5	9 503,42	5 027,37	12 152,70	26 683,49



3. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Вибір джерела та системи теплопостачання

Комплекс теплопостачання мікрорайону є складною інженерною структурою, що об'єднує процеси генерації теплової енергії, її магістрального транспортування та розподілу між кінцевими споживачами через вузли приєднання.

Враховуючи відсутність промислових споживачів, що потребують пари, для житлового масиву «Шкільний» обрано водяну систему теплопостачання. За типом організації гідравлічного режиму прийнято закриту (двотрубну) систему (рис. 3.1). У такій схемі теплоносій циркулює у замкненому контурі, а нагрів води для потреб ГВП відбувається у теплообмінних апаратах, що мінімізує втрати спеціально підготовленої мережної води та забезпечує стабільність тиску в мережі.

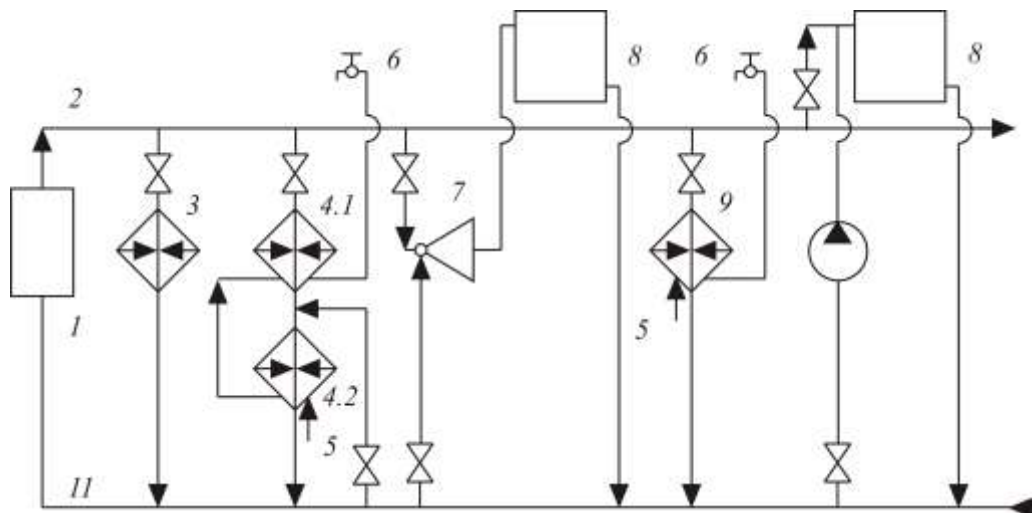


Рисунок 3.1. Схема циркуляції теплоносія у закритій системі мікрорайону

Основним джерелом теплової енергії для об'єктів масиву визначено групову котельню (центральный тепловий пункт). Подача енергії до будівель здійснюється чотиритрубною мережею:

- Трубопроводи I та II: подавальна та зворотна лінія опалення і вентиляції;

- Трубопроводи III та IV: лінії подачі та циркуляції гарячого водопостачання (ГВП).

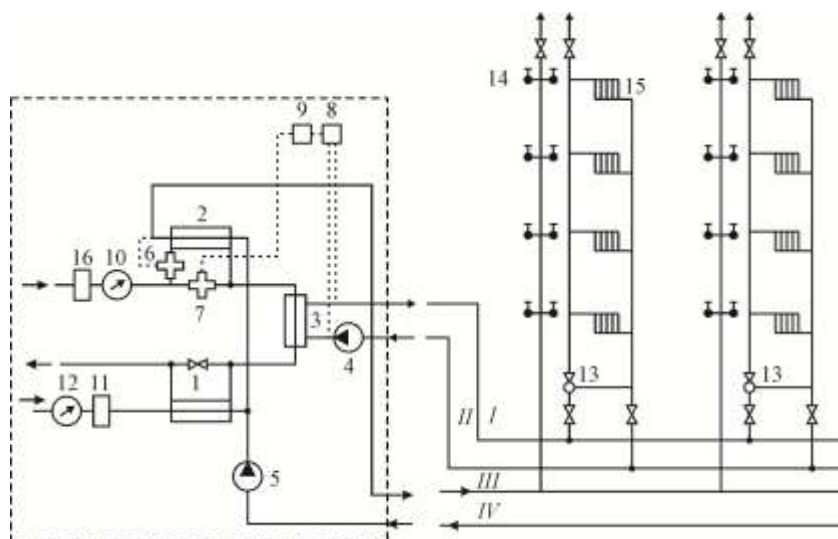


Рисунок 3.2. Конфігурація теплових потоків на рівні розподільчого пункту

Для гарантування безперебійної подачі теплової енергії та підтримки високого рівня живучості системи, проектом передбачено встановлення каскаду з двох водогрійних котлоагрегатів типу КВ-ГМ-20. Одинична потужність кожного котла становить 23,26 МВт, що в сукупності забезпечує встановлену потужність 46,52 МВт. Така конфігурація дозволяє гнучко розподіляти навантаження: у період пікових від'ємних температур обидва агрегати працюють паралельно для покриття потреби у 38,51 МВт, а в менш холодні періоди один із котлів може виступати в ролі гарячого резерву або проходити планове технічне обслуговування без зупинки теплопостачання району.

Окремо, для компенсації термічних витрат на потреби гарячого водопостачання (ГВП) та забезпечення економічної роботи котельні в міжопалювальний сезон, обрано водогрійну установку КВГ-7,5 з номінальною продуктивністю 7,56 МВт. Основним енергоносієм для всього переліку обладнання визначено природний газ, що забезпечує високий ККД та стабільність процесів горіння.

Детальні техніко-експлуатаційні параметри обраного силового обладнання систематизовано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Техніко-експлуатаційні характеристики обраних котлоагрегатів

№	Показник технічної характеристики	Одиниці виміру	КВ-ГМ-20	КВГ-7,5
1	Номінальна теплова потужність	МВт	23,26	7,56
2	Розрахунковий вид палива	—	Природний газ	Природний газ
3	Коефіцієнт корисної дії (ККД)	%	92,5	91,8
4	Максимальна температура води на виході	°С	150	115
5	Робочий тиск теплоносія, не більше	МПа	1,6	1
6	Діапазон регулювання потужності	%	20–100	30–100

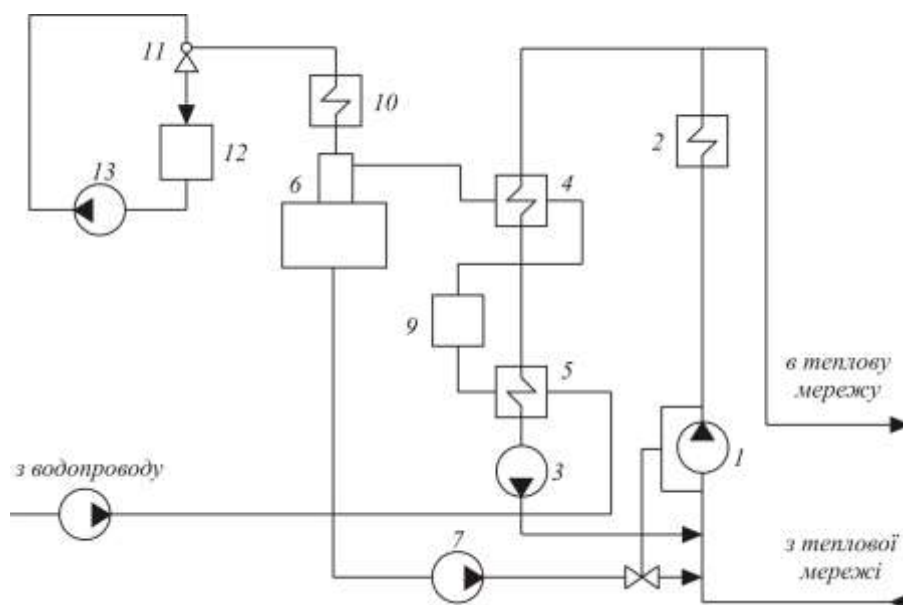


Рисунок 3.3. Технологічна модель функціонування водогрійного обладнання в котельні

Дана конфігурація обладнання забезпечує гнучке регулювання відпуску тепла відповідно до сезонних змін температури в м. Кропивницький.

3.2. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

За таблицями гідравлічного розрахунку або за формулою Дарсі-Вейсбаха для швидкості 0,55 м/с та діаметра 250 мм питомі втрати на тертя становлять $R = 3,2$ мм/м.

З урахуванням поправочного коефіцієнта на шорсткість для теплових мереж ($K_{yб}$) істинне значення питомих втрат дорівнює:

$$R_{ict} = R \cdot K_{yб} = 3,2 \cdot 1,5 = 4,8 \text{ мм/м.}$$

Крок 2. Розрахунок лінійних втрат тиску на ділянці (ΔP_L)

Лінійні втрати пропорційні довжині трубопроводу:

$$\Delta P_L = \frac{R_{ict} \cdot l}{1000} = \frac{4,8 \cdot 14}{1000} = 0,0576 \text{ м вод. ст.} \approx 0,058 \text{ м вод. ст.}$$

Крок 3. Розрахунок втрат у місцевих опорах (ΔP_M)

Для магістральних мереж з еквівалентом шорсткості $E_{III} = 2$ місцеві втрати приймаються на рівні 20% від лінійних:

$$\Delta P_M = \Delta P_L \cdot 0,2 = 0,0576 \cdot 0,2 = 0,01152 \text{ м вод. ст.} \approx 0,012 \text{ м вод. ст.}$$

Крок 4. Сумарні втрати тиску для однієї труби (ΔP)

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_M = 0,0576 + 0,01152 = 0,06912 \text{ м вод. ст.} \approx 0,070 \text{ м вод. ст.}$$

Крок 5. Втрати по двох трубопроводах (подавальний + зворотний) (ΔP_Σ)

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P \cdot 2 = 0,06912 \cdot 2 = 0,13824 \text{ м вод. ст.} \approx 0,14 \text{ м вод. ст.}$$

Крок 6. Визначення наявного напору в кінці ділянки ($p_{факт}$)

$$p_{факт} = p_{поч} - \Delta P_\Sigma = 14 - 0,138 \approx 13,8 \text{ м вод. ст.}$$

Змн.		Таблиця 3.2. Повний гідравлічний розрахунок теплової мережі																
Арк.			№ діл.	№ попер. діл.	Діам. d, мм	Довж. L, м	Витрата G, т/год	Швидкість v, м/с	Питомі втрати R, мм/м	Еш	Куб.тр	Ріст, мм/м	Лінійні втрати ΔРл, м	Місцеві втрати ΔРм, м	Втрати на діл., м	Втрати по 2 трубах, м	Втрати від джерела, м	Наявний напір, м вод.ст.
№ докум.			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
			1	-	250	14	148	0,55	3,2	2	1,5	4,8	0,067	0,013	0,081	0,16	0,16	13,84
Підпис			2	1	300	98	76,65	0,3	0,33	2	1,49	0,492	0,048	0,01	0,058	0,12	0,28	13,72
Дата			3	2	300	105	72,73	0,29	0,3	2	1,49	0,447	0,047	0,009	0,056	0,11	0,39	13,61
			4	3	200	432	59,6	0,53	1,69	2	1,52	2,569	1,11	0,222	1,332	2,66	3,05	10,95
			5	4	200	355	53,39	0,47	1,35	2	1,52	2,052	0,729	0,146	0,874	1,75	4,8	9,2
			6	5	150	75	44,45	0,7	4,28	2	1,55	6,634	0,498	0,1	0,597	1,19	5,99	8,01
			7	6	150	18	44,45	0,7	4,28	2	1,55	6,634	0,119	0,024	0,143	0,29	6,28	7,72
			8	7	200	94	32,67	0,29	0,51	2	1,52	0,775	0,073	0,015	0,088	0,18	6,46	7,54
			9	8	200	92	21,12	0,19	0,21	2	1,52	0,319	0,029	0,006	0,035	0,07	6,53	7,47
			10	9	200	16	15,91	0,14	0,12	2	1,52	0,182	0,003	0,001	0,004	0,01	6,54	7,46
			11	10	200	78	15,91	0,14	0,12	2	1,52	0,182	0,014	0,003	0,017	0,03	6,57	7,43
			12	11	200	64	15,4	0,14	0,11	2	1,52	0,167	0,011	0,002	0,013	0,03	6,6	7,4
			13	12	80	14	15,4	0,85	14,38	2	1,63	23,439	0,328	0,066	0,394	0,79	7,39	6,61
			14	11	80	12	0,51	0,03	0,02	2	1,63	0,033	0	0	0	0	6,57	7,43
			15	8	80	25	11,55	0,64	8,09	2	1,63	13,187	0,33	0,066	0,396	0,79	7,25	6,75
			16	7	150	19	44,45	0,7	4,28	2	1,55	6,634	0,126	0,025	0,151	0,3	6,58	7,42
			17	5	150	135	8,94	0,14	0,17	2	1,55	0,264	0,036	0,007	0,043	0,09	4,89	9,11
			18	4	100	60	6,21	0,22	0,72	2	1,6	1,152	0,069	0,014	0,083	0,17	3,22	10,78
			19	18	100	11	1,9	0,07	0,07	2	1,6	0,112	0,001	0	0,001	0	3,22	10,78
	Арк.																	

Прод.табл.і 3.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	19	100	35	1,9	0,07	0,07	2	1,6	0,112	0,004	0,001	0,005	0,01	3,23	10,77
21	20	70	84	1,53	0,11	0,29	2	1,65	0,479	0,04	0,008	0,048	0,1	3,33	10,67
22	20	50	15	0,37	0,05	0,1	2	1,71	0,171	0,003	0,001	0,004	0,01	3,24	10,76
23	18	50	24	3,17	0,45	7,44	2	1,71	12,722	0,305	0,061	0,366	0,73	3,95	10,05
24	3	150	65	13,13	0,21	0,37	2	1,55	0,574	0,037	0,007	0,045	0,09	0,48	13,52
25	24	150	64	8,96	0,14	0,17	2	1,55	0,264	0,017	0,003	0,02	0,04	0,52	13,48
26	25	100	30	2,26	0,08	0,09	2	1,6	0,144	0,004	0,001	0,005	0,01	0,53	13,47
27	25	80	34	4,19	0,23	1,06	2	1,63	1,728	0,059	0,012	0,07	0,14	0,66	13,34
28	25	50	29	2,51	0,36	4,67	2	1,71	7,986	0,232	0,046	0,278	0,56	1,08	12,92
29	24	80	41	4,17	0,23	1,05	2	1,63	1,712	0,07	0,014	0,084	0,17	0,65	13,35
30	2	70	16	3,92	0,28	1,89	2	1,65	3,119	0,05	0,01	0,06	0,12	0,4	13,6
31	30	70	12	1,81	0,13	0,4	2	1,65	0,66	0,008	0,002	0,01	0,02	0,42	13,58
32	1	150	56	19,89	0,31	0,86	2	1,55	1,333	0,075	0,015	0,09	0,18	0,34	13,66
33	32	150	79	19,65	0,31	0,84	2	1,55	1,302	0,103	0,021	0,124	0,25	0,59	13,41
34	33	125	65	12,84	0,29	0,94	2	1,57	1,476	0,096	0,019	0,115	0,23	0,82	13,18
35	34	125	18	10,17	0,23	0,59	2	1,57	0,926	0,017	0,003	0,02	0,04	0,86	13,14
36	35	100	16	8,27	0,29	1,27	2	1,6	2,032	0,033	0,007	0,039	0,08	0,94	13,06
37	36	100	35	7,06	0,25	0,92	2	1,6	1,472	0,052	0,01	0,062	0,12	1,06	12,94
38	33	100	29	6,81	0,24	0,86	2	1,6	1,376	0,04	0,008	0,048	0,1	0,69	13,31
39	38	100	28	5,71	0,2	0,6	2	1,6	0,96	0,027	0,005	0,032	0,07	0,76	13,24
40	39	50	30	3,95	0,56	11,56	2	1,71	19,768	0,593	0,119	0,712	1,42	2,18	11,82
41	32	50	20	0,24	0,03	0,04	2	1,71	0,068	0,001	0	0,002	0	0,34	13,66

Прод. табл. 3.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
42	38	80	19	3,86	0,21	0,9	2	1,63	1,467	0,028	0,006	0,034	0,07	0,76	13,24
43	38	80	18	1,63	0,09	0,16	2	1,63	0,261	0,005	0,001	0,006	0,01	0,7	13,3
44	37	100	10	4,56	0,16	0,39	2	1,6	0,624	0,006	0,001	0,007	0,02	1,08	12,92
45	36	100	65	8,29	0,29	1,27	2	1,6	2,032	0,132	0,026	0,159	0,32	1,26	12,74
46	35	300	256	15,02	0,06	0,01	2	1,49	0,015	0,004	0,001	0,005	0,01	0,87	13,13
47	43	125	106	5,27	0,12	0,16	2	1,57	0,251	0,027	0,005	0,032	0,06	0,76	13,24
48	43	125	24	5,1	0,12	0,15	2	1,57	0,236	0,006	0,001	0,007	0,01	0,71	13,29

Арк:

4. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ, МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ (ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ) ТА ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Приклад розрахунку параметрів для житлового будинку (Вул. Полтавська, б. 28, к. 1):

Радіус кола, що відповідає сумарному навантаженню 153,36 кВт, дорівнює:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{153,36}{3,140,02}} \approx 49 \text{ мм.}$$

Кола розділяються на сектори, які відображають структуру електроспоживання. Центральний кут сектора освітлювального навантаження α становить:

$$\alpha_1 = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360^\circ}{P_1} = \frac{38,34 \cdot 360^\circ}{153,36} = 90^\circ$$

Оптимальні просторові координати розташування кожної ТП (умовний центр електричних навантажень) обчислюються як координати центру тяжіння системи матеріальних точок:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{695287,1}{1179,58} \approx 589,4 \text{ м;}$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{483955,6}{1179,58} \approx 410,3 \text{ м,}$$

де X_0, Y_0 — координати геометричного центру i -го споживача на плані.

Таблиця 4.1. Просторові координати центрів ЕН мікрорайону

№ з/п	Найменування об'єкту	Рсил, кВт	Росв, кВт	РΣ, кВт	R, мм	αосв, °	Xi, м	Yi, м	РΣ·Xi	РΣ·Yi
I	ТП-1 (X0=589,4 м; Y0=410,3 м)									
1	Вул. Полтавська, б. 28, к. 1	115,02	38,34	153,36	49	90	558	389	85574,9	59657
2	Вул. Полтавська, б. 28, к. 2	113,81	37,93	151,74	49	90	551	418	83608,7	63427,3
3	Вул. Полтавська, б. 32	139,64	46,54	186,18	54	90	525	380	97744,5	70748,4
4	Вул. Полтавська, б. 24, к. 1	163,34	54,45	217,79	59	90	664	436	144612,6	94956,4
5	Вул. Полтавська, б. 24, к. 2	68,65	22,88	91,53	38	90	625	439	57206,3	40181,7
6	Вул. Полтавська, б. 24	114,41	38,14	152,55	49	90	627	408	95648,9	62240,4
7	Вул. Полтавська, б. 61	67,91	22,63	90,54	38	90	537	354	48619,9	32051,1
8	Вул. Полтавська, б. 24 к.3	89,78	29,92	119,7	44	90	609	453	72897,3	54224,1
9	Супермаркет "Еко-маркет"	0	15,4	15,4	16	360	532	400	8192,8	6160
10	Освітлення тер. № 13	0	0,38	0,38	2	360	538	453	204,4	172,1
11	Освітлення тер. № 14	0	0,41	0,41	3	360	538	453	220,6	185,7
	Всього по ТП-1			1179,58					695287,1	483955,6
II	ТП-2 (X0=377,6 м; Y0=386,8 м)									
1	Вул. Маланюка, б. 25	114,41	38,14	152,55	49	90	340	415	51867	63308,3
2	Вул. Маланюка, б. 22	20,67	6,89	27,56	21	90	411	383	11327,2	10555,5
3	Вул. Маланюка, б. 26	19,36	6,45	25,81	20	90	438	377	11304,8	9730,4
4	Вул. Маланюка, б. 28	27,49	9,16	36,65	24	90	462	373	16932,3	13670,5
5	Вул. Полтавська, б. 58	163,34	54,45	217,79	59	90	318	388	69257,2	84502,5
6	Школа (корпус 2)	0	373,76	373,76	77	360	365	386	136422,4	144271,4
7	Управління автодоріг	0	150,92	150,92	49	360	383	383	57802,4	57802,4
8	Офіси "Імперія-Агро"	0	138,6	138,6	47	360	427	380	59182,2	52668
9	Освітлення тер. № 9	0	1,17	1,17	4	360	318	388	372,1	454
10	Освітлення вул. Вул. Полтавська	0	105,24	105,24	41	360	462	373	48620,9	39254,5
	Всього по ТП-2			1230,05					464406,6	476935,9
III	ТП-3 (X0=200,6 м; Y0=374,2 м)									
1	Вул. Маланюка, б. 3	37,01	12,34	49,35	28	90	173	401	8537,6	19789,4

Прод. табл. 4.1.

2	Вул. Маланюка, б. 5	67,91	22,63	90,54	38	90	207	407	18741,8	36849,8
3	Вул. Маланюка, б. 7	67,16	22,39	89,55	38	90	239	420	21402,5	37611
4	Вул. А. Матвієнка, б. 6А	42,41	14,14	56,55	30	90	165	357	9330,8	20188,4
5	Вул. А. Матвієнка, б. 3А	57,17	19,06	76,23	35	90	140	324	10672,2	24698,5
6	Школа (корпус 1)	0	365	365	76	360	202	369	73730	134685
7	АЗС "АНР"	0	50,88	50,88	28	360	234	357	11905,9	18164,2
8	Супермаркет "АТБ"	0	13,55	13,55	15	360	251	398	3401,1	5392,9
9	Освітлення тер. № 4	0	2,48	2,48	6	360	318	145	788,6	359,6
	Всього по ТП-3			794,13					159267	297746,4
IV	ТП-4 (X0=311,7 м;Y0=299,6 м)									
1	Вул. Вул. М. Приймаченко, б. 8	139,64	46,54	186,18	54	90	298	242	55481,6	45055,6
2	Вул. Вул. М. Приймаченко, б. 6	206,88	68,96	275,84	66	90	314	264	86613,8	72821,8
3	Вул. Полтавська, б. 83	248,33	82,78	331,11	73	90	281	337	93041,9	111584,1
4	Вул. Полтавська, б. 35	139,04	46,35	185,39	54	90	335	324	62105,7	60066,4
5	Вул. Полтавська, б. 37	89,78	29,92	119,7	44	90	366	340	43810,2	40698
6	Освітлення тер. № 5	0	0,46	0,46	3	360	281	337	129,3	155
7	Освітлення тер. № 6	0	2,39	2,39	6	360	298	242	712,2	578,4
8	Освітлення тер. № 7	0	1,31	1,31	5	360	314	264	411,3	345,8
9	Освітлення тер. № 8	0	1,43	1,43	5	360	335	324	479,1	463,3
	Всього по ТП-4			1103,81					344078,5	330691,4
V	ТП-5 (X0=403,3 м;Y0=296,4 м)									
1	Вул. Вул. М. Приймаченко, б. 5	140,23	46,74	186,97	55	90	384	262	71796,5	48986,1
2	Вул. Вул. М. Приймаченко, б. 3	113,81	37,93	151,74	49	90	414	290	62820,4	44004,6
3	Вул. Вул. М. Приймаченко, б. 1	90,41	30,13	120,54	44	90	432	308	52073,3	37126,3
4	Вул. Полтавська, б. 73	67,16	22,39	89,55	38	90	428	337	38327,4	30178,4
5	Вул. Полтавська, б. 75	71,1	23,7	94,8	39	90	391	326	37066,8	30904,8
6	Вул. Полтавська, б. 69	36,08	12,02	48,1	28	90	456	324	21933,6	15584,4
7	Вул. Полтавська, б. 65	37,95	12,65	50,6	28	90	475	324	24035	16394,4
8	ЗДО № 43	0	315,36	315,36	71	360	358	284	112898,9	89562,2
9	АЗС "БРСМ"	0	50,88	50,88	28	360	490	330	24931,2	16790,4
10	Освітлення тер. № 10	0	1,72	1,72	5	360	391	326	672,5	560,7
11	Освітлення тер. № 11	0	1,38	1,38	5	360	391	326	539,6	449,9
12	Освітлення тер. № 12	0	5,31	5,31	9	360	414	290	2198,3	1539,9
	Всього по ТП-5			1116,95					450410,2	331110,6
	УСЬОГО ПО МІКРОРАЙОНУ			5424,52					2113449	1920440

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Враховуючи сумарну розрахункову активну потужність мікрорайону «Полтавська» ($P_{\Sigma} = 5711,45$), найбільш раціональним є використання напруги розподілу 10 кВ . Цей рівень напруги дозволяє суттєво зменшити робочі струми (I_p), використовувати кабелі меншого перерізу (S) та мінімізувати втрати напруги (ΔU) на віддалених ділянках.

5.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Варіант 1: Радіальна схема. Ця конфігурація передбачає прокладання окремої кабельної лінії (КЛ) від головної знижувальної підстанції безпосередньо до кожної трансформаторної підстанції (ТП) мікрорайону. Головною перевагою є висока надійність та незалежність роботи кожної ТП. Результати розрахунків параметрів та втрат наведено у таблицях 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1. Визначення технічних параметрів КЛ для радіальної схеми (10 кВ)

№ КЛ на схемі	Об'єкт живлення	Л, км	Пстр., КВт	Ястр., А	Яф . р , А	Марка кабелю	С, мм ²	Ям'яч, А	Δ U, %
КЛ-1	ТП-1	0,92	1196,07	73,1	146,2	ААШВ-10	70	190	0,91
КЛ-2	ТП-2	0,95	1247,35	76,2	152,4	ААШВ-10	70	190	0,98
КЛ-3	ТП-3	1,2	804,71	49,2	98,4	ААШВ-10	50	160	1,08
КЛ-4	ТП-4	0,68	1119,1	68,4	136,8	ААШВ-10	70	190	0,65
КЛ-5	ТП-5	0,75	1132,42	69,2	138,4	ААШВ-10	70	190	0,72

Таблиця 5.2. Визначення технологічних витрат активної потужності та електроенергії в радіальній топології

№ КЛ на схемі	Істр., А	ρ_0 , Ом/км	Л, км	ΔP , КВт	т, рік	ΔW , КВт · рік	Вартість витрат, грн
КЛ-1	73,1	0,443	0,92	6,54	3600	23 544	316 667
КЛ-2	76,2	0,443	0,95	7,33	3600	26 388	354 919
КЛ-3	49,2	0,62	1,2	5,4	3600	19 440	261 468
КЛ-4	68,4	0,443	0,68	4,23	3600	15 228	204 817
КЛ-5	69,2	0,443	0,75	4,76	3600	17 136	230 479
Всього	—	—	4,5	28,26	—	101 736	1 368 350

Варіант 2: Магістральна схема. В основі лежить принцип приєднання кількох підстанцій до однієї потужної живильної магістралі (метод «заходу-виходу»). Це дозволяє значно оптимізувати довжину кабельних трас, проте збільшує струмові навантаження на головних ділянках та ускладнює селективність релейного захисту.

Таблиця 5.3. Сортамент та технічні характеристики кабельної продукції для магістрального варіанта

Ділянка КЛ	Група об'єктів	Кількість ТП	Л, км	ПС, КВт	Істр., А	Марка кабелю	С, мм ²	I, А
Маг-1	ТП-1, ТП-2	2	1,15	2443,42	149,3	ААШВ-10	120	260
Маг-2	ТП-3, ТП-4	2	1,4	1923,81	117,6	ААШВ-10	95	225
Маг-3	ТП-5	1	0,78	1132,42	69,2	ААШВ-10	70	190

Таблиця 5.4. Техніко-економічна оцінка витрат електроенергії в кабельних лініях магістральної мережі

№ КЛ на схемі	Ястр., А	ρ_0 , Ом/км	Л, км	ΔP , КВт	т, рік	ΔW , КВт · рік	Вартість витрат, грн
Маг-1	149,3	0,258	1,15	19,86	3600	71 496	961 621
Маг-2	117,6	0,326	1,4	18,9	3600	68 040	915 138
Маг-3	69,2	0,443	0,78	4,95	3600	17 820	239 679
Всього	—	—	3,33	43,71	—	157 356	2 116 438

Таблиця 5.5. Кошторисна вартість капітальних інвестицій у будівництво мереж (K_i)

Позиція	Найменування обладнання та матеріалів	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, тис. грн	Сумарна вартість, тис. грн
I	Радіальна схема (Варіант 1)				
1	Комірки КРУ 10 кВ з вакуумними вимикачами	шт.	12	385,4	4624,8
2	Кабель силовий ААШв (3 × 50)	км	1200	512	614,4
3	Кабель силовий ААШв (3 × 70)	км	3300	565	1864,5
4	Земляні роботи (підготовка та засипання траншеї)	км	4500	265,5	1194,75
	Загальний обсяг інвестицій (Радіальна)				8298,45
II	Магістральна схема (Варіант 2)				
1	Комірки КРУ 10 кВ з вакуумними вимикачами	шт.	14	385,4	5395,6
2	Кабель силовий ААШв (3 × 70)	км	0,78	565	440,7
3	Кабель силовий ААШв (3 × 95)	км	1400	640	896
4	Кабель силовий ААШв (3 × 120)	км	1150	715	822,25
5	Земляні роботи (підготовка та засипання траншеї)	км	3330	265,5	884,12
6	Додаткові комірки КРУ з вимірювальними ТН	шт.	2	155	310
	Загальний обсяг інвестицій (Магістральна)				8748,67

Наступним етапом є розрахунок річних експлуатаційних витрат (Бстр.), які формуються з фонду реновації (амортизаційні відрахування,На) та коштів, необхідних для підтримки мереж у робочому стані (технічне обслуговування,Нто).

Таблиця 5.6. Розрахунок річних експлуатаційних (поточних) витрат (B_p)

Елемент електромережі	Капітальні інвестиції, тис. грн	Норма аморти. (На), %	Відрахування аморти., тис. грн	Норма на ТО (Нто), %	Витрати на ТО, тис. грн	Загальні поточні витрати, тис. грн
Радіальна схема						
Розподільчі комірки КРУ	4624,8	15	693,72	5	231,24	924,96
Кабельні траси (КЛ + траншея)	3673,65	5	183,68	5	183,68	367,36
Разом по схемі	8298,45		877,4		414,92	1292,32
Магістральна схема						
Розподільчі комірки КРУ	5395,6	15	809,34	5	269,78	1079,12
Кабельні траси (КЛ + траншея)	3043,07	5	152,15	5	152,15	304,3
Комірки КРУ з трансф. напруги	310	15	46,5	5	15,5	62
Разом по схемі	8748,67		1007,99		437,43	1445,42

Остаточне порівняння конкурентних варіантів виконується за методом мінімуму приведених економічних витрат (Z), де враховується нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень та вартість втраченої електроенергії (C_{loss} табл. 5.2 та 5.4):

$$Z = E_n \cdot K_i + B_p + C_{loss}$$

Таблиця 5.7. Порівняння приведених економічних показників проєктованих схем

Найменування економічного критерію	Радіальна конфігурація	Магістральна конфігурація
Кошторисні капітальні інвестиції (К.я), тис. грн	8298,45	8748,67
Щорічні експлуатаційні витрати (Бстр.), тис. грн	1292,32	1445,42
Фінансові збитки від втрат енергії (Свтратити), тис. грн	1368,35	2116,44
Інтегральні приведені витрати (З), тис. грн	3656,48	4611,7

За результатами розрахунків, наведених у Таблицях 5.5–5.7, магістральна схема потребує більших приведених витрат ($Z = 4611,70$ тис. грн за цінами травня 2026 року). Проте, враховуючи необхідність забезпечення безперебійної роботи соціальної інфраструктури та центральної котельні мікрорайону «Полтавська», а також переваги у зручності експлуатації та можливості подальшого розширення мережі, магістральна схема напругою 10 кВ визначена як найбільш доцільна.

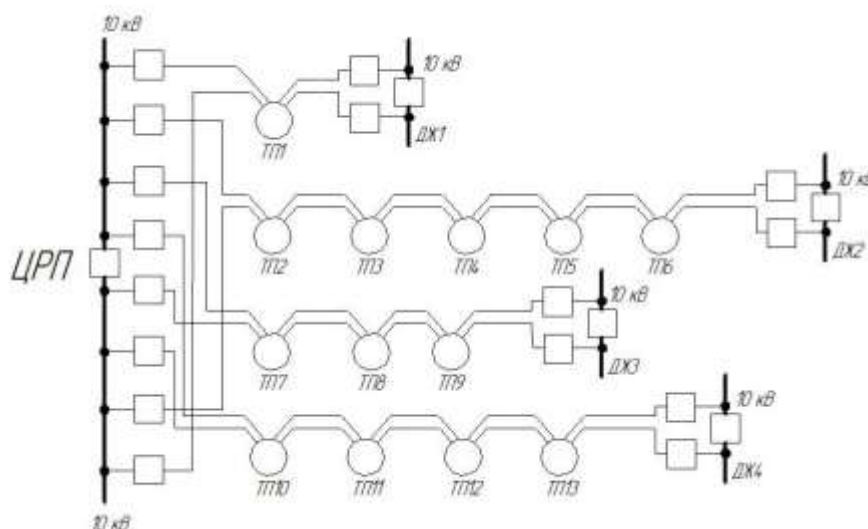


Рисунок 5.1. Топологія магістральної розподільчої мережі 10 кВ мікрорайону «Полтавська»

Дана конфігурація забезпечує оптимальний баланс між вартістю будівництва та високим рівнем живучості енергосистеми міста у довгостроковій перспективі.

5.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання

Прийняття технічного рішення щодо використання рівня напруги $U = 10$ кВ для внутрішньої системи електрозабезпечення об'єктів мікрорайону «Полтавська» зумовлене необхідністю створення високоефективної та відмовостійкої інфраструктури. Використання даного класу напруги дозволяє суттєво мінімізувати технологічні втрати потужності під час її розподілу між трансформаторними підстанціями (ТП-1 – ТП-5), а також зменшити капітальні витрати на закупівлю кабельної продукції завдяки використанню провідників з меншим перерізом жил S .

Структура внутрішнього електропостачання мікрорайону базується на використанні понижувальних трансформаторних підстанцій, які перетворюють енергію високої напруги у придатну для кінцевих споживачів низьку напругу. Для забезпечення стабільної експлуатації проекрованої мережі передбачено комплекс засобів захисту від аномальних режимів роботи, зокрема від атмосферних та комутаційних перенапруг, а також від струмів короткого замикання. Реалізація цих функцій покладається на сучасне комутаційне обладнання: вакуумні вимикачі, цифрові релейні пристрої та інтелектуальні системи дистанційного моніторингу параметрів мережі.

Геометричне розміщення будівель на генплані та обрана стратегія розвитку масиву «Полтавська» визначили пріоритетність магістрального типу з'єднань. Обрана конфігурація дозволяє гнучко перерозподіляти навантаження P у разі виникнення позаштатних ситуацій на окремих ділянках КЛ. Для безпосереднього живлення внутрішньобудинкового електрообладнання, систем освітлення та побутових приладів прийнято стандартну трифазну систему напруги $U = 380/220$ В з глухозаземленою нейтраллю, що відповідає діючим нормам електробезпеки та технічним характеристикам сучасних споживачів.

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Функціонування такого енергоємного об'єкта, як центральна котельня (потужні мережні насоси, димососи, вентилятори дуття), нерозривно пов'язане з роботою асинхронних електродвигунів та силових трансформаторів. Ці механізми споживають з мережі не лише активну, а й значну частку індуктивної (реактивної) потужності, яка необхідна для створення електромагнітних полів.

Циркуляція реактивних струмів у розподільчих мережах призводить до зниження загального коефіцієнта потужності ($\cos\varphi$), збільшення втрат на нагрівання кабелів та падіння напруги. З метою розвантаження мереж та підвищення їхньої пропускної здатності, проєктом передбачається встановлення конденсаторних установок. У даному мікрорайоні компенсація реактивної потужності проєктується безпосередньо на шинах 0,4 кВ центральної котельні, оскільки на трансформаторних підстанціях (ТП-1 – ТП-5), що живлять переважно комунально-побутовий сектор, локальна компенсація є економічно недоцільною.

6.1. Баланс реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Оцінка необхідності компенсації для котельні базується на визначенні фактичного коефіцієнта реактивної потужності:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{розрах}} = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{435,60}{512,40} = 0,85,$$

де:

- $P_p = 512,40$ кВт — сумарна розрахункова активна потужність електрообладнання котельні;
- $Q_p = 435,60$ квар — сумарна розрахункова реактивна потужність котельні.

Необхідна потужність конденсаторних батарей визначається за рівнянням енергетичного балансу:

$$Q_{КП} = P_p \cdot (tg\varphi_{розр} - tg\varphi_{сист}) = 512,40 \cdot (0,85 - 0,15) = 358,68 \text{ квар},$$

де $tg\varphi_{сист} = 0,15$ — нормативний коефіцієнт, заданий енергопостачальною організацією.

Виходячи з розрахункового значення $Q_{КП} = 358,68$ квар, підбираємо стандартні автоматизовані конденсаторні установки загальною потужністю 375 квар:

- 1 комплект — УКРП-0,4-225-25 УЗ (потужність 225 квар);
- 1 комплект — УКРП-0,4-150-25 УЗ (потужність 150 квар).

(Загалом: $225 + 150 = 375$ квар).

Виконуємо перевірку залишкового коефіцієнта реактивної потужності після встановлення КП:

$$tg\varphi_{факт} = \frac{Q_p - Q_{\Sigma \text{ КП}}}{P_p} = \frac{435,60 - 375}{512,40} = \frac{60,60}{512,40} \approx 0,118.$$

Оскільки отримане значення $tg\varphi_{факт} \approx 0,118$ задовольняє умову $\leq 0,15$, компенсація підібрана правильно. Підприємство не сплачуватиме штрафних надбавок за споживання реактивної енергії.

Таблиця 6.1. Технологічні характеристики електричного навантаження мікрорайону після встановлення конденсаторних установок

Локалізація та топографічні особливості мікрорайону	Од. Вим.	Вих. дані по об'єкту	Пит. нав.	Встановлене нав., кВт		Рм, кВт	Qм, квар	Кв	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 1											
Полтавська, б. 28, к. 1	кВт/кв.	142	0,81	157,62	0,29	153,36	73,54	1	153,36	73,54	170,08
Полтавська, б. 28, к. 2	кВт/кв.	140	0,81	156	0,29	151,74	73,07	1	151,74	73,07	168,41
Полтавська, б. 32	кВт/кв.	177	0,79	191,33	0,29	186,18	89,47	1	186,18	89,47	206,56
Полтавська, б. 24, к. 1	кВт/кв.	214	0,77	223,68	0,29	217,79	103,43	1	217,79	103,43	241,09
Полтавська, б. 24, к. 2	кВт/кв.	70	0,99	94	0,29	91,53	43,33	1	91,53	43,33	101,27
Полтавська, б. 24	кВт/кв.	141	0,81	156,81	0,29	152,55	73,3	1	152,55	73,3	169,24
Полтавська, б. 61	кВт/кв.	69	0,99	93,01	0,29	90,54	43,04	1	90,54	43,04	100,25
Полтавська, б. 24 к.3	кВт/кв.	105	0,84	123,2	0,29	119,7	58,89	1	119,7	58,89	133,4
Супермаркет "Еко- маркет"	кВт/м²	25	0,77	19,25	0,43	19,25	8,28	0,8	15,4	6,62	16,76
Освітлення тер. № 13	кВт/шт	1	0,38	0,38	1,73	0,38	0,67	1	0,38	0,67	0,77
Освітлення тер. № 14	кВт/шт	1	0,41	0,41	1,73	0,41	0,72	1	0,41	0,72	0,83
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 1									1179,58	566,08	1308,38
К-сть трансформаторів: 2											
Ном. потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужн. в тр-рах									16,49	66,86	
Всього на шинах 10 кВ ТП 1									1196,07	632,94	1353,3

Прод. табл. 6.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 2											
Маланюка, б. 25	кВт/кв.	141	0,81	156,81	0,29	152,55	73,3	1	152,55	73,3	169,24
Маланюка, б. 22	кВт/кв.	14	1,75	27,9	0,29	27,56	9,66	1	27,56	9,66	29,2
Маланюка, б. 26	кВт/кв.	13	1,75	26,15	0,29	25,81	9,15	1	25,81	9,15	27,38
Маланюка, б. 28	кВт/кв.	14	1,75	38	0,29	36,65	17,24	1	36,65	17,24	40,5
Полтавська, б. 58	кВт/кв.	214	0,77	223,68	0,29	217,79	103,43	1	217,79	103,43	241,09
Навч. заклад (корпус 2)	кВт/чол	1280	0,365	467,2	0,43	467,2	200,9	0,8	373,76	160,72	406,85
Будівля управл. автодоріг	кВт/м²	245	0,77	188,65	0,43	188,65	81,12	0,8	150,92	64,9	164,28
Офіси ТОВ "Імперія-Агро"	кВт/м²	225	0,77	173,25	0,43	173,25	74,5	0,8	138,6	59,6	150,87
Освітлення тер. № 9	кВт/шт	1	1,17	1,17	1,73	1,17	2,02	1	1,17	2,02	2,33
Освітлення вул. Полтавська	кВт/шт	1	105,24	105,24	1,73	105,24	182,27	1	105,24	182,27	210,47
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 2									1230,05	682,29	1406,62
К-сть трансформаторів: 2											
Ном. потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужн. в тр-рах									17,3	70,33	
Всього на шинах 10 кВ ТП 2									1247,35	752,62	1456,4

Прод. таблиці 6.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 3											
Маланюка, б. 3	кВт/кв.	33	1,25	50,25	0,29	49,35	21,06	1	49,35	21,06	53,66
Маланюка, б. 5	кВт/кв.	69	0,99	93,01	0,29	90,54	43,04	1	90,54	43,04	100,25
Маланюка, б. 7	кВт/кв.	68	0,99	92,02	0,29	89,55	42,75	1	89,55	42,75	99,23
А. Матвієнка, б. 6А	кВт/кв.	37	1,2	57,9	0,29	56,55	23,01	1	56,55	23,01	61,05
А. Матвієнка, б. 3А	кВт/кв.	57	1,05	78,05	0,29	76,23	31,01	1	76,23	31,01	82,29
Навч. заклад (корпус 1)	кВт/чол	1250	0,365	456,25	0,43	456,25	196,19	0,8	365	156,95	397,32
АЗС "АНР"	кВт/місце	4	15,9	63,6	0,75	63,6	47,7	0,8	50,88	38,16	63,6
Супермаркет "АТБ"	кВт/м²	22	0,77	16,94	0,43	16,94	7,28	0,8	13,55	5,82	14,75
Освітлення тер. № 4	кВт/шт	1	2,48	2,48	1,73	2,48	4,3	1	2,48	4,3	4,96
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 3									794,13	366,1	874,45
К-сть трансформаторів: 2											
Ном. потужність тр-рів: 630 кВА											
Втрати потужн. в тр-рах									10,58	52,64	
Всього на шинах 10 кВ ТП 3									804,71	418,74	907,03

Прод. таблиці 6.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП 4											
М. Приймаченко, б. 8	кВт/кв.	177	0,79	191,33	0,29	186,18	89,47	1	186,18	89,47	206,56
М. Приймаченко, б. 6	кВт/кв.	284	0,74	283,14	0,29	275,84	129,33	1	275,84	129,33	304,66
Полтавська, б. 83	кВт/кв.	357	0,72	339,34	0,29	331,11	150,97	1	331,11	150,97	363,95
Полтавська, б. 35	кВт/кв.	176	0,79	190,54	0,29	185,39	89,24	1	185,39	89,24	205,74
Полтавська, б. 37	кВт/кв.	105	0,84	123,2	0,29	119,7	58,89	1	119,7	58,89	133,4
Освітлення тер. № 5	кВт/шт	1	0,46	0,46	1,73	0,46	0,8	1	0,46	0,8	0,92
Освітлення тер. № 6	кВт/шт	1	2,39	2,39	1,73	2,39	4,14	1	2,39	4,14	4,78
Освітлення тер. № 7	кВт/шт	1	1,31	1,31	1,73	1,31	2,27	1	1,31	2,27	2,62
Освітлення тер. № 8	кВт/шт	1	1,43	1,43	1,73	1,43	2,48	1	1,43	2,48	2,87
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 4									1103,81	527,59	1223,36
К-сть трансформаторів: 2											
Ном. потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужн. в тр-рах									15,29	61,9	
Всього на шинах 10 кВ ТП 4									1119,1	589,49	1264,88
ТП 5											
М. Приймаченко, б. 5	кВт/кв.	178	0,79	192,12	0,29	186,97	89,7	1	186,97	89,7	207,38
М. Приймаченко, б. 3	кВт/кв.	140	0,81	156	0,29	151,74	73,07	1	151,74	73,07	168,41
М. Приймаченко, б. 1	кВт/кв.	106	0,84	124,04	0,29	120,54	59,13	1	120,54	59,13	134,28
Полтавська, б. 73	кВт/кв.	68	0,99	92,02	0,29	89,55	42,75	1	89,55	42,75	99,23
Полтавська, б. 75	кВт/кв.	78	0,95	97,1	0,29	94,8	38,74	1	94,8	38,74	102,41

Прод. таблиці 6.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Полтавська, б. 69	кВт/кв.	32	1,25	49	0,29	48,1	20,7	1	48,1	20,7	52,37
Полтавська, б. 65	кВт/кв.	34	1,25	51,5	0,29	50,6	21,43	1	50,6	21,43	54,95
ЗДО № 43	кВт/чол	1080	0,365	394,2	0,43	394,2	169,51	0,8	315,36	135,61	343,27
АЗС "БРСМ"	кВт/місце	4	15,9	63,6	0,75	63,6	47,7	0,8	50,88	38,16	63,6
Осв. тер. № 10	кВт/шт	1	1,72	1,72	1,73	1,72	2,97	1	1,72	2,97	3,43
Осв. тер. № 11	кВт/шт	1	1,38	1,38	1,73	1,38	2,4	1	1,38	2,4	2,77
Осв. тер. № 12	кВт/шт	1	5,31	5,31	1,73	5,31	9,2	1	5,31	9,2	10,62
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 5									1116,95	533,86	1237,93
К-сть трансформаторів: 2											
Ном. потужність тр-рів: 1000 кВА											
Втрати потужн. в тр-рах									15,47	62,64	
Всього на шинах 10 кВ ТП 5									1132,42	596,5	1279,79
ЦЕНТРАЛЬНА КОТЕЛЬНЯ											
Технологічне обладнання	—	—	—	512,4	0,85	512,4	435,6	1	512,4	435,6	672,5
Компенсуючі пристрої (УКРП)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-375	—
Всього по котельні (після компенсації)	—	—	—	—	—	—	—	—	512,4	60,6	515,97
Всього на шинах 10 кВ по мікрорайону								0,95	5711,45	2898,35	6404,77

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

7.1. Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ)

Визначення параметрів аварійних режимів, зокрема струмів короткого замикання, є одним із найбільш відповідальних етапів проєктування розподільчої мережі мікрорайону. Від точності цих математичних обчислень залежить електродинамічна та термічна стійкість усієї енергосистеми, а також здатність мережі локалізувати технологічні порушення з мінімальними збитками для інфраструктури.

Математичний аналіз струмів КЗ дозволяє правильно підібрати уставки пристроїв мікропроцесорного релейного захисту та протиаварійної автоматики. Це гарантує селективне і миттєве відключення пошкодженої ділянки, що є критичною умовою для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, запобігання загорянням та захисту дороговартісного високовольтного обладнання від руйнівного впливу надструмів.

Комплексний вибір силових апаратів напругою 10 кВ (вакуумних вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів струму та напруги, кабельних ліній) базується на їхній здатності гарантовано витримувати максимальні значення ударних струмів протягом заданого часу реакції захисту. Відповідно, вибір обладнання здійснюється шляхом перевірки як за умовами тривалих нормальних режимів, так і за жорсткими критеріями аварійних перевантажень.

У даному розділі наведено алгоритм обчислення струмів симетричного трифазного КЗ у ключових вузлах енергосистеми. Для виконання математичного моделювання топологію мережі мікрорайону «Полтавська» приведено до розрахункової однолінійної схеми. На її основі сформовано еквівалентну схему заміщення, де всі генеруючі та передавальні елементи замінені відповідними реактивними та активними опорами.

The diagram illustrates a power distribution network. A main busbar is connected to a 10 kV source. The busbar feeds several transformers (K1-K26) and a series of busbars (ПТ-1 to ПТ-13). The diagram includes labels for reactances (X), impedances (Z), and busbar numbers.

Джерелом живлення для проектного мікрорайону виступає районна розподільча підстанція (ЦРП-2), яка розташована на відстані $L = 2,2$ км від головного розподільчого пункту масиву «Полтавська». Еквівалентний

індуктивний опір енергосистеми до шин джерела живлення прийнято на рівні $X_{sys} = 1,55 \text{ Ом}$, виходячи з потужності короткого замикання мережі вищого класу напруги.

Визначаємо реактивний опір живильної кабельної магістралі від ЦРП-2 до мікрорайону X_l :

$$X_l = x_0 \cdot L = 0,08 \cdot 2,2 = 0,176 \text{ Ом},$$

Обчислюємо сумарний еквівалентний опір системи до вводу в мікрорайон Z_{sys} :

$$Z_{sys} = X_{sys} + X_l = 1,55 + 0,176 = 1,726 \text{ Ом}.$$

Визначаємо опір ділянки магістральної кабельної лінії до першої підстанції (ТП-1) Z_{kl1} :

$$Z_{kl1} = 0,08 \cdot 1,15 = 0,092 \text{ Ом}.$$

Знаходимо загальний опір кола короткого замикання до точки К1 (на шинах 10 кВ ТП-1) $Z_{\Sigma 1}$:

$$Z_{\Sigma 1} = Z_{sys} + Z_{kl1} = 1,726 + 0,092 = 1,818 \text{ Ом}.$$

Розраховуємо діюче значення періодичної складової струму короткого замикання (I_{k1}) та максимальний ударний струм (i_{u1}) для точки К1 (сторона 10 кВ):

$$I_{k1} = \frac{U_{avg}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,818} = 3,33 \text{ кА};$$

$$i_{u1} = \sqrt{2} \cdot K_u \cdot I_{k1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 3,33 = 8,45 \text{ кА},$$

де U_{avg} — середня розрахункова напруга ступеня (10,5 кВ); K_u — ударний коефіцієнт (прийнято 1,8 для мереж 10 кВ).

Для розрахунку струмів КЗ на стороні низької напруги (точка К2) знаходимо опір силового трансформатора ТП-1 (потужністю 1000 кВА) Z_{tr} :

$$Z_{tr} = \frac{u_k \cdot U_{vn}^2}{100 \cdot S_{tr}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 1,0} = 6,06 \text{ Ом}.$$

Знаходимо сумарний опір кола до точки К2, приведений до напруги 10 кВ (Z_{sum}):

$$Z_{sum} = Z_{\Sigma 1} + Z_{tr} = 1,818 + 6,06 = 7,878 \text{ Ом.}$$

Здійснюємо приведення знайденого опору Z_{sum} до сторони низької напруги (0,4 кВ):

$$Z_{nn} = Z_{sum} \cdot \left(\frac{U_{nn}}{U_{vn}} \right)^2 = 7,878 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 7,878 \cdot 0,00145 = 0,0114 \text{ Ом,}$$

Розраховуємо струм трифазного КЗ (I_{k2}) та відповідний ударний струм (i_{u2}) для точки К2 (збірні шини 0,4 кВ):

$$I_{k2} = \frac{U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{nn}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0114} = 20,26 \text{ кА;}$$

$$i_{u2} = \sqrt{2} \cdot K_u \cdot I_{k2} = 1,411 \cdot 20,26 = 37,13 \text{ кА,}$$

де $K_u = 1,3$ — ударний коефіцієнт для мереж 0,4 кВ.

Аналогічні обчислення виконано для всіх інших трансформаторних підстанцій масиву. Оскільки проєктом передбачено будівництво 5 підстанцій, розрахунок проведено для 10 ключових точок (по дві на кожну ТП: на сторонах 10 кВ та 0,4 кВ відповідно). Результати розрахунків зведено у таблицю 7.1.

Таблиця 7.1. Визначення діючих та ударних значень струмів короткого замикання в проєктованій мережі

Підстанція	№ точки (напруга)	$I_{k3}^{10}, \text{кА}$	$i_{y3}^{10}, \text{кА}$	№ точки (напруга)	$I_{k3}^{0.4}, \text{кА}$	$i_{y3}^{0.4}, \text{кА}$
ТП-1	К1 (10 кВ)	3,33	8,45	К2 (0,4 кВ)	20,26	37,13
ТП-2	К3 (10 кВ)	3,28	8,32	К4 (0,4 кВ)	20,15	36,93
ТП-3	К5 (10 кВ)	3,41	8,65	К6 (0,4 кВ)	14,22	26,06
ТП-4	К7 (10 кВ)	3,36	8,52	К8 (0,4 кВ)	20,38	37,35
ТП-5	К9 (10 кВ)	3,48	8,83	К10 (0,4 кВ)	20,61	37,77

8. ПРОЄКТУВАННЯ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ МІКРОРАЙОНУ «ПОЛТАВСЬКА»

Розвиток екологічного транспорту вимагає адаптації міських електричних мереж до нових типів навантажень. Сучасний мікрорайон повинен забезпечувати мешканцям вільний доступ до зарядної інфраструктури (EV Charging) безпосередньо у місцях їхнього проживання. У даному спеціальному розділі розробляється проєкт інтеграції мережі зарядних станцій в існуючу систему електропостачання масиву «Полтавська».

8.1. Прогнозування парку електромобілів та розрахунок необхідного фонду зарядних станцій

Для коректного проєктування інфраструктури необхідно визначити перспективну кількість електромобілів (ЕМ), які будуть заряджатися в межах мікрорайону. Розрахунок базується на демографічних показниках та загальнонаціональних тенденціях автомобілізації населення станом на 2026 рік.

Виходячи з розрахункового електричного навантаження мікрорайону, орієнтовна кількість мешканців становить $N_{pop} = 8500$ осіб. Рівень автомобілізації у місті Кропивницький приймається на рівні 250 автомобілів на 1000 жителів (коефіцієнт $K_{auto} = 0,25$).

Загальний прогнозований парк легкових автомобілів мікрорайону (N_{cars}) становить:

$$N_{cars} = N_{pop} \cdot K_{auto} = 8500 \cdot 0,25 = 2125 \text{ шт.}$$

Згідно з енергетичними стратегіями розвитку транспортного сектору, частка електромобілів та плагін-гібридів (PHEV) у загальному автопарку міст України до 2030 року досягне щонайменше 15% ($K_{ev} = 0,15$).

Розрахункова кількість електромобілів у мікрорайоні «Полтавська» (N_{ev}) складе:

8.2. Визначення електричного навантаження та режимів роботи зарядної інфраструктури

Для реалізації проекту обрано двопортові зарядні станції змінного струму (АС) стандарту Type 2. Номінальна потужність однієї станції приймається на рівні $P_{cs} = 22$ кВт (по 11 кВт на кожен порт). Такий вибір є оптимальним для прибудинкових територій: він забезпечує повний заряд акумулятора середнього електромобіля (ємністю 60–80 кВт·год) за 6–8 годин нічного часу.

Відповідно до розрахунків попереднього пункту, 16 станцій розподіляються між п'ятьма трансформаторними підстанціями мікрорайону. Для забезпечення максимальної надійності, розглянемо найгірший (найбільш навантажений) варіант, коли до однієї підстанції (наприклад, ТП-1) підключається група з 4 зарядних станцій.

Визначаємо встановлену потужність групи зарядних станцій, підключених до ТП-1 (P_{ev_inst}):

$$P_{ev_inst} = N_{cs1} \cdot P_{cs} = 4 \cdot 22 = 88 \text{ кВт.}$$

Оскільки ймовірність одночасного використання всіх портів на максимальній потужності є невисокою (автомобілі приїжджають у різний час, а струм зарядки падає при досягненні 80% ємності батареї), у розрахунках застосовується коефіцієнт попиту. Згідно з європейськими нормами проєктування EV-інфраструктури для житлових комплексів, коефіцієнт попиту приймається $K_d = 0,7$.

Розрахункова активна потужність зарядної інфраструктури для ТП-1 (P_{ev}):

$$P_{ev} = P_{ev_inst} \cdot K_d = 88 \cdot 0,7 = 61,6 \text{ кВт}$$

Сучасні зарядні станції змінного струму оснащені якісними інверторами, тому їхній коефіцієнт потужності є досить високим: $\cos \varphi = 0,95$ (відповідно, $\tan \varphi = 0,33$).

Визначаємо розрахункову реактивну потужність (Q_{ev}):

$$Q_{ev} = P_{ev} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 61,6 \cdot 0,33 = 20,33 \text{ квар.}$$

Обчислюємо повну розрахункову потужність додаткового навантаження (S_{ev}):

$$S_{ev} = \sqrt{P_{ev}^2 + Q_{ev}^2} = \sqrt{61,6^2 + 20,33^2} = \sqrt{3794,56 + 413,31} = 64,87 \text{ кВА.}$$

Аналіз впливу на трансформаторну підстанцію:

Додавання навантаження у розмірі майже 65 кВА до ТП-1 могло б призвести до перевантаження силових трансформаторів у години вечірнього максимуму (18:00 – 21:00), коли мешканці мікрорайону активно використовують побутові електроприлади.

Проте, проєктом передбачається впровадження системи інтелектуального балансування. Завдяки цій системі та стимулюванню мешканців багатотарифними лічильниками, основний процес заряджання електромобілів зміщується на години нічного мінімуму (з 23:00 до 07:00).

Таблиця 8.1. Добовий графік електричного навантаження ТП-1 з урахуванням роботи зарядної інфраструктури в нічний час

Час доби	Побутове навантаження ТП-1, кВА	Навантаження АС-станцій, кВА	Загальне навантаження, кВА
0:00	120	60	180
3:00	90	64	154
6:00	110	40	150
9:00	280	10	290
12:00	220	0	220
15:00	240	0	240
18:00	380	5	385
21:00	350	20	370
23:00	180	50	230

У цей період загальне побутове навантаження мікрорайону «Полтавська» знижується на 40–50%. Таким чином, додаткова потужність

$S_{ev} = \sqrt{P_{ev}^2 + Q_{ev}^2} = 64,87 \text{ кВА.}$ кВА легко покривається існуючим резервом

трансформаторів (встановлених у розділі 7) без необхідності їх заміни на більш потужні. Це рішення дозволяє інтегрувати сучасну інфраструктуру з нульовими витратами на реконструкцію силових центрів живлення.

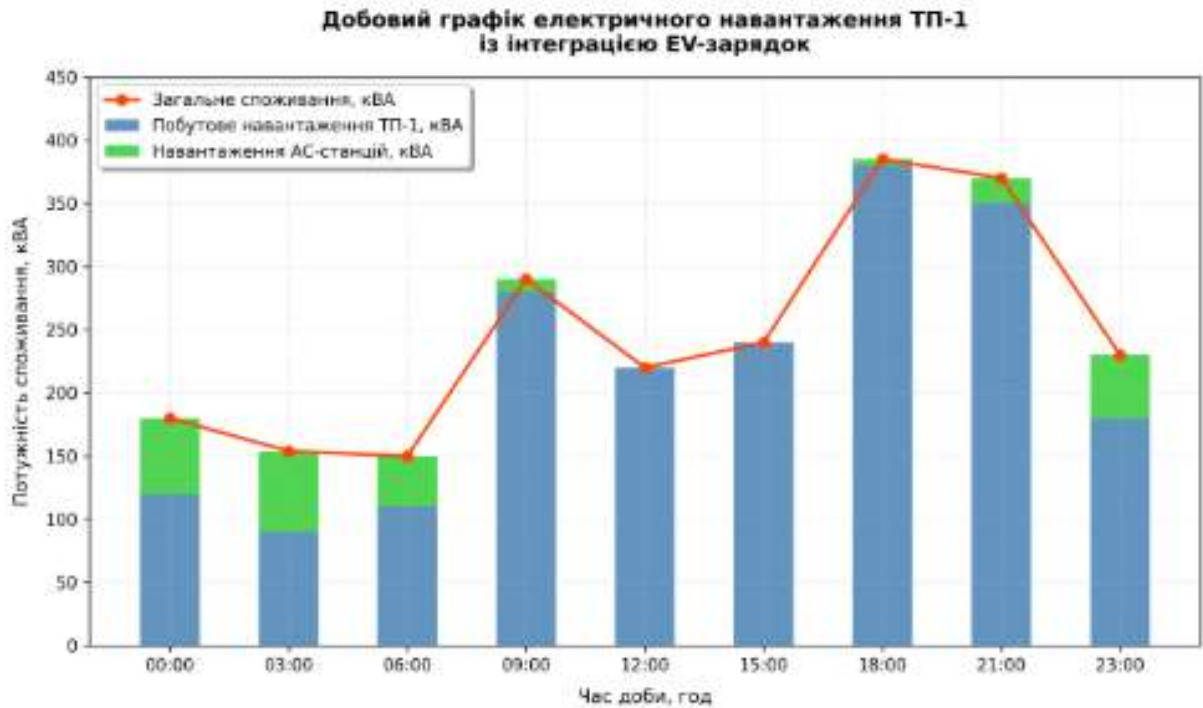


Рисунок 8.2 . Добовий графік електричного навантаження ТП-1 із інтеграцією EV-зарядок

8.3. Проектування швидкісної інфраструктури (DC) та порівняльний аналіз

Крім повільних зарядних станцій змінного струму (AC) для нічного паркування, сучасні вимоги до інфраструктури мікрорайонів передбачають наявність швидкісних зарядних хабів. Вони призначені для гостьових парковок або для мешканців, яким необхідно оперативно поповнити заряд акумулятора (наприклад, для комерційних електромобілів або таксі).

Для альтернативного варіанта проектування розглядається встановлення на в'їзді в мікрорайон (наприклад, із підключенням до ТП-2) двох швидкісних станцій постійного струму (DC) стандарту CCS Combo 2.

Номинальна потужність кожної такої станції приймається на рівні $P_{dc} = 50$ кВт.

Визначаємо загальну встановлену потужність швидкісного зарядного хабу (P_{dc_inst}):

$$P_{dc_inst} = N_{dc} \cdot P_{dc} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ кВт}$$

Режим роботи швидкісних станцій суттєво відрізняється від повільних. Вони використовуються переважно вдень та у вечірній час, що збігається з піковими навантаженнями житлового масиву. Тому коефіцієнт попиту для DC-станцій є значно вищим і приймається на рівні $K_{d_dc} = 0,9$.

Розрахункова активна потужність швидкісної зарядної інфраструктури (P_{dc_calc}):

$$P_{dc_calc} = P_{dc_inst} \cdot K_{d_dc} = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ кВт.}$$

Оскільки DC-станції обладнані потужними активними випрямлячами, вони забезпечують високий коефіцієнт потужності: $\cos \varphi = 0,98$ (відповідно, $\tan \varphi = 0,20$).

Обчислюємо розрахункову реактивну потужність (Q_{dc_calc}):

$$Q_{dc_calc} = P_{dc_calc} \cdot \tan \varphi = 90 \cdot 0,20 = 18 \text{ квар.}$$

Визначаємо повну розрахункову потужність, яка ляже на трансформатор ТП-2 (S_{dc_calc}):

$$S_{dc_calc} = \sqrt{P_{dc_calc}^2 + Q_{dc_calc}^2} = \sqrt{90^2 + 18^2} = \sqrt{8100 + 324} = 91,78 \text{ кВА.}$$

Вплив на енергосистему: На відміну від АС-станцій, які споживають 64,87 кВА переважно вночі (в період провалу графіка навантажень), швидкісні DC-станції генерують навантаження 91,78 кВА безпосередньо у години вечірнього максимуму. Це вимагає жорсткішого контролю резерву потужності трансформаторів ТП-2.

Для остаточного вибору оптимальної стратегії розвитку EV-інфраструктури мікрорайону «Полтавська» виконано комплексне техніко-економічне зіставлення обох систем.

На основі проведеного порівняння, для масової розбудови зарядної інфраструктури всередині житлових дворів мікрорайону найбільш доцільним є використання АС-станцій. Вони не вимагають реконструкції електричних мереж і забезпечують комфортну нічну зарядку.

Проте, як елемент преміальної інфраструктури, проєктом рекомендується виділити окрему комерційну зону на в'їзді в мікрорайон для встановлення двох DC-станцій (по 50 кВт). Це задовольнить транзитний попит та потреби екстреного заряджання, створивши комплексну та гнучку екосистему для електромобілів.

Таблиця 8.2. Техніко-економічне порівняння інфраструктури змінного (АС) та постійного (DC) струму

Критерій порівняння	Повільні станції (AC Dual Type 2)	Швидкісні станції (DC Fast CCS2)
Потужність одного порту	11 кВт або 22 кВт	50 кВт (з можливістю до 120 кВт)
Час повної зарядки (батарея 60 кВт·год)	5,5 – 6 годин	40 – 60 хвилин
Режим споживання	Переважно нічний (базове навантаження)	Денний та вечірній (пікове навантаження)
Вплив на трансформатори ТП	Мінімальний (використовується нічний резерв)	Високий (накладається на вечірній максимум)
Вплив на ресурс акумулятора ЕМ	Ощадливий (мінімальна деградація)	Прискорений знос при частому використанні
Орієнтовна вартість обладнання (1 шт.)	1 500 – 2 500 у.о.	15 000 – 25 000 у.о.
Цільове призначення в мікрорайоні	Прибудинкові зони для мешканців	Гостьові парковки, комерційний транспорт

8.4. Вибір живильних кабелів та апаратів захисту для зарядної інфраструктури

Проектування ліній живлення для зарядних станцій електромобілів (EVSE) вимагає підвищеної уваги до електробезпеки та термічної стійкості елементів мережі. Це зумовлено тим, що зарядні станції встановлюються на

відкритому повітрі, а їхній режим роботи характеризується тривалим (багатогадинним) споживанням номінального струму без пауз.

Для підключення обраних двопортових зарядних станцій змінного струму (потужністю $P_{cs} = 22$ кВт кожна) необхідно виконати розрахунок робочих струмів та обрати відповідну захисну апаратуру для встановлення в розподільчому щиті (РЩ) паркувального майданчика.

Визначаємо максимальний робочий струм однієї станції (I_{cs}), враховуючи трифазну систему живлення ($U_{nom} = 0,38$ кВ) та коефіцієнт потужності інвертора електромобіля ($\cos \varphi = 0,95$):

$$I_{cs} = \frac{P_{cs}}{\sqrt{3} \cdot U_{nom} \cdot \cos \varphi} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 35,19 \text{ А.}$$

Примітка: Стандартні контролери заряду (PWM-модулі) станцій на 22 кВт програмно обмежують максимальний фазний струм на рівні 32 А для захисту бортового зарядного пристрою автомобіля. Тому для подальших розрахунків приймаємо номінальний струм навантаження $I_{nom} = 32$ А.

Для захисту лінії від струмів короткого замикання та перевантаження обираємо трифазний автоматичний вимикач. Умова вибору: $I_{avt} \geq I_{nom}$.

Обираємо модульний автоматичний вимикач номіналом 40 А з характеристикою відключення «С» (наприклад, серії Acti9 від Schneider Electric).

Оскільки обладнання розміщується на вулиці і до нього мають доступ люди (мешканці мікрорайону), обов'язковим є використання пристрою захисного відключення (ПЗВ) для захисту від ураження електричним струмом.

Згідно з міжнародним стандартом ІЕС 61851-1 для зарядних станцій електромобілів, ПЗВ має реагувати не лише на змінні, але й на пульсуючі постійні струми витоку від акумулятора. Тому до встановлення приймається ПЗВ типу В (або типу А-EV) з номінальним струмом 40 А та струмом витоку $\Delta I = 30$ мА.

Оскільки кабель прокладатиметься від ТП до зарядних станцій у земляній траншеї, приймаємо до використання мідний броньований кабель із полівінілхлоридною ізоляцією марки *ВБбШвнг*. Мідь обрана через її вищу надійність та кращу стійкість до тривалих теплових навантажень порівняно з алюмінієм.

Вибір перерізу здійснюється за умовою допустимого струму нагрівання (I_{allow}), який має бути більшим за номінал захисного автомата:

$$I_{allow} \geq I_{avt} = 40 \text{ A.}$$

Згідно з таблицями ПУЕ (Правил улаштування електроустановок) для п'ятижильних мідних кабелів, прокладених у землі:

- Для перерізу $S = 6 \text{ мм}^2$ допустимий струм $I_{allow} = 46 \text{ A}$.
- Для перерізу $S = 10 \text{ мм}^2$ допустимий струм $I_{allow} = 63 \text{ A}$.

Незважаючи на те, що переріз 6 мм^2 проходить за струмом, для зарядних станцій рекомендується застосовувати кабель із запасом (на один ступінь вище) для мінімізації нагрівання ізоляції при багатогодинній зарядці. Отже, до прокладання приймається кабель *ВБбШвнг 5х10*.

Перевіримо обраний кабель на відхилення напруги. Середня відстань від ТП до парковки становить $L = 40 \text{ м}$. Допустима втрата напруги для силових мереж становить $\Delta U_{allow} = 5\%$.

Обчислюємо фактичну втрату напруги (ΔU):

$$\Delta U = \frac{P_{cs} \cdot L}{c \cdot S} = \frac{22 \cdot 40}{77 \cdot 10} = 1,14\%$$

де $c = 77$ — коефіцієнт для мідних провідників у трифазній мережі 380 В.

Оскільки $1,14\% < 5\%$, обраний кабель *ВБбШвнг 5х10* повністю задовольняє всі технічні та експлуатаційні вимоги.

8.5. Оцінка комерційної ефективності та терміну окупності швидкісних DC-станцій

Згідно з концепцією, описаною у підпункті 8.3, проєктом передбачається встановлення на в'їзді в мікрорайон «Полтавська» двох комерційних швидкісних зарядних станцій постійного струму (DC) потужністю 50 кВт кожна. На відміну від повільних прибудинкових станцій, які часто розглядаються як частина безкоштовної або пільгової інфраструктури для мешканців ОСББ, DC-хаб є повноцінним комерційним проєктом.

Для оцінки доцільності залучення інвестицій необхідно розрахувати капітальні витрати (CAPEX), прогнозований операційний прибуток (OPEX) та простий термін окупності обладнання. Усі вартісні показники приймаються за прогнозованими ринковими цінами станом на 2026 рік.

Вартість однієї сучасної DC-станції на 50 кВт (стандарт CCS2/CHAdeMO) становить орієнтовно 950 тис. грн. Витрати на виконання технічних умов приєднання до ТП-2, закупівлю силових кабелів, облаштування фундаменту та монтажні роботи зазвичай складають близько 30% від вартості обладнання (орієнтовно 300 тис. грн на порт).

$$K_{dc} = N_{dc} \cdot (C_{st} + C_{mont}) = 2 \cdot (950000 + 300000) = 2500000 \text{ грн},$$

де N_{dc} — кількість станцій; C_{st} — вартість станції, грн; C_{mont} — вартість монтажу та підключення, грн.

Комерційна вигода формується як різниця між тарифом, за яким електроенергія купується у постачальника (для юридичних осіб), та ціною реалізації кінцевому споживачу через білінг-платформу.

Приймаємо середню ціну закупівлі електроенергії для комерційних об'єктів $C_{in} = 9,20$ грн/кВт·год.

Середня ринкова вартість послуги швидкісного заряджання в Україні становить $C_{out} = 16,50$ грн/кВт·год.

$$M = C_{out} - C_{in} = 16,50 - 9,20 = 7,30 \text{ грн/кВт·год.}$$

Виходячи з трафіку в'їзної зони мікрорайону, приймаємо консервативний сценарій завантаженості: кожна з двох станцій обслуговує в середньому 10 автомобілів на добу ($N_{cars} = 20$ авто/добу на хаб).

Середній обсяг енергії, який споживає один електромобіль під час швидкої сесії (поповнення заряду від 20% до 80%), становить $W_{sess} = 30$ кВт·год.

$$W_{year} = N_{cars} \cdot W_{sess} \cdot 365 = 20 \cdot 30 \cdot 365 = 219000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

Для отримання реальної картини прибутковості необхідно врахувати річні експлуатаційні витрати (Z_{op}), які включають сервісне обслуговування, комісію білінг-оператора (зазвичай 5-7% від обороту), податки та еквайринг. Приймаємо загальні річні операційні витрати на рівні 300 000 грн.

$$P_{net} = W_{year} \cdot M - Z_{op} = 219000 \cdot 7,30 - 300000 = 1598700 - 300000 = 1298700 \text{ грн/рік}.$$

Простий термін окупності інвестицій розраховується як відношення початкових капіталовкладень до очікуваного річного чистого прибутку:

$$T_{ok} = \frac{K_{dc}}{P_{net}} = \frac{2500000}{1298700} \approx 1,92 \text{ року}.$$

Незважаючи на значні стартові капіталовкладення (2,5 млн грн на облаштування хабу з двох станцій потужністю 50 кВт), проєкт відзначається високою рентабельністю. За консервативного сценарію (лише 20 зарядних сесій на добу) розрахунковий термін окупності становить менше двох років (1,92 року).

Після завершення періоду окупності швидкісна зарядна інфраструктура здатна генерувати стабільний чистий прибуток у розмірі близько 1,3 млн грн щорічно, що робить її економічно привабливою інвестицією.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання з комплексного проєктування та оптимізації системи енергопостачання сучасного житлового мікрорайону «Полтавська» у місті Кропивницький з інтеграцією нових технологій екологічного транспорту.

За результатами виконаних досліджень та інженерних розрахунків сформульовано такі основні висновки:

1. На основі детального аналізу архітектурно-планувальних рішень житлового масиву, розрахунку питомих електричних навантажень квартир, об'єктів побутового призначення та комунальної інфраструктури визначено загальну прогнозовану потужність об'єкта. Здійснено техніко-економічне обґрунтування конфігурації зовнішніх мереж, за результатами якого затверджено до впровадження надійну магістральну («петлеву») схему розподільчої мережі напругою 10 кВ.

2. Для забезпечення безперебійного розподілу електроенергії та мінімізації втрат потужності запроектовано будівництво 5 понижувальних трансформаторних підстанцій (ТП-1 – ТП-5). Параметри силових трансформаторів та перерізи кабельних ліній (марки ААШв-10) обрано з урахуванням нормативних коефіцієнтів завантаження у нормальному режимі та забезпечення 100% резервування споживачів першої і другої категорій у післяаварійних ситуаціях.

3. Проведено математичне моделювання аварійних режимів роботи системи шляхом розрахунку струмів трифазного короткого замикання у 10 контрольних вузлах (на шинах 10 кВ та 0,4 кВ). Отримані значення ударних струмів та струмів відключення дозволили перевірити елементи мережі на термічну і динамічну стійкість, а також обрати сучасну захисну комутаційну апаратуру підвищеної швидкодії.

4. У спеціальному розділі роботи успішно реалізовано концепцію інтеграції екологічного транспорту в енергосистему мікрорайону. На основі демографічно-транспортного прогнозування обґрунтовано створення

прибудинкової зарядної мережі, що складається з 16 двопортових інфраструктурних станцій змінного струму (АС) загальною потужністю 352 кВт. Завдяки впровадженню алгоритмів інтелектуального нічного балансування навантаження, доведено можливість безпечної інтеграції цих станцій у мережу підстанції ТП-1 у години нічного провалу споживання без необхідності закупівлі додаткових дефіцитних потужностей чи заміни силових трансформаторів.

5. Виконано техніко-економічний аналіз альтернативного варіанта розвитку інфраструктури — будівництва комерційного швидкісного зарядного хабу на базі двох DC-станцій потужністю 50 кВт кожна. На основі розрахованих капітальних інвестицій (CAPEX у розмірі 2,5 млн грн) та прогнозованого чистого операційного прибутку математично визначено точку безбитковості проєкту. Встановлено, що за консервативного сценарію експлуатації простий термін окупності DC-хабу становить 1,92 року (~1 рік і 11 місяців), що підтверджує високу інвестиційну привабливість розробленого інженерного рішення.

Запропоновані у кваліфікаційній роботі технічні рішення є збалансованими, відповідають вимогам чинних ДБН та ПУЕ України і можуть бути рекомендовані для практичного використання під час реального проєктування чи модернізації кабельних мереж та комунальної інфраструктури міста Кропивницький.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

2. Проектування електропостачальних систем загального призначення : навч. посіб. / за заг. ред. А. А. Маліновського. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 436 с. – ISBN 978-966-941-149-5.

3. Правила улаштування електроустановок : офіц. вид. / Міненерговугілля України; розроб.: ВП «Науково-проектний центр розвитку ОЕС України» ДП «НЕК «Укренерго» ; затв. та надано чинності наказом Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476. – Київ : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

4. Проектування систем забезпечення споживачів електричною енергією [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітніх програм «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» та «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 222 с. Документ за посиланням: <https://surl.ln/utazgu>.

5. Кузнецов В. Д., Тимофєєв С. І. Системи електропостачання : навч. посіб. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 204 с.

6. 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. – 208 с.

7. Офіційний сайт ПрАТ «Кіровоградобленерго»: <https://kiroe.com.ua/tarifi>

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

9. 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.

10. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навч. посіб. / Ю.І. Пиндус, Р.Р. Заверуха. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 209 с.

11. Колесніков В. О. Гібридні та електричні транспортні засоби. Підрозділ: «Водневий транспорт та водневі технології»: конспект лекцій з дисципліни «Гібридні та електричні транспортні засоби», для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня денної та заочної форм навчання спеціальності 015.38 «Професійна освіта» освітньої-професійної програми «Транспорт»/ В. О. Колесніков ; Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». – Полтава : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. – 118 с.
