

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи комплексного енергопостачання
та локального теплопостачання мікрорайону вул.
“Незалежності” м. Кропивницького
Development of a system for integrated power supply and
local heat supply for the district on Nezalezhnosti Street,
Kropyvnytskyi»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-23мб
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ І. Стрельцов
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
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 ЕТС та ЕМ

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2026 р.

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

_____ *Стрельцова Ігоря Вячеславовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи комплексного енергопостачання та локального теплопостачання мікрорайону вул. “Незалежності” м. Кропивницького*
Development of a system for integrated power supply and local heat supply for the district on Nezalezhnosti Street, Kropyvnytskyi

2. Керівник роботи *Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент*

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

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: розробка системи комплексного енергопостачання та локального теплопостачання мікрорайону вул. “Незалежності” м. Кропивницького.*

Завдання: 1. Вступ. Коротка характеристика об'єкту енергопостачання; 2. Розрахунок електричних навантажень; 3. Розрахунок теплових навантажень та побудова графіків теплового споживання; 4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції; 5. Побудова графіків електричних навантажень мікрорайону; 6. Побудова картограми електричних та теплових навантажень мікрорайону; 7. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання.; 8. Режими реактивної потужності системи електропостачання; 9. Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання; 10. Спеціальний розділ. Розробка системи локального теплопостачання; 11. Висновки; 12. Література.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ. Коротка характеристика об'єкту енергопостачання.</i>	<i>14.04</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>18.04</i>	
<i>3</i>	<i>Розрахунок теплових навантажень та побудова графіків теплового споживання</i>	<i>23.04</i>	
<i>4</i>	<i>Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції</i>	<i>27.04</i>	
<i>5</i>	<i>Побудова графіків електричних навантажень мікрорайону.</i>	<i>30.04</i>	
<i>6</i>	<i>Побудова картограми електричних та теплових навантажень мікрорайону</i>	<i>04.05</i>	
<i>7</i>	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання.</i>	<i>08.05</i>	
<i>8</i>	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>13.05</i>	
<i>9</i>	<i>Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	<i>18.05</i>	
<i>10</i>	<i>Спеціальний розділ. Розробка системи локального тепlopостачання</i>	<i>21.05</i>	
<i>11</i>	<i>Висновки. Література</i>	<i>28.05</i>	
<i>12</i>	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів</i>	<i>01.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Стрельцов І.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 80 с.; 15 рис.; 41 табл.; 6 джерел

Стрельцов І.В. Розробка системи комплексного енергопостачання та локального теплопостачання мікрорайону вул. “Незалежності” м. Кропивницького. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2026 рік.

В даній кваліфікаційній роботі розроблена системи комплексного енергопостачання та локального теплопостачання мікрорайону вул. «Незалежності» м. Кропивницького.

В роботі виконаний розрахунок електричних навантажень методом коефіцієнта участі у максимумі. Побудована картограма та графіки електричних навантажень. Розрахована компенсації реактивної потужності. До встановлення прийняті батареї конденсаторів на 0,4 кВ загальною потужністю 1370 квар, та на 10 кВ – 500 квар. На основі техніко-економічного розрахунку вибрана схема електропостачання кабельними лініями 10 кВ зі спорудженням центрального розподільчого пристрою 10 кВ.

Проведено розрахунок теплових навантажень на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання споживачів вул. Незалежності, побудовано річний графік споживання теплової енергії та графік за тривалістю. Проведено гідравлічний розрахунок теплової мережі, на основі якого було обрано діаметри трубопроводів. Проведено вибір теплової ізоляції трубопроводів.

В спеціальному розділі розглядалося питання розробки локальної системи теплопостачання кварталу вул. Незалежності, що найбільш віддалений від центру теплових навантажень. Пропонувалося в якості джерела теплової енергії використати газову котельню з 2 водогрійними котлами потужністю по 1,1 МВт.

Ключові слова: електричне навантаження, компенсація реактивної потужності, теплове навантаження, вибір енергетичного обладнання

ABSTRACT

Qualification work: 80 p.; 15 Fig.; 41 tables; 6 sources

Streltsov I.V. Development of a system for integrated power supply and local heat supply for the district on Nezalezhnosti Street, Kropyvnytskyi. - Manuscript.

Qualification work of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", EPP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

In this qualification work, a system of integrated power supply and local heat supply for the microdistrict of Nezalezhnosti Street, Kropyvnytskyi city, was developed.

The work performed a calculation of electrical loads using the maximum participation coefficient method. A cartogram and graphs of electrical loads were constructed. Reactive power compensation was calculated. Capacitor banks of 0.4 kV with a total capacity of 1370 kvar were adopted for installation, and 10 kV - 500 kvar. Based on the feasibility study, a power supply scheme using 10 kV cable lines with the construction of a 10 kV central switchgear was selected.

The calculation of heat loads for heating, ventilation and hot water supply of consumers of Nezalezhnosti Street was performed, an annual schedule of heat energy consumption and a schedule by duration were constructed. A hydraulic calculation of the heat network was performed, on the basis of which the diameters of pipelines were selected. The choice of thermal insulation of pipelines was made.

A special section considered the issue of developing a local heat supply system for the Nezalezhnosti Street quarter, which is the most remote from the center of heat loads. It was proposed to use a gas boiler room with 2 hot water boilers with a capacity of 1.1 MW each as a source of heat energy.

Key words: electrical load, reactive power compensation, thermal load, selection of power equipment

ЗМІСТ

1. Вступ. Коротка характеристика об'єкту енергопостачання.....	7
2. Розрахунок електричних навантажень	9
2.1. Розрахунок електричних навантажень житлових будинків та закладів культурно-побутового призначення	9
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень мікрорайону	11
2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах вище 1000 В	11
2.4. Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанцій.....	14
3. Розрахунок теплових навантажень та побудова графіків теплового споживання	16
3.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення.....	16
3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію.....	17
3.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання	18
3.4. Розрахунок та побудова графіків теплового споживання	21
4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції...	24
4.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі.....	24
4.2. Розрахунок теплової ізоляції	24
5. Побудова графіків електричних навантажень мікрорайону.....	31
6. Побудова картограми електричних та теплових навантажень мікрорайону...	36
7. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання.....	42
8. Режими реактивної потужності системи електропостачання	45
8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах.....	45
8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	45
9. Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання.....	53
9.1. Розрахунок струмів короткого замикання.....	53
9.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі	55
9.3. Вибір електричних апаратів високої напруги.....	57
9.4. Вибір трансформаторів власних потреб	59
10 Спеціальний розділ. Розробка системи локального теплопостачання	60
10.1. Розрахунок принципової схеми котельної	60
10.2. Тепловий розрахунок котельного агрегату	71
Висновки	79
Література	80

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					
Розроб.		Стрельцов І.В.			Розробка системи комплексного енергопостачання та локального теплопостачання мікрорайону вул. "Незалежності" м. Кропивницького			Літ.	Аркуш
Перевір.		Сіріков О.І.							
Н. Контр.		Сіріков О.І.							
Затв.		Плешков П.Г.							
								6	80
								ЦНТУ гр. ЕЕ-23мб	

1. Вступ. Коротка характеристика об'єкту енергопостачання.

Сучасне суспільство неможливо уявити без стабільного функціонування систем електро- та централізованого теплопостачання, які є критично важливими для життєдіяльності населених пунктів. Рациональне проектування міських енергетичних мереж безпосередньо впливає на ефективність роботи комунальних та промислових об'єктів.

Енергоспоживачі на вулиці Незалежності поділяються на дві ключові категорії: житловий сектор та установи суспільно-комунального призначення. Рівень споживання електрики у житлових будинках залежить від побутових потреб населення. Усі внутрішньобудинкові навантаження поділяють на індивідуальні (електроприлади в квартирах) та загальнобудинкові (насосне обладнання, ліфтові установки тощо).

Забезпечення будівель теплом для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання (ГВП) здійснюється через системи місцевого (локального) або централізованого теплопостачання. Якщо локальні системи обслуговують обмежену кількість споруд, то централізовані розраховані на забезпечення цілих житлових чи промислових масивів.

Метою цієї випускної кваліфікаційної роботи є освоєння методик розрахунку та проектування технічно надійних і економічно доцільних систем енергопостачання (електро- та тепломереж) для вулиці Незалежності відповідно до чинних нормативно-технічних вимог.

Характеристика об'єкта проектування

Згідно з чинними містобудівними нормами, класифікація міст залежить від кількості населення, а їхня територія поділяється на функціональні зони:

- житлову (селітебну);
- промислову;
- комунально-складську;
- зовнішнього транспорту.

Близько 70% міського простору займає селітебна зона, структура якої складається з мікрорайонів (із житловою забудовою та об'єктами щоденного

						Арк.
						7

обслуговування) та житлових районів (що об'єднують кілька мікрорайонів навколо культурно-побутового центру).

Місто Кропивницький із населенням близько 200 тисяч мешканців за чинною класифікацією належить до категорії середніх міст України.

Вулиця Незалежності у м. Кропивницькому представлена переважно житловою забудовою та дрібними комунально-побутовими закладами; промислові підприємства тут відсутні. З огляду на це, проектування інженерних мереж для даної вулиці охоплює такі рішення:

- Електропостачання: планується реалізувати від підстанції (ПС) «Кіровоградська», що розташована на відстані 2 км від об'єкта.
- Теплопостачання: покриття навантажень на опалення, вентиляцію та ГВП передбачається шляхом підключення до теплових мереж «Південно-Західної котельні».

Через значну протяжність вулиці окрему увагу в роботі приділено оцінці доцільності впровадження локального (автономного) теплопостачання для одного з кварталів, який є найбільш віддаленим від центрального теплового вузла.

2. Розрахунок електричних навантажень

2.1. Розрахунок електричних навантажень житлових будинків та закладів культурно-побутового призначення

Розрахунок електричних навантажень для міських споживачів проводиться за методикою викладеною в [1-3]. В якості прикладу розрахуємо електричне навантаження будинку за адресою Незалежності 16/17.

Розрахункове активне і реактивне навантаження 0,4 кВ для квартир на вводі в будинок

$$P_{p.kv} = P_{пит.kv} n_{kv} = 0,84 \cdot 112 = 94,1 \text{ кВт}; Q_{p.kv} = P_{p.kv} \operatorname{tg} \varphi_{kv} = 94,1 \cdot 0,29 = 27,3 \text{ квар.}$$

Розрахункове активне і реактивне навантаження для ліфтів:

$$P_{p.l} = k_{п.л} \sum_{i=1}^n n_{л} P_{л.i} = 0,8 \cdot 2 \cdot 7 = 11,2 \text{ кВт}, Q_{p.l} = P_{p.l} \operatorname{tg} \varphi_{л} = 11,2 \cdot 1,17 = 13,1 \text{ квар.}$$

Розрахункове активне і реактивне навантаження для санітарно-побутових пристроїв (насосів):

$$P_{p.cпп} = k_{п.cпп} \sum_{i=1}^n n_{спп} P_{спп.i} = 1 \cdot 2 \cdot 9 = 18,0 \text{ кВт}, Q_{p.cпп} = P_{p.cпп} \operatorname{tg} \varphi_{спп} = 18,0 \cdot 0,75 = 13,5 \text{ квар.}$$

Розрахункове активне навантаження на вводі житлового будинку Незалежності 16/17:

$$P_{p.буд} = P_{p.kv} + k_{н.м} (P_{p.l} + P_{p.cпп}) = 94,1 + 0,9 \cdot (11,2 + 13,5) = 120,4 \text{ кВт},$$

а реактивне:

$$Q_{p.буд} = Q_{p.kv} + k_{н.м} (Q_{p.l} + Q_{p.cпп}) = 27,3 + 0,9 \cdot (13,1 + 13,5) = 51,2 \text{ квар},$$

повне навантаження:

$$S_{p.буд} = \sqrt{P_{p.буд}^2 + Q_{p.буд}^2} = \sqrt{120,4^2 + 51,2^2} = 130,8 \text{ кВА.}$$

Розрахунок електричних навантажень житлових будинків наведено в табл. 2.1.

Розрахунок електричних навантажень закладів культурно-побутового призначення наведені в табл. 2.2.

						Арк.
						9

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень житлових будинків до 1 кВ

№ з/п	Адреса будинку	Квартири					Ліфти					Санітарно-побутові пристрої					Розрах. навант.				
		К-сть	P_0 , кВт/кв	$P_{р.кв.}$, кВт	$tg\phi_{кв}$	$Q_{р.кв.}$, квар	К-сть	$P_{н.л.}$, кВт	$k_{п.л.}$	$P_{р.л.}$, кВт	$tg\phi_{л}$	$Q_{р.л.}$, квар	К-сть	$P_{н.сп.}$, кВт	$k_{п.сп.}$	$P_{р.сп.}$, кВт	$tg\phi_{сп.}$	$Q_{р.сп.}$, квар	P_r , кВт	Q_r , квар	S_r , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Незалежності 16/17	112	0,84	94,1	0,29	27,3	2	7	0,8	11,2	1,17	13,1	2	9	1	18,0	0,75	13,5	120,4	51,2	130,8
2	Незалежності 18 к.1	64	1,03	65,9	0,29	19,1	2	7	0,8	11,2	1,17	13,1	2	9	1	18,0	0,75	13,5	92,2	43,1	101,8
3	Незалежності 18 к.2	80	0,95	76,0	0,29	22,0	2	7	0,8	11,2	1,17	13,1	2	9	1	18,0	0,75	13,5	102,3	46,0	112,1
4	Незалежності 18 к.3	80	0,95	76,0	0,29	22,0	2	7	0,8	11,2	1,17	13,1	2	9	1	18,0	0,75	13,5	102,3	46,0	112,1
5	Незалежності 18 к.4	80	0,95	76,0	0,29	22,0	2	7	0,8	11,2	1,17	13,1	2	9	1	18,0	0,75	13,5	102,3	46,0	112,1
6	Незалежності 7 к.1	180	0,79	142,2	0,29	41,2	5	7	0,7	24,5	1,17	28,7	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	196,7	91,3	216,8
7	Незалежності 7 к.2	144	0,81	116,6	0,29	33,8	4	7	0,7	19,6	1,17	22,9	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	161,8	75,1	178,4
8	Незалежності 20 к.1	180	0,79	142,2	0,29	41,2	5	7	0,7	24,5	1,17	28,7	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	196,7	91,3	216,8
9	Незалежності 20 к.2	108	0,84	90,7	0,29	26,3	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	127,7	60,4	141,3
10	Незалежності 20 к.3	108	0,84	90,7	0,29	26,3	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	127,7	60,4	141,3
11	Незалежності 20 к.4	60	1,05	63,0	0,29	18,3	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	90,5	38,9	98,6
12	Незалежності 22 к.1	48	1,14	54,7	0,29	15,9	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	82,3	36,5	90,0
13	Незалежності 22 к.2	108	0,84	90,7	0,29	26,3	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	127,7	60,4	141,3
14	Незалежності 9а	216	0,77	166,3	0,29	48,2	6	7	0,65	27,3	1,17	31,9	6	9	0,78	42,1	0,75	31,6	228,8	105,4	251,9
15	Незалежності 9/1	180	0,79	142,2	0,29	41,2	5	7	0,7	24,5	1,17	28,7	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	196,7	91,3	216,8
16	Незалежності 9/3	40	1,2	48,0	0,29	13,9	0	7	0	0	1,17	0,0	2	9	1	18,0	0,75	13,5	64,2	26,1	69,3
17	Незалежності 11 к.2	60	1,05	63,0	0,29	18,3	0	7	0	0	1,17	0,0	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	84,9	34,7	91,7
18	Незалежності 11/3	216	0,77	166,3	0,29	48,2	6	7	0,65	27,3	1,17	31,9	6	9	0,78	42,1	0,75	31,6	228,8	105,4	251,9
19	Незалежності 9	90	0,9	81,0	0,29	23,5	0	7	0	0	1,17	0,0	6	9	0,78	42,1	0,75	31,6	118,9	51,9	129,7
20	Незалежності 13/1	180	0,79	142,2	0,29	41,2	5	7	0,7	24,5	1,17	28,7	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	196,7	91,3	216,8
21	Незалежності 15	180	0,79	142,2	0,29	41,2	5	7	0,7	24,5	1,17	28,7	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	196,7	91,3	216,8
22	Незалежності 15/2	75	0,98	73,5	0,29	21,3	0	7	0	0	1,17	0,0	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	105,9	45,6	115,3
23	Незалежності 13/2	144	0,81	116,6	0,29	33,8	4	7	0,7	19,6	1,17	22,9	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	161,8	75,1	178,4
24	Незалежності 17	72	0,99	71,3	0,29	20,7	2	7	0,8	11,2	1,17	13,1	2	9	1	18,0	0,75	13,5	97,6	44,6	107,3
25	Незалежності 24 к.1	144	0,81	116,6	0,29	33,8	4	7	0,7	19,6	1,17	22,9	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	161,8	75,1	178,4
26	Незалежності 24 к.2	108	0,84	90,7	0,29	26,3	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	127,7	60,4	141,3
27	Незалежності 26 к.1	180	0,79	142,2	0,29	41,2	5	7	0,7	24,5	1,17	28,7	5	9	0,8	36,0	0,75	27,0	196,7	91,3	216,8
35	Незалежності 26 к.2	108	0,84	90,7	0,29	26,3	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	127,7	60,4	141,3
29	Незалежності 26 к.3	108	0,84	90,7	0,29	26,3	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	127,7	60,4	141,3
30	Незалежності 26 к.4	45	1,16	52,2	0,29	15,1	0	7	0	0	1,17	0,0	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	74,1	31,5	80,5
31	Незалежності 26 к.5	45	1,16	52,2	0,29	15,1	0	7	0	0	1,17	0,0	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	74,1	31,5	80,5
Всього																			4201,0	1920,3	4619,5

Таблиця 2.2. Розрахунок електричних навантажень закладів культурно-побутового призначення до 1 кВ

№ з/п	Назва	Од. вим.	К-сть одиниць	М, кВт/од	tgj	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1.	Магазин АТБ	кВт/м ²	1560,0	0,13	0,75	202,8	152,1	253,5
2.	Поліклініка №5	кВт/хворого	400,0	0,1	0,43	40,0	17,2	43,5
3.	Аптека	кВт/м ²	520,0	0,08	0,43	41,6	17,9	45,3
4.	КРЕП №10	кВт/м ²	864,0	0,1	0,75	86,4	64,8	108,0
5.	Пошта	кВт/м ²	416,0	0,1	0,75	41,6	31,2	52,0
6.	Магазин Ятрань	кВт/м ²	760,0	0,13	0,75	98,8	74,1	123,5
7.	Школа №35	кВт/учня	2000,0	0,14	0,43	280,0	120,4	304,8
8.	Магазин Август	кВт/м ²	1040,0	0,1	0,43	104,0	44,7	113,2
	Всього					895,2	522,4	1036,5

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень мікрорайону

Розрахунок освітлювального навантаження мікрорайону вул. Незалежності проведемо за методикою викладеною в [1-3]. Розрахунок освітлювальних навантажень проведено в табличній формі табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Розрахунок освітлювальних навантажень

№ з/п	Назва	F, га (L, км)	P ₀ , кВт/га (кВт/км)	P _{вст} , кВт	K _п	K ₁	cosj	tgj	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1.	Освітлення вул. Незалежності	0,920	40	36,80	0,90	1,12	0,50	1,73	37,09	64,25	74,19
2.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 1	0,500	8,2	4,10	0,90	1,12	0,50	1,73	4,13	7,16	8,27
3.	-//- № 2	0,600	8,2	4,92	0,90	1,12	0,50	1,73	4,96	8,59	9,92
4.	-//- № 3	0,600	8,2	4,92	0,90	1,12	0,50	1,73	4,96	8,59	9,92
5.	-//- № 4	0,600	8,2	4,92	0,90	1,12	0,50	1,73	4,96	8,59	9,92
6.	-//- № 5	0,700	8,2	5,74	0,90	1,12	0,50	1,73	5,79	10,02	11,57
7.	-//- № 6	0,600	8,2	4,92	0,90	1,12	0,50	1,73	4,96	8,59	9,92
8.	-//- № 7	0,520	8,2	4,26	0,90	1,12	0,50	1,73	4,30	7,44	8,60
9.	-//- № 8	0,700	8,2	5,74	0,90	1,12	0,50	1,73	5,79	10,02	11,57

2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах вище 1000 В

Розрахунок електричного навантаження високовольтних мереж проведемо за методикою з [1-3]. Результати цього розрахунку наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Розрахунок електричних навантажень вище 1 кВ

№ з/п	Назва об'єкту	$K_{у.м}$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6
ТП1					
1.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 1	1,00	4,13	7,16	8,27
2.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 3	1,00	4,96	8,59	9,92
3.	Незалежності 18 к.1	1,00	92,20	43,06	101,76
4.	Незалежності 18 к.2	1,00	102,28	45,98	112,14
5.	Незалежності 18 к.3	1,00	102,28	45,98	112,14
6.	Незалежності 18 к.4	1,00	102,28	45,98	112,14
7.	Незалежності 16/17	1,00	120,36	51,23	130,81
Всього на шинах 0,4 кВ ТП1			528,49	247,99	583,78
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400 ▼					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,73					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,76	35,98	
Всього на шинах 10 кВ ТП1			537,25	283,97	607,68
ТП2					
1.	Незалежності 20 к.1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 20 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
3.	Незалежності 20 к.3	1,00	127,71	60,40	141,27
4.	Незалежності 20 к.4	1,00	90,54	38,93	98,55
5.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 4	1,00	4,96	8,59	9,92
Всього на шинах 0,4 кВ ТП2			547,57	259,65	606,01
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400 ▼					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,76					
Втрати потужності в трансформаторах:			9,25	37,59	
Всього на шинах 10 кВ ТП2			556,82	297,25	631,20
ТП3					
1.	Незалежності 24 к.1	1,00	161,82	75,12	178,41
2.	Незалежності 22 к.1	1,00	82,26	36,52	90,00
3.	Незалежності 22 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
4.	Незалежності 24 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
5.	Аптека	0,60	41,60	17,89	45,28
6.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 6	1,00	4,96	8,59	9,92
Всього на шинах 0,4 кВ ТП3			529,42	251,77	586,24
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400 ▼					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,73					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,76	35,98	
Всього на шинах 10 кВ ТП3			538,18	287,75	610,28
ТП4					
1.	Незалежності 26 к.1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 26 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
3.	Незалежності 26 к.3	1,00	127,71	60,40	141,27
4.	Незалежності 26 к.4	1,00	74,07	31,54	80,51

Продовження табл. 2.4.

1	2	3	4	5	6
Всього на шинах 0,4 кВ ТП4			526,14	243,68	579,83
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400 ▼					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,72					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,60	35,46	
Всього на шинах 10 кВ ТП4			534,74	279,14	603,22
ТП5					
1.	Школа №35	1,00	280,00	120,40	304,79
2.	Незалежності 26 к.5	0,40	74,07	31,54	80,51
3.	Магазин Август	0,80	104,00	44,72	113,21
4.	Незалежності 17	0,40	97,56	44,61	107,28
5.	Незалежності 15	0,40	196,65	91,34	216,83
6.	Незалежності 15/2	0,40	105,90	45,62	115,31
7.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 7	1,00	4,30	7,44	8,60
7.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 8	1,00	5,79	10,02	11,57
Всього на шинах 0,4 кВ ТП5			562,96	240,64	612,23
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400 ▼					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,77					
Втрати потужності в трансформаторах:			9,42	38,14	
Всього на шинах 10 кВ ТП5			572,38	278,78	636,66
ТП6					
1.	Незалежності 11/3	1,00	228,80	105,41	251,91
2.	Незалежності 13/1	1,00	196,65	91,34	216,83
3.	Незалежності 13/2	1,00	161,82	75,12	178,41
Всього на шинах 0,4 кВ ТП6			587,27	271,87	647,14
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400 ▼					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,81					
Втрати потужності в трансформаторах:			10,12	40,42	
Всього на шинах 10 кВ ТП6			597,39	312,29	674,09
ТП7					
1.	Незалежності 9а	1,00	228,80	105,41	251,91
2.	Незалежності 11 к.2	1,00	84,87	34,67	91,68
3.	Пошта	0,80	41,60	31,20	52,00
4.	Незалежності 9	1,00	118,91	51,92	129,75
5.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 5	1,00	5,79	10,02	11,57
6.	Магазин Ятрань	0,80	98,80	74,10	123,50
Всього на шинах 0,4 кВ ТП7			550,68	286,27	620,64
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400 ▼					

Продовження табл. 2.4.					
1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,78					
Втрати потужності в трансформаторах:			9,59	38,70	
Всього на шинах 10 кВ ТП7			560,27	324,97	647,70
ТП8					
1.	Незалежності 9/1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 9/3	1,00	64,20	26,07	69,29
3.	КРЕП №10	0,50	86,40	64,80	108,00
4.	Поліклініка №5	0,60	40,00	17,20	43,54
5.	Магазин АТБ	0,80	202,80	152,10	253,50
6.	Освітлення вул. Незалежності	1,00	37,09	64,25	74,19
Всього на шинах 0,4 кВ ТП8			527,38	346,05	630,78
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,79					
Втрати потужності в трансформаторах:			9,77	39,27	
Всього на шинах 10 кВ ТП8			537,15	385,32	661,06
ТП9					
1.	Незалежності 7 к.1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 7 к.2	1,00	161,82	75,12	178,41
3.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 2	1,00	4,96	8,59	9,92
Всього на шинах 0,4 кВ ТП9			363,43	175,05	403,39
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,5					
Втрати потужності в трансформаторах:			5,65	25,80	
Всього на шинах 10 кВ ТП9			369,08	200,85	420,19
Всього на шинах 10 кВ по об'єкту		0,80	3842,61	2120,25	4388,75
Попереднє значення компенсації				-1543,86	
Всього з урахуванням попер. компенс.			3842,61	576,39	3885,60

2.4. Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанцій

Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанцій мікрорайону проведемо за методикою з [5].

Приводимо приклад розрахунку та вибору трансформаторів для ТП-1.

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі для ТП-1:

$$K_{\text{зн}} = \frac{S_{\text{ТП1}}}{n_{\text{ТП}} S_{\text{нт1}}} = \frac{583,78}{2 \cdot 400} = 0,73$$

де $S_{ТП1}$ – повна потужність підстанції, кВА; $n_{ТП}$ – кількість трансформаторів, шт;
 $S_{нт1}$ – номінальна потужність трансформатора ТП1, кВА.

Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі (без урахування компенсації):

$$K_{за} = \frac{S_{ТП1}}{S_{нт1}} = \frac{379,95}{250} = 1,52 \quad \frac{583,78}{400} = 1,46.$$

Розрахунки для інших ТП зводимо в табл. 2.5

Таблиця 2.5. Розрахунок навантаження трансформаторних підстанцій мікрорайону вул. Незалежності.

№ ТП	Повна розрахункова потужність ТП, $S_{ТП}$, кВА	Встановлена розрахункова потужність трансформатора, $S_{нт}$, кВА	Тип трансформатора	Коефіцієнт завантаження трансформатора	
				В норм. режимі, $K_{зн}$	В авар. режимі, $K_{за}$
1	583,78	2×400	ТМ400-10/0,4	0,73	1,46
2	606,01	2×400	-//-	0,76	1,52
3	586,24	2×400	-//-	0,73	1,47
4	579,83	2×400	-//-	0,72	1,45
5	612,23	2×400	-//-	0,77	1,53
6	647,14	2×400	-//-	0,81	1,62
7	620,64	2×400	-//-	0,78	1,55
8	630,78	2×400	-//-	0,79	1,58
9	403,39	2×400	-//-	0,50	1,01

3. Розрахунок теплових навантажень та побудова графіків теплового споживання

3.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення

Розрахунок теплового навантаження на опалення проводимо за методикою викладеною в [4]. Виконаємо розрахунок теплових навантажень на опалення для будівлі Незалежності 16/17. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $q_o = 0,37 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $V_3 = 16500 \text{ м}^3$.

Теплове навантаження на опалення:

$$Q_o^p = (1 + \mu) q_o V_3 (t_{в.р.} - t_{р.о.}) = (1 + 0,25) \cdot 0,37 \cdot 16500 \cdot (16 - (-21)) = 238,1 \text{ кВт.}$$

Розрахунок теплового навантаження на опалення інших будівель здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку теплових навантажень на опалення

№ з/п	Назва будівлі	V, тис.м ³	q _o , Вт/м ³ °C	t _{о.р.} , °C	Q _o ^p , кВт
1	2	3	4	5	6
1	Незалежності 16/17	16,5	0,37	18	238,10
2	Незалежності 18 к.1	16,5	0,37	18	238,10
3	Незалежності 18 к.2	16,5	0,37	18	238,10
4	Незалежності 18 к.3	16,5	0,37	18	238,10
5	Незалежності 18 к.4	16,5	0,37	18	238,10
6	Незалежності 7 к.1	41,25	0,32	18	514,80
7	Незалежності 7 к.2	33	0,32	18	411,84
8	Незалежності 20 к.1	41,25	0,32	18	514,80
9	Незалежності 20 к.2	24,75	0,35	18	337,84
10	Незалежності 20 к.3	24,75	0,35	18	337,84
11	Незалежності 20 к.4	18,48	0,37	18	266,67
12	Незалежності 22 к.1	18,48	0,37	18	266,67
13	Незалежності 22 к.2	24,75	0,35	18	337,84
14	Незалежності 9а	49,5	0,32	18	617,76
15	Незалежності 9/1	41,25	0,32	18	514,80
16	Незалежності 9/3	9,24	0,41	18	147,75
17	Незалежності 11 к.2	13,86	0,39	18	210,81
18	Незалежності 11/3	49,5	0,32	18	617,76
19	Незалежності 9	27,72	0,34	18	367,57
20	Незалежності 13/1	41,25	0,32	18	514,80
21	Незалежності 15	41,25	0,32	18	514,80

1	2	3	4	5	6
22	Незалежності 15/2	23,1	0,35	18	315,32
23	Незалежності 13/2	33	0,32	18	411,84
24	Незалежності 17	16,5	0,37	18	238,10
25	Незалежності 24 к.1	33	0,32	18	411,84
26	Незалежності 24 к.2	24,75	0,35	18	337,84
27	Незалежності 26 к.1	41,25	0,32	18	514,80
28	Незалежності 26 к.2	24,75	0,35	18	337,84
29	Магазин АТБ	6,24	0,5	16	115,44
30	Поліклініка №5	29,72	0,35	16	384,87
31	Аптека	1,56	0,5	16	28,86
32	КРЕП №10	5,184	0,5	20	106,27
33	Пошта	1,664	0,5	20	34,11
34	Магазин Ятрань	3,04	0,5	16	56,24

3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію

Виконаємо розрахунок теплових навантажень на вентиляцію для будівлі Магазину АТБ. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $q_v = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $V_z = 6240 \text{ м}^3$.

Теплове навантаження на опалення, кВт:

$$Q_v^p = q_v V_z (t_{в.р.} - t_{п.в.}) = 0,5 \cdot 6240 \cdot (16 - (-9)) = 78 \text{ кВт.}$$

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію інших будівель здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Результати розрахунку теплових навантажень на вентиляцію

№ з/п	Назва будівлі	V_z , тис.м ³	q_v , Вт/м ³ °C	$t_{в.р.}$, °C	Q_v^p , кВт
1	Магазин АТБ	6,24	0,5	16	78,00
2	Поліклініка №5	29,72	0,35	20	301,66
3	Аптека	1,56	0,5	20	22,62
4	КРЕП №10	5,184	0,5	16	64,80
5	Пошта	1,664	0,5	16	20,80
6	Магазин Ятрань	3,04	0,5	16	38,00
7	Школа №35	19,44	0,38	20	214,23
8	Магазин Август	5,2	0,5	16	65,00

3.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання

Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання проводимо за методикою викладеною в [4]. В якості прикладу виконаємо розрахунок для будинку за адресою Незалежності 16/17. Дані для розрахунку: $a = 120 \text{ м}^3/(\text{доба} \cdot \text{житель})$; $m = 336 \text{ жителів}$; $t_{\Gamma} = 65^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{х.з.}} = 5^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{х.л.}} = 15^{\circ}\text{C}$; $\beta = 0,8$; $\chi = 2$.

Середньогодинне навантаження на гаряче водопостачання в зимовий період:

$$Q_{\Gamma.з.}^{\text{сер.т.}} = \frac{amc_{\text{в}}(t_{\Gamma} - t_{\text{х}})}{n_{\text{с}}} = \frac{120 \cdot 336 \cdot 4190(55 - 5)}{24 \cdot 3600} = 117,32 \text{ кВт.}$$

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання в літній період:

$$Q_{\Gamma.л.}^{\text{сер.т.}} = Q_{\Gamma.з.}^{\text{сер.т.}} \cdot \frac{t_{\Gamma} - t_{\text{х.л.}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{х.з.}}} \beta = 117,32 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 78,21 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в зимовий період:

$$Q_{\Gamma.в.}^{\text{max}} = \chi Q_{\Gamma.з.}^{\text{сер.т.}} = 2 \cdot 117,32 = 234,64 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в літній період, кВт:

$$Q_{\Gamma.л.}^{\text{max}} = \chi Q_{\Gamma.л.}^{\text{сер.т.}} = 2 \cdot 78,21 = 156,43 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання для інших будівель наведені в табл. 3.3.

Загальне максимальне теплове навантаження наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.3. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання

№ з/п	Назва будівлі	а, л/од.	т, од.	$Q_{г.з.}^{сер.т.}$ кВт	$Q_{г.л.}^{сер.т.}$ кВт	$Q_{г.з.}^{max}$ кВт	$Q_{г.л.}^{max}$ кВт
1	Незалежності 16/17	120	336	117,32	78,21	234,64	156,43
2	Незалежності 18 к.1	120	192	67,04	44,69	134,08	89,39
3	Незалежності 18 к.2	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
4	Незалежності 18 к.3	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
5	Незалежності 18 к.4	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
6	Незалежності 7 к.1	120	540	188,55	125,70	377,10	251,40
7	Незалежності 7 к.2	120	432	150,84	100,56	301,68	201,12
8	Незалежності 20 к.1	120	540	188,55	125,70	377,10	251,40
9	Незалежності 20 к.2	120	324	113,13	75,42	226,26	150,84
10	Незалежності 20 к.3	120	324	113,13	75,42	226,26	150,84
11	Незалежності 20 к.4	120	180	62,85	41,90	125,70	83,80
12	Незалежності 22 к.1	120	144	50,28	33,52	100,56	67,04
13	Незалежності 22 к.2	120	324	113,13	75,42	226,26	150,84
14	Незалежності 9а	120	648	226,26	150,84	452,52	301,68
15	Незалежності 9/1	120	540	188,55	125,70	377,10	251,40
16	Незалежності 9/3	120	120	41,90	27,93	83,80	55,87
17	Незалежності 11 к.2	120	180	62,85	41,90	125,70	83,80
18	Незалежності 11/3	120	648	226,26	150,84	452,52	301,68
19	Незалежності 9	120	270	94,28	62,85	188,55	125,70
20	Незалежності 13/1	120	540	188,55	125,70	377,10	251,40
21	Незалежності 15	120	540	188,55	125,70	377,10	251,40
22	Незалежності 15/2	120	225	78,56	52,38	157,13	104,75
23	Незалежності 13/2	120	432	150,84	100,56	301,68	201,12
24	Незалежності 17	120	216	75,42	50,28	150,84	100,56
25	Незалежності 24 к.1	120	432	150,84	100,56	301,68	201,12
26	Незалежності 24 к.2	120	324	113,13	75,42	226,26	150,84
27	Незалежності 26 к.1	120	540	188,55	125,70	377,10	251,40
28	Незалежності 26 к.2	120	324	113,13	75,42	226,26	150,84
29	Незалежності 26 к.3	120	324	113,13	75,42	226,26	150,84
30	Незалежності 26 к.4	120	135	47,14	31,43	94,28	62,85
31	Незалежності 26 к.5	120	135	47,14	31,43	94,28	62,85
32	Магазин АТБ	5	20	0,29	0,19	0,58	0,39
33	Поліклініка №5	5	400	5,82	3,88	11,64	7,76
34	Аптека	5	10	0,15	0,10	0,29	0,19
35	КРЕП №10	5	30	0,44	0,29	0,87	0,58
36	Пошта	5	25	0,36	0,24	0,73	0,48
37	Магазин Ятрань	5	20	0,29	0,19	0,58	0,39
38	Школа №35	7	2000	40,74	27,16	81,47	54,31
39	Магазин Август	5	15	0,22	0,15	0,44	0,29
	Всього					4420,25	2946,83

Таблиця 3.4. Загальне теплове навантаження.

№ з/п	Назва будівлі	Q _о , кВт	Q _в , кВт	Q _{гвп} , кВт	Q _{сум} , кВт
1	2	3	4	5	6
1	Незалежності 16/17	238,10	0,00	234,64	472,74
2	Незалежності 18 к.1	238,10	0,00	134,08	372,18
3	Незалежності 18 к.2	238,10	0,00	167,60	405,70
4	Незалежності 18 к.3	238,10	0,00	167,60	405,70
5	Незалежності 18 к.4	238,10	0,00	167,60	405,70
6	Незалежності 7 к.1	514,80	0,00	377,10	891,90
7	Незалежності 7 к.2	411,84	0,00	301,68	713,52
8	Незалежності 20 к.1	514,80	0,00	377,10	891,90
9	Незалежності 20 к.2	337,84	0,00	226,26	564,10
10	Незалежності 20 к.3	337,84	0,00	226,26	564,10
11	Незалежності 20 к.4	266,67	0,00	125,70	392,37
12	Незалежності 22 к.1	266,67	0,00	100,56	367,23
13	Незалежності 22 к.2	337,84	0,00	226,26	564,10
14	Незалежності 9а	617,76	0,00	452,52	1070,28
15	Незалежності 9/1	514,80	0,00	377,10	891,90
16	Незалежності 9/3	147,75	0,00	83,80	231,55
17	Незалежності 11 к.2	210,81	0,00	125,70	336,51
18	Незалежності 11/3	617,76	0,00	452,52	1070,28
19	Незалежності 9	367,57	0,00	188,55	556,12
20	Незалежності 13/1	514,80	0,00	377,10	891,90
21	Незалежності 15	514,80	0,00	377,10	891,90
22	Незалежності 15/2	315,32	0,00	157,13	472,44
23	Незалежності 13/2	411,84	0,00	301,68	713,52
24	Незалежності 17	238,10	0,00	150,84	388,94
25	Незалежності 24 к.1	411,84	0,00	301,68	713,52
26	Незалежності 24 к.2	337,84	0,00	226,26	564,10
27	Незалежності 26 к.1	514,80	0,00	377,10	891,90
28	Незалежності 26 к.2	337,84	0,00	226,26	564,10
29	Незалежності 26 к.3	337,84	0,00	226,26	564,10
30	Незалежності 26 к.4	210,81	0,00	94,28	305,09
31	Незалежності 26 к.5	210,81	0,00	94,28	305,09
32	Магазин АТБ	115,44	78,00	0,58	194,02
33	Поліклініка №5	384,87	301,66	11,64	698,17

1	2	3	4	5	6
34	Аптека	28,86	22,62	0,29	51,77
35	КРЕП №10	106,27	64,80	0,87	171,94
36	Пошта	34,11	20,80	0,73	55,64
37	Магазин Ятрань	56,24	38,00	0,58	94,82
38	Школа №35	273,33	214,23	81,47	569,03
39	Магазин Август	96,20	65,00	0,44	161,64
	Всього	7286,76	740,11	4420,25	12447,12

3.4. Розрахунок та побудова графіків теплового споживання

Розрахунок та побудову графіків теплового споживання проводимо за методикою викладеною в [4].

Визначимо годинні витрати на опалення і вентиляцію за температури повітря зовні $t_3 = +8$ °C:

$$Q_o = Q_o^p \left(\frac{t_{в.р.} - t_3}{t_{в.р.} - t_{п.о.}} \right) = 7286,76 \cdot \left(\frac{16 - 8}{16 + 21} \right) = 1575,5 \text{ кВт};$$

$$Q_v = Q_v^p \left(\frac{t_{в.р.} - t_3}{t_{в.р.} - t_{п.в.}} \right) = 740,11 \cdot \left(\frac{16 - 8}{16 + 21} \right) = 160 \text{ кВт}.$$

Графіки споживання теплової енергії для мікрорайону вул. Незалежності за тривалістю наведені на рис. 3.1. Середньогодинне значення витрати теплоти в січні:

– на опалення

$$Q_o^{січ} = Q_o^p \left(\frac{t_{в.р.} - t_{сп}^{січ}}{t_{в.р.} - t_{п.о.}} \right) = 7286,76 \cdot \frac{16 + 5,9}{16 + 21} = 4313 \text{ кВт},$$

– на вентиляцію

$$Q_v^{січ} = Q_v^p \left(\frac{t_{в.р.} - t_{сп}^{січ}}{t_{в.р.} - t_{п.в.}} \right) = 740,11 \cdot \frac{16 + 5,9}{16 + 9} = 648 \text{ кВт}.$$

Сумарне значення витрати теплоти на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання в січні для мікрорайону вул. Незалежності:

$$Q_{\Sigma}^{січ} = Q_o^p + Q_v^p + Q_{г.з.}^{max} = 4313 + 648 + 4420,25 = 9381,25 \text{ кВт}.$$

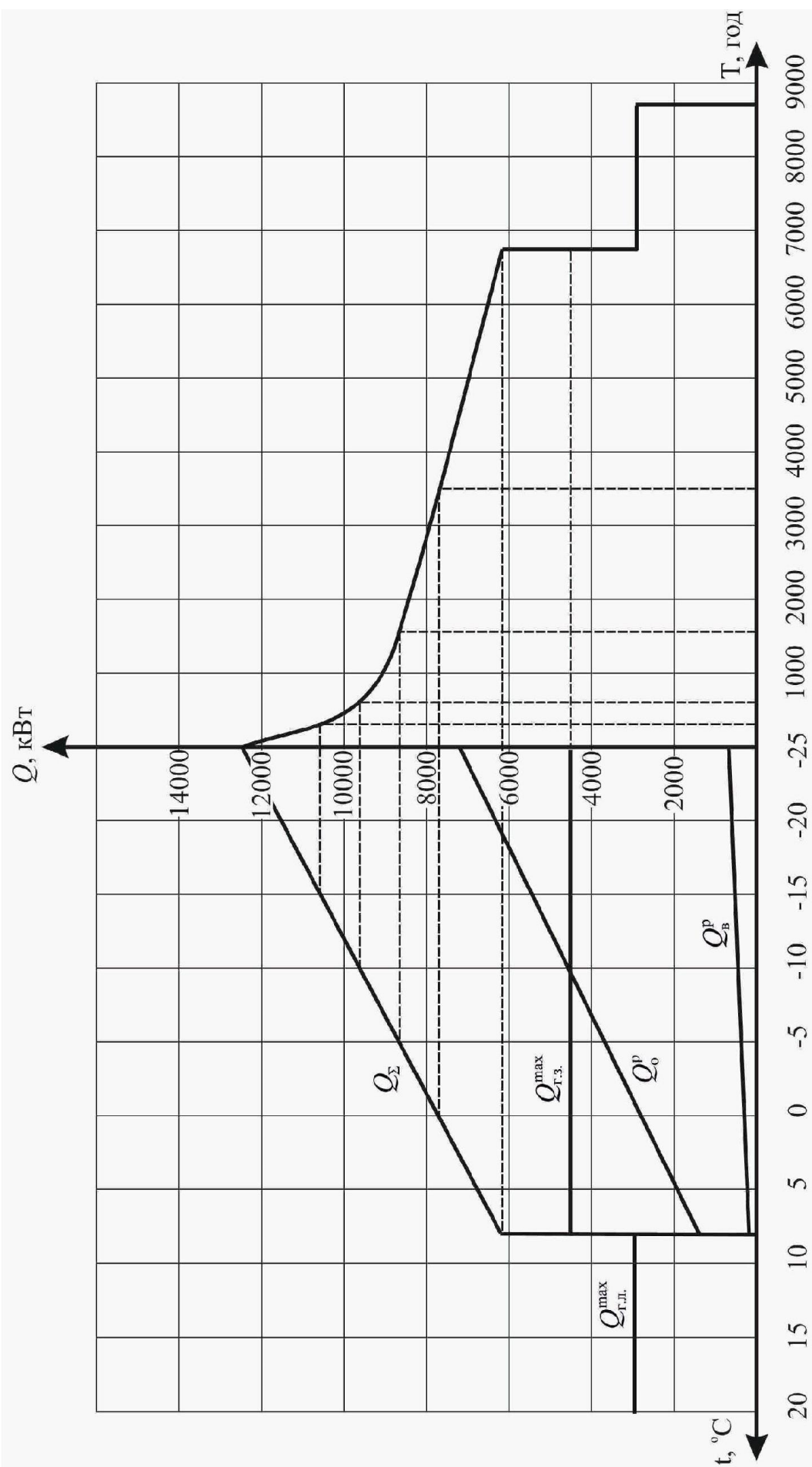


Рис. 3.1. Графіки споживання теплової енергії за тривалістю.

Розрахунок витрати теплоти для інших місяців та будівель проводиться аналогічно. Результати розрахунку наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Середньогодинні витрати теплоти по місяцям року.

$t_p, ^\circ\text{C}$	$Q_{oP}, \text{кВт}$	$Q_{вP}, \text{кВт}$	$Q_{г.з.}, \text{кВт}$	$Q_{г.л.}, \text{кВт}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	7286,76	740,11	4420,25	2946,83	9382	9223	8136	6346	2947	2947	2947	2947	2947	6346	7773	8838

Річний графік споживання теплової енергії по місяцям приведено на рис. 3.2.

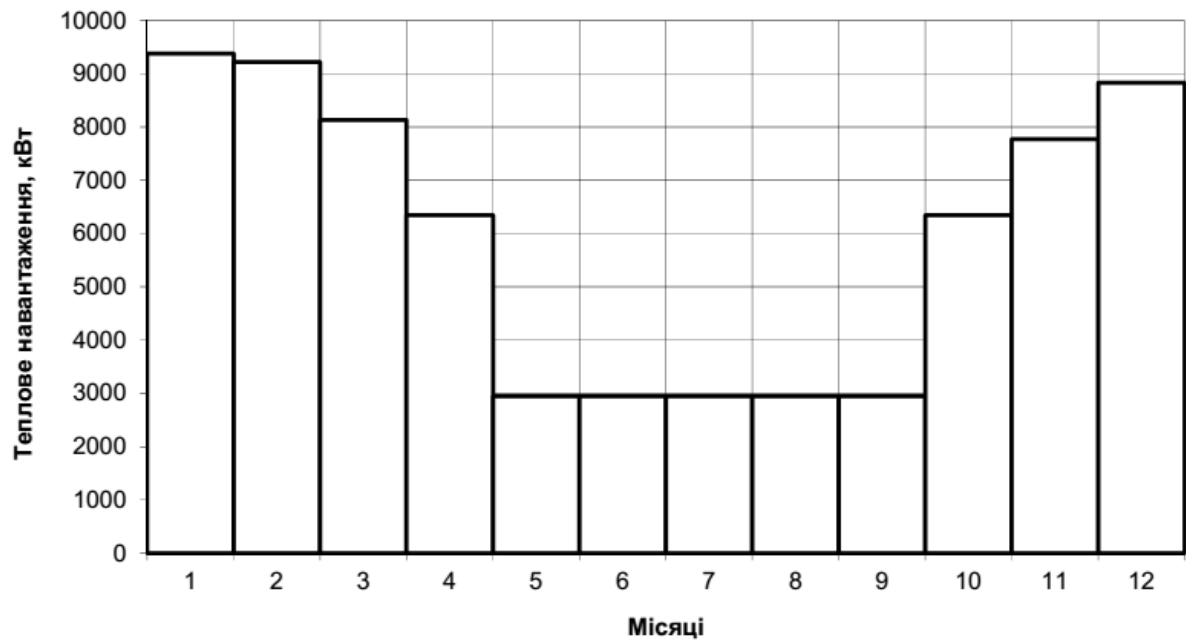


Рис. 3.2. Річний графік споживання теплової енергії мікрорайону по місяцям.

4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції

4.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

Гідравлічний розрахунок проводимо за методикою викладеною в [4]. В цьому ж розділі наводимо лише підсумкові розрахункові таблиці.

В якості прикладу проведемо розрахунок витрат води для будинку Незалежності 16/17.

Витрата води на опалення, кг/с:

$$G_o^{\max} = \frac{Q_o^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{238,1}{4,19(95 - 70)} = 2,27.$$

Витрата води на вентиляцію, кг/с:

$$G_B^{\max} = \frac{Q_B^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{0}{4,19(95 - 70)} = 0.$$

Витрати води на гаряче водопостачання, кг/с:

$$G_{Г.В}^{\max} = \frac{Q_{Г.В}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{234,64}{4,19(65 - 15)} = 1,12.$$

Сумарна витрата води, кг/с:

$$G_{\Sigma} = G_o^{\max} + G_B^{\max} + G_{Г.В}^{\max} = 2,27 + 0 + 1,12 = 3,39.$$

Результати розрахунку витрати води для інших будівель наведено в табл. 4.1. Результати гідравлічного розрахунку теплової мережі наведено в табл. 4.2.

4.2. Розрахунок теплової ізоляції

Приймемо до використання безканальну прокладку теплових мереж. Глибина прокладання 80 см. Відстань між осями труб 40 см. Ґрунт середньої вологості. Розрахунок проведено у вигляді табл. 4.3.

При розрахунках прийнято:

$$\lambda_{iz} = 0,033 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_{пе} = 0,43 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

Температура ґрунту $t_r = 2 \text{ °C}$.

Таблиця 4.1. Результати розрахунку витрат води

№ з/п	Назва будівлі	$G_o^{\max}$, кг/с	$G_B^{\max}$, кг/с	$G_{Г.В}^{\max}$, кг/с	G_{Σ} , кг/с
1	Незалежності 16/17	2,27	0,00	1,12	3,39
2	Незалежності 18 к.1	2,27	0,00	0,64	2,91
3	Незалежності 18 к.2	2,27	0,00	0,80	3,07
4	Незалежності 18 к.3	2,27	0,00	0,80	3,07
5	Незалежності 18 к.4	2,27	0,00	0,80	3,07
6	Незалежності 7 к.1	4,91	0,00	1,80	6,71
7	Незалежності 7 к.2	3,93	0,00	1,44	5,37
8	Незалежності 20 к.1	4,91	0,00	1,80	6,71
9	Незалежності 20 к.2	3,23	0,00	1,08	4,31
10	Незалежності 20 к.3	3,23	0,00	1,08	4,31
11	Незалежності 20 к.4	2,55	0,00	0,60	3,15
12	Незалежності 22 к.1	2,55	0,00	0,48	3,03
13	Незалежності 22 к.2	3,23	0,00	1,08	4,31
14	Незалежності 9а	5,90	0,00	2,16	8,06
15	Незалежності 9/1	4,91	0,00	1,80	6,71
16	Незалежності 9/3	1,41	0,00	0,40	1,81
17	Незалежності 11 к.2	2,01	0,00	0,60	2,61
18	Незалежності 11/3	5,90	0,00	2,16	8,06
19	Незалежності 9	3,51	0,00	0,90	4,41
20	Незалежності 13/1	4,91	0,00	1,80	6,71
21	Незалежності 15	4,91	0,00	1,80	6,71
22	Незалежності 15/2	3,01	0,00	0,75	3,76
23	Незалежності 13/2	3,93	0,00	1,44	5,37
24	Незалежності 17	2,27	0,00	0,72	2,99
25	Незалежності 24 к.1	3,93	0,00	1,44	5,37
26	Незалежності 24 к.2	3,23	0,00	1,08	4,31
27	Незалежності 26 к.1	4,91	0,00	1,80	6,71
28	Незалежності 26 к.2	3,23	0,00	1,08	4,31
29	Незалежності 26 к.3	3,23	0,00	1,08	4,31
30	Незалежності 26 к.4	2,01	0,00	0,45	2,46
31	Незалежності 26 к.5	2,01	0,00	0,45	2,46
32	Магазин АТБ	1,10	0,74	0,00	1,85
33	Поліклініка №5	3,67	2,88	0,06	6,61
34	Аптека	0,28	0,22	0,00	0,49
35	КРЕП №10	1,01	0,62	0,00	1,64
36	Пошта	0,33	0,20	0,01	0,53
37	Магазин Ятрань	0,54	0,36	1,01	1,91
38	Школа №35	2,61	2,05	2,01	6,66
39	Магазин Август	0,92	0,62	3,01	4,55
	Всього	115,58	7,69	41,53	164,80

Таблиця 4.2. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Форма № 33 - РГ

№ ділянки за розрах.		Характеристика ділянки			Витратні данні ділянки										В трати напору від джерела тепlopостачання	Напір в кінці ділянки
№ розрахункова	№ попередньої	діаметр	довжина	Сума коеф. місцевих опорів	Витрата води	Швидкість води	Питомі втрати напору при K=0,5	Прийнята еквівалент. шерохват.	поправоч. коеф. до питомих втрат	Дійсне значення питомих втрат	Втрати напору на ділянці					
											лінійні	місцеві	всього	Всього по двом трубопроводам		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Мережеві насоси																
Водонагрівальна установка																90,0
Теплова мережа																
3	1	60	60		12,21		44,73	3	1,63	72,915	4,375	1,3125	5,687	11,375	48,78	41,22
3	2	60	60		11,06		36,69	3	1,63	59,810	3,589	1,0766	4,665	9,330	46,74	43,26
5	3	115	30		23,28		5,13	3	1,63	8,359	0,251	0,0752	0,326	0,652	37,40	52,60
5	4	60	60		10,49		32,97	3	1,63	53,744	3,225	0,9674	4,192	8,384	45,14	44,86
6	5	115	60		33,76		10,79	3	1,63	17,588	1,055	0,3166	1,372	2,744	36,75	53,25
8	7	115	30		24,17		5,53	3	1,63	9,014	0,270	0,0811	0,352	0,703	39,27	50,73
9	7	115	120		19,34		3,54	3	1,63	5,769	0,692	0,2077	0,900	1,800	40,37	49,63
7	6	115	60		43,51		17,92	3	1,63	29,206	1,752	0,5257	2,278	4,556	38,57	51,43
10	6	115	130		77,27		56,52	3	1,63	92,123	11,976	3,5928	15,569	31,137	34,01	55,99
11	10	60	100		6,66		13,29	3	1,63	21,664	2,166	0,6499	2,816	5,633	8,50	81,50
19	17	60	30		15,50		72,02	3	1,63	117,392	3,522	1,0565	4,578	9,157	18,04	71,96
18	17	60	30		11,32		38,45	3	1,63	62,676	1,880	0,5641	2,444	4,889	13,77	76,23
17	15	115	50		26,82		6,81	3	1,63	11,100	0,555	0,1665	0,721	1,443	8,88	81,12
16	15	60	30		11,06		36,69	3	1,63	59,810	1,794	0,5383	2,333	4,665	12,10	77,90
15	12	115	70		26,82		6,81	3	1,63	11,100	0,777	0,2331	1,010	2,020	7,44	82,56
13	12	60	20		15,50		72,02	3	1,63	117,392	2,348	0,7044	3,052	6,104	11,52	78,48
14	12	60	30		11,06		36,69	3	1,63	59,810	1,794	0,5383	2,333	4,665	10,08	79,92
12	10	115	90		26,56		6,68	3	1,63	10,884	0,980	0,2939	1,273	2,547	5,42	84,58

Продовження табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20	10	230	130		110,49		2,97	3	1,63	4,841	0,629	0,1888	0,818	1,636	2,87	87,13
21	20	115	50		24,17		5,53	3	1,63	9,014	0,451	0,1352	0,586	1,172	2,41	87,59
27	26	60	30		6,52		12,74	3	1,63	20,761	0,623	0,1868	0,810	1,619	21,22	68,78
28	26	115	30		29,01		7,96	3	1,63	12,981	0,3894	0,1168	0,5062	1,0125	21,27	68,73
25	24	115	60		23,79		5,36	3	1,63	8,735	0,524	0,1572	0,681	1,363	19,60	70,40
26	24	115	40		35,52		11,94	3	1,63	19,469	0,779	0,2336	1,012	2,025	20,26	69,74
24	22	115	60		59,32		33,30	3	1,63	54,285	3,257	0,9771	4,234	8,468	18,23	71,77
23	22	60	30		5,89		10,42	3	1,63	16,979	0,509	0,1528	0,662	1,324	11,09	78,91
22	20	115	50		65,21		40,25	3	1,63	65,609	3,280	0,9841	4,265	8,529	9,76	80,24
29	20	230	30		199,88		9,72	3	1,63	15,841	0,475	0,1426	0,618	1,236	1,24	88,76
69	67	60	60		16,38		80,40	3	1,63	131,059	7,8636	2,3591	10,2226	20,4453	46,91	43,09
68	67	60	80		10,77		34,81	3	1,63	56,737	4,5389	1,3617	5,9006	11,8012	38,27	51,73
67	65	115	150		27,15		6,98	3	1,63	11,373	1,706	0,5118	2,218	4,435	26,47	63,53
66	65	115	60		23,99		5,45	3	1,63	8,880	0,533	0,1598	0,693	1,385	23,42	66,58
65	47	115	90		51,14		24,76	3	1,63	40,352	3,632	1,0895	4,721	9,442	22,03	67,97
63	62	60	60		13,54		54,94	3	1,63	89,551	5,373	1,6119	6,985	13,970	33,92	56,08
64	62	115	100		19,34		3,54	3	1,63	5,769	0,577	0,1731	0,750	1,500	21,45	68,55
62	60	115	40		32,87		10,23	3	1,63	16,673	0,667	0,2001	0,867	1,734	19,95	70,05
61	60	115	30		24,17		5,53	3	1,63	9,014	0,270	0,0811	0,352	0,703	18,91	71,09
60	57	115	40		57,05		30,80	3	1,63	50,206	2,008	0,6025	2,611	5,221	18,21	71,79
58	57	115	30		24,17		5,53	3	1,63	9,014	0,270	0,0811	0,352	0,703	13,69	76,31
59	57	60	30		6,87		14,17	3	1,63	23,098	0,693	0,2079	0,901	1,802	14,79	75,21
57	47	230	50		88,09		1,89	3	1,63	3,077	0,154	0,0462	0,200	0,400	12,99	77,01
55	54	60	80		8,87		23,56	3	1,63	38,407	3,0726	0,9218	3,994	7,989	34,00	56,00
56	54	60	30		8,87		23,56	3	1,63	38,407	1,152	0,3457	1,498	2,996	29,01	60,99
54	52	115	20		17,73		2,98	3	1,63	4,850	0,097	0,0291	0,126	0,252	26,01	63,99
53	52	60	30		15,50		72,02	3	1,63	117,392	3,522	1,0565	4,578	9,157	34,92	55,08
52	50	115	110		33,23		10,45	3	1,63	17,034	1,874	0,5621	2,436	4,872	25,76	64,24
51	50	60	30		15,50		72,02	3	1,63	117,392	3,522	1,0565	4,578	9,157	30,05	59,95
50	48	115	20		48,73		22,47	3	1,63	36,630	0,733	0,2198	0,952	1,905	20,89	69,11
49	48	115	40		24,17		5,53	3	1,63	9,014	0,361	0,1082	0,469	0,937	19,92	70,08
48	47	115	30		72,90		50,30	3	1,63	81,987	2,460	0,7379	3,197	6,395	18,98	71,02
47	39	230	110		212,14		10,95	3	1,63	17,843	1,963	0,5888	2,552	5,103	12,59	77,41

Продовження табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
45	43	115	60		29,01		7,96	3	1,63	12,981	0,779	0,2337	1,012	2,025	19,30	70,70
46	43	60	30		15,87		75,53	3	1,63	123,122	3,694	1,1081	4,802	9,603	26,88	63,12
44	43	60	50		9,41		26,52	3	1,63	43,229	2,161	0,6484	2,810	5,620	22,90	67,10
43	40	115	80		54,28		27,89	3	1,63	45,461	3,6369	1,0911	4,728	9,456	17,28	72,72
42	40	115	40		24,17		5,53	3	1,63	9,014	0,361	0,1082	0,469	0,937	8,76	81,24
41	40	60	30		1,92		1,11	3	1,63	1,808	0,054	0,0163	0,070	0,141	7,96	82,04
40	39	230	50		80,38		1,57	3	1,63	2,562	0,128	0,0384	0,167	0,333	7,82	82,18
39	30	230	70		292,52		20,81	3	1,63	33,927	2,375	0,7125	3,087	6,175	7,49	82,51
38	36	60	40		15,50		72,02	3	1,63	117,392	4,696	1,4087	6,104	12,209	28,81	61,19
37	36	60	40		15,50		72,02	3	1,63	117,392	4,696	1,4087	6,104	12,209	28,81	61,19
36	33	115	80		31,00		9,09	3	1,63	14,823	1,186	0,3558	1,542	3,083	16,60	73,40
35	33	60	30		10,89		35,57	3	1,63	57,985	1,740	0,5219	2,261	4,523	18,04	71,96
34	33	115	30		19,34		3,54	3	1,63	5,769	0,173	0,0519	0,225	0,450	13,97	76,03
33	31	115	60		61,23		35,48	3	1,63	57,835	3,470	1,0410	4,511	9,022	13,52	76,48
32	31	60	50		1,77		0,94	3	1,63	1,538	0,077	0,0231	0,100	0,200	4,70	85,30
31	30	115	20		63,00		37,57	3	1,63	61,236	1,225	0,3674	1,592	3,184	4,50	85,50
30	29	283	30		355,52		10,32	3	1,63	16,819	0,505	0,1514	0,656	1,312	1,31	88,69

Таблиця 4.3. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції.

№ п/п	Стандартний діаметр труби, мм	Розрахункова товщина пенополіуретану, мм	Товщина захисної поліетиленової оболонки, мм	Опір ізоляції, (м·°C)/Вт	Опір захисного шару, (м·°C)/Вт	Глибина залягання трубопроводу, мм	Опір ґрунту, (м·°C)/Вт	Сумарний опір трубопроводу, (м·°C)/Вт	Відстань між осями труб, мм	Додатковий термічний опір, (м·°C)/Вт	Температура в подавальному трубопроводі, °C	Температура в зворотньому трубопроводі, °C	Температура ґрунту, °C	Питомі втрати теплоти в подавальному трубопроводі, Вт/м	Питомі втрати теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт/м	Сумарна довжина трубопроводу, м	Втрата теплоти в подавальному трубопроводі, Вт	Втрата теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	60	905,6	412,4
2	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	60	905,6	412,4
3	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
4	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	60	905,6	412,4
5	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
6	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
7	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	120	2756,5	1214,0
8	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
9	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	130	2986,2	1315,2
10	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	100	1509,4	687,4
11	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
12	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
13	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	50	1148,5	505,8
14	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
15	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	70	1607,9	708,2
16	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	20	301,9	137,5
17	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
18	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	90	2067,3	910,5
19	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	130	4236,4	1785,6
20	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	50	1148,5	505,8
21	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
22	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
23	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
24	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	40	918,8	404,7
25	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
26	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
27	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	50	1148,5	505,8
28	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	30	977,6	412,1

														Продовження табл. 4.3.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
29	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	60	905,6	412,4
30	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	80	1207,5	549,9
31	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	150	3445,6	1517,5
32	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
33	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	90	2067,3	910,5
34	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	60	905,6	412,4
35	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	100	2297,0	1011,7
36	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	40	918,8	404,7
37	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
38	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	40	918,8	404,7
39	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
40	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
41	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	50	1629,4	686,8
42	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	80	1207,5	549,9
43	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
44	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	20	459,4	202,3
45	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
46	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	110	2526,8	1112,8
47	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
48	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	20	459,4	202,3
49	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	40	918,8	404,7
50	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
51	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	110	3584,7	1510,9
52	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
53	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
54	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	50	754,7	343,7
55	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	80	1837,6	809,3
56	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	40	918,8	404,7
57	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
58	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	50	1629,4	686,8
59	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	70	2281,1	961,5
60	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	40	603,7	274,9
61	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	40	603,7	274,9
62	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	80	1837,6	809,3
63	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	30	452,8	206,2
64	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
65	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	60	1378,2	607,0
66	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	50	754,7	343,7
67	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	20	459,4	202,3
68	283	57	3,5	1,632	0,006	800	0,192	1,831	400	0,133	60	30	2	30,7	13,1	30	921,8	392,0
Всього втрат																	79955	35200

5. Побудова графіків електричних навантажень мікрорайону.

Методика розрахунку та побудови графіків електричних навантажень використана в цьому пункті наведена в [4, 5].

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 3836.01 \text{ кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 2372.66 \text{ квар}$$

$$T_{\text{лето_р}} := 105 \quad T_{\text{лето_в}} := 48$$

$$T_{\text{зима_р}} := 147 \quad T_{\text{зима_в}} := 65$$

$$T_{\Gamma} = 365$$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка (для активної потужності, 2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	25	30
2	22	30
3	22	32
4	22	36
5	22	32
6	23	30
7	27	32
8	45	35
9	50	40
10	42	30
11	43	31
12	43	32
13	45	30
14	45	32
15	42	30
16	40	30
17	45	31
18	73	50
19	85	80
20	100	100
21	100	100
22	80	80
23	60	60
24	20	...

Вихідні дні

	1	2
1	40	40
2	43	43
3	40	40
4	43	43
5	42	42
6	30	30
7	20	30
8	43	43
9	60	60
10	62	62
11	40	40
12	40	40
13	40	40
14	40	40
15	42	42
16	50	50
17	60	60
18	80	80
19	100	100
20	100	100
21	80	80
22	20	30
23	20	30
24	20	32

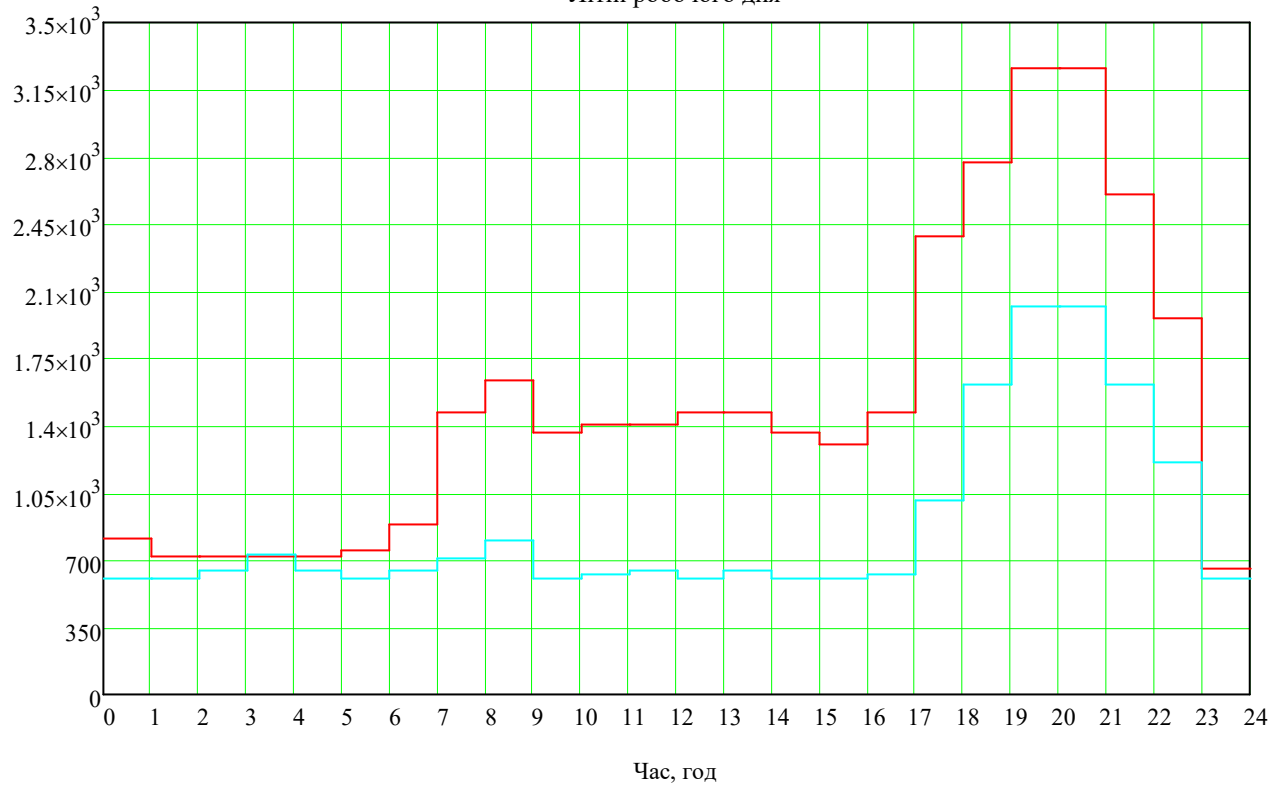
4. Обчислення сходинок графіка навантаження:

- 1. літні робочі дні
- 2. зимні робочі дні
- 3. літні вихідні дні
- 4. зимні вихідні дні

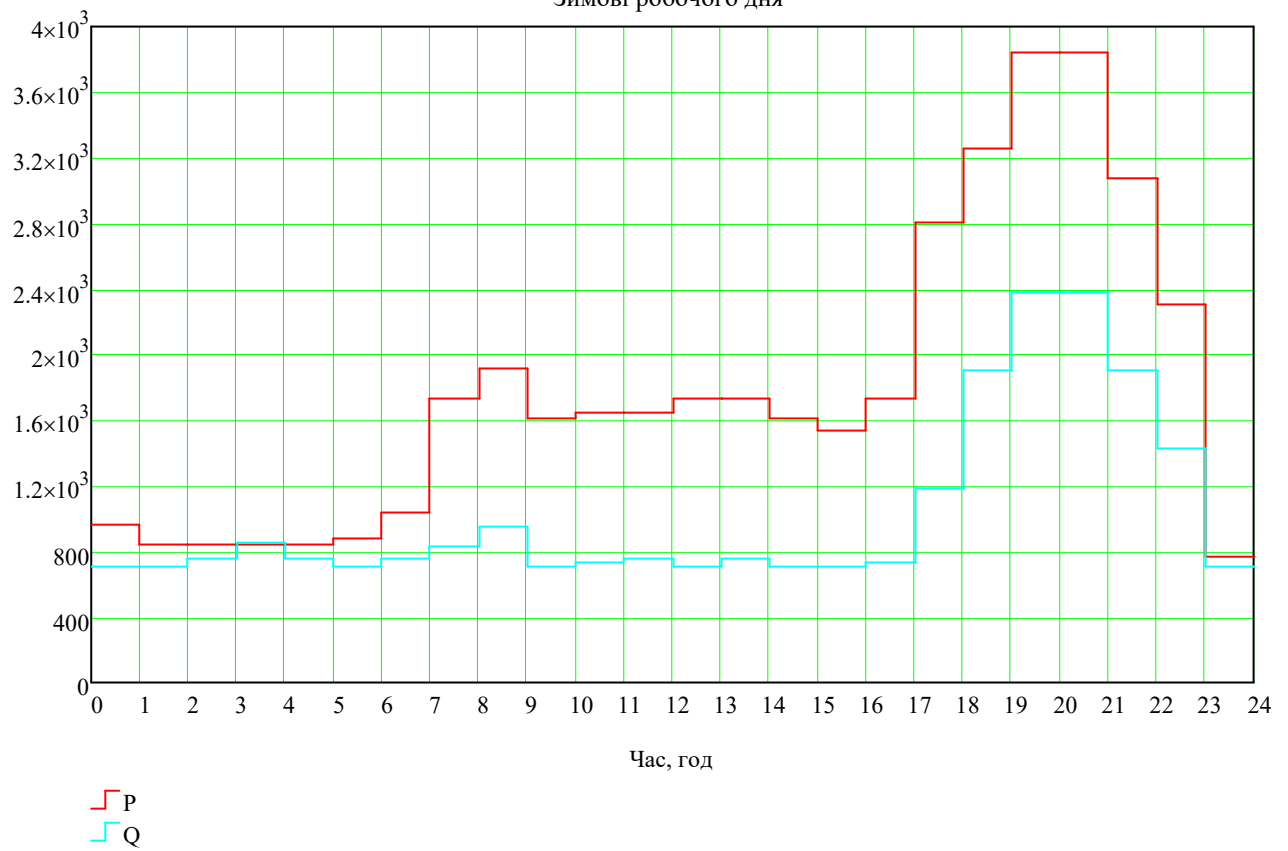
Power_1 =				Power_2 =				Power_3 =				Power_4 =			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	815	605	1015	1	959	712	1194	1	1304	807	1534	1	1534	949	1804
2	717	605	938	2	844	712	1104	2	1402	867	1649	2	1649	1020	1940
3	717	645	965	3	844	759	1135	3	1304	807	1534	3	1534	949	1804
4	717	726	1021	4	844	854	1201	4	1402	867	1649	4	1649	1020	1940
5	717	645	965	5	844	759	1135	5	1369	847	1610	5	1611	997	1894
6	750	605	964	6	882	712	1134	6	978	605	1150	6	1151	712	1353
7	880	645	1092	7	1036	759	1284	7	652	605	890	7	767	712	1047
8	1467	706	1628	8	1726	830	1916	8	1402	867	1649	8	1649	1020	1940
9	1630	807	1819	9	1918	949	2140	9	1956	1210	2300	9	2302	1424	2706
10	1369	605	1497	10	1611	712	1761	10	2022	1250	2377	10	2378	1471	2797
11	1402	625	1535	11	1649	736	1806	11	1304	807	1534	11	1534	949	1804
12	1402	645	1543	12	1649	759	1816	12	1304	807	1534	12	1534	949	1804
13	1467	605	1587	13	1726	712	1867	13	1304	807	1534	13	1534	949	1804
14	1467	645	1603	14	1726	759	1886	14	1304	807	1534	14	1534	949	1804
15	1369	605	1497	15	1611	712	1761	15	1369	847	1610	15	1611	997	1894
16	1304	605	1438	16	1534	712	1691	16	1630	1008	1917	16	1918	1186	2255
17	1467	625	1595	17	1726	736	1876	17	1956	1210	2300	17	2302	1424	2706
18	2380	1008	2585	18	2800	1186	3041	18	2608	1613	3067	18	3069	1898	3608
19	2772	1613	3207	19	3261	1898	3773	19	3261	2017	3834	19	3836	2373	4510
20	3261	2017	3834	20	3836	2373	4510	20	3261	2017	3834	20	3836	2373	4510
21	3261	2017	3834	21	3836	2373	4510	21	2608	1613	3067	21	3069	1898	3608
22	2608	1613	3067	22	3069	1898	3608	22	652	605	890	22	767	712	1047
23	1956	1210	2300	23	2302	1424	2706	23	652	605	890	23	767	712	1047
24	652	605	...	24	767	712	...	24	652	645	...	24	767	759	...

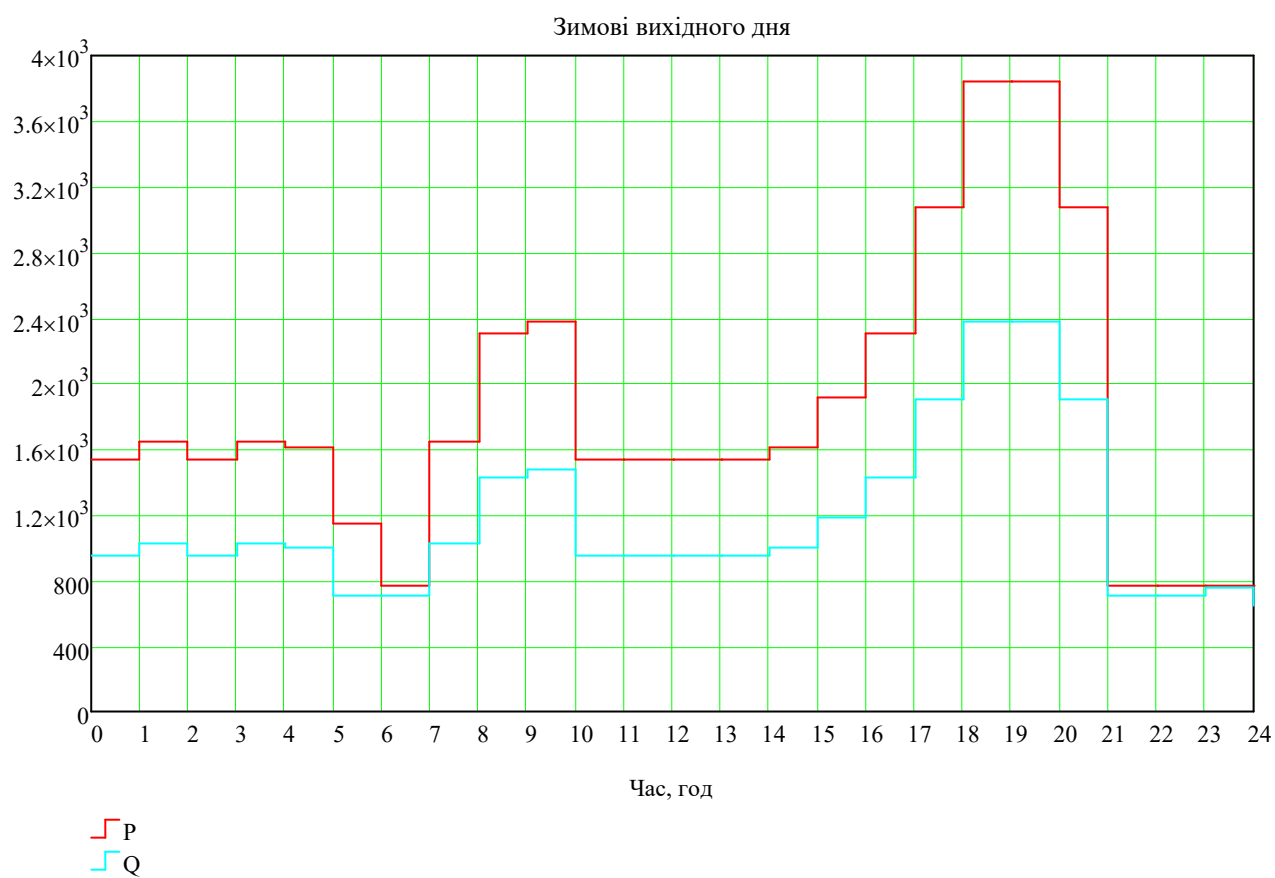
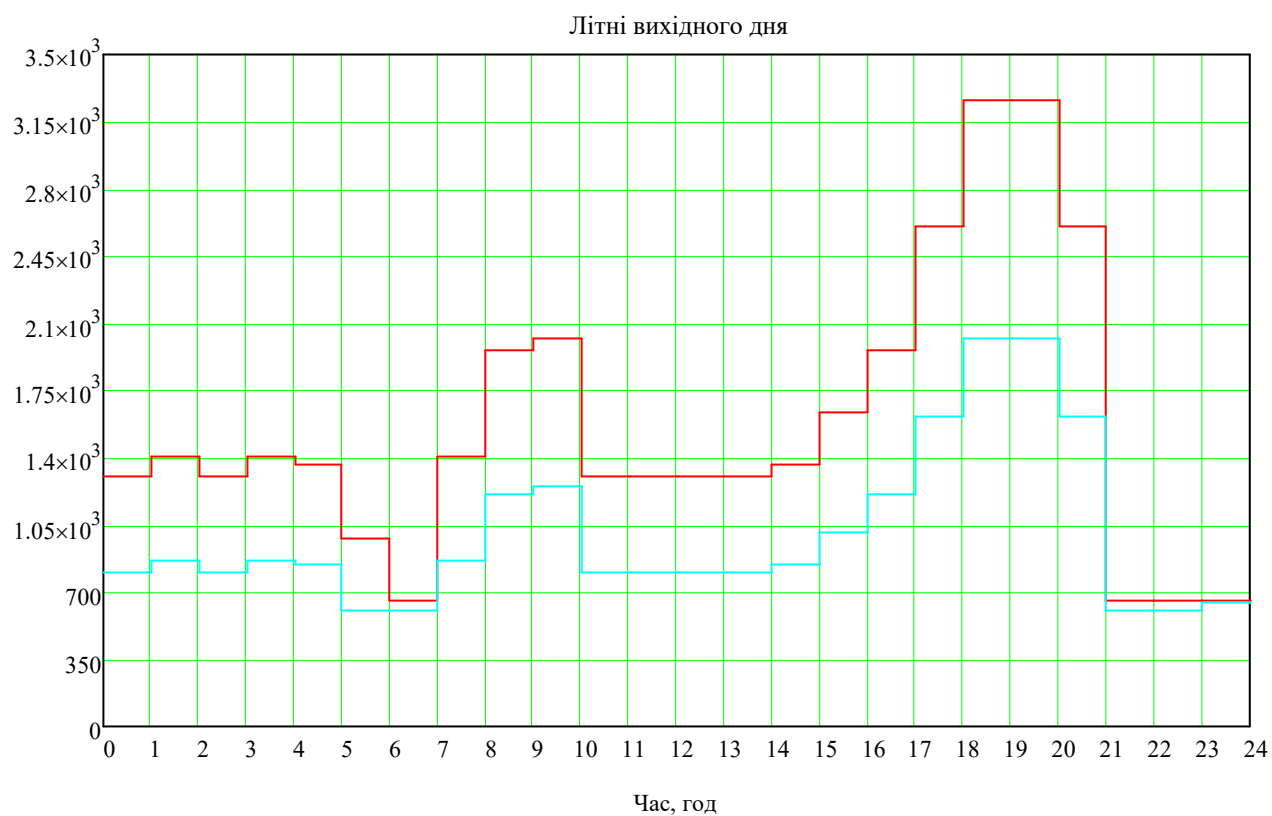
- 1 - активнаа потужність
- 2 - реактивна потужність
- 3 - повна потужність

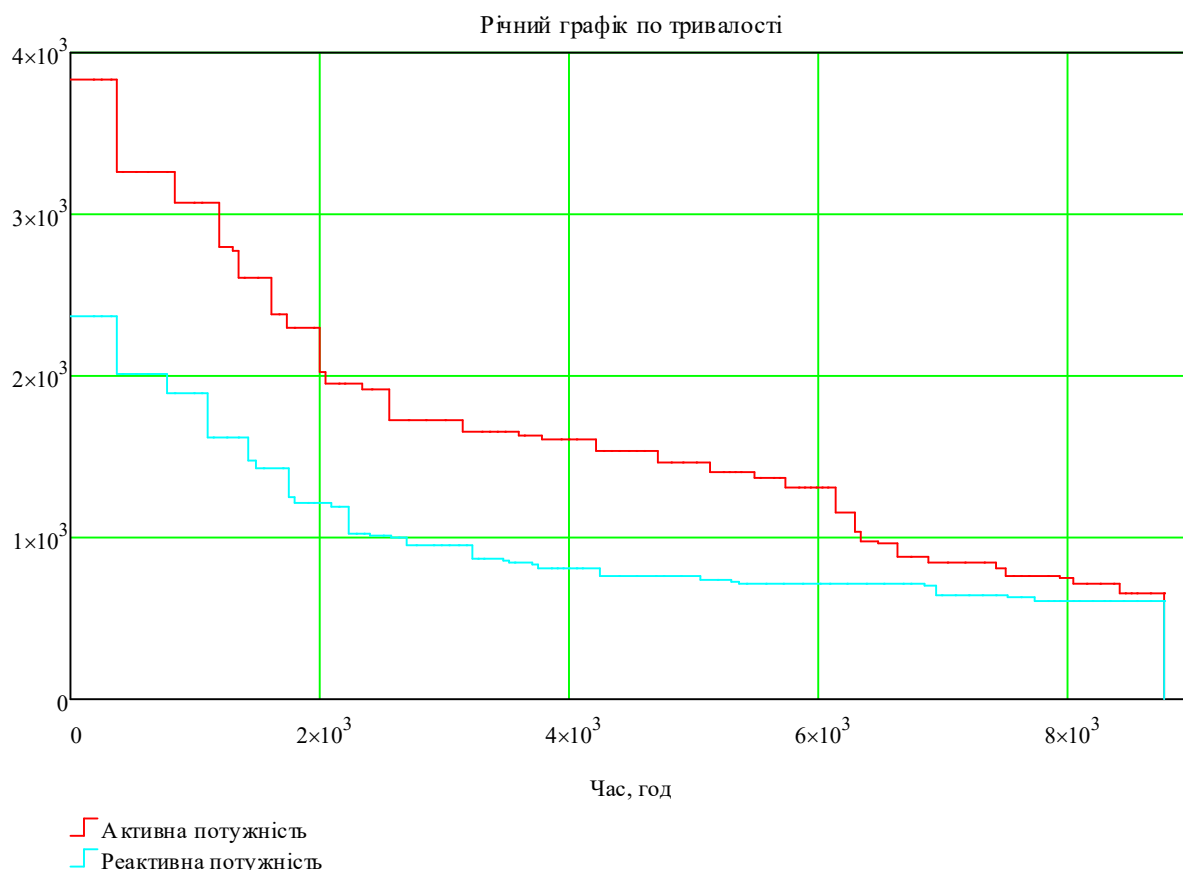
Літні робочого дня



Зимові робочого дня







Споживання активної енергії за літню вихідну добу; kWh

$$W_{\text{лето_в}} = 37660$$

Споживання активної енергії за літню робочу добу; kWh

$$W_{\text{лето_р}} = 36551$$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу; kWh

$$W_{\text{зима_в}} = 44306$$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу; kWh

$$W_{\text{зима_р}} = 43002$$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу; kvarh

$$V_{\text{лето_в}} = 24141$$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу; kvarh

$$V_{\text{лето_р}} = 21035$$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу; kvarh

$$V_{\text{зима_в}} = 28401$$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу; kvarh

$$V_{\text{зима_р}} = 24747$$

Річне споживання активної енергії, kWh

$$W_{\Gamma} = 14846711$$

Річне споживання реактивної енергії, kvarh

$$V_{\Gamma} = 8851240$$

Кількість годин використання максимуму потужності, год:

$$T_{\text{max}} = 3832$$

Річний час максимальних втрат, год:

$$\tau = 2099$$

Арк.

35

6. Побудова картограми електричних та теплових навантажень мікрорайону

Розрахунок проводимо за методикою з [4, 5]. Розрахунок картограми електричних навантажень наведено у табл. 6.1, а теплових в табл. 6.2.

Таблиця 6.1. Розрахункові дані для побудови картограми та визначення умовного центру електричних навантажень										
№ з/п	Назва	$P_{p.kv}$ ($P_{p.kn}$), кВт	$P_{p.силь}$ кВт	P_{Σ} , кВт	R , мм	α , °	$X_{i, м}$	$Y_{i, м}$	$P_{\Sigma} \cdot X_i$	$P_{\Sigma} \cdot Y_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП1										
1.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 1	0,0	4,1	4,13	4	360,00	740	400	3058,3	1653,1
2.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 3	0,0	5,0	4,96	4	360,00	640	420	3174,0	2082,9
3.	Незалежності 18 к.1	65,9	26,3	92,20	17	102,61	720	360	66384,0	33192,0
4.	Незалежності 18 к.2	76,0	26,3	102,28	18	92,50	680	390	69550,4	39889,2
5.	Незалежності 18 к.3	76,0	26,3	102,28	18	92,50	740	440	75687,2	45003,2
5.	Незалежності 18 к.4	76,0	26,3	102,28	18	92,50	680	460	69550,4	47048,8
5.	Незалежності 16/17	142,2	54,5	196,65	25	99,68	800	380	157320,0	74727,0
	Всього по ТП1			604,78					444724,3	243596,3
	$x = 735,35$ м; $y = 402,78$ м									
ТП2										
1.	Незалежності 20 к.1	142,20	54,45	196,65	25	99,68	550	360	108157,5	70794,0
2.	Незалежності 20 к.2	90,72	36,99	127,71	20	104,27	620	410	79180,2	52361,1
3.	Незалежності 20 к.3	90,72	36,99	127,71	20	104,27	580	450	74071,8	57469,5
4.	Незалежності 20 к.4	63,00	27,54	90,54	17	109,50	580	500	52513,2	45270,0
5.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 4	0,00	4,96	4,96	4	360,00	560	400	2777,2	1983,7
	Всього по ТП2			547,57					316699,9	227878,3
	$x = 578,37$ м; $y = 416,16$ м									
ТП3										
1.	Незалежності 24 к.1	116,64	45,18	161,82	23	100,51	420	420	67964,4	67964,4
2.	Незалежності 22 к.1	54,72	27,54	82,26	16	120,53	480	420	39484,8	34549,2
3.	Незалежності 22 к.2	90,72	36,99	127,71	20	104,27	500	500	63855,0	63855,0

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4.	Незалежності 24 к.2	90,72	36,99	127,71	20	104,27	410	500	52361,1	63855,0
5.	Аптека	0,00	41,60	41,60	12	360,00	490	360	20384,0	14976,0
6.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 6	0,00	4,96	4,96	4	360,00	360	400	1785,4	1983,7
	Всього по ТПЗ			546,1					245834,7	247183,3
	x = 450,2 м; y = 452,67 м									
ТП4										
1.	Незалежності 26 к.1	142,20	54,45	196,65	25	99,68	360	360	70794,0	70794,0
2.	Незалежності 26 к.2	90,72	36,99	127,71	20	104,27	290	410	37035,9	52361,1
3.	Незалежності 26 к.3	90,72	36,99	127,71	20	104,27	330	440	42144,3	56192,4
4.	Незалежності 26 к.4	52,20	21,87	74,07	15	106,29	330	500	24443,1	37035,0
	Всього по ТП4			526,14					174417,3	216382,5
	x = 331,5 м; y = 411,26 м									
ТП5										
1.	Школа №35	0,00	280,00	280,00	30	360,00	190	400	53200,0	112000,0
2.	Незалежності 26 к.5	52,20	21,87	74,07	15	106,29	330	540	24443,1	39997,8
3.	Магазин Август	0,00	104,00	104,00	18	360,00	30	370	3120,0	38480,0
4.	Незалежності 17	71,28	26,28	97,56	18	96,97	30	230	2926,8	22438,8
5.	Незалежності 15	142,20	54,45	196,65	25	99,68	220	240	43263,0	47196,0
6.	Незалежності 15/2	73,50	32,40	105,90	18	110,14	220	160	23298,0	16944,0
7.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 7	0,00	4,30	4,30	4	360,00	220	200	945,6	859,6
8.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 8	0,00	5,79	5,79	4	360,00	220	120	1272,9	694,3
	Всього по ТП5			868,26					152469,4	278610,5
	x = 175,6 м; y = 320,88 м									

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП6										
1.	Незалежності 11/3	166,32	62,48	228,80	27	98,31	400	60	91519,2	13727,9
2.	Незалежності 13/1	142,20	54,45	196,65	25	99,68	300	170	58995,0	33430,5
3.	Незалежності 13/2	116,64	45,18	161,82	23	100,51	240	80	38836,8	12945,6
	Всього по ТП6			587,27					189351,00	60103,98
	x = 322,43 м; y = 102,35 м									
ТП7										
1.	Незалежності 9а	166,32	62,48	228,80	27	98,31	540	140	123550,9	32031,7
2.	Незалежності 11 к.2	63,00	21,87	84,87	16	92,77	410	160	34796,7	13579,2
3.	Пошта	0,00	41,60	41,60	12	360,00	360	240	14976,0	9984,0
4.	Незалежності 9	81,00	37,91	118,91	19	114,77	340	200	40428,7	23781,6
5.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 5	0,00	5,79	5,79	4	360,00	440	200	2545,8	1157,2
6.	Магазин Ятрань	0,00	98,80	98,80	18	360,00	300	240	29640,0	23712,0
	Всього по ТП7			578,76					245938,1	104245,7
	x = 424,94 м; y = 180,12 м									
ТП8										
1.	Незалежності 9/1	142,20	54,45	196,65	25	99,68	460	240	90459,0	47196,0
2.	Незалежності 9/3	48,00	16,20	64,20	14	90,84	480	150	30816,0	9630,0
3.	КРЕП №10	0,00	86,40	86,40	17	360,00	530	230	45792,0	19872,0
4.	Поліклініка №5	0,00	40,00	40,00	11	360,00	580	220	23200,0	8800,0
5.	Магазин АТБ	0,00	202,80	202,80	25	360,00	640	220	129792,0	44616,0
6.	Освітлення вул. Незалежності	0,00	37,09	37,09	11	360,00	440	280	16321,5	10386,4
	Всього по ТП8			627,14					336380,5	140500,4
	x = 536,37 м; y = 224,03 м									

Таблиця 6.2. Розрахункові дані для побудови картограми та визначення умовного центру теплових навантажень

№ з/п	Назва об'єкту	кВт	кВт	кВт	кВт	R , мм	α_B , °	$\alpha_{ГЗ}$, °	X_i , м	Y_i , м	$Q_{\Sigma} \cdot X_i$	$Q_{\Sigma} \cdot Y_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Незалежності 16/17	238,1	0,0	234,6	472,7	16	0,0	178,7	800	380	378188,0	179639,3
2	Незалежності 18 к.1	238,1	0,0	134,1	372,2	14	0,0	129,7	720	360	267966,0	133983,0
3	Незалежності 18 к.2	238,1	0,0	167,6	405,7	15	0,0	148,7	680	390	275872,6	158221,1
4	Незалежності 18 к.3	238,1	0,0	167,6	405,7	15	0,0	148,7	740	440	300214,3	178505,8
5	Незалежності 18 к.4	238,1	0,0	167,6	405,7	15	0,0	148,7	680	460	275872,6	186619,7
6	Незалежності 7 к.1	514,8	0,0	377,1	891,9	22	0,0	152,2	750	220	668925,0	196218,0
7	Незалежності 7 к.2	411,8	0,0	301,7	713,5	19	0,0	152,2	680	180	485193,6	128433,6
8	Незалежності 20 к.1	514,8	0,0	377,1	891,9	22	0,0	152,2	550	360	490545,0	321084,0
9	Незалежності 20 к.2	337,8	0,0	226,3	564,1	17	0,0	144,4	620	410	349740,5	231280,0
10	Незалежності 20 к.3	337,8	0,0	226,3	564,1	17	0,0	144,4	580	450	327176,6	253843,9
11	Незалежності 20 к.4	266,7	0,0	125,7	392,4	14	0,0	115,3	580	500	227572,5	196183,2
12	Незалежності 22 к.1	266,7	0,0	100,6	367,2	14	0,0	98,6	480	420	176268,7	154235,1
13	Незалежності 22 к.2	337,8	0,0	226,3	564,1	17	0,0	144,4	500	500	282048,8	282048,8
14	Незалежності 9а	617,8	0,0	452,5	1070,3	24	0,0	152,2	540	140	577951,2	149839,2
15	Незалежності 9/1	514,8	0,0	377,1	891,9	22	0,0	152,2	460	240	410274,0	214056,0
16	Незалежності 9/3	147,7	0,0	83,8	231,5	11	0,0	130,3	480	150	111142,8	34732,1
17	Незалежності 11 к.2	210,8	0,0	125,7	336,5	13	0,0	134,5	410	160	137969,3	53841,7
18	Незалежності 11/3	617,8	0,0	452,5	1070,3	24	0,0	152,2	400	60	428112,0	64216,8
19	Незалежності 9	367,6	0,0	188,6	556,1	17	0,0	122,1	340	200	189079,8	111223,4
20	Незалежності 13/1	514,8	0,0	377,1	891,9	22	0,0	152,2	300	170	267570,0	151623,0
21	Незалежності 15	514,8	0,0	377,1	891,9	22	0,0	152,2	220	240	196218,0	214056,0
22	Незалежності 15/2	315,3	0,0	157,1	472,4	16	0,0	119,7	220	160	103936,8	75590,4
23	Незалежності 13/2	411,8	0,0	301,7	713,5	19	0,0	152,2	240	80	171244,8	57081,6
24	Незалежності 17	238,1	0,0	150,8	388,9	14	0,0	139,6	30	230	11668,1	89455,1
25	Незалежності 24 к.1	411,8	0,0	301,7	713,5	19	0,0	152,2	420	420	299678,4	299678,4
26	Незалежності 24 к.2	337,8	0,0	226,3	564,1	17	0,0	144,4	410	500	231280,0	282048,8
27	Незалежності 26 к.1	514,8	0,0	377,1	891,9	22	0,0	152,2	360	360	321084,0	321084,0
28	Незалежності 26 к.2	337,8	0,0	226,3	564,1	17	0,0	144,4	290	410	163588,3	231280,0

Продовження таблиці 6.2.												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
29	Незалежності 26 к.3	337,8	0,0	226,3	564,1	17	0,0	144,4	330	440	186152,2	248202,9
30	Незалежності 26 к.4	210,8	0,0	94,3	305,1	13	0,0	111,2	330	500	100678,2	152542,8
31	Незалежності 26 к.5	210,8	0,0	94,3	305,1	13	0,0	111,2	330	540	100678,2	164746,2
32	Магазин АТБ	115,4	78,0	0,6	194,0	10	144,7	1,1	640	220	124174,0	42684,8
33	Поліклініка №5	384,9	301,7	11,6	698,2	19	155,5	6,0	580	220	404939,1	153597,6
34	Аптека	28,9	22,6	0,3	51,8	5	157,3	2,0	490	360	25367,8	18637,6
35	КРЕП №10	106,3	64,8	0,9	171,9	10	135,7	1,8	530	230	91130,8	39547,3
36	Пошта	34,1	20,8	0,7	55,6	5	134,6	4,7	360	240	20030,2	13353,5
37	Магазин Ятрань	56,2	38,0	0,6	94,8	7	144,3	2,2	300	240	28446,6	22757,3
38	Школа №35	273,3	214,2	81,5	569,0	17	135,5	51,5	190	400	108115,2	227611,0
39	Магазин Август	96,2	65,0	0,4	161,6	9	144,8	1,0	30	370	4849,1	59805,5
Всього					20431,4						9320943,1	6093588,2
Масштаб: 0,6 кВт/мм ² .												
Координати умовного центру теплових навантажень:						X = 9320943,07/20431,45 = 456,21 м						
						Y = 6093588,21/20431,45 = 298,25 м						

7. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього електропостачання.

Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання проведемо згідно з методикою викладеною в [5]. Можливим джерелом електропостачання є п/ст енергосистеми «Кіровоградська» з трьома класами напруги: 150, 35 та 10 кВ. Враховуючи невелику потужність варіант електропостачання напругою 150 кВ слід відкинути одразу. Тому слід розглядати два варіанти електропостачання напругою 10 і 35 кВ (рис. 7.1).

Проведений розрахунок в цьому розділі не наводимо, а лише представляємо його результати.

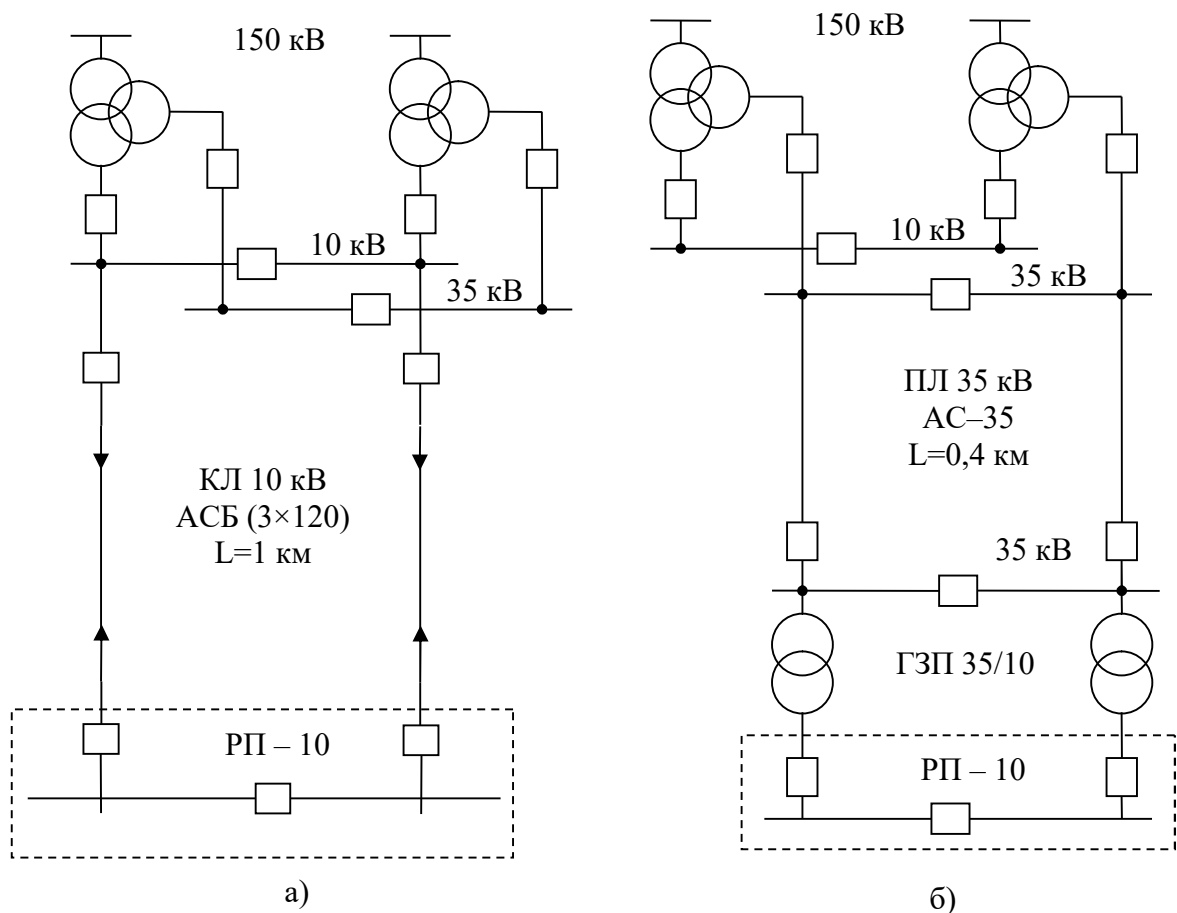


Рис. 7.1. Схеми зовнішнього електропостачання

Варіант 1. Електропостачання здійснюється кабельними лініями номінальною напругою 10 кВ (рис. 7.1.а).

Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень проведемо в табличному вигляді табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	2	360	720
	Траншея	км.	1	102,96	102,96
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	77,04	154,08
Всього					977,04

Розрахунок поточних витрат

Розрахунок поточних витрат проведемо в табличному вигляді табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	$P_{эj}$, %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	720	5	36	5	36	72
	Траншея	102,96	5	5,148	5	5,148	10,296
	Шафи КРП серії КУ-10	154,08	15	23,112	5	7,704	30,816
Всього							113,112

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\text{л}} C_0 = 28126,6 \cdot 4,32 \cdot 0,001 = 121,5 \text{ тис. грн.}$$

Варіант 2. Електропостачання здійснюється повітряними лініями з номінальною напругою 35 кВ (рис. 7.1 б).

Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень проведемо в табличному вигляді табл. 7.3.

Розрахунок поточних витрат

Розрахунок поточних витрат проведемо в табличному вигляді табл. 7.4.

					Арк. 43

Таблиця 7.3. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
2	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	0,4	451	180,4
	ВРП 35 кВ	шт.	1	684	684
	2 х ТМН-4000/35	шт.	2	5760	11520
Всього					12384,4

Таблиця 7.4. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{аж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
2	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	180,4	5	9,02	5	9,02	18,04
	ВРП 35 кВ	684	15	102,6	5	34,2	136,8
	2 х ТМН-4000/35	11520	15	1728	5	576	2304
Всього							2458,84

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 155849,44 \cdot 4,32 \cdot 0,001 = 673,3 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок загальних витрат по варіантам наведених в табл. 7.5.

Таблиця 7.5. Техніко-економічні показники варіантів зовнішнього електропостачання

Показники	Варіанти	
	1 (10 кВ)	2 (35 кВ)
Капітальні вкладення	977,04	12384,4
Поточні витрати	113,112	2458,84
Вартість втрат електроенергії	121,5	673,3
Зведені витрати	351,9	4618,3

Отже, за результатами техніко-економічного розрахунку варіант зовнішнього електропостачання напругою 10 кВ має на порядок менші зведені витрати тому і приймається до застосування.

8. Режими реактивної потужності системи електропостачання

8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах

Розрахунок балансу реактивної потужності проведемо за методикою наведеною в [4,5]. Даний розрахунок необхідно провести для кількох варіантів з різною кількістю трансформаторів (N_0 ; N_{0+1} ; N_{0+2}).

Проведений розрахунок в цьому розділі не наводимо, а лише представляємо його результати. Розрахунок балансу реактивної потужності по варіантам $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ представлений в табл. 8.1.1.

Таблиця 8.1.1. Результати розрахунку балансу реактивної потужності для варіантів з різною кількістю трансформаторів.

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_I , кВАр	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , кВАр
1	18	1617,78	359,12	1217,2
2	19	2349,04	0	1576,32
3	20	2928,41	0	1576,32

8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Розрахунок потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв будемо проводити за методикою наведеною в [5].

Необхідно зазначити, що в табл. 8.2.1-8.2.3 потужність КП наведена, враховуючи кількість і номінальну потужність попередньо обраних стандартних батарей конденсаторів. Тому весь подальший розрахунок проводиться на основі врахування цього факту. Тобто надалі величина реактивної потужності, що генерується КП береться реальна, а не розрахункова.

Таблиця 8.2.1. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 18 шт.										
№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	2	528,49	247,99	185,2	62,79	2×КРМ-0,4-40	80	-17,21	0,69	554,547
2	2	547,57	259,65	117,33	142,32	2×КРМ-0,4-100	200	-57,68	0,69	550,809
3	2	529,42	251,77	182,52	69,25	2×КРМ-0,4-50	100	-30,75	0,69	550,745
4	2	526,14	243,68	191,77	51,91	2×КРМ-0,4-40	80	-28,09	0,69	551,012
5	2	562,96	240,64	0	240,64	2×КРМ-0,4-125	250	-9,36	0,7	563,038
6	2	587,27	271,87	0	271,87	2×КРМ-0,4-125	250	21,87	0,73	587,677
7	2	550,68	286,27	101,74	184,53	2×КРМ-0,4-125	250	-65,47	0,69	551,873
8	2	527,38	346,05	188,34	157,71	2×КРМ-0,4-80	160	-2,29	0,7	559,235
9	2	363,43	175,05	426,05	0	-	0	0	0,5	403,39
Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 1370 кВАр.										
Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·250; сумарна потужність БК 10 кВ складає 500 кВАр.										

Таблиця 8.2.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 19 шт.

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$Q_{пр}$, кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	2	528,49	247,99	185,2	62,79	2×КРМ-0,4-40	80	-17,21	0,69	554,547
2	2	547,57	259,65	117,33	142,32	2×КРМ-0,4-100	200	-57,68	0,69	550,809
3	2	529,42	251,77	182,52	69,25	2×КРМ-0,4-50	100	-30,75	0,69	550,745
4	2	526,14	243,68	191,77	51,91	2×КРМ-0,4-40	80	-28,09	0,69	551,012
5	2	562,96	240,64	0	240,64	2×КРМ-0,4-125	250	-9,36	0,7	563,038
6,7	3	587,27	271,87	600,59	0	-	0	0	0,54	647,147
8	2	550,68	286,27	101,74	184,53	2×КРМ-0,4-125	250	-65,47	0,69	551,873
9	2	527,38	346,05	188,34	157,71	2×КРМ-0,4-80	160	-2,29	0,7	559,235
10	2	363,43	175,05	426,05	0	-	0	0	0,5	403,39

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 1120 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·350; сумарна потужність БК 10 кВ складає 700 кВАр.

Таблиця 8.2.3. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 20 шт.

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	2	528,49	247,99	185,2	62,79	2×КРМ-0,4-40	80	-17,21	0,69	554,547
2	2	547,57	259,65	117,33	142,32	2×КРМ-0,4-100	200	-57,68	0,69	550,809
3	2	529,42	251,77	182,52	69,25	2×КРМ-0,4-50	100	-30,75	0,69	550,745
4	2	526,14	243,68	191,77	51,91	2×КРМ-0,4-40	80	-28,09	0,69	551,012
5,6	3	562,96	240,64	623,44	0	-	0	0	0,51	612,235
7,8	3	587,27	271,87	600,59	0	-	0	0	0,54	647,147
9	2	550,68	286,27	101,74	184,53	2×КРМ-0,4-125	250	-65,47	0,69	551,873
10	2	527,38	346,05	188,34	157,71	2×КРМ-0,4-80	160	-2,29	0,7	559,235
11	2	363,43	175,05	426,05	0	-	0	0	0,5	403,39

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 870 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 4·250; сумарна потужність БК 10 кВ складає 1000 кВАр.

Результати розрахунку приведених витрат на компенсацію реактивної потужності представлені в табл. 8.2.4.

Таблиця 8.2.4. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності по варіантам $1 - N = N_0$, $2 - N = N_0 + 1$, $3 - N = N_0 + 2$.

№ вар.	$Q_{кн},$ кВАр	$\Delta P_{кн},$ кВт	$Q_{кв},$ кВАр	$\Delta P_{кв},$ кВт	$N_{тр},$ шт.	$R_{екв},$ Ом	$S_{пр},$ кВА	$\Delta P_{тп},$ кВт	$K_{кн},$ тис. грн.	$K_{кв},$ тис. грн.	$K_{ктп},$ тис. грн.	$\Sigma,$ тис. грн.
1	1370	6,17	500	1,5	18	0,19	5040	48,26	1320,9	107,34	9930,6	1560
2	1120	5,04	700	2,1	19	0,18	5320	50,94	1117,1	187,84	10489	1620
3	870	3,92	1000	3	20	0,17	5600	53,31	913,38	214,68	11047	1673

Отже, обираємо перший варіант компенсації реактивної потужності з $N_{тр} = 18$ шт. Згідно обраного варіанту зроблений перерахунок електричного навантаження вище 1000 В. Результати розрахунку наведені в табл. 8.2.5.

Таблиця 8.2.5. Розрахунок електричних навантажень вище 1 кВ (з БК)

№ з/п	Назва об'єкту	$K_{у.м}$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6
ТП1					
1.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 1	1,00	4,13	7,16	8,27
2.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 3	1,00	4,96	8,59	9,92
3.	Незалежності 18 к.1	1,00	92,20	43,06	101,76
4.	Незалежності 18 к.2	1,00	102,28	45,98	112,14
5.	Незалежності 18 к.3	1,00	102,28	45,98	112,14
6.	Незалежності 18 к.4	1,00	102,28	45,98	112,14
7.	Незалежності 16/17	1,00	120,36	51,23	130,81
БК 0,4 кВ				80,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП1			528,49	167,99	554,55
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,69					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,14	33,94	
Всього на шинах 10 кВ ТП1			536,63	201,93	573,36
ТП2					
1.	Незалежності 20 к.1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 20 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
3.	Незалежності 20 к.3	1,00	127,71	60,40	141,27
4.	Незалежності 20 к.4	1,00	90,54	38,93	98,55
5.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 4	1,00	4,96	8,59	9,92
БК 0,4 кВ				200,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП2			547,57	59,65	550,81
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,69					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,14	33,94	
Всього на шинах 10 кВ ТП2			555,71	93,59	563,53
ТП3					
1.	Незалежності 24 к.1	1,00	161,82	75,12	178,41
2.	Незалежності 22 к.1	1,00	82,26	36,52	90,00
3.	Незалежності 22 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
4.	Незалежності 24 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
5.	Аптека	0,60	41,60	17,89	45,28
6.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 6	1,00	4,96	8,59	9,92
БК 0,4 кВ				100,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП3			529,42	151,77	550,74
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: ТМ-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,69					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,14	33,94	
Всього на шинах 10 кВ ТП3			537,56	185,71	568,73

Продовження табл. 8.2.5.

1	2	3	4	5	6
ТП4					
1.	Незалежності 26 к.1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 26 к.2	1,00	127,71	60,40	141,27
3.	Незалежності 26 к.3	1,00	127,71	60,40	141,27
4.	Незалежності 26 к.4	1,00	74,07	31,54	80,51
БК 0,4 кВ				80	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП4			526,14	163,68	551,01
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,69					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,14	33,94	
Всього на шинах 10 кВ ТП4			534,28	197,62	569,65
ТП5					
1.	Школа №35	1,00	280,00	120,40	304,79
2.	Незалежності 26 к.5	0,40	74,07	31,54	80,51
3.	Магазин Август	0,80	104,00	44,72	113,21
4.	Незалежності 17	0,40	97,56	44,61	107,28
5.	Незалежності 15	0,40	196,65	91,34	216,83
6.	Незалежності 15/2	0,40	105,90	45,62	115,31
7.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 7	1,00	4,30	7,44	8,60
8.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 8	1,00	5,79	10,02	11,57
БК 0,4 кВ				250,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП5			562,96	-9,36	563,03
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,7					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,29	34,44	
Всього на шинах 10 кВ ТП5			571,25	25,08	571,80
ТП6					
1.	Незалежності 11/3	1,00	228,80	105,41	251,91
2.	Незалежності 13/1	1,00	196,65	91,34	216,83
3.	Незалежності 13/2	1,00	161,82	75,12	178,41
БК 0,4 кВ				250,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП6			587,27	21,87	587,67
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,73					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,76	35,98	
Всього на шинах 10 кВ ТП6			596,03	57,85	598,83
ТП7					
1.	Незалежності 9а	1,00	228,80	105,41	251,91
2.	Незалежності 11 к.2	1,00	84,87	34,67	91,68
3.	Пошта	0,80	41,60	31,20	52,00
4.	Незалежності 9	1,00	118,91	51,92	129,75

Арк.

51

Продовження табл. 8.2.5.

1	2	3	4	5	6
5.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 5	1,00	5,79	10,02	11,57
6.	Магазин Ятрань	0,80	98,80	74,10	123,50
БК 0,4 кВ				250,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП7			550,68	36,27	551,87
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,69					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,14	33,94	
Всього на шинах 10 кВ ТП7			558,82	70,21	563,21
ТП8					
1.	Незалежності 9/1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 9/3	1,00	64,20	26,07	69,29
3.	КРЕП №10	0,50	86,40	64,80	108,00
4.	Поліклініка №5	0,60	40,00	17,20	43,54
5.	Магазин АТБ	0,80	202,80	152,10	253,50
6.	Освітлення вул. Незалежності	1,00	37,09	64,25	74,19
БК 0,4 кВ				160,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП8			527,38	186,05	559,24
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,7					
Втрати потужності в трансформаторах:			8,29	34,44	
Всього на шинах 10 кВ ТП8			535,67	220,49	579,28
ТП9					
1.	Незалежності 7 к.1	1,00	196,65	91,34	216,83
2.	Незалежності 7 к.2	1,00	161,82	75,12	178,41
3.	Освітлення внутрішньокв. тер. № 2	1,00	4,96	8,59	9,92
БК 0,4 кВ				0,00	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП9			363,43	175,05	403,39
К-сть трансформаторів: 2					
Номинальна потужність тр-рів: TM-400					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,5					
Втрати потужності в трансформаторах:			5,65	25,80	
Всього на шинах 10 кВ ТП9			369,08	200,85	420,19
Всього на шинах 10 кВ по об'єкту		0,80	3836,01	1002,66	3964,89
БК 10 кВ				500,00	
Всього з урахуванням попер. компенс.			3836,01	502,66	3868,81
			tgφ= 0,13		

Арк.

52

9. Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання

9.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку струмів к.з. складаємо схему рис. 9.1 та схему заміщення рис. 9.2.

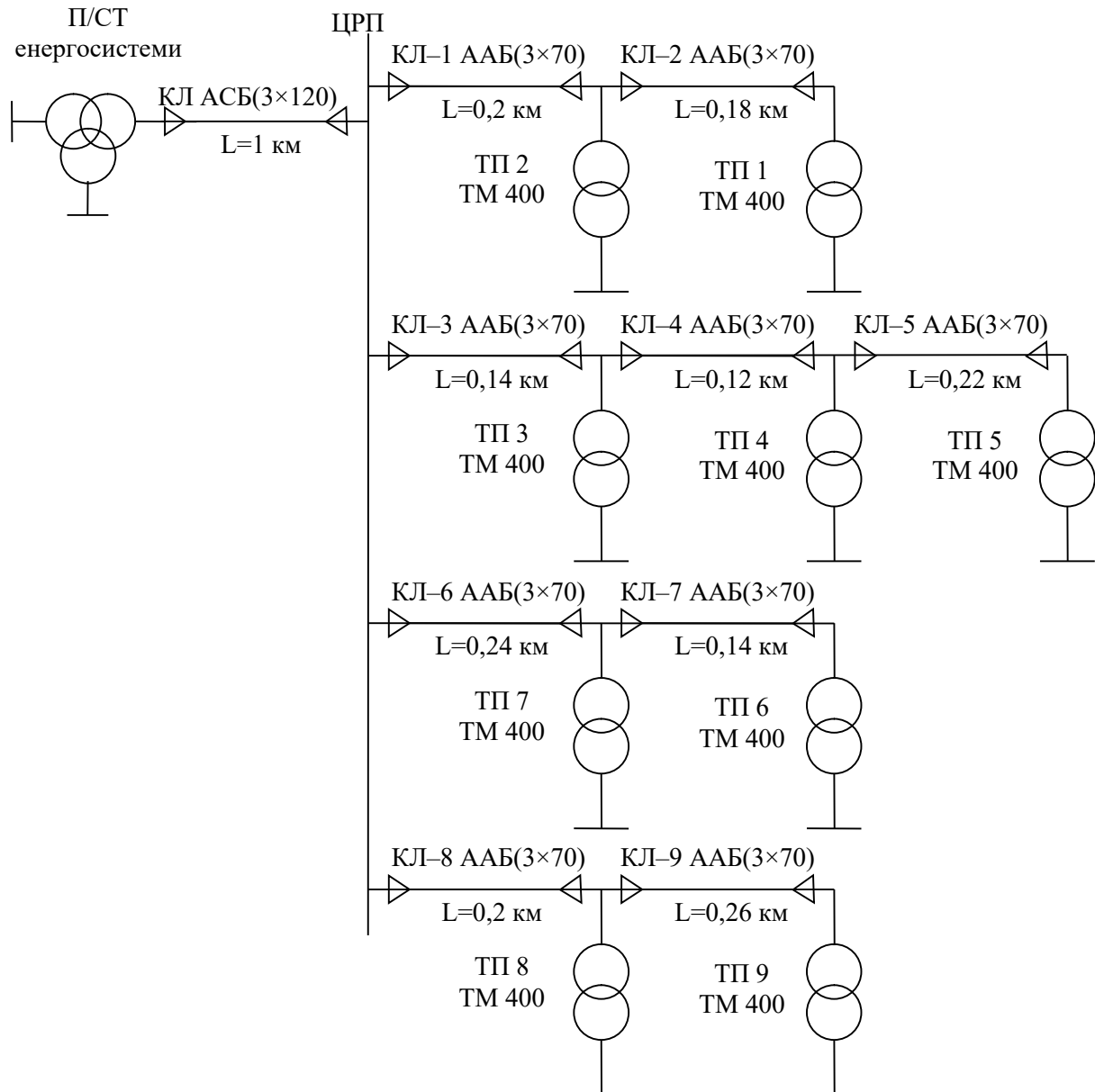


Рис. 9.1 Розрахункова схема ЦРП для розрахунку струмів к. з.

Розрахуємо опори елементів схеми заміщення:

– трансформатора ТМ 400

$$R = \frac{P_{кз} U_H^2}{S_H^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{400^2} = 3,44 \text{ Ом}; \quad Z = \frac{U_{\%} \% U_H^2}{S_H} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{400} = 11,25 \text{ Ом}$$

Арк.

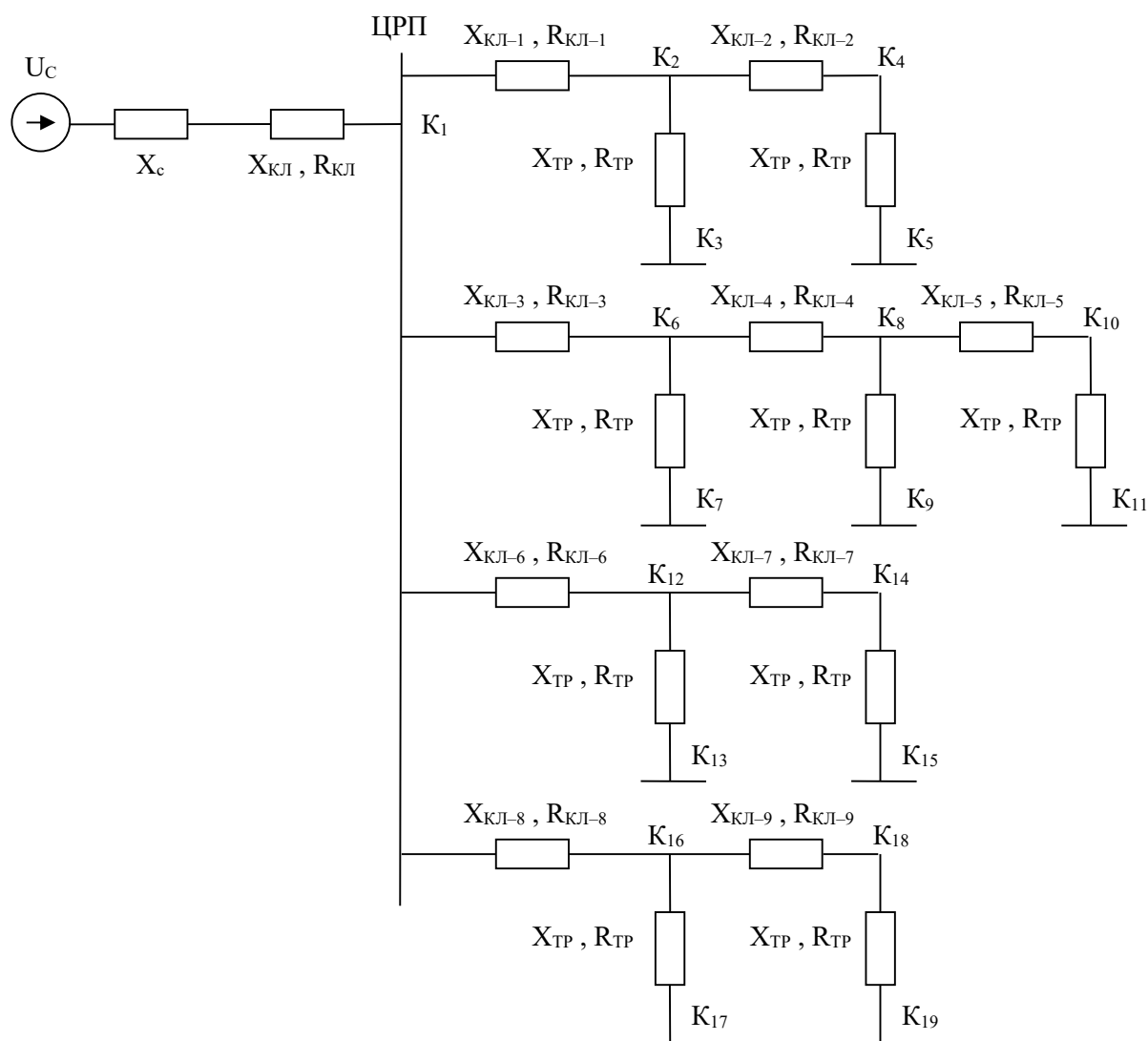


Рис. 9.2. Схема заміщення ЦРП для розрахунку струмів к. з.

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{11,25^2 - 3,44^2} = 10,7 \text{ Ом},$$

– КЛ від п/ст до ЦРП

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,081 \cdot 1}{1} = 0,081 \text{ Ом};$$

$$R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,258 \cdot 1}{1} = 0,258 \text{ Ом}.$$

– опір системи

$$x_c = \frac{U}{\sqrt{3} I''} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10,8} = 0,561$$

– для КЛ-1 від ЦРП до ТП 2

$$X = x_0 l = 0,086 \cdot 0,2 = 0,017 \text{ Ом}; R = r_0 l = 0,443 \cdot 0,2 = 0,089 \text{ Ом}.$$

Арк.

Розрахунок опорів інших кабельних ліній подібний результати розрахунку зведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 Розрахунок опорів кабельних ліній.

№ КЛ	L, км	R, Ом	X, Ом	№ КЛ	L, км	R, Ом	X, Ом
КЛ1	0,2	0,089	0,017	КЛ6	0,24	0,106	0,021
КЛ2	0,18	0,080	0,015	КЛ7	0,14	0,062	0,012
КЛ3	0,14	0,062	0,012	КЛ8	0,2	0,089	0,017
КЛ4	0,12	0,053	0,010	КЛ9	0,26	0,115	0,022
КЛ5	0,22	0,097	0,019				

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

Струм від системи:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}z_{рез}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,692} = 8,76 \text{ кА}$$

$$R_{екв} = R_{КЛ} = 0,258 \text{ Ом};$$

$$X_{екв} = X_{КЛ} + x_c = 0,081 + 0,561 = 0,642 \text{ Ом}$$

$$Z_{екв} = \sqrt{X_{екв}^2 + R_{екв}^2} = \sqrt{0,642^2 + 0,258^2} = 0,692 \text{ Ом}$$

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 8,76(1 + e^{\frac{-0,01}{0,00792}}) = 15,9 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{екв}}{\omega \cdot R_{екв}} = \frac{0,642}{314 \cdot 0,258} = 0,00792 \text{ 1/с}$$

Розрахунки струмів короткого замкнення для інших точок подібні результати розрахунку зведені в табл. 9.2.

9.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі

Виберемо кабель для лінії (КЛ-1) від ЦРП до ТП №2.

Площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{32,7}{1,4} = 23 \text{ мм}^2$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{1131,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 32,7 \text{ А. При } T_{\max} = 3832 \text{ год} - J_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$$

Таблиця 9.2. Розрахунок струмів короткого замкнення.

№ т. к. з.	$X_{екв}$, Ом	$R_{екв}$, Ом	I_{Σ}'' , кА	T_a , 1/с	$i_{y\Sigma}$, кА
1	0,642	0,258	8,76	0,00792	15,9
2	0,659	0,347	8,14	0,00605	13,714
3	11,909	3,787	12,128	0,01	23,47
4	0,674	0,427	7,236	0,005	11,633
5	11,924	3,867	11,514	0,0098	22,166
6	0,654	0,32	8,326	0,0065	14,308
7	11,904	3,76	12,14	0,01	23,537
8	0,664	0,373	7,581	0,0057	12,558
9	11,914	3,813	11,538	0,0039	22,291
10	0,683	0,47	6,964	0,0046	10,983
11	11,933	3,91	11,494	0,0097	22,065
12	0,663	0,364	8,015	0,0058	13,357
13	11,913	3,804	12,119	0,01	23,427
14	0,675	0,426	7,233	0,005	11,639
15	11,925	3,866	11,514	0,0098	22,167
16	0,659	0,347	8,14	0,006	13,714
17	11,909	3,787	12,128	0,01	23,47
18	0,681	0,462	7,016	0,0047	11,101
19	11,931	3,902	11,498	0,0097	22,184

Використаємо кабель ААБ (3×70) мм² з допустимим струмом $I_{доп} = 165 \text{ А}$.

Перевірка кабелю за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{доп} \quad 32,7 \text{ А} \leq 165 \text{ А}$$

$$I_{доп} = K_{II} I'_{доп} \quad I_{доп} = 1,0 \cdot 165 = 165 \text{ А}$$

де K_{II} – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження [5].

Мінімальна площа поперечного перерізу кабелю за умовою термічної стійкості:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{92} \sqrt{38,4 \cdot 10^6} = 67 \text{ мм}^2,$$

де C – термічний коефіцієнт; для алюмінієвих кабелів $C = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k – тепловий імпульс:

$$B_k = I_{n.o.}^2 (t_{отк} + T_a) = 8,76^2 (0,5 + 0,0) = 38,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Інші кабелі системи електропостачання обираються аналогічно, розрахунки зводяться до табл. 9.3.

Таблиця 9.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№ КЛ	S _p , кВА	n	I _p , А	I _{p.ав} , А	F _{ек} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _п	K _п I _{доп}	K _з	K _{ап}	K _п '	K _{ап} K _п I _{доп}	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²
КЛ-1	1131,6	2	32,7	65,3	23	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,22	1	1,3	214,5	38,4	67
КЛ-2	573,4	2	16,6	33,1	12	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,11	1	1,3	214,5	26,2	56
КЛ-3	1693,1	2	48,9	97,7	35	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,33	1	1,3	214,5	38,4	67
КЛ-4	1127,7	2	32,6	65,1	23	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,22	1	1,3	214,5	34,7	64
КЛ-5	571,8	2	16,5	33,0	12	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,11	1	1,3	214,5	28,7	58
КЛ-6	1161,9	2	33,5	67,1	24	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,23	1	1,3	214,5	38,4	67
КЛ-7	598,8	2	17,3	34,6	12	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,12	1	1,3	214,5	32,1	62
КЛ-8	998,1	2	28,8	57,6	21	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,19	1	1,3	214,5	38,4	67
КЛ-9	420,2	2	12,1	24,3	9	ААБ(3×70)	165	0,9	148,5	0,08	1	1,3	214,5	33,1	63

9.3. Вибір електричних апаратів високої напруги

На вводі 10 кВ запропоновано встановити вакуумні вимикачі типу ВР1-10-20/630. Розрахунки з вибору і перевірки запропонованого вимикача приведені в табл. 9.4. та 9.5.

Таблиця 9.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах.

Параметри мережі	Умови перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
224,34 А	$I_{роб\text{ форс}} \leq I_{ном}$	630 А
8,76 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
15,9 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
8,76 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\text{ відкл}}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 8,76 + 3,5 = 15,9\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,42\text{кА}$
$B_k \leq I_k^2 (t_{від} + t_{пз}) =$ $= 8,76^2 (1,5 + 0,045) =$ $= 118\text{кА}^2\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 8,76e^{-\frac{0,01}{0,00792}} = 3,5 \text{ кА}$$

Таблиця 9.5. Вибір вимикачів на лініях до ТП.

Параметри мережі	Умови перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
97,7 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
8,76 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
15,9 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
8,76 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 8,76 + 3,5 = 15,9\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл}(1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K \leq I_K^2(t_{від} + t_{P3}) =$ $= 8,76^2(0,5 + 0,045) =$ $= 41,8\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Вибір вимикачів навантаження.

Запропоновано використати вимикач навантаження типу ВНП – 10. Дані по вибору та перевірці зведені в табл. 9.6.

Таблиця 9.6. Вибір вимикачів навантаження.

Параметри мережі	Умови перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
32,37 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	400 А
32,37 А	$I_{max} \leq I_{відк.ном}$	400 А
8,326 кА	$I_{п.о.} \leq I_{пр.с.}$	10 кА
14,308 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	25 кА
41,8 кА ² с	$B_K \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$10^2 \cdot 1 = 100\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

$$I_{max} = 1,4 \frac{S_{номТР}}{\sqrt{3}U_{ном}} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32,37\text{ А}.$$

9.4. Вибір трансформаторів власних потреб

Таблиця 9.7. Навантаження власних потреб.

№ п/п	Споживач	P, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	18×1	0
2	Навантаження яке споживають оперативні кола	2	0
Всього		20	0

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

$$S_{розр} = K_C \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)} = 0,8 \sqrt{20^2 + 0^2} = 16 \text{ кВА}$$

Потужність трансформатора:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{16}{1,4} = 11,5 \text{ кВА}$$

Обираємо трансформатор ТМ – 25/10.

Коефіцієнт завантаження обраного трансформатора в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_{роз}}{n S_{ном}} = \frac{16}{2 \cdot 25} = 0,32.$$

10 Спеціальний розділ.

Розробка системи локального теплопостачання

10.1. Розрахунок принципової схеми котельної

10.1.1. Розрахунок теплових навантажень споживачів кварталу та визначення місця встановлення котельної

Розрахунок теплових навантажень на опалення та гаряче водопостачання споживачів проведений в п. 3.1, 3.3. Скориставшись даними цих розрахунків приведемо значення теплових навантажень для будинків за адресою Незалежності 16/17, Незалежності 18 к.1 – к.4 наведені в табл. 10.1-10.3.

Таблиця 10.1. Результати розрахунку теплових навантажень на опалення

№ з/п	Назва будівлі	V_3 , тис.м ³	q_o , Вт/м ³ °С	$t_{в.р.}$, °С	Q_o^p , кВт
1	Незалежності 16/17	16,5	0,37	18	238,10
2	Незалежності 18 к.1	16,5	0,37	18	238,10
3	Незалежності 18 к.2	16,5	0,37	18	238,10
4	Незалежності 18 к.3	16,5	0,37	18	238,10
5	Незалежності 18 к.4	16,5	0,37	18	238,10
	Всього				1190,5

Таблиця 10.2. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання

№ з/п	Назва будівлі	а, л/од.	м, од.	$Q_{г.з.}^{сер.г.}$, кВт	$Q_{г.л.}^{сер.г.}$, кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	$Q_{г.л.}^{max}$, кВт
1	Незалежності 16/17	120	336	117,32	78,21	234,64	156,43
2	Незалежності 18 к.1	120	192	67,04	44,69	134,08	89,39
3	Незалежності 18 к.2	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
4	Незалежності 18 к.3	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
5	Незалежності 18 к.4	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
	Всього					871,52	581,01

Таблиця 10.3. Сумарне теплове навантаження

№ з/П	Назва будівлі	Q_o^p , кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	Q_{Σ} , кВт
1	Незалежності 16/17	238,10	234,64	472,74
2	Незалежності 18 к.1	238,10	134,08	372,18
3	Незалежності 18 к.2	238,10	167,60	405,70
4	Незалежності 18 к.3	238,10	167,60	405,70
5	Незалежності 18 к.4	238,10	167,60	405,70
	Всього	1190,5	871,52	2061,995

Загальне навантаження на опалення та гаряче водопостачання виділеної частини мікрорайону складає:

$$Q_{\Sigma} = Q_o^p + Q_{г.з.}^{max} = 1,190 + 0,871 = 2,062 \text{ МВт.}$$

10.1.2. Розрахунок кількості котлоагрегатів

Вибір типу, кількості та одиничної продуктивності котлоагрегатів залежить головним чином від розрахункової теплової продуктивності котельні, де вони будуть встановлені; від виду теплоносія, що відпускається котельні.

Оберемо потужність котла котлу рівною 1,1 МВт. Тоді кількість котлів:

$$n_k = \frac{Q_{\Sigma}}{Q_{ном}} = \frac{2,062}{1,1} = 1,87 \approx 2 \text{ шт.}$$

Приймаємо до встановлення 2 котли КОЛВІ 1000 з одиничною теплопродуктивністю 1,1 МВт, що в сумі дає 2,2 МВт.

Котли КОЛВІ 1000 розташовуються в новому блоковому будинку котельні.

Основні технічні характеристики котла наведені в табл. 10.4.

Таблиця 10.4. Технічні характеристики водогрійного котла КОЛВІ 1000

Марка	Теплова продуктивність, кВт	Тиск води, бар	Температура води, °С		ККД, %
			на вході	На виході	
КОЛВІ 1000	1100	6	40	до 115	92

Приймається замкнута чотирьохтрубна система теплопостачання. Теплоносії систем:

- опалення, вода з параметрами 95 - 70 °С, робочий тиск 0,35 МПа (3,5 атм),
- гаряче водопостачання, вода з параметрами 60 °С.

Нагрівання води ГВП проводиться в водо-водяному теплообміннику. Передбачена установка бака-акумулятора ГВП. Підживлення теплової мережі здійснюється з водопроводу.

В комплект поставки котла входять безпосередньо котлоагрегат, газовий пальник, запобіжний клапан, клапан зворотний, термометр, манометр.

10.1.3. Вибір допоміжного обладнання котельної

Розрахунок схеми рециркуляції

Регулювання відпуску теплоти споживачам здійснюється зміною температури прямої води в залежності від температури зовнішнього повітря (якісне регулювання), приймається температурний графік 95/70 °С.

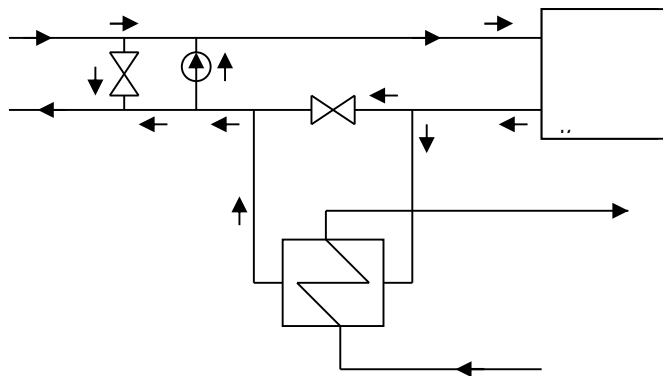


Рис. 10.1. Схема рециркуляції.

Нагріта вода виходить з котла з температурою 86 °С.

Ділиться на два потоки:

- частина води подається в підігрівач;
- інша частина - в трубопровід прямої мережної води.

Таблиця 10.5. Температурний графік центрального регулювання системи теплопостачання

Температура оточуючого повітря °С	Температура в подаючому трубопроводі °С	Температура в зворотньому трубопроводі °С
+8	38	33
+5	43	36
0	51	41
-5	57	47
-10	65	51
-15	71	55
-20	77	59
-25	83	63
-30	90	65
-35	95	70

В підігрівачі відбувається процес теплообміну між гріючою та теплою водою.

Гріюча вода – вода з котла з температурою 86 °С, що нагрівається – подається в підігрівач з температурою 5 °С і нагрівається до 60 °С (для ГВП).

Гріюча вода при теплообміні остигає і виходить з підігрівача з температурою 56 °С. Потім відбувається злиття потоків, вода з температурами 86 °С і 56 °С змішується, набуваючи температуру 65 °С.

Далі відбувається поділ на потоки:

- частина води подається на рециркуляційний насос;
- інша частина – в трубопровід прямої мережної води.

Для того щоб виключити утворення конденсату на гріючих поверхнях котла і продовжити термін його експлуатації необхідно подавати воду в котел з температурою 60 °С. Тому частина потоку, що йде на рециркуляційний насос змішується зі зворотнім мережною водою до температури 60 °С і подається в котел.

Рециркуляція потрібна тільки в перехідний період року, в зимовий період - забезпечується температурний графік 95/70, насос рециркуляції не працює, засувки закриті. Але так, як в трубопроводі прямої мережевої води температура

65 °C, її треба охолодити до 38 °C (по температурному графіку для +8 °C температура прямої мережевої води дорівнює 38 °C). Тому частина мережевої прямої води підмішується з мережевою зворотного водою, для забезпечення заданої температури.

Ділянка 1

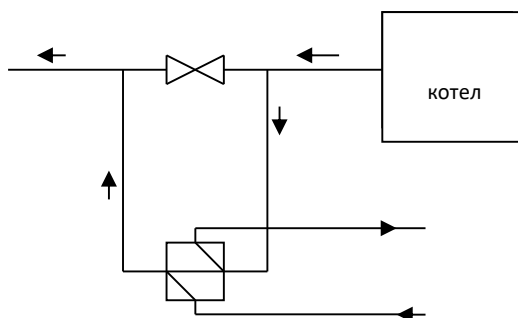


Рис. 10.2. Розрахункова схема ділянки 1

Результати розрахунку витрати води для відокремлених будівель мікрорайону наведено в табл. 10.6.

Таблиця 10.6. Результати розрахунку витрат води

№ з/п	Адреса будівлі	$G_o^{\max}$, кг/с	$G_B^{\max}$, кг/с	$G_{Г.В}^{\max}$, кг/с	G_{Σ} , кг/с
1	Незалежності 16/17	2,27	0,00	1,12	3,39
2	Незалежності 18 к.1	2,27	0,00	0,64	2,91
3	Незалежності 18 к.2	2,27	0,00	0,80	3,07
4	Незалежності 18 к.3	2,27	0,00	0,80	3,07
5	Незалежності 18 к.4	2,27	0,00	0,80	3,07
		11,36	0	4,16	15,52

Визначимо температуру на виході з котла:

$$G_{\text{cET}}c(t_{\Pi}-t_0)+G_{\Gamma\text{BC}}c(t_z-t_c)=G_{\text{K}}c(t_1-t_{\text{K}})=$$

$$=11,36\cdot4,19(38-33)+4,16\cdot4,19(60-5)=11\cdot4,19(t_1-60).$$

З цього рівняння визначаємо $t_1 = 86\text{ }^\circ\text{C}$.

Підігрівач ГВП розраховується для температури зовнішнього повітря $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$
(невигідні умови).

Прийmemo швидкiсть в трубах $\omega = 1$ м/с, тодi площа живого перетину трубок $f_{\text{тр}}$ можна знайти за формулою:

$$f_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{ГВП}}}{\omega \rho} = \frac{4,16}{1 \cdot 1000} = 0,00416,$$

де $G_{\text{ГВП}}$ – максимальна витрата на гаряче водопостачання, кг/с;

ω – швидкiсть в трубах, м/с;

ρ – щiльнiсть води, $\rho = 1000$ кг/м³.

Приймаемо $f_{\text{тр}} = 0,0047$ м².

Приймаемо до установки водо-водяний пiдiгрiвач 09ОСТ 34-488-68 9-168×2000-Р ПВ-z-09 з площею поверхнi нагрiву $F = 3,4$ м², число трубок $n=37$; $D_{\text{н}}=168$ мм; $D_{\text{вн}}=158$ мм; площа живого перерiзу: трубок $f = 0,0057$ м², площа мiж трубного простору $f = 0,0122$ м².

Знаючи площу мiж трубного простору, знайдемо витрату:

$$G_{\text{мт}} = F_{\text{мт}} \omega = 0,0122 \cdot 1 = 0,0122 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 = 12,2 \text{ кг/с}.$$

Визначимо температуру на виходi з пiдiгрiвача, °С, виразивши з рiвняння:

$$Q = G_{\text{мт}} c (t_2 - t_4) \eta$$

$$t_4 = t_2 - \frac{Q}{G_{\text{мт}} c \eta} = 86 - \frac{1197}{12,2 \cdot 4,19 \cdot 0,98} = 62 \text{ } ^\circ\text{С}$$

$$Q = 11,36 \cdot 4,19(38-33) + 4,16 \cdot 4,19(60-5) = 1197 \text{ кДж}$$

Визначимо температуру змiшаної води, °С:

$$t_{\text{см}} = \frac{G_3 t_3 + G_4 t_4}{G_3 + G_4} = \frac{(4,16 \cdot 86) + (12,2 \cdot 62)}{4,16 + 12,2} = 68, \text{ } ^\circ\text{С}$$

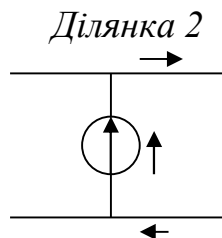


Рис. 10.3. Розрахункова схема дiлянки 2

Складемо рiвняння теплового балансу:

$$Q = G_6 t_6 + G_9 t_9 = G_{12} t_{12}$$

						Арк.
						65

$$G_6 \cdot 65^\circ + G_9 \cdot 33^\circ = 11 \cdot 60^\circ$$

Так як $G_{12} = G_6 + G_9$, тоді $G_6 = 11 - G_9$

Підставимо в рівняння:

$$(11 - G_9) \cdot 86 + G_9 \cdot 33 = 660$$

Знайдемо витрати:

$$G_9 = 10,8 \text{ кг/с}, G_6 = 0,2 \text{ кг/с}.$$

Ділянка 3

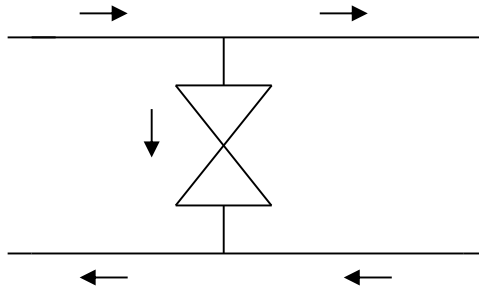


Рис. 10.4. Розрахункова схема ділянки 3.

Для отримання заданої температури 38°C в трубопроводі прямої сітрової води з витратою $G_{11} = 11,36 \text{ кг/с}$, потрібно охолодити воду з температурою 65°C і витратою $G_7 = 10,8 \text{ кг/с}$. Для цього із трубопроводу зворотної сітрової води подаємо воду з температурою 33°C і витратою

$$G_{10} = G_{11} - G_7 = 11,36 - 10,8 = 0,56 \text{ кг/с}.$$

Розрахунок підігрівача

Площа поверхні нагріву швидкісних водопідігрівачів визначається за формулою, м^2 :

$$F = \frac{Q}{k \Delta T}$$

де Q – розрахункова витрата теплоти, ккал/год;

$$Q = 1197000 \text{ Вт/год} \cdot 1,16 = 1388520 \text{ ккал/год};$$

k – коефіцієнт теплопередачі підігрівача, ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}$);

ΔT – середньо логарифмічна різниця температур між граючою водою і водою, що нагрівається, $^\circ\text{C}$.

Визначимо коефіцієнт теплопередачі підігрівача:

$$k = \mu \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = 0,8 \frac{3505 \cdot 3463}{3505 + 3463} = 1402,$$

де μ – коефіцієнт, що враховує накип і забруднення трубок, $\mu=0,8$;

α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від гріючого середовища до стінок трубок і від стінок до води, що нагрівається, ккал/(м²·год·°C).

Коефіцієнт тепловіддачі від гарячої води до стінок трубок, α_1 ккал/(м²·год·°C), визначимо за формулою:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= (1400 + 18t_{\text{гр.ср}} - 0,035t_{\text{гр.ср}}^2) \frac{\omega^{0,8}}{d_{\text{екв}}^{0,2}} = \\ &= (1400 + 18 \cdot 74 - 0,035 \cdot 74^2) \frac{1,0^{0,8}}{0,2^{0,2}} = 3505 \end{aligned}$$

де $t_{\text{гр.ср}}$ – середня температура гріючої води, °C;

ω – швидкість води в трубках або в між трубному просторі, м/с;

$d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр міжтрубного простору, так як гріюча вода проходить по міжтрубному простору, м.

Середню температуру гріючої води визначаємо за формулою, °C:

$$t_{\text{гр.ср}} = (t_{1\text{гр}} + t_{2\text{гр}})/2 = (86 + 62)/2 = 74,$$

де $t_{1\text{гр}}$ і $t_{2\text{гр}}$ – температура гріючої води на вході і на виході із підігрівача, °C.

Швидкість води ω при її щільності $\rho=1000\text{кг/м}^3$ в між трубному просторі дорівнює:

$$\omega = \frac{G_{\text{мт}}}{3600 f_{\text{мт}}} = \frac{43,92}{3600 \cdot 0,0122} = 1,$$

в трубках

$$\omega = \frac{G_{\text{тр}}}{3600 f_{\text{тр}}} = \frac{14,98}{3600 \cdot 0,0057} = 0,73,$$

де $G_{\text{мт}}$ і $G_{\text{тр}}$ – відповідно витрата води в міжтрубному просторі і по трубках, т/год.:

$$G_{\text{мт}} = 12,2 \text{ кг/с} = 43,92 \text{ т/год};$$

$$G_{\text{тр}} = 4,16 \text{ кг/с} = 14,98 \text{ т/год};$$

$f_{\text{мт}}$ і $f_{\text{тр}}$ – відповідно площа живого перерізу міжтрубного простору і трубок.

Швидкість води в міжтрубному просторі. Визначимо еквівалентний діаметр міжтрубного простору, мм:

$$d_{\text{экв}} = \frac{(D_{\text{в}}^2 - z d_{\text{н}}^2)}{(D_{\text{в}} + z d_{\text{н}})} = \frac{(0,158^2 - 37 \cdot 0,016^2)}{(0,158 + 37 \cdot 0,016)} = 0,2 \text{ м} = 200 \text{ мм},$$

де $D_{\text{в}}$ – внутрішній діаметр корпусу підігрівача, м;

$d_{\text{н}}$ – зовнішній діаметр трубок підігрівача, $d_{\text{н}} = 16 \text{ мм}$;

z – число трубок в живому перерізі підігрівача.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінок до води, що нагрівається, визначається за формулою, ккал/(м²·ч·°С):

$$\alpha_2 = (1400 + 18 t_{\text{нагр.ср}} - 0,035 t_{\text{нагр.ср}}^2) \frac{\omega^{0,8}}{d_{\text{н}}^{0,2}} =$$
$$= (1400 + 18 \cdot 32,5 - 0,035 \cdot 32,5^2) \frac{0,73^{0,8}}{0,016^{0,2}} = 3463$$

де $d_{\text{н}}$ – зовнішній діаметр трубок підігрівача, м;

$t_{\text{нагр.ср}}$ – середня температура води, що нагрівається, °С;

$$t_{\text{нагр.ср}} = (t_{1\text{нагр}} + t_{2\text{нагр}})/2 = (60 + 5)/2 = 32,5^\circ\text{С},$$

де $t_{1\text{нагр}}$ і $t_{2\text{нагр}}$ – відповідно температури води, що нагрівається та води на вході в підігрівач, °С.

Середньологарифмічна різниця температур, °С:

$$\Delta T = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{г}} / \Delta t_{\text{м}})} = \frac{57 - 26}{\ln(57/26)} = 39,5,$$

де $\Delta t_{\text{г}}$ – різниця температур $62^\circ\text{С} - 5^\circ\text{С} = 57^\circ\text{С}$;

$\Delta t_{\text{м}}$ – різниця температур $86^\circ\text{С} - 60^\circ\text{С} = 26^\circ\text{С}$.

Визначимо площу поверхні нагріву підігрівача, м²

$$F = \frac{Q}{k \Delta T} = \frac{1388520}{1402 \cdot 39,5} = 25,07,$$

Кількість секцій підігрівача визначається за формулою:

$$n = \frac{F}{F_{\text{с}}} = \frac{25,07}{6,9} = 3,6,$$

де F – площа поверхні нагріву підігрівача, м^2 ;

F_c – площа поверхні нагріву однієї секцій встановленого або обраного до установки підігрівача, м^2 .

Приймаємо до встановлення 4 секції.

Вибір мережевого насосу

Мережеві насоси обирають за витратою мережевої води.

Витрата мережевої води:

$$G_{\text{сет}} = \frac{Q}{c(t_1 - t_2)} = \frac{2,062 \cdot 10^3}{4,19(95 - 70)} = 19,7 \text{ кг/с} = 70,9 \text{ т/год},$$

де Q – навантаження на опалення та гаряче водопостачання, МВт;

c – питома теплоємність води, $c=4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$;

t_1 – температура в подаючому трубопроводі, °C ;

t_2 – температура в зворотному трубопроводі, °C .

Необхідна продуктивність мережевих насосів, приведена до густини води $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ т/м}^3$

$$G_{\text{сет}} = 70,9/1 = 70,9 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Приймаємо насос марки КМ-90-35 продуктивністю $G = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$, напором $H = 35 \text{ м.в.ст.}$, (один робочий, один резервний).

Вибір рециркуляційного насосу

З метою подовження строку служби котельних агрегатів вода в котел повинна поступати з температурою 60 °C для того, щоб запобігти випадінню конденсату на гріючих поверхнях котла. Тому встановлено рециркуляційний насос марки К8-18, продуктивністю $G = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$, напором $H = 8 \text{ м.в.ст.}$

Необхідна продуктивність рециркуляційних насосів, приведена до щільності $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ т/м}^3$

$$G_{\text{рец}} = 0,2 \text{ кг/с} = 0,72 \text{ т/год} = 0,72 \text{ м}^3/\text{год}$$

Вибір насосу ГВП

Витрата гарячої води:

$$G = 4,16 \text{ кг/с} = 15 \text{ т/год.} = 15 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо насос марки К20-30 продуктивністю $G = 20 \text{ м}^3/\text{год}$, напором $H = 30 \text{ м.в.ст.}$

Вибір підживлюючих насосів

Подачу насосів підживлення $G_{\text{пнп}}$ приймають рівною витраті води на компенсацію витоку із теплової мережі, чисельно дорівнює 0,25 % фактичного об'єму води в трубопроводах теплових мереж і приєднаних до них систем опалення будівель.

Об'єм води в системі теплопостачання приймається рівним 35 м^3 на 1 МВт розрахункового теплового потоку.

Об'єм води в системі теплопостачання:

$$V_{\text{в}} = 35 \cdot 2,062 = 72,17 \text{ м}^3$$

$$G_{\text{пнп}} = 0,25\%; V_{\text{в}} = 0,0025 \cdot 72,17 = 0,18 \text{ м}^3/\text{год}$$

Приймаємо насос марки К8-18 продуктивністю $G = 8 \text{ м}^3/\text{год}$, напором $H = 18 \text{ м.}$

Розрахунок діаметрів трубопроводів

Діаметр трубопроводу визначимо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4G_{\text{сет}}v}{V_{\text{в}}\pi}} \cdot 1000,$$

де $G_{\text{сет}}$ – витрата мережевої води, кг/с ;

v – питомий об'єм води, $v = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$V_{\text{в}}$ – швидкість води в трубопроводі, приймаємо 1 м/с .

Діаметр трубопроводу мережної води, мм :

$$d_{\text{сет}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 19,7 \cdot 0,001}{1 \cdot 3,14}} \cdot 1000 = 158.$$

Приймаємо трубу стандартного діаметру $159 \times 5 \text{ мм}$.

Діаметр трубопроводу прямої води, що подається на ГВП, мм :

$$d_{\text{ГВПпр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,16 \cdot 0,001}{1 \cdot 3,14}} \cdot 1000 = 73$$

Приймаємо трубу стандартного діаметру $76 \times 3 \text{ мм}$.

Діаметр трубопроводу зворотної води, що подається на ГВП, мм:

$$d_{\text{ГВПзв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5 \cdot 0,001}{1 \cdot 3,14}} \cdot 1000 = 25$$

Приймаємо трубу стандартного діаметру 32 мм.

Діаметр трубопроводу, що йде від котла, мм:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,75 \cdot 0,001}{1 \cdot 3,14}} \cdot 1000 = 105 \sqrt{\frac{4 \cdot 11 \cdot 0,001}{1 \cdot 3,14}} \cdot 1000 = 118,$$

де 11 кг/с – витрата води на один котел.

Приймаємо трубу стандартного діаметру 133*4 мм.

Трубопроводи котельної – сталеві труби.

Діаметри трубопроводів визначені виходячи із максимальних годинних розрахункових витрат теплоносія і допустимих втрат тиску, допустимих швидкостей потоку, економічної і надійної експлуатації.

Матеріал труб:

- для труб по ГОСТ 10704-91 – сталь ВстЗсп5 ГОСТ 380-88,
- для труб по ГОСТ 3262-75* – сталь ВстЗсп5 ГОСТ 380-88.
- для деталей трубопроводів по ГОСТ 17375-83 – 17379-83 – ст.20.

Система трубопроводів оснащена пристроями для спуску води із системи і повітряними кранами. Горизонтальні ділянки трубопроводів передбачено прокласти з ухилом не менш як 0,002 в сторону руху середовища.

10.2. Тепловий розрахунок котельного агрегату

10.2.1. Розрахунок горіння палива

Розрахунком визначають теплоту згоряння палива, витрату повітря, яка необхідна для спалювання, кількість, склад і ентальпію продуктів згоряння.

Вихідними даними для розрахунку є: вид палива, спосіб спалювання, конструкція паливо-спалювального пристрою, тип котельного або пічного агрегату, що впливають на вибір коефіцієнта витрати повітря α в топці і величину присосів повітря по газовому тракту.

Розрахунок горіння палива ведеться: тверде і рідке – на 1 кг, газоподібне – на 1 м^3 .

Паливо характеризується вищою і нижчою теплотою згорання. Вищою теплотою згорання називається кількість тепла, що виділяється при спалюванні одиниці кількості палива з врахуванням теплоти, що міститься у водяних парах продуктів згорання (Q_b^p). У практичних розрахунках застосовується нижча теплота згорання (Q_n^p), менша чим Q_b^p на величину теплоти водяної пари, що утворилися в процесі горіння і містяться у продуктах горіння, кДж/кг:

$$Q_n^p = Q_b^p - 25,2(9H^p + W^p)$$

У теплотехнічних розрахунках варто застосовувати нищу теплоту згорання, що приводиться у довідникових таблицях на суху або горючу масу. Перерахування нижчої теплоти згорання (кДж/кг) з однієї маси на іншу необхідно робити за формулами:

$$Q_n^p = Q_n^c \frac{100 - W^p}{100}; Q_n^p = Q_n^r \frac{100 - W^p - A^p}{100}.$$

Оскільки, у процесі збереження і транспортування зольність і вологість можуть істотно змінюватися, необхідно робити перерахунок теплоти згорання з урахуванням зольності і вологості у споживача.

Склад природного віогазу:

- CH_4 = 58,5 %,
- CO_2 = 40,9 %,
- C_2H_6 = 0,1%,
- C_3H_8 = 0,06 %,
- C_4H_{10} = 0,04 %,
- C_5H_{12} = 0,02%,
- N_2 = 0,3 %.

Розрахуємо процес горіння для суміші біогазу та природного газу. Питома теплота згорання суміші розраховується за формулою, МДж/м³:

$$Q_H^p = 0,01 \sum X_i Q_{H,i}^p =$$

$$= 0,01 \cdot (58,5 \cdot 35,88 + 0,1 \cdot 64,36 + 0,06 \cdot 93,18 + 0,04 \cdot 123,15 + 0,02 \cdot 156,63) =$$

$$= 21,19,$$

де X_i – об'ємна частка горючих складових у паливі, в %;

$Q_{H,i}^p$ – питома теплота згоряння горючих складових X_i палива, МДж/м³

Щільність палива розраховуємо за формулою, кг/м³:

$$\rho^c = 0,0196CO_2 + 0,0125N_2 + 0,0072CH_4 + 0,0134C_2H_6 + 1,967C_3H_8 + 2,593C_4H_{10} =$$

$$= 0,0196 \cdot 40,9 + 0,0125 \cdot 0,3 + 0,0072 \cdot 58,5 + 0,0134 \cdot 0,1 + 1,967 \cdot 0,06 + 2,593 \cdot 0,04 =$$

$$= 1,45,$$

де CO_2 , N_2 , CO , H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} – процентний вміст газів суміші;

Теоретичний об'єм повітря, необхідний для горіння, знаходимо за формулою, м³/м³:

$$V_B^0 = 0,0476 \left(0,5H_2 + 0,5CO + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right) =$$

$$0,0476 \cdot \left(2 \cdot 58,5 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 0,1 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,06 + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,04 + 5 + \frac{12}{4} \cdot 0,02 \right) = 5,62.$$

Теоретичний об'єм трьохатомних газів знаходимо за формулою, м³/м³:

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \left(CO + CO_2 + H_2S + CH_4 + \sum m C_m H_n + SO_2 \right) =$$

$$= 0,01 \cdot (40,9 + 58,5 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,06 + 4 \cdot 0,04 + 5 \cdot 0,02) = 1.$$

Теоретичний об'єм азоту знаходимо за формулою, м³/м³:

$$V_{N_2}^0 = N_2^B V_B^0 + \frac{N_2^{газ}}{100} = 0,79 \cdot 5,62 + \frac{0,3}{100} = 4,44.$$

Теоретичний об'єм водяних парів знаходимо за формулою м³/м³:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \left(H_2 + H_2S + 2CH_4 + \sum \left(\frac{n}{2} C_m H_n \right) + H_2O \right) =$$

$$= 0,01 \cdot \left(2 \cdot 58,5 + \left(\frac{6}{2} \cdot 0,1 + \frac{8}{2} \cdot 0,06 + \frac{10}{2} \cdot 0,04 + \frac{12}{2} \cdot 0,02 \right) \right) = 1,18.$$

Загальний об'єм газів, м³/м³:

$$V_{\Gamma}^0 = V_{H_2O} + V_{N_2}^0 + V_{RO_2} = 1,18 + 4,44 + 1 = 6,62.$$

Втрати тепла з хімічним недопалом прийmemo рівним $q_3 = 1,5 \%$.

Коефіцієнти надлишку повітря в конвективних системах котла прийmemo наступними:

- в топці $\alpha_T'' = 1,05$, $\Delta\alpha_T = 0,05$;
- в конвективному пучку – $\Delta\alpha_K = 0,05$;
- в економайзері – $\Delta\alpha_{ек} = 0,1$.

Розраховуємо значення коефіцієнта надлишку повітря в елементах котла:

- В ТОПЦІ

$$\alpha_{\text{T}} = \alpha_{\text{T}}'' + \Delta\alpha_{\text{T}} = 1,05 + 0,05 = 1,1$$

- в конвективному пучку:

$$\alpha_K = \alpha_T + \Delta\alpha_K = 1,10 + 0,05 = 1,15,$$

- на вході в економайзер:

$$\alpha'_{\text{ЭК}} = \alpha_{\text{ЭК}} + \Delta\alpha_{\text{ЭК}} = 1,15 + 0,05 = 1,20,$$

- на виході з економайзера:

$$\alpha''_{\alpha\kappa} = \alpha'_{\alpha\kappa} + \Delta\alpha_{\alpha\kappa} = 1,2 + 0,1 = 1,3.$$

Розрахунок процесу горіння представлений в табл. 10.7.

Розраховуємо ентальпію газів горіння, приймаючи відповідні значення температур в кожній частині котла за наступною формулою:

$$H_{\Gamma,\Gamma} = t_{\Gamma,\Gamma} \left(V_{\text{RO}_2} c_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2} c_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 c_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha - 1) V_{\text{B}}^0 c_{\text{B}} \right),$$

де $t_{\Gamma\Gamma}$ – температура горіння газів, °C;

c_{CO_2} , c_{N_2} , $c_{\text{H}_2\text{O}}$, c_{B} – теплоємності відповідних компонентів, кДж/(м³·К).

Розрахунки приведені в табл. 10.8.

Нижче приведена H - t діаграма для визначення ентальпії відхідних газів.

Таблиця 10.7. Розрахунок горіння суміші газів.

Найменування показника	Символ, формула	Значення			
		$\alpha_T = 1,1$	$\alpha_K = 1,15$	$\alpha'_{ЭК} = 1,20$	$\alpha''_{ЭК} = 1,3$
Теоретичний об'єм повітря, $\text{м}^3/\text{м}^3$	V_B^0	5,62			
Об'єм трьохатомних газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{RO}_2}^0$	1,00			
Теоретичний об'єм азоту, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{N}_2}^0$	4,44			
Теоретичний об'єм парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0$	1,18			
Надлишок повітря, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$\Delta V_B = (\alpha - 1)V_B^0$	0,562	0,843	1,124	1,686
Надлишковий об'єм парів $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,016\Delta V_B$	0,009	0,013	0,018	0,027
Реальний об'єм сухих газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{с.г.}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + \Delta V_B$	6,002	6,283	6,564	7,126
Реальний об'єм парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + \Delta V_{\text{H}_2\text{O}}$	1,189	1,193	1,198	1,207
Загальний об'єм газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{г.г.}} = V_{\text{с.г.}} + V_{\text{H}_2\text{O}}$	7,191	7,476	7,762	8,333
Об'ємна доля трьохатомних газів	$r_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2} / V_{\text{г.г.}}$	0,139	0,133	0,128	0,12
Об'ємна доля водяної пари	$r_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{г.г.}}$	0,164	0,158	0,152	0,142
Загальна об'ємна доля	$r_t = r_{\text{RO}_2} / r_{\text{H}_2\text{O}}$	0,848	0,842	0,842	0,845
Температура точки роси, °С	$t_{\text{т.р.}} = f(p_{\text{H}_2\text{O}} = r_{\text{H}_2\text{O}})$	58	57	56	55
Щільність газів, $\text{кг}/\text{м}^3$	$\rho_{\text{Г}} = (\rho^c + 1,293\alpha V_B^0) / V_{\text{г.г.}}$	1,31	1,312	1,310	1,307

Таблиця 10.8. Розрахунок ентальпії відхідних газів при різних температурах

$t_{г.г},$ °C	Трьохатомні гази			Азот			Пара			Надлишкове повітря			$\Delta V_c,$ м³/м³	$H_{г.г},$ кДж/м³
	$V_{RO_2},$ м³/м³	$c_{RO_2},$ кДж/(м³·К)	$V_c,$ м³/м³	$V_{N_2},$ м³/м³	$c_{N_2},$ кДж/(м³·К)	$V_c,$ м³/м³	$V^0_{H_2O},$ м³/м³	$c_{H_2O},$ кДж/(м³·К)	$V_c,$ м³/м³	$\Delta V_b,$ м³/м³	$c_b,$ кДж/(м³·К)	$V_c,$ м³/м³		
= 1,10														
2000	1,00	2,439	2,439	4,44	1,485	6,593	1,18	1,965	2,319	0,562	1,534	0,862	12,213	24426
800	1,00	2,141	2,141	4,44	1,368	6,07	1,18	1,670	1,970	0,562	1,412	0,79	10,971	8776,8
= 1,15														
1000	1,00	2,217	2,217	4,44	1,393	6,185	1,18	1,724	2,034	0,843	1,438	1,212	11,648	11648
400	1,00	1,932	1,932	4,44	1,318	5,852	1,18	1,567	1,849	0,843	1,355	1,142	10,775	4310
= 1,20														
500	1,00	1,999	1,999	4,44	1,329	5,900	1,18	1,591	1,877	1,124	1,369	1,539	11,315	5657,5
200	1,00	1,798	1,798	4,44	1,301	5,776	1,18	1,523	1,797	1,124	1,333	1,498	10,869	2173,8
= 1,30														
400	1,00	1,931	1,931	4,44	1,318	5,852	1,18	1,567	1,849	1,686	1,355	2,484	12,116	4846,4
100	1,00	1,714	1,714	4,44	1,297	5,759	1,18	1,507	1,778	1,686	1,325	2,234	11,485	1148,5

10.2.2. Тепловий баланс котла

Прийmemo температуру відхідних газів, як і в попередньому пункті рівною 165 °С. З діаграми на рис. 10.5 видно, що ентальпія газів при даній температурі дорівнює $H_{в.г} = 1920$ кДж/м³.

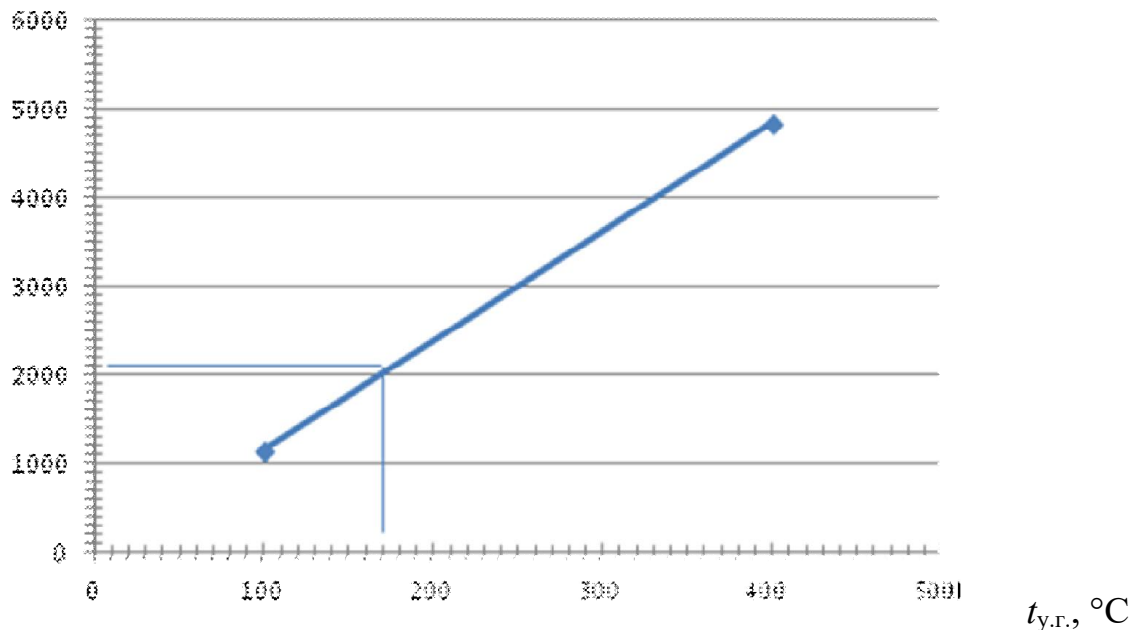


Рис. 10.5. H - t діаграма для визначення ентальпії відхідних газів.

Враховуючи це розрахуємо втрати теплоти з ентальпією відхідних газів, %:

$$q_2 = \frac{H_{в.г} - H_{в.}}{Q_H^p} \cdot 100\% = \frac{1920 - 490,95}{21,19 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 6,7$$

Прийmemo значення втрат тепла в оточуюче середовище через зовнішнє охолодження. Для котла $D = 30$ т/год., $q_5 = 1,2$ %.

Так як котел працює не на всю потужність, то необхідно розрахувати втрати для реальної потужності, %:

$$q_5^p = q_5 \cdot \frac{D}{D_p} = 1,2 \cdot \frac{30}{22} = 1,636.$$

Розраховуємо ККД брутто котла:

$$\eta_{бр} = 1 - \frac{q_2 + q_3 + q_5}{100} = 1 - \frac{6,7 + 1,5 + 1,636}{100} = 0,90.$$

Розраховуємо витрату палива:

$$B = \frac{D_p(h_v - h_{п.в.})}{Q_H^p \eta_{бр}} = \frac{6,11 \cdot (3332,371 - 439,95)}{21190 \cdot 0,90} = 0,93,$$

де h_v – ентальпія на виході з котла, кДж/кг;

$h_{п.в.}$ – ентальпія живильної води на вході в котел, кДж/кг;

Q_H^p – нижча теплота згоряння природного газу, в МДж/м³

Для визначення обсягів продуктів згоряння і повітря, а так само тепла відданого газами в поверхнях нагріву, вводиться розрахункова витрата палива, обчислюваний з урахуванням хімічного недопалювання, м³/с:

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_3}{100} \right) = 0,93 \cdot \left(1 - \frac{1,5}{100} \right) = 0,92.$$

Висновки

В даній випускній кваліфікаційній роботі розроблені системи комплексного енергопостачання та локального теплопостачання мікрорайону вул. “Незалежності” м. Кропивницького.

В роботі виконаний розрахунок електричних навантажень споживачів вул. Незалежності методом коефіцієнта участі у максимумі навантаження. Також побудована картограма електричних навантажень, графіки електричних навантажень та компенсації реактивної потужності. До встановлення прийняті батареї конденсаторів на 0,4 кВ загальною потужністю 1370 квар, та на 10 кВ – 500 квар.

На основі техніко-економічного розрахунку вибрана схема електропостачання споживачів вул. Незалежності кабельною лінією 10 кВ зі спорудженням центрального розподільчого пристрою 10 кВ. Внутрішнє електропостачання підстанцій здійснюється від ЦРП-10 кВ кабельними лініями за магістральною схемою, з використанням комірок з вакуумними вимикачами.

На основі розрахунків струмів короткого замикання вибрано та перевірено високовольтне обладнання, лічильники.

Також проведено розрахунок теплових навантажень на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання споживачів вул. Незалежності, побудовано річний графік споживання теплової енергії та графік за тривалістю. Проведено гідравлічний розрахунок теплової мережі, на основі якого було обрано діаметри трубопроводів. Проведено вибір теплової ізоляції трубопроводів.

В спеціальному розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядалося питання розробки локальної системи теплопостачання кварталу вул. Незалежності, що найбільш віддалений від центру теплових навантажень. Пропонувалося в якості джерела теплової енергії використати газову котельню з 2 водогрійними котлами потужністю по 1,1 МВт кожний.

Література

1. Харченко В.Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств: Конспект лекцій для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 „Електротехніка” (6.050701 „Електротехніка та електротехнології”) / В.Ф. Харченко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 168 с.

2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електропостачання району міста» з курсу «Електропостачання міст і промислових підприємств» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання та слухачів 2-ої вищої освіти спеціальності 7.05070103, 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Ф. Харченко, В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 60 с.

3. Проектування електрообладнання об’єктів цивільного призначення : ДБН В.2.5-23:2010. – [Чинний від 2010-09-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 84 с. – (Державні будівельні норми України).

4. 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. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

5. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В., Плешков С.П.]; – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

6. Методичні вказівки загальні вимоги по оформленню та змісту кваліфікаційного проекту : для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, О. І. Сіріков, А. І. Котиш] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 62 с.