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. Плєшков
“___“ _____2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи енергопостачання мікрорайону вул. “Любомира Гузара” м. Кропивницький Development of a power supply system for the microdistrict of Liubomyr Huzar Street in Kropyvnytskyi»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕНМ-21-3СК
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Т. Калініченко
«____»_____2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
«_____»_____2024 р.

Рецензент _____
_____

м. Кропивницький

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. Плєшков
«_____»_____2024 р.

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

Калініченко Тараса Олександровича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи енергопостачання мікрорайону вул. "Любомира Гузара" м. Кропивницький*
Development of a power supply system for the microdistrict of Liubomyr Huzar Street in 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 *10.06.2024 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: розробка системи енергопостачання мікрорайону вул. "Любомира Гузара" м. Кропивницький*
Завдання: 1. Вступ. 2. Розрахунок ел. навантажень. 3. Розрахунок теплових навантажень. 4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції. 5. Вибір системи та джерела теплопостачання. 6. Побудова графіків ел. навантажень. 7. Побудова картограми електричних та теплових навантажень. 8. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання мікрорайону. 9. Режими РП системи електропостачання. 10. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. 11. Спеціальний розділ. Розробка системи локального теплопостачання; 12. Висновки; 13. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	*доцент Н. Гарасьова*		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*	*06.05-07.05*	
2	*Розрахунок електричних навантажень*	*07.05-10.05*	
3	*Розрахунок теплових навантажень*	*10.05-12.05*	
4	*Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції*	*12.05-14.05*	
5	*Вибір системи та джерела теплопостачання*	*14.05-16.05*	
6	*Побудова графіків електричних навантажень*	*16.05-17.05*	
7	*Побудова картограми електричних та теплових навантажень*	*17.05-19.05*	
8	*Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання мікрорайону*	*19.05-21.05*	
9	*Режими реактивної потужності системи електропостачання*	*21.05-25.05*	
10	*Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання*	*25.05-29.05*	
11	*Спеціальний розділ. Розробка системи локального теплопостачання*	*29.05-05.06*	
12	*Висновки*	*05.06-06.06*	
13	*Перелік посилань*	*06.06-07.06*	
14	*Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів*	*07.06-10.06*	

Дата видачі завдання
«____» _____ 2024 р.
Підпис керівника
_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«____» _____ 2024 р.
Підпис здобувача
_____ Калініченко Т. О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 70 с.; 7 рис.; 36 табл.; 7 джерел

Калініченко Т.О. Розробка системи енергопостачання мікрорайону вул. “Любомира Гузара” м. Кропивницький. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2024 рік.

В проекті виконаний розрахунок електричних навантажень споживачів вул. “Любомира Гузара” методом коефіцієнта участі у максимумі навантаження. Побудована картограма та графіки електричних навантажень, розрахована компенсація реактивної потужності. На основі техніко-економічного розрахунку вибрана схема зовнішнього електропостачання. На основі розрахунків струмів короткого замикання вибрано та перевірено високовольтне обладнання.

Для розробки системи теплопостачання в роботі проведено розрахунок теплових навантажень на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання споживачів вул. “Любомира Гузара”. Сумарне теплове навантаження – 6,9 МВт. Проведено гідравлічний розрахунок теплової мережі, на основі якого обрано діаметри трубопроводів. Проведено вибір теплової ізоляції трубопроводів, розраховано втрати теплової потужності крізь неї.

В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розглядалося питання розробки локальної системи теплопостачання. Розглянутий спосіб локального теплопостачання за допомогою використання індивідуальних теплових пунктів, які регулюють температуру опалення в залежності від температури зовнішнього середовища, з зниженням енергоспоживання в нічні години та на вихідні. Таким чином досягається суттєва економія тепла в середньому з будинку близько 11%. В результаті щорічно досягається економія теплової енергії на суму 736 тис. грн.

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

ABSTRACT

Qualification work: 70 p.; 7 Fig.; 36 tables; 7 sources

Kalinichenko T.O. Development of a power supply system for the microdistrict of Liubomyr Huzar Street in Kropyvnytskyi. - Manuscript.

Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational and professional program "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

In the project, the calculation of the electrical loads of the consumers of the street was performed. "Lyubomyr Husar" by the method of participation coefficient in the maximum load. A cartogram and graphs of electric loads were built, reactive power compensation was calculated. Based on the technical and economic calculation, the external power supply scheme was selected. Based on calculations of short-circuit currents, high-voltage equipment is selected and tested.

For the development of the heat supply system, the calculation of heat loads for heating, ventilation and hot water supply of consumers of the street was carried out. "Lyubomir Husar". The total heat load is 6.9 MW. The hydraulic calculation of the heat network was carried out, on the basis of which the diameters of the pipelines were chosen. The selection of thermal insulation of pipelines was carried out, the loss of thermal power through it was calculated.

In a special section of the qualification work, the issue of developing a local heat supply system was considered. The method of local heat supply with the use of individual heat points, which regulate the heating temperature depending on the temperature of the external environment, with a decrease in energy consumption at night and on weekends, is considered. In this way, significant heat savings of about 11% are achieved on average from the house. As a result, thermal energy savings in the amount of UAH 736,000 are achieved annually.

Key words: electrical load, compensation of reactive power, heat load, choice of energy equipment, local heat supply

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 9

1.1. Розрахунок електричних навантажень житлових будинків та закладів культурно-побутового призначення 9

1.2. Розрахунок навантаження зовнішнього і внутрішньоквартального освітлення 12

1.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах вище 1000 В мікрорайону 12

1.4. Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанцій для мікрорайону 15

2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ 16

2.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення 16

2.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію 17

2.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання 18

3. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ 22

3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі 22

3.2. Розрахунок теплової ізоляції 25

4. ВИБІР СИСТЕМИ ТА ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ 28

5. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 30

6. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ 36

6.1. Побудова картограми електричних навантажень 36

6.2. Побудова картограми теплових навантажень 40

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНУ 42

8. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 47

8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації 47

8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності 48

9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 51

9.1. Розрахунок струмів КЗ 51

9.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж 53

9.3. Вибір електрообладнання 54

10. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ 57

ВИСНОВКИ 69

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 70

ВСТУП

Дана випускна кваліфікаційна робота за ступенем «бакалавр» присвячена розробці системи енергопостачання мікрорайону вул. “Любомира Гузара” м. Кропивницький. В спеціальному розділі випускної кваліфікаційної роботи необхідно розробити систему локального теплопостачання.

Розробка системи енергопостачання має на меті забезпечення будівель житлового району електричною та тепловою енергією, тобто необхідно розробити систему електро- та теплопостачання. Дана розробка передбачає вибір необхідного обладнання для забезпечення вказаними енергетичними ресурсами житлової зони, а саме засобами передавання та перетворення енергії. До таких засобів передавання слід віднести електричні та теплові мережі. До засобів перетворення слід віднести в електричних мережах трансформаторні підстанції, а в теплових мережах елеваторні та змішувальні вузли.

Вихідними даними для розробки системи електропостачання є електричні навантаження, які необхідно розрахувати за відповідною методикою в даній випускній кваліфікаційній роботі. Вихідними даними для розробки системи теплопостачання є теплові навантаження, які аналогічно електричним навантаженням також необхідно розрахувати за відповідною методикою.

Вулиця Любомира Гузара м. Кропивницького в основному складається з житлових будинків та невеликих комунально-побутових об’єктів. Промислові об’єкти − відсутні.

Електропостачання споживачів вул. Любомира Гузара може бути здійснене від підстанції «Кіровоградська», яка розташована на відстані 7 км.

Зважаючи на велику протяжність вулиці, актуальним видається питання локального теплопостачання одного з кварталів вулиці, що знаходиться на найбільшій відстані від центру теплових навантажень вулиці. Даному питанню присвячений спеціальний розділ кваліфікаційної роботи. Розробка локального теплопостачання має на меті вибір пристрою генерації теплової енергії, якими є котли з вибором відповідного палива.

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

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

Розрахунок електричного навантаження на вводах 0,4 кВ житлових та громадських будівель будемо проводити за методикою наведеною в [1].

Розрахуємо електричне навантаження будинку за адресою Любомира Гузара 25. Розрахункове активне навантаження квартир напругою 0,4 кВ на вводі в будинок:

$$P_{\text{р.кв.}} = P_{\text{пит.кв.}} n_{\text{кв}} = 1{,}36 \cdot 27 = 36{,}72 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження на вводі в будинок:

$$Q_{\text{р.кв}} = P_{\text{р.кв.}} \text{tg}\varphi_{\text{кв}} = 36{,}72 \cdot 0{,}29 = 10{,}65 \text{ квар.}$$

Розрахункове активне навантаження ліфтових установок:

$$P_{\text{р.л.}} = k_{\text{п.л}} \sum_{i=1}^{n} n_{\text{л}} P_{\text{л.}i} = 0{,}8 \cdot 3 \cdot 7 = 16{,}8 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження ліфтових установок:

$$Q_{\text{р.л}} = P_{\text{р.л.}} \text{tg}\varphi_{\text{л}} = 16{,}8 \cdot 1{,}17 = 19{,}7 \text{ квар.}$$

Розрахункове активне навантаження санітарно-побутових пристроїв:

$$P_{\text{р.спп.}} = k_{\text{п.спп}} \sum_{i=1}^{n} n_{\text{спп}} P_{\text{спп.}i} = 0{,}9 \cdot 3 \cdot 9 = 24{,}3 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження санітарно-побутових пристроїв:

$$Q_{\text{р.спп}} = P_{\text{р.спп.}} \text{tg}\varphi_{\text{спп}} = 24{,}3 \cdot 0{,}75 = 18{,}2 \text{ квар.}$$

Розрахункове активне навантаження на вводі житлового будинку:

$$P_{\text{р.буд.}} = P_{\text{р.кв.}} + k_{\text{н.м.}}(P_{\text{р.л.}} + P_{\text{р.спп.}}) = 36{,}72 + 0{,}9(16{,}8 + 24{,}3) = 73{,}72 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження на вводі житлового будинку:

$$Q_{\text{р.буд.}} = Q_{\text{р.кв.}} + k_{\text{н.м.}}(Q_{\text{р.л.}} + Q_{\text{р.спп.}}) = 10{,}65 + 0{,}9(19{,}7 + 18{,}2) = 44{,}7 \text{ квар.}$$

Розрахункове повне навантаження:

$$S_{\text{р.буд}} = \sqrt{P_{\text{р.буд}}^2 + Q_{\text{р.буд}}^2} = \sqrt{73{,}72^2 + 44{,}7^2} = 86{,}2 \text{ кВА.}$$

Розрахунок електричних навантажень для інших житлових будинків аналогічний. Результати розрахунку наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. 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	$tgj_{кв}$	$Q_{р.кв.}$, квар	К-сть	$P_{н.л.}$, кВт	$k_{п.л.}$	$P_{р.л.}$, кВт	$tgj_{л}$	$Q_{р.л.}$, квар	К-сть	$P_{н.спп}$, кВт	$k_{п.спп.}$	$P_{р.спп}$, кВт	$tgj_{спп}$	$Q_{р.спп}$, квар	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
1	Любомира Гузара 3	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
2	Любомира Гузара 5	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
3	Любомира Гузара 9	90	0,9	81,0	0,29	23,5	0	7	0	0	1,17	0,0	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	102,9	39,9	110,3
4	Любомира Гузара 11	120	0,83	99,6	0,29	28,9	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	127,1	49,5	136,5
5	Любомира Гузара 13	40	1,2	48,0	0,29	13,9	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	75,5	34,6	83,1
6	Любомира Гузара 12а	40	1,2	48,0	0,29	13,9	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	75,5	34,6	83,1
7	Любомира Гузара 15	120	0,83	99,6	0,29	28,9	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	127,1	49,5	136,5
8	Любомира Гузара 19	81	0,95	77,0	0,29	22,3	0	7	0	0	1,17	0,0	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	98,8	38,7	106,1
9	Любомира Гузара 25	27	1,36	36,7	0,29	10,6	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	73,7	44,7	86,2
10	Любомира Гузара 27	12	2	24,0	0,29	7,0	3	7	0,8	16,8	1,17	19,7	3	9	0,9	24,3	0,75	18,2	61,0	41,1	73,5
11	Любомира Гузара 30	32	1,3	41,6	0,29	12,1	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	69,1	32,7	76,5
12	Любомира Гузара 32	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
13	Любомира Гузара 34	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
14	Любомира Гузара 36	8	2,47	19,8	0,29	5,7	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	47,3	26,4	54,2
15	Любомира Гузара 38	12	2	24,0	0,29	7,0	0	7	0	0	1,17	0,0	2	9	1	18,0	0,75	13,5	40,2	19,1	44,5
16	Любомира Гузара 40	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
17	Любомира Гузара 42	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
18	Любомира Гузара 44	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
19	Любомира Гузара 48	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
20	Любомира Гузара 50	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
21	Любомира Гузара 52	120	0,83	99,6	0,29	28,9	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	127,1	49,5	136,5
22	Любомира Гузара 68	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
23	Любомира Гузара 70	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
24	Любомира Гузара 72	80	0,95	76,0	0,29	22,0	0	7	0	0	1,17	0,0	4	9	0,85	30,6	0,75	23,0	103,5	42,7	112,0
Всього																			**2193,3**	**940,6**	**2389,6**

Розрахунок електричного навантаження на вводах 0,4 кВ закладів культурно-побутового призначення та адміністративних будівель будемо проводити за методикою наведеною в [1].

Розрахуємо активне електричне навантаження на вводі школи:

$$P_{\text{р.г.б.}} = p_{\text{п}} N = 0{,}25 \cdot 1320 = 330 \text{ кВт},$$

де $p_{\text{п}} = 0{,}25$ кВт/уч. – питоме електричне навантаження,

$N = 1320$ уч. – розрахункова місткість школи.

Розрахункове реактивне навантаження на вводі школи:

$$Q_{\text{р.г.б.}} = P_{\text{р.г.б.}} \text{tg}\varphi_{\text{г.б.}} = 330 \cdot 0{,}33 = 108{,}9 \text{ квар}.$$

$$S_{\text{р.г.б.}} = \sqrt{P_{\text{р.г.б.}}^2 + Q_{\text{р.г.б}}^2} = \sqrt{330^2 + 108{,}9^2} = 347{,}5 \text{ кВА}.$$

Розрахунок електричних навантажень для інших закладів культурно-побутового призначення та адміністративних будівель аналогічний. Результати розрахунку наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Розрахунок електричних навантажень закладів культурно-побутового призначення та адміністративних будівель до 1 кВ

Номер на плані	Найменування громадських будинків	Питоме навантаження, $P_{\text{п}}$	Коефіцієнт реактивної потужності, tgφ	Розрахункове навантаження		
				$P_{\text{р.г.б.}}$, кВт	$Q_{\text{р.г.б}}$, квар	$S_{\text{р.г.б.}}$, кВА
1	Кож.диспансер	0,15	0,43	225	2,58	225
6, 11, 13, 14	Адміністративна будівля	0,055	0,62	160	0,68	160
17,19	Магазин	0,25	0,75	7,5	5,625	7,5
19	Продуктовий магазин	0,15	0,75	6	4,5	7,5
28	Продовольчий магазин	0,25	0,75	7,5	5,625	7,5
32	Школа на 1320 учнів	0,25	0,33	330	108,9	347,5
33	Лікарня	0,15	0,43	240	3,87	240
39	Дит.садок	0,45	0,2	180	0,54	180

1.2. Розрахунок навантаження зовнішнього і внутрішньоквартального освітлення

Розрахунок електричного навантаження для зовнішнього та внутрішньоквартального освітлення проводити за методикою наведеною в [1].

Розрахункове навантаження для внутрішньоквартального освітлення:

$$P_{\text{р.к.о.}} = p_{\text{п.к.о.}} F = 1{,}2 \cdot 72 = 86{,}4 \text{ кВт},$$

де $p_{\text{п.к.о.}} = 1{,}2$ кВт/га – питоме навантаження для внутрішньоквартального освітлення; F – площа мікрорайону, га.

Розрахункове навантаження для зовнішнього освітлення вулиці знаходимо за довжиною:

$$P_{\text{р.з.о.}} = p_{\text{п.з.о.}} L = 30 \cdot 2{,}2 = 66 \text{ кВт},$$

де $p_{\text{п.з.о}} = 30$ кВт/км – питоме розрахункове навантаження зовнішнього освітлення.

1.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах вище 1000 В мікрорайону

Розрахунок електричних навантажень вище 1000 В проводиться за методикою викладеною в [1].

Розрахункове електричне навантаження 0,4 кВ для ТП1 визначимо за:

$$P_{\text{р.тп1}} = P_{\text{р.max}} + \sum_{j=1}^{m-1} k_{\text{у.м.}j} P_{\text{буд.}j} = 372 + 1{,}0 \cdot 202{,}80 + 1{,}0 \cdot 84{,}87 + 1{,}0 \cdot 103{,}54 +$$

$$+ 1{,}0 \cdot 102{,}87 = 865 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.тп1}} = Q_{\text{р.max}} + \sum_{j=1}^{m-1} k_{\text{у.м.}j} Q_{\text{буд.}j} = 49{,}54 + 1{,}0 \cdot 152{,}10 + 1{,}0 \cdot 34{,}67 + 1{,}0 \cdot 42{,}70 +$$

$$+ 1{,}0 \cdot 39{,}89 = 318{,}9 \text{ квар}.$$

$$S_{\text{р.ТП1}} = \sqrt{P_{\text{р.ТП1}}^2 + Q_{\text{р.ТП1}}^2} = \sqrt{865^2 + 318{,}9^2} = 921{,}91 \text{ кВА}.$$

Втрати в трансформаторах ТП1 визначимо за формулами [4]

$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \left(\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_{з}^2\right) = 2 \cdot \left(2{,}27 + 7{,}6 \cdot 0{,}73^2\right) = 12{,}64 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = n \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100} S_{н} + \frac{U_{кз}}{100} S_{н} \cdot K_{з}^2\right) = 2 \cdot \left(\frac{2}{100} 630 + \frac{5{,}5}{100} 630 \cdot 0{,}73^2\right) = 62{,}13 \text{ квар};$$

де коефіцієнт завантаження трансформаторів цехової ТП

$$K_{\text{з}} = \frac{S_{\text{р}}}{2 S_{\text{нтр}}} = \frac{921{,}91}{2 \cdot 630} = 0{,}73.$$

Каталожні (паспортні) дані застосованого трансформатора з [5]:

$\Delta P_{хх}$ = 2,27 кВт $I_{хх}$ = 2%

$\Delta P_{кз}$ = 7,6 кВт $U_{кз}$ = 5,5%

Розрахункове електричне навантаження 10 кВ ТП1:

$$P_{р.тп1}{}^{10} = P_{р.тп1} + \Delta P_т = 865 + 12{,}64 = 877{,}64 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.тп1}{}^{10} = Q_{р.тп1} + \Delta Q_т = 318{,}9 + 62{,}13 = 381{,}03 \text{ квар},$$

$$S_{р.ТП1}{}^{10} = \sqrt{\left(P_{р.ТП1}{}^{10}\right)^2 + \left(Q_{р.ТП1}{}^{10}\right)^2} = \sqrt{877{,}64^2 + 381{,}03^2} = 956{,}78 \text{ кВА}.$$

Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В, для інших ТП аналогічний. Результати розрахунку оформлені у вигляді табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахунок електричних навантажень вище 1000 В мікрорайону

№ з/п	Назва об'єкту	$K_{у.м}$	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
1	2	3	4	5	6
ТП1					
1.	Кож.диспансер	1,00	202,80	152,10	253,50
2.	Любомира Гузара 3	1,00	84,87	34,67	91,68
3.	Любомира Гузара 5	1,00	103,54	42,70	112,00
4.	Любомира Гузара 9	1,00	102,87	39,89	110,33
5.	Любомира Гузара 2,4,6,8,10,12,14,16,18…28	1,00	372,00	49,54	65,00
Всього на шинах 0,4 кВ ТП1			**865,00**	**318,90**	**921,91**
К-сть трансформаторів: 2					
Номінальна потужність тр-рів: 630 кВА					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,73					
Втрати потужності в трансформаторах:			12,64	62,13	
Всього на шинах 10 кВ ТП1			**877,64**	**381,03**	**956,78**
ТП2					
1.	Любомира Гузара 19	1,00	98,82	38,72	106,13
2.	Любомира Гузара 25	1,00	73,71	44,74	86,23
3.	Любомира Гузара 27	1,00	60,99	41,05	73,52
4.	Любомира Гузара 30	1,00	69,14	32,72	76,49
5.	Любомира Гузара 11,13,15,17,29,31,	1,00	503,20	216,40	547,70
Всього на шинах 0,4 кВ ТП2			**805,86**	**373,63**	**888,26**
К-сть трансформаторів: 2					
Номінальна потужність тр-рів: 630 кВА					

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,7					
Втрати потужності в трансформаторах:			11,99	59,16	
Всього на шинах 10 кВ ТП2			**817,85**	**432,79**	**925,30**
ТП3					
1.	Любомира Гузара 21	1,00	160,00	68,80	174,20
2.	Любомира Гузара 32	1,00	84,87	34,67	91,68
3.	Любомира Гузара 34	1,00	84,87	34,67	91,68
4.	Любомира Гузара 23	1,00	160,00	68,80	174,20
5.	Любомира Гузара 36,38,40	1,00	191,00	88,20	210,40
6.	Любомира Гузара 35,37,39…135	1,00	168,00	72,24	183,00
Всього на шинах 0,4 кВ ТП3			**848,74**	**367,39**	**924,84**
К-сть трансформаторів: 2					
Номінальна потужність тр-рів: 630 кВА					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,73					
Втрати потужності в трансформаторах:			12,64	62,13	
Всього на шинах 10 кВ ТП3			**861,38**	**429,51**	**962,53**
ТП4					
1.	Любомира Гузара 42	1,00	103,50	42,70	112,00
2.	Любомира Гузара 44	1,00	103,50	42,70	112,00
3.	Любомира Гузара 46	1,00	103,50	42,70	112,00
4.	Любомира Гузара 48,50,52,64,66,68,74	1,00	490,00	242,00	637,70
Всього на шинах 0,4 кВ ТП4			**800,50**	**370,10**	**881,92**
К-сть трансформаторів: 2					
Номінальна потужність тр-рів: 630 кВА					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,7					
Втрати потужності в трансформаторах:			11,99	59,16	
Всього на шинах 10 кВ ТП4			**812,49**	**429,26**	**918,91**
ТП5					
1.	Любомира Гузара 54	1,00	330,00	142,00	359,20
2.	Любомира Гузара 56	1,00	240,00	103,20	261,20
3.	Любомира Гузара 60	1,00	180,00	77,40	196,00
4.	Любомира Гузара 70	1,00	103,50	42,70	112,00
Всього на шинах 0,4 кВ ТП5			**853,50**	**365,30**	**928,39**
К-сть трансформаторів: 2					
Номінальна потужність тр-рів: 630 кВА					
Коефіцієнт завантаження тр-ра: 0,74					
Втрати потужності в трансформаторах:			12,86	63,15	
Всього на шинах 10 кВ ТП5			**866,36**	**428,45**	**966,52**

1.4. Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанцій для мікрорайону

Приводимо приклад розрахунку та вибору трансформаторів для ТП-1.

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі для ТП-1:

$$K_з = \frac{S_{рТП1}}{nS_{нтр}} = \frac{921,91}{2 \cdot 630} = 0,73.$$

де $S_{рТП1}$ − повна розрахункова потужність підстанції, кВА;

n − кількість трансформаторів на ТП, шт;

$S_{нтр}$− номінальна потужність трансформатора ТП1, кВА.

Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі:

$$K_{за} = 2K_з = 2 \cdot 0,73 = 1,46.$$

Розрахунки для інших ТП аналогічні і зведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Розрахунок навантаження трансформаторних підстанцій.

Номер ТП за планом	Повна розрахункова потужність ТП, $S_{ТП}$, кВА	Потужність тр-ра, $S_{нт}$, кВА	Тип тр-ра	Коефіцієнт завантаження тр-ра	
				В норм. режимі, $K_{зн}$	В авар. режимі, $K_{за}$
1	956,7	2×630	ТМ630-10/0,4	0,73	1,46
2	925,3	2×630	ТМ630-10/0,4	0,7	1,4
3	962,5	2×630	ТМ630-10/0,4	0,73	1,46
4	919	2×630	ТМ630-10/0,4	0,7	1,4
5	966,5	2×630	ТМ630-10/0,4	0,74	1,48

2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення

Розрахунок теплового навантаження на опалення будемо проводити за методикою наведеною в [2, 3, 6].

Виконаємо розрахунок теплових навантажень на опалення для будівлі за адресою Любомира Гузара, 3. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 18°C$; $q_о = 0{,}38$ Вт/(м^3·°С); $V_з = 13060$ м^3; $t_{р.о..} = -21°C$.

Теплове навантаження на опалення:

$$Q_о^р = q_о V_з (t_{в.р.} - t_{р.о..}) = 0{,}38 \cdot 13060 \cdot (18 - (-21)) = 193{,}5 \text{кВт}.$$

Розрахунок теплового навантаження на опалення інших будівель здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Результати розрахунку теплових навантажень на опалення

№ з/п	Назва будівлі	$V_з$, тис.м^3	$q_о$, Вт/м^3°С	$t_{в.р..}$, °С	$Q_о^р$, кВт
1	2	3	4	5	6
Житлові будівлі					
1	Любомира Гузара, 3	13,06	0,38	18	193,5
2	Любомира Гузара, 5	13,06	0,38	18	193,5
3	Любомира Гузара, 7	13,06	0,38	18	193,5
4	Любомира Гузара , 9	17,55	0,36	18	246,4
5	Любомира Гузара, 11	17,55	0,36	18	246,4
6	Любомира Гузара 12а	16,42	0,39	18	230,5
7	Любомира Гузара 13	17,55	0,36	18	246,4
8	Любомира Гузара 15	17,55	0,36	18	246,4
9	Любомира Гузара, 19	28,08	0,33	18	361,4
10	Любомира Гузара, 30	25,2	0,35	18	343,9
11	Любомира Гузара, 21	25,2	0,35	18	343,9
12	Любомира Гузара, 25	28,08	0,33	18	361,4
13	Любомира Гузара,27	6,24	0,42	18	102,2
14	Любомира Гузара, 32	13,06	0,39	18	198,6
15	Любомира Гузара, 34	13,06	0,39	18	198,6
16	Любомира Гузара, 36	6,24	0,42	18	102,2
17	Любомира Гузара 38	8,92	0,42	18	146,1
18	Любомира Гузара 40	12,06	0,41	18	192,8

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6
19	Любомира Гузара 42	12,06	0,41	18	192,8
20	Любомира Гузара 44	13,06	0,38	18	193,5
21	Любомира Гузара 48	13,06	0,38	18	193,5
22	Любомира Гузара 50	13,86	0,38	18	205,4
23	Любомира Гузара 52	13,86	0,38	18	205,4
24	Любомира Гузара 56	9,24	0,42	18	151,3
25	Любомира Гузара 58	13,86	0,38	18	205,4
26	Любомира Гузара 68	13,06	0,39	18	198,6
27	Любомира Гузара 70	8,04	0,42	18	131,7
28	Любомира Гузара 72	8,04	0,42	18	131,7
Культурно-побутові та адміністративні будівлі					
29	Кож. диспансер	7,83	0,44	16	127,5
30	Адміністративна будівля	2,31	0,5	16	42,7
31	Адміністративна будівля	3,28	0,5	16	60,68
32	Адміністративна будівля	1,08	0,5	16	19,98
33	Адміністративна будівля	1,08	0,5	16	19,98
34	Магазин №1	0,72	0,5	16	13,32
35	Магазин №2	0,36	0,5	16	6,66
36	Школа	5,22	0,465	20	99,5
37	Дитячий садок	1,74	0,465	20	33,1

2.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію будемо проводити за методикою викладеною в [2, 3, 6].

Виконаємо розрахунок теплових навантажень на вентиляцію для будівлі кож. диспансеру. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16°C$; $t_{н.в.} = -9°C$; $q_в = 0,44$ Вт/(м^3°С); $V_з = 7830$ м^3.

Теплове навантаження на вентиляцію кож. диспансеру, кВт:

$$Q_в^р = q_в V_з (t_{в.р.} - t_{р.в..}) = 0,44 \cdot 7830 \cdot (16 - (-9)) = 86,13 \text{ кВт}.$$

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію інших будівель проводиться аналогічно. Результати розрахунку приведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Результати розрахунку теплового навантаження на вентиляцію

№ з/п	Назва будівлі	$V_з$,тис.м^3	$q_в$, Вт/м^3 °С	$t_{в.р.}$, °С	$Q_в^р$, кВт
Культурно-побутові та адміністративні будівлі					
29	Кож. диспансер	7,83	0,44	16	86,13
30	Адміністративна будівля	2,31	0,5	16	28,8
31	Адміністративна будівля	3,28	0,5	16	41
32	Адміністративна будівля	1,08	0,5	16	13,5
33	Адміністративна будівля	1,08	0,5	16	13,5
34	Магазин №1	0,72	0,5	16	9
35	Магазин №2	0,36	0,5	16	4,5
36	Школа	5,22	0,465	20	60,7
37	Дитячий садок	1,74	0,465	20	20,2

2.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання

Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання будемо проводити за методикою наведеною в [2, 3, 6].

В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання для будинку за адресою Любомира Гузара, 44. Дані для розрахунку: a = 120 м^3/(доба·мешканець); m = 240 жителів; $t_г$ = 65°С; $t_{х.з.}$ = 5°С; $t_{х.л.}$ = 15°С; β = 0,8; χ = 2.

Середньогодинне навантаження на гаряче водопостачання в зимовий період:

$$Q_{г.з.}^{сер.т.} = \frac{amc_в(t_г - t_х)}{n_с} = \frac{120 \cdot 240 \cdot 4190(65-5)}{24 \cdot 3600} = 83{,}80 \text{ кВт.}$$

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання в літній період:

$$Q_{г.л.}^{сер.т.} = Q_{г.з.}^{сер.т.} \frac{t_г - t_{х.л.}}{t_г - t_{х.з.}} \beta = 83{,}8 \frac{65-15}{65-5} \cdot 0{,}8 = 55{,}87 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в зимовий період:

$$Q_{г.в.}^{max} = \chi Q_{г.}^{сер.т.} = 2 \cdot 83{,}8 = 167{,}60 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в літній період:

$$Q_{г.л.}^{max} = \chi Q_{г.л.}^{сер.т.} = 2 \cdot 55{,}87 = 111{,}73 \text{ кВт}.$$

Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання для інших будівель вулиці Любомира Гузара аналогічні, результати приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання

№ з/п	Назва будівлі	a, л/од.	m, од.	$Q_{г.з.}^{сер.т.}$, кВт	$Q_{г.л.}^{сер.т.}$, кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	$Q_{г.л.}^{max}$, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Любомира Гузара 3	120	180	62,85	41,90	125,70	83,80
2	Любомира Гузара 5	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
3	Любомира Гузара 9	120	270	94,28	62,85	188,55	125,70
4	Любомира Гузара 11	120	360	125,70	83,80	251,40	167,60
5	Любомира Гузара 13	120	120	41,90	27,93	83,80	55,87
6	Любомира Гузара 12а	120	120	41,90	27,93	83,80	55,87
7	Любомира Гузара 15	120	360	125,70	83,80	251,40	167,60
8	Любомира Гузара 19	120	243	84,85	56,57	169,70	113,13
9	Любомира Гузара 25	120	81	28,28	18,86	56,57	37,71
10	Любомира Гузара 27	120	36	12,57	8,38	25,14	16,76
11	Любомира Гузара 30	120	96	33,52	22,35	67,04	44,69
12	Любомира Гузара 32	120	180	62,85	41,90	125,70	83,80
13	Любомира Гузара 34	120	180	62,85	41,90	125,70	83,80
14	Любомира Гузара 36	120	24	8,38	5,59	16,76	11,17
15	Любомира Гузара 38	120	36	12,57	8,38	25,14	16,76
16	Любомира Гузара 40	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
17	Любомира Гузара 42	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
18	Любомира Гузара 44	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
19	Любомира Гузара 48	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
20	Любомира Гузара 50	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
21	Любомира Гузара 52	120	360	125,70	83,80	251,40	167,60
22	Любомира Гузара 68	120	180	62,85	41,90	125,70	83,80
23	Любомира Гузара 70	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
24	Любомира Гузара 72	120	240	83,80	55,87	167,60	111,73
32	Кож.диспансер	5	300	4,36	2,91	8,73	5,82
33	Адмін.будівля	5	50	0,73	0,48	1,45	0,97

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8
34	Адмін.будівля	5	10	0,15	0,10	0,29	0,19
35	Адмін.будівля	5	30	0,44	0,29	0,87	0,58
36	Адмін.будівля	5	25	0,36	0,24	0,73	0,48
37	Магазин №1	5	20	0,29	0,19	0,58	0,39
38	Магазин №2	5	15	0,22	0,15	0,44	0,29
39	Продуктовий магазин	5	15	0,22	0,15	0,44	0,29
	Всього					**2279,88**	**1519,92**

Загальне теплове навантаження для будівлі за адресою Любомира Гузара, 3:

$$Q_{\Sigma} = Q_{о}^{р} + Q_{в}^{р} + Q_{г.з.}^{max} = 193,5 + 0,00 + 125,70 = 319,20 \text{ кВт}.$$

Розрахунок загального максимального теплового навантаження для інших будівель подібний результати приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Загальне теплове навантаження вулиці Любомира Гузара

№ з/п	Назва будівлі	$Q_{о}^{р}$, кВт	$Q_{в}^{р}$, кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	Q_{Σ}, кВт
1	2	3	4	5	6
Житлові будівлі					
1	Любомира Гузара, 3	193,5	0,00	125,70	319,20
2	Любомира Гузара, 5	193,5	0,00	167,60	361,10
3	Любомира Гузара, 7	193,5	0,00	188,55	382,05
4	Любомира Гузара , 9	246,4	0,00	251,40	497,80
5	Любомира Гузара, 11	246,4	0,00	83,80	330,20
6	Любомира Гузара 12а	230,5	0,00	83,80	314,30
7	Любомира Гузара 13	246,4	0,00	251,40	497,80
8	Любомира Гузара 15	246,4	0,00	169,70	416,10
9	Любомира Гузара, 19	361,4	0,00	56,57	417,97
10	Любомира Гузара, 30	343,9	0,00	25,14	369,04
11	Любомира Гузара, 21	343,9	0,00	67,04	410,94
12	Любомира Гузара, 25	361,4	0,00	125,70	487,10
13	Любомира Гузара,27	102,2	0,00	125,70	227,90
14	Любомира Гузара, 32	198,6	0,00	16,76	215,36
15	Любомира Гузара, 52	198,6	0,00	25,14	223,74

Продовження табл. 2.4.

1	2	3	4	5	6
16	Любомира Гузара, 56	102,2	0,00	167,60	269,80
17	Любомира Гузара, 34	146,1	0,00	167,60	313,70
18	Любомира Гузара, 36	192,8	0,00	167,60	360,40
19	Любомира Гузара 38	192,8	0,00	167,60	360,40
20	Любомира Гузара 40	193,5	0,00	167,60	361,10
21	Любомира Гузара 42	193,5	0,00	251,40	444,90
22	Любомира Гузара 44	205,4	0,00	125,70	331,10
23	Любомира Гузара 48	205,4	0,00	167,60	299,30
24	Любомира Гузара 50	151,3	0,00	167,60	299,30
25	Любомира Гузара 52	205,4	0,00	8,73	222,33
26	Любомира Гузара 56	151,3	0,00	167,60	361,10
27	Любомира Гузара 58	205,4	0,00	251,40	444,90
28	Любомира Гузара 68	198,6	0,00	125,70	331,10
29	Любомира Гузара 70	131,7	0,00	167,60	299,30
30	Любомира Гузара 72	131,7	0,00	167,60	299,30
Культурно-побутові будівлі					
29	Кож.диспансер	127,47	86,13	8,73	222,33
30	Адмін.будівля	42,74	28,88	1,45	73,06
31	Адмін.будівля	60,68	41,00	0,29	101,97
32	Адмін.будівля	19,98	13,50	0,87	34,35
33	Адмін.будівля	19,98	13,50	0,73	34,21
34	Магазин №1	13,32	9,00	0,58	22,90
35	Магазин №2	6,66	4,50	0,44	11,60
36	Школа	89,81	70,39	0,44	160,64
37	Дит.садок	29,94	23,46	0,44	53,84
	Всього	**4438,53**	**196,51**	**2279,88**	**6914,92**

3. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

Гідравлічний розрахунок теплових мереж будемо проводити за методикою наведеною в [4, 6].

Для проведення гідравлічного розрахунку необхідно визначити витрату мережевого теплоносія, тобто води. В якості прикладу проведемо розрахунок витрат води для будинку Любомира Гузара, 3. При визначені витрати мережевої води приймемо, що температурний графік системи опалення 95/70°С.

Витрата води на опалення:

$$G_{\text{о}}^{\max} = \frac{Q_{\text{о}}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{193{,}5}{4{,}19(95-70)} = 1{,}85 \text{ кг/с}.$$

Витрата води на вентиляцію:

$$G_{\text{в}}^{\max} = \frac{Q_{\text{в}}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{0}{4{,}19(95-70)} = 0 \text{ кг/с}.$$

Витрати води на гаряче водопостачання:

$$G_{\text{г.в}}^{\max} = \frac{Q_{\text{г.в}}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{125{,}70}{4{,}19(65-15)} = 0{,}6 \text{ кг/с}.$$

Сумарна витрата води:

$$G_{\Sigma} = G_{\text{о}}^{\max} + G_{\text{в}}^{\max} + G_{\text{г.в}}^{\max} = 1{,}85 + 0 + 0{,}6 = 2{,}45 \text{ кг/с}.$$

Розрахунок витрати води для інших будівель аналогічний. Результати розрахунку наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку витрат води

№ з/п	Назва будівлі	$G_{\text{о}}^{\max}$, кг/с	$G_{\text{в}}^{\max}$, кг/с	$G_{\text{г.в}}^{\max}$, кг/с	G_{Σ}, кг/с
1	2	3	4	5	6
1	Любомира Гузара 3	1,85	0,00	0,60	2,45
2	Любомира Гузара 5	1,85	0,00	0,80	2,65
3	Любомира Гузара 9	1,85	0,00	0,90	2,75
4	Любомира Гузара 11	2,35	0,00	1,20	3,55

Продовження табл. 3.1.

1	2	3	4	5	6
5	Любомира Гузара 13	2,35	0,00	0,40	2,75
6	Любомира Гузара 12а	2,20	0,00	0,40	2,60
7	Любомира Гузара 15	2,35	0,00	1,20	3,55
8	Любомира Гузара 19	2,35	0,00	0,81	3,16
9	Любомира Гузара 25	3,45	0,00	0,27	3,72
10	Любомира Гузара 27	0,98	0,00	0,12	1,10
11	Любомира Гузара 30	1,90	0,00	0,32	2,22
12	Любомира Гузара 32	1,90	0,00	0,60	2,50
13	Любомира Гузара 34	0,98	0,00	0,60	1,58
14	Любомира Гузара 36	1,39	0,00	0,08	1,47
15	Любомира Гузара 38	1,84	0,00	0,12	1,96
16	Любомира Гузара 40	1,84	0,00	0,80	2,64
17	Любомира Гузара 42	1,85	0,00	0,80	2,65
18	Любомира Гузара 44	1,85	0,00	0,80	2,65
19	Любомира Гузара 48	1,96	0,00	0,80	2,76
20	Любомира Гузара 50	1,96	0,00	0,80	2,76
21	Любомира Гузара 52	1,44	0,00	1,20	2,64
22	Любомира Гузара 68	1,96	0,00	0,60	2,56
23	Любомира Гузара 70	1,90	0,00	0,80	2,70
24	Любомира Гузара 72	1,26	0,00	0,80	2,06
25	Кож.диспансер	1,22	0,82	0,04	2,08
26	Адмін.будівля	0,41	0,28	0,01	0,69
27	Адмін.будівля	0,58	0,39	0,00	0,97
28	Адмін.будівля	0,19	0,13	0,00	0,32
29	Адмін.будівля	0,19	0,13	0,01	0,33
30	Магазин №1	0,13	0,09	1,01	1,22
31	Магазин №2	0,06	0,04	2,01	2,12
32	Школа	0,86	0,67	2,01	3,54
	Всього	49,23	2,55	20,91	72,69

Гідравлічний розрахунок проведено із застосуванням математичного пакету ***Microsoft Excel.*** Результати гідравлічного розрахунку теплових мереж наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Результати гідравлічного розрахунку теплових мереж.

Розрахункова ділянка		Характеристика ділянки		Витрати води, т/год	Напір в кінці ділянки, м.вод.ст.
N2	N1	Діаметр, мм	Довжина, м		
1	2	3	4	5	6
3	1	60	44	7,49	1,59
3	2	60	18	8,81	1,55
7	3	60	22	16,3	1,65
6	5	60	4,48	9,53	2,72
6	4	60	44	9,36	2,69
7	6	115	23,8	18,89	2,81
9	7	115	61	35,2	2,94
9	8	60	25	2,48	7,65
11	9	115	46	37,68	9,12
11	10	60	14	9,98	9,05
13	11	60	14	47,57	9,49
13	12	60	99	9,9	19,52
15	13	115	34	57,48	20,66
15	14	60	14	12,79	9,05
17	15	115	30	70,27	33,08
17	16	60	13	3,5	24,02
19	17	115	14	73,76	45,94
19	18	60	63	12,79	52,86
21	19	230	60	86,55	56,79
23	21	230	21	97,94	70,27
23	22	60	13	7,98	66,86
25	23	230	13	105,91	70,79
25	24	60	53	8,99	58,4
27	25	230	43	114,9	71,36
27	26	60	25	5,67	67,41
29	27	230	8	120,57	72,82
29	28	60	20	1,17	72,19
31	29	230	46	121,74	73,15
31	30	60	23,8	5,31	67,9
33	31	230	24	127,05	75,65
33	32	60	27	13,39	74,3
36	34	60	54	4,5	70,66
36	35	60	11	3,94	71,11
37	36	60	53	8,35	73,16
37	33	230	8	140,44	77,12
39	37	230	85	148,79	77,68
39	38	60	15	7,06	81,46

Продовження табл. 3.2.

1	2	3	4	5	6
41	39	230	43	155,58	85,6
41	40	60	21	9,51	81,35
44	42	60	160,2	1,19	3,86
44	43	60	30	7,41	10,05
46	44	60	71,4	8,59	10,86
46	45	60	30	9,71	0,66
48	46	115	55	18,3	20,83
48	47	60	37,38	9,22	26,92
50	48	115	65,5	27,52	35,55
50	49	60	11	7,62	20,37
53	51	60	103	9,52	26,84
53	52	60	18	12,74	27,56
55	53	115	35	22,26	28,67
55	54	60	11	9,94	26,84
56	55	115	115	32,2	33,73
56	50	115	25	35,14	43,14
58	56	115	216	42,76	65,69
58	57	60	44	9,53	50,07
60	58	115	172	52,29	72,38
60	59	60	49	9,53	61,98
60	41	230	88	165,35	79,92

3.2. Розрахунок теплової ізоляції

Розрахунок втрат в теплових мережах будемо проводити за методикою наведеною в [4, 6].

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. 3.3.

При розрахунках прийнято:

$\lambda_{із}$ = 0,033 Вт/(м·℃);

$\lambda_{пе}$ = 0,43 Вт/(м·℃);

Температура ґрунту $t_г$ = 2°С, середня температура в подавальному трубопроводі 60°С, а в зворотному 30°С.

Таблиця 3.3. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції.

№ п/п	Стандартний діаметр труби, мм	Розрахункова товщина пенополіуретану, мм	Товщина захисної поліетиленової оболонки, мм	Опір ізоляції, (м·°С)/Вт	Опір захисного шару, (м·°С)/Вт	Глибина залягання трубопроводу, мм	Опір грунту, (м·°С)/Вт	Сумарний опір трубопроводу, (м·°С)/Вт	Відстань між осями труб, мм	Додатковий термічний опір, (м·°С)/Вт	Температура в подавальному трубопроводі, °С	Температура в зворотньому трубопроводі, °С	Температура грунту, °С	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	44	664,1	302,4
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	18	271,7	123,7
3	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	22	332,1	151,2
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	4,48	67,6	30,8
5	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	44	664,1	302,4
6	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	23,8	546,7	240,8
7	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	61	1401,2	617,1
8	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	25	377,3	171,8
9	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	46	1056,6	465,4
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	14	211,3	96,2
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	14	211,3	96,2
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	99	1494,3	680,5
13	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	34	781,0	344,0
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	14	211,3	96,2
15	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	30	689,1	303,5
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	13	196,2	89,4
17	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	14	321,6	141,6
18	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	63	950,9	433,0
19	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	60	1955,3	824,1
20	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	21	684,3	288,4
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	13	196,2	89,4
22	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	13	423,6	178,6
23	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	53	800,0	364,3
24	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	43	1401,3	590,6
25	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	25	377,3	171,8
26	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	8	260,7	109,9
27	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
28	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	46	1499,0	631,8
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	23,8	359,2	163,6
30	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	24	782,1	329,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
31	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	27	407,5	185,6
32	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	54	815,1	371,2
33	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	11	166,0	75,6
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	53	800,0	364,3
35	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	8	260,7	109,9
36	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	85	2770,0	1167,5
37	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	15	226,4	103,1
38	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	43	1401,3	590,6
39	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	21	317,0	144,3
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	160,2	2418,0	1101,2
41	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
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	71,4	1077,7	490,8
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	55	1263,4	556,4
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	37,38	564,2	256,9
46	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	65,5	1504,6	662,6
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	11	166,0	75,6
48	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	103	1554,6	708,0
49	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	18	271,7	123,7
50	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	35	804,0	354,1
51	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	11	166,0	75,6
52	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	115	2641,6	1163,4
53	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	25	574,3	252,9
54	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	216	4961,6	2185,2
55	60	31,5	3,5	3,462	0,020	800	0,300	3,782	400	0,133	60	30	2	15,1	6,9	44	664,1	302,4
56	115	33	3,5	2,187	0,014	800	0,265	2,467	400	0,133	60	30	2	23,0	10,1	172	3950,9	1740,1
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	49	739,6	336,8
58	230	42	3,5	1,501	0,008	800	0,214	1,724	400	0,133	60	30	2	32,6	13,7	88	2867,7	1208,7
																Всього втрат	**53749**	**23685**

4. ВИБІР СИСТЕМИ ТА ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Вибір принципової схеми теплопостачання мікрорайону

Систему теплопостачання утворює сукупність установок, призначених для підготовки (джерело), подавання (система трубопроводів – мережа) і використання теплоносія (теплоприймачі).

За видом теплоносія, системи теплопостачання поділяються на водяні і парові.

Водяні системи можуть бути двох типів:

- закриті (замкнені), де в тепловій мережі циркулює вода, яка є тепловим носієм при нагріві води для опалень приміщень, гарячого водопостачання, тобто теплоносій з мережі не відбирається;
- відкриті (розімкнені), де вода, що циркулює в мережі, частково або повністю забирається для потреб гарячого водопостачання споживачів.

Для теплопостачання мікрорайону обираємо двотрубну закриту водяну систему. Дане рішення обумовлюється відсутністю необхідності постачання пару, а також характером теплового навантаження. Принципова схема закритої двотрубної водяної системи теплопостачання приведена на рис. 4.1.

У двотрубній закритій водяній системі для гарячого водопостачання використовується водопровідна вода, яка підігрівається в поверхневих теплообмінниках 9 або паралельним абонентським вводом 10.

Максимальна температура води в тепловій мережі звичайно досягає 150°С, а в місцевих системах опалення за санітарно – гігієнічними нормами вона не повинна перевищувати 95°С.

У системах централізованого теплопостачання для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання використовують гарячу воду.

Температура води в подавальному трубопроводі двотрубних водяних системах теплопостачання при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для проектування опалення приймається 150°С, а в окремих обґрунтованих випадках – 95°С. Температура води, яка надходить у теплові мережі і гарячого водопостачання після централізованого теплового пункту, має становити 60°С.

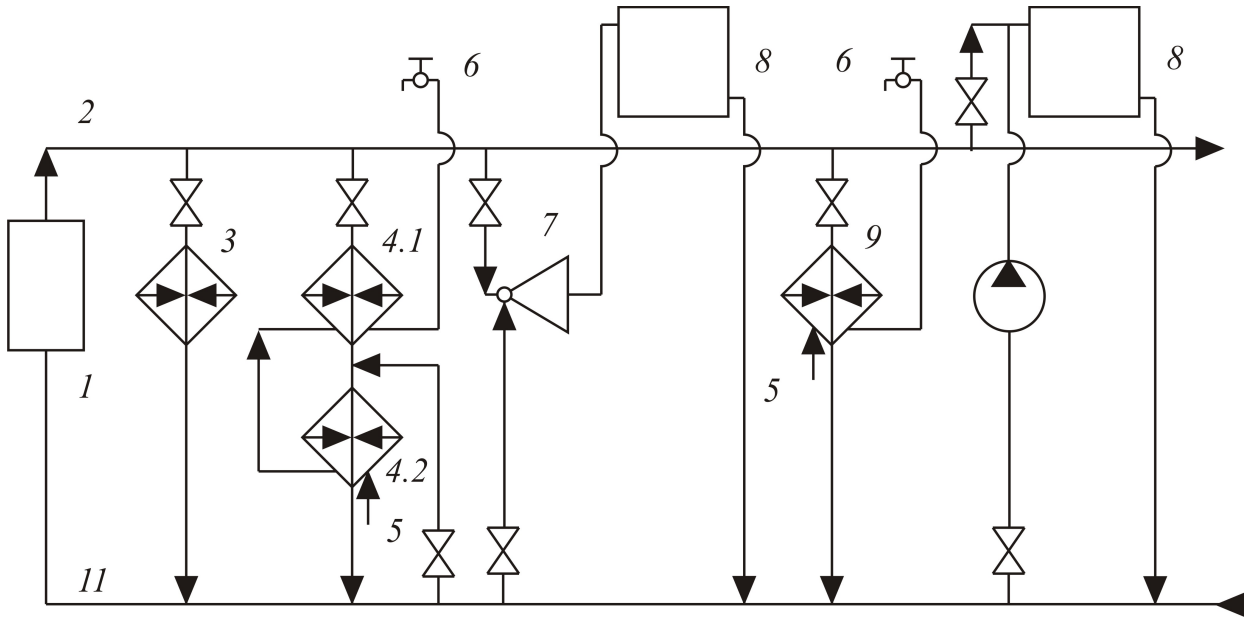


Рис. 4.1. Принципова схема закритої двотрубної водяної системи теплопостачання

1 – джерело теплопостачання; *2* – подавальний трубопровід теплової мережі, *3* – калорифер вентиляції; *4.1*, *4.2* – підігрівачі гарячого водопостачання при змішаному їх підключені; *5* –холодний водопровід; *6* – місцева система гарячого водопостачання; *7* – вузол опалення з елеватором; *8* – нагрівальний прилад; *9* – підігрівник гарячого водопостачаня при паралельному його підключені; *10* – вузол опалення зі змішуючим насосом; *11* – поворотний трубопровід теплової мережі.

Проведемо вибір водогрійного котла (теплогенератора) для котельні системи теплопостачання мікрорайону Любомира Гузара.

Розрахункове сумарне теплове навантаження мікрорайону:

$$Q_{\Sigma} = 6914{,}92 \text{ кВт}.$$

Обираємо до встановлення чотири однакових котлоагрегати КОЛВІ 2000 з номінально теплопродуктивністю 2000 кВт, отже сумарна потужність 8000 кВт.

Технічні характеристики водогрійного котла КОЛВІ 2000 наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики водогрійного котла КОЛВІ 2000

Марка	Теплова продуктивність, кВт	Тиск води, бар	Температура води, °С		ККД, %
			на вході	На виході	
КОЛВІ 2000	2000	6	40	до 115	92

В якості палива використовується природний газ.

5. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Головною метою побудови графіків електричних навантажень є визначення річного часу повних втрат $-\tau$, який визначається за формулою Кізевича [5, 7].

Побудову графіків електронавантажень виконано із застосуванням математичного пакету ***Mathcad.*** При розрахунках прийнято, що літній графік на 15% менше зимового.

При цьому приймається для року:

Кількість днів робочих	Кількість днів вихідних
Зимою – 147	Зимою – 65
Літом – 105	Літом – 48

Більш детально методика розрахунку і побудови графіків електричних навантажень використаних в цьому пункті наведена в [6-8].

1. Активне розрахункове навантаження:

$P_{max} := 4068$ кВт

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$Q_{max} := 1188$ квар

$T_{лето_р} := 105$ $T_{лето_в} := 48$

$T_{зима_р} := 147$ $T_{зима_в} := 65$

$T_г = 365$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кажної ступені графіка (1 - 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. Обчисленнясходинок графіка навантаження:

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

Power_1 =

	1	2	3
1	864	303	916
2	761	303	819
3	761	323	827
4	761	364	843
5	761	323	827
6	795	303	851
7	934	323	988
8	1556	353	1596
9	1729	404	1775
10	1452	303	1484
11	1487	313	1519
12	1487	323	1522
13	1556	303	1585
14	1556	323	1589
15	1452	303	1484
16	1383	303	1416
17	1556	313	1587
18	2524	505	2574
19	2939	808	3048
20	3458	1010	3602
21	3458	1010	3602
22	2766	808	2882
23	2075	606	2161
24	692	303	…

Power_2 =

	1	2	3
1	1017	356	1078
2	895	356	963
3	895	380	972
4	895	428	992
5	895	380	972
6	936	356	1001
7	1098	380	1162
8	1831	416	1877
9	2034	475	2089
10	1709	356	1745
11	1749	368	1788
12	1749	380	1790
13	1831	356	1865
14	1831	380	1870
15	1709	356	1745
16	1627	356	1666
17	1831	368	1867
18	2970	594	3028
19	3458	950	3586
20	4068	1188	4238
21	4068	1188	4238
22	3254	950	3390
23	2441	713	2543
24	814	356	…

Power_3 =

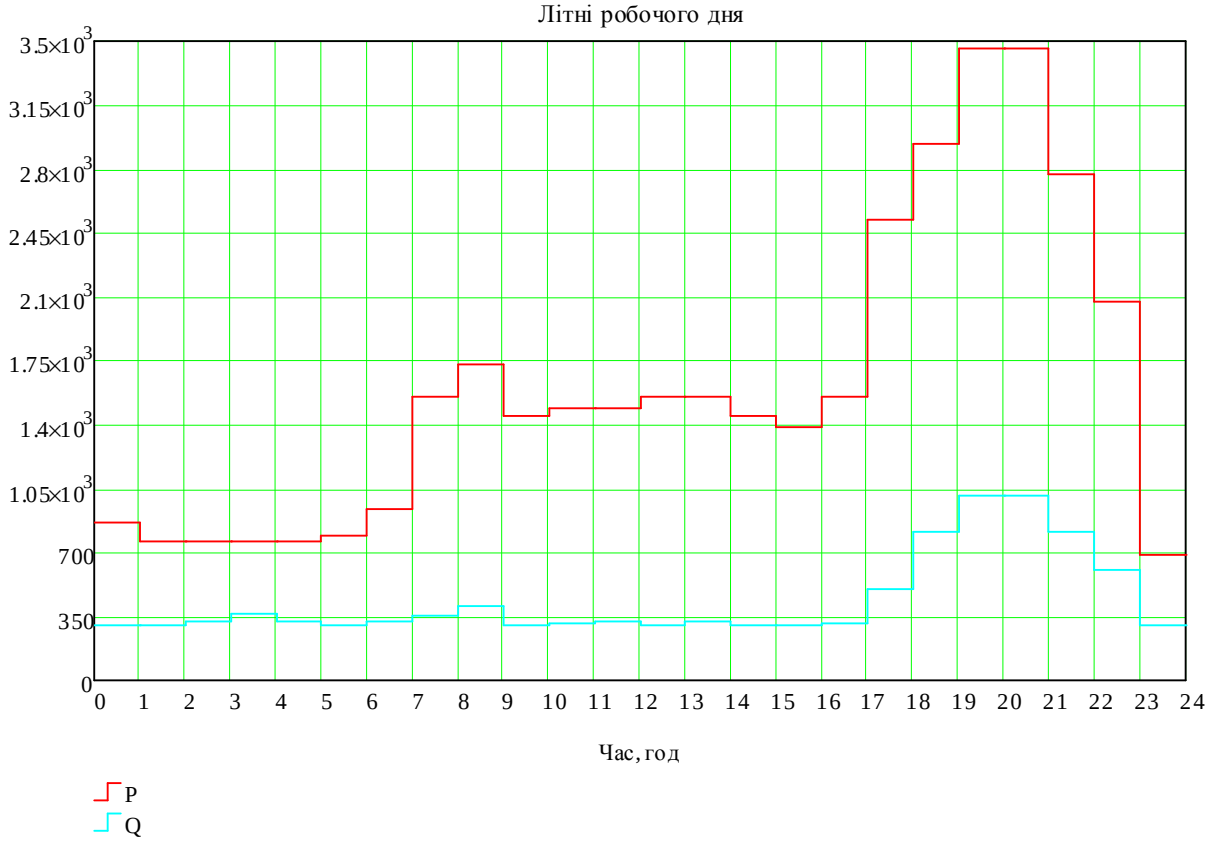
	1	2	3
1	1383	404	1441
2	1487	434	1549
3	1383	404	1441
4	1487	434	1549
5	1452	424	1513
6	1037	303	1081
7	692	303	755
8	1487	434	1549
9	2075	606	2161
10	2144	626	2233
11	1383	404	1441
12	1383	404	1441
13	1383	404	1441
14	1383	404	1441
15	1452	424	1513
16	1729	505	1801
17	2075	606	2161
18	2766	808	2882
19	3458	1010	3602
20	3458	1010	3602
21	2766	808	2882
22	692	303	755
23	692	303	755
24	692	323	…

Power_4 =

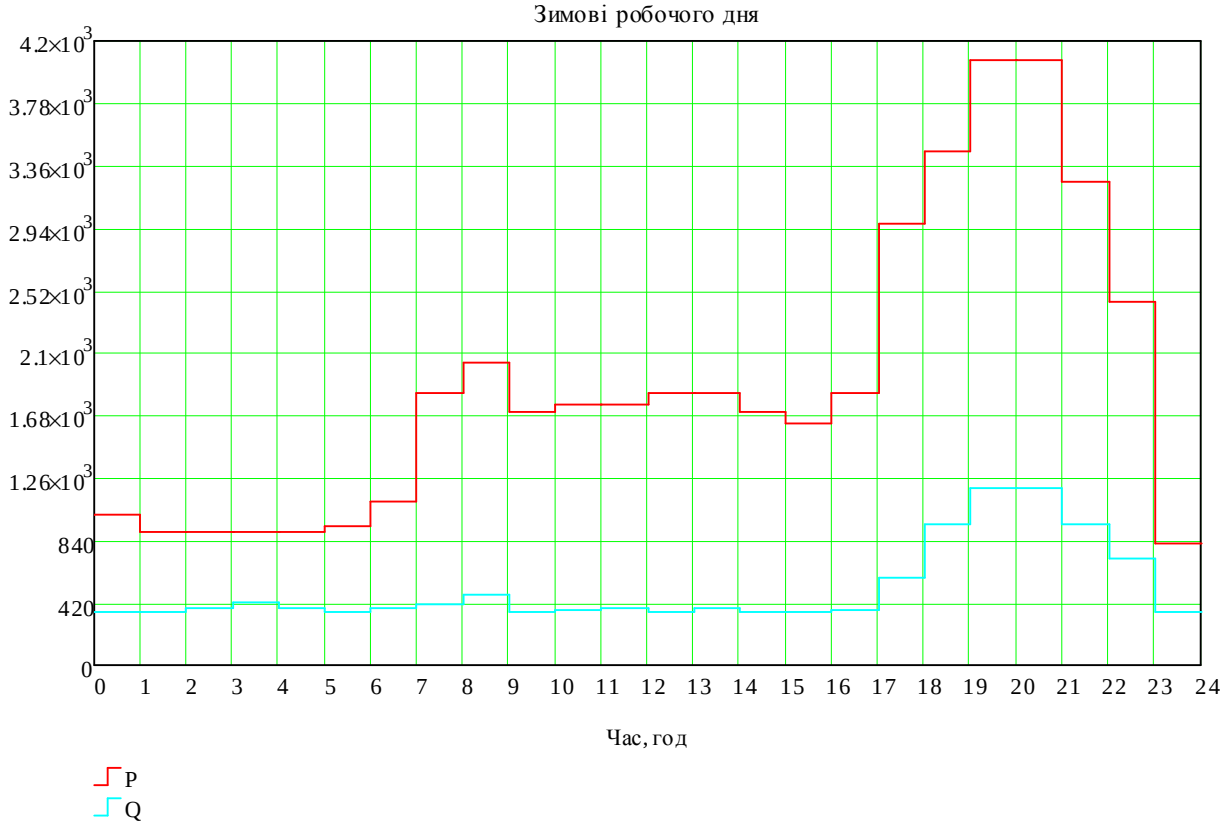
	1	2	3
1	1627	475	1695
2	1749	511	1822
3	1627	475	1695
4	1749	511	1822
5	1709	499	1780
6	1220	356	1271
7	814	356	888
8	1749	511	1822
9	2441	713	2543
10	2522	737	2628
11	1627	475	1695
12	1627	475	1695
13	1627	475	1695
14	1627	475	1695
15	1709	499	1780
16	2034	594	2119
17	2441	713	2543
18	3254	950	3390
19	4068	1188	4238
20	4068	1188	4238
21	3254	950	3390
22	814	356	888
23	814	356	888
24	814	380	…

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

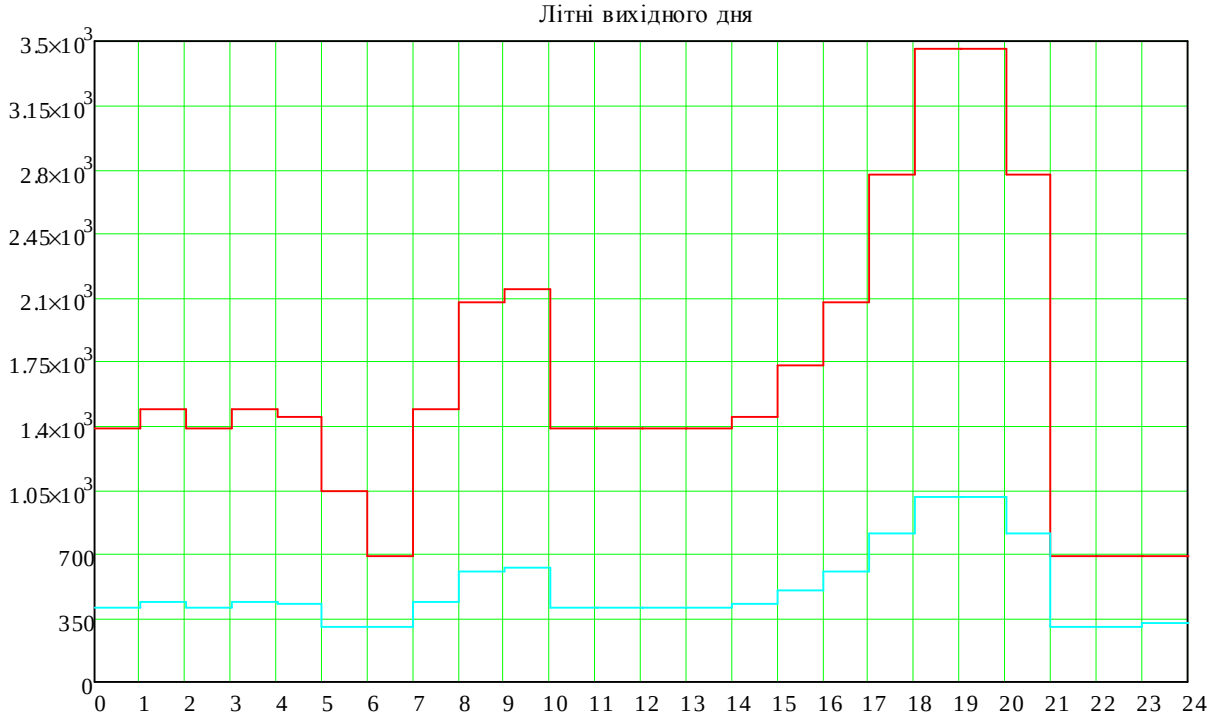
Літні робочого дня



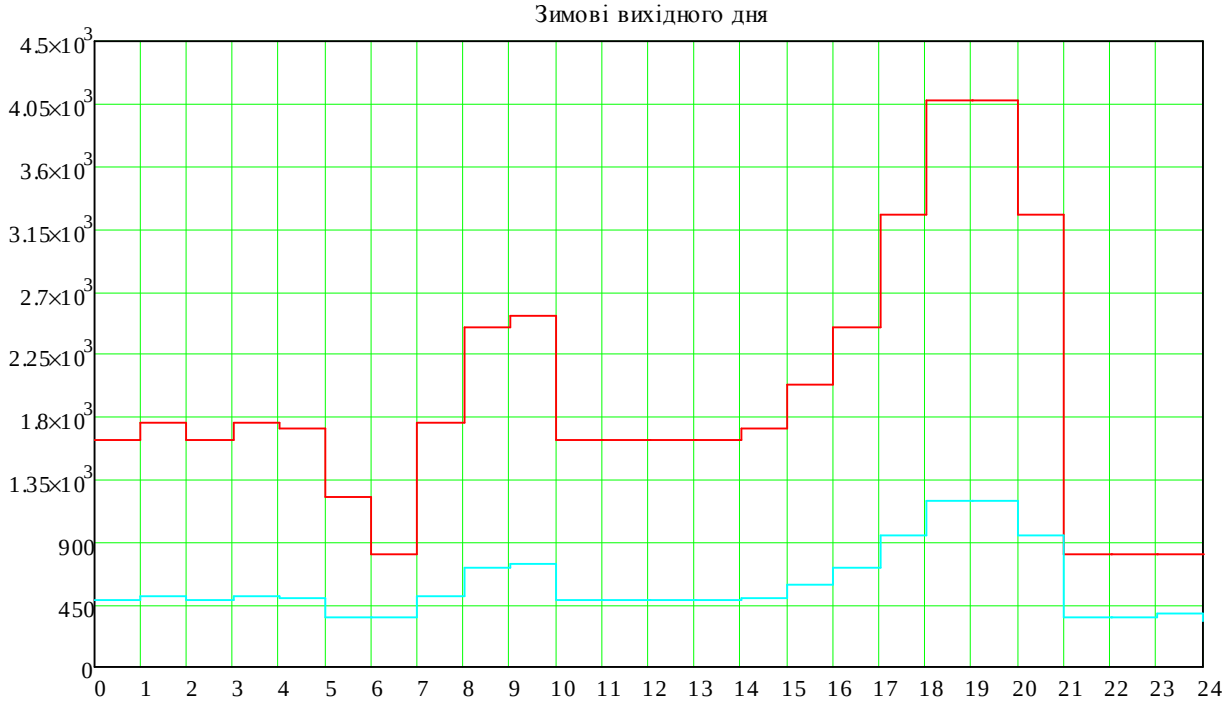
Зимові робочого дня

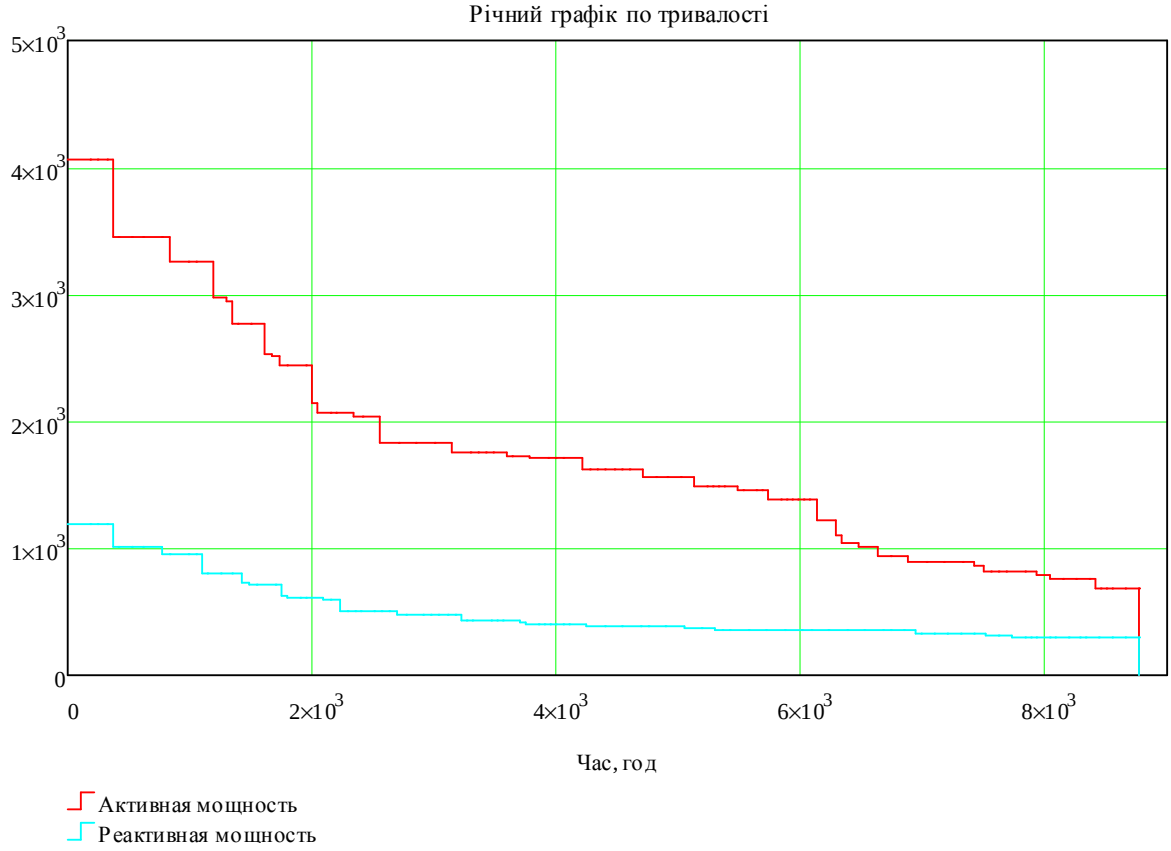


Літні вихідного дня



Зимові вихідного дня





Споживання активної енергії за літню вихідну добу, кВт·год: $W_{лето_в} = 39938$

Споживання активної енергії за літню робочу добу, кВт·год: $W_{лето_р} = 38762$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, кВт·год: $W_{зима_в} = 46985$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу, кВт·год: $W_{зима_р} = 45602$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, квар·год: $V_{лето_в} = 12087$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, квар·год: $V_{лето_р} = 10532$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, квар·год: $V_{зима_в} = 14220$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, квар·год: $V_{зима_р} = 12391$

Річне споживання активної енергії, кВт·год: $W_г = 15744594$

Річне споживання реактивної енергії, квар·год: $V_г = 4431850$

Кількість годин використання максимума потужності, год: $T_{max} = 3860$

Річний час максимальних втрат, год: $\tau = 2134$

6. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

6.1. Побудова картограми електричних навантажень

Розрахунок будемо проводимо за методикою наведеною в [7, 8].

Радіус кола для Любомира Гузара 25:

$$R = \sqrt{\Sigma P_p / \pi \cdot m} = \sqrt{73{,}7 / \pi \cdot 0{,}1} = 15 \text{ мм};$$

де m – масштаб кола. Приймемо m = 0,1 кВт/мм^2.

Кут α для Любомира Гузара 25 розрахуємо за формулою:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{\text{сил}}}{\Sigma P_p} = \frac{360 \cdot 37}{73{,}7} = 181 \text{ град},$$

де α – величина кута сектора, площа якого, для обраного масштабу, дорівнює значенню силового навантаження.

Розрахунок радіусів та кутів сектору для інших будівель подібний результати розрахунку наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Розрахункові дані для побудови картограми

№ з/п	Назва або адреса об'єкту	$P_{\text{р.кв}}$ ($P_{\text{р.кп}}$), кВт	$P_{\text{р.сил}}$, кВт	P_{Σ}, кВт	R, мм	α, $^{\circ}$
1	2	3	4	5	6	7
1	Любомира Гузара 3	63,0	21,9	84,9	16	93
2	Любомира Гузара 5	76,0	27,5	103,5	18	96
3	Любомира Гузара 9	81,0	21,9	102,9	18	77
4	Любомира Гузара 11	99,6	27,5	127,1	20	78
5	Любомира Гузара 13	48,0	27,5	75,5	16	131
6	Любомира Гузара 12а	48,0	27,5	75,5	16	131
7	Любомира Гузара 15	99,6	27,5	127,1	20	78
8	Любомира Гузара 19	77,0	21,9	98,8	18	80
9	Любомира Гузара 25	36,7	37,0	73,7	15	181
10	Любомира Гузара 27	24,0	37,0	61,0	14	218
11	Любомира Гузара 30	41,6	27,5	69,1	15	143
12	Любомира Гузара 32	63,0	21,9	84,9	16	93
13	Любомира Гузара 34	63,0	21,9	84,9	16	93
14	Любомира Гузара 36	19,8	27,5	47,3	12	210
15	Любомира Гузара 38	24,0	16,2	40,2	11	145

Продовження табл. 6.1.

1	2	3	4	5	6	7
16	Любомира Гузара 40	76,0	27,5	103,5	18	96
17	Любомира Гузара 42	76,0	27,5	103,5	18	96
18	Любомира Гузара 44	76,0	27,5	103,5	18	96
19	Любомира Гузара 48	76,0	27,5	103,5	18	96
20	Любомира Гузара 50	76,0	27,5	103,5	18	96
21	Любомира Гузара 52	99,6	27,5	127,1	20	78
22	Любомира Гузара 68	63,0	21,9	84,9	16	93
23	Любомира Гузара 70	76,0	27,5	103,5	18	96
24	Любомира Гузара 72	76,0	27,5	103,5	18	96
25	Кож.диспансер	225,0	0	225,0	27	0
26	Адмін.будівля	160,0	0	160,0	23	0
27	Адмін.будівля	160,0	0	160,0	23	0
28	Адмін.будівля	160,0	0	160,0	23	0
29	Адмін.будівля	160,0	0	160,0	23	0
30	Магазин №1	7,5	0	7,5	5	0
31	Магазин №2	7,5	0	7,5	5	0
32	Продуктовий магазин	6,0	0	6,0	4	0
33	Продовольчий магазин	7,5	0	7,5	5	0
34	Школа	330,0	0	330,0	32	0
35	Лікарня	240,0	0	240,0	28	0
36	Дит.садок	180,0	0	180,0	24	0

Розрахунок моментів електричного навантаження проведено в табличному вигляді і представлено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Розрахункові дані для визначення центру електричних навантажень

№ за планом	$P_{рі,}$, кВт	$X_і$, м	$Y_і$, м	$P_{рі}X_і$, кВт·м	$P_{рі}Y_і$, кВт·м
1	2	3	4	5	6
1	225	686	2856	154350	642600
2	3	686	3346	2058	10038
3	91,4	1078	2576	98529,2	235446,4
4	3	910	3346	2730	10038
5	113,2	1596	2856	180667,2	323299,2
5а	91,4	1722	2436	157390,8	222650,4
6	3	1232	3346	3696	10038
7	160	2086	2856	333760	456960

Продовження табл. 6.2.

1	2	3	4	5	6
9	127,3	2380	2576	302974	327924,8
10	3	1876	3346	5628	10038
11	127,3	3024	3346	425945,8	425945,8
12	3	2170	3332	6510	9996
13	65,3	2702	1946	176440,6	127073,8
14	3	2408	3360	7224	10080
15	127,3	3318	2394	422381,4	304756,2
16	3	2744	3388	8232	10164
17	160	3304	2884	528640	461440
18	3	3010	3626	9030	10878
19	157,2	2660	2576	418152	404947,2
20	3	3262	3416	9786	10248
21	160	5068	2604	810880	416640
22	3	3612	3402	10836	10206
23	160	5250	2800	840000	448000
24	3	3668	3668	11004	11004
25	120,5	5978	2856	720349	344148
26	3	3850	3416	11550	10248
27	24	6370	2856	152880	68544
28	3	4088	3472	12264	10416
29	7,5	6916	2856	51870	21420
30	52,2	4424	3402	230932,8	177584,4
31	6	7266	2800	43596	16800
32	91,4	4634	3766	423547,6	344212,4
33	3	7658	2884	22974	8652
34	91,4	5054	4004	461935,6	365965,6
35	3	8274	2898	24822	8694
36	21,3	5600	3486	119280	74251,8
37	3	8848	2926	26544	8778
38	28,08	1664	4242	46725,12	119115,4
39	3	9268	2912	27804	8736
40	113,2	6888	3514	779721,6	397784,8
41	3	9548	2912	28644	8736
42	113,2	8848	3514	1001594	397784,8
43	3	9856	2912	29568	8736
44	97,5	10584	3528	1031940	343980
45	3	10150	2912	30450	8736
46	7,5	10276	2912	77070	21840
47	3	10444	2912	31332	8736
48	97,5	12558	3514	1224405	342615
49	3	10836	2912	8736	8736

Продовження табл. 6.2.

1	2	3	4	5	6
50	113,2	13020	4438	1473864	502381,6
51	3	11018	2618	33054	7854
52	117	13790	4900	1613430	573300
52а	117	13874	3990	1623258	466830
53	3	11298	2912	33894	8736
54	330	15428	3990	5091240	1316700
55	3	12026	2954	36078	8862
56	240	12335	2756	2960400	661440
57	3	12320	2954	36960	8862
59	3	12558	2940	37674	8820
60	180	16996	4144	3059280	745920
61	3	12838	2940	38514	8820
63	3	13076	2674	39228	8022
64	6	16814	3542	100884	21252
65	3	13300	2940	39900	8820
66	6	17808	3570	106848	21420
67	3	13594	2870	40782	8610
68	91,4	18718	3514	1710825	321179,6
69	3	13846	2968	41538	8904
70	113,2	19334	3472	2188609	393030,4
71	3	14168	2968	42504	8904
72	113,2	20132	3472	2278942	393030,4
73	3	14700	2940	44100	8820
74	160	21308	3794	3409280	607040
75	3	14896	2912	44688	8736
77	3	15078	2982	45234	8946
79	3	15274	2758	45822	8274
81	3	15442	2982	46326	8946
83	3	15638	2982	46914	8946
85	3	15820	2814	47460	8442
85а	3	16016	2968	48048	8904
87	3	16184	2842	48552	8526
89	3	16492	2940	49476	8820
91	3	16688	207	50064	621
93	3	16898	2996	50694	8988
95	3	17108	2954	51324	8862
97	3	17262	2926	51786	8778
99	3	17472	2912	52416	8736
101	3	17780	2940	53340	8820
103	3	17612	2674	8022	8022
103а	3	17612	2422	52836	7266

Продовження табл. 6.2.

1	2	3	4	5	6
105	3	17962	2688	53886	8064
105а	3	17962	2422	53886	7266
107	3	18102	2940	54306	8820
109	3	18662	2982	55986	8946
111	3	18928	3010	56784	9030
113	3	19110	2940	57330	8820
115	3	19376	3024	58128	9072
117	3	19642	2954	58926	8862
119	3	19880	3024	59640	9072
121	3	20104	3038	60312	9114
123	3	20118	2800	60354	8400
125	3	20412	2800	61236	8400
129	3	21168	2968	63504	8904
131	3	21728	2968	65184	8904
133	3	22540	2968	67620	8904
135	3	22834	2730	68502	8190
Всього	4424,68			39377052	14450621

Координати центру електричних навантажень:

$$x_0 = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot P_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_i = 39377052/4424{,}68 = 8899 \text{ м};$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^{n} y_i \cdot P_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_i = 14450621/4424{,}68 = 3266 \text{ м}.$$

6.2. Побудова картограми теплових навантажень

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в [6].

Розрахунок картограми та визначення центру теплових навантажень проводиться за аналогічною методикою, як і електричних навантажень. Результати розрахунку картограми теплових навантажень приведені в табл. 6.3.

Координати центру теплових навантажень:

$$x_0 = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot P_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_i = 4613363{,}1/9171{,}7 = 503 \text{ м};$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^{n} y_i \cdot P_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_i = 2710710{,}3/9171{,}7 = 296 \text{ м}.$$

Таблиця 6.3. Розрахункові дані для побудови картограми і визначення умовного центру теплових навантажень

№ з/п	Назва об'єкту	Q_o^p, кВт	$Q_в^p$, кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	$Q_Σ$, кВт	R, мм	$α_в$, °	$α_{гз}$, °	X_i, м	Y_i, м	$Q_Σ \cdot X_i$	$Q_Σ \cdot Y_i$
1	Любомира Гузара 3	193,5	0,0	125,7	319,2	13	0,0	141,8	800	380	255360,0	121296,0
2	Любомира Гузара 5	193,5	0,0	167,6	361,1	14	0,0	167,1	720	360	259992,0	129996,0
3	Любомира Гузара 9	193,5	0,0	188,6	382,1	14	0,0	177,7	680	390	259794,0	148999,5
4	Любомира Гузара 11	246,4	0,0	251,4	497,8	16	0,0	181,8	740	440	368372,0	219032,0
5	Любомира Гузара 13	246,4	0,0	83,8	330,2	13	0,0	91,4	680	460	224536,0	151892,0
6	Любомира Гузара 12а	230,5	0,0	83,8	314,3	13	0,0	96,0	750	220	235725,0	69146,0
7	Любомира Гузара 15	246,4	0,0	251,4	497,8	16	0,0	181,8	680	180	338504,0	89604,0
8	Любомира Гузара 19	246,4	0,0	169,7	416,1	15	0,0	146,8	550	360	228852,3	149794,2
9	Любомира Гузара 25	361,4	0,0	56,6	418,0	15	0,0	48,7	620	410	259138,3	171365,7
10	Любомира Гузара 27	343,9	0,0	25,1	369,0	14	0,0	24,5	580	450	214043,2	166068,0
11	Любомира Гузара 30	343,9	0,0	67,0	410,9	15	0,0	58,7	580	500	238345,2	205470,0
12	Любомира Гузара 32	361,4	0,0	125,7	487,1	16	0,0	92,9	480	420	233808,0	204582,0
13	Любомира Гузара 34	102,2	0,0	125,7	227,9	11	0,0	198,6	500	500	113950,0	113950,0
14	Любомира Гузара 36	198,6	0,0	16,8	215,4	11	0,0	28,0	540	140	116294,4	30150,4
15	Любомира Гузара 38	198,6	0,0	25,1	223,7	11	0,0	40,5	460	240	102920,4	53697,6
16	Любомира Гузара 40	102,2	0,0	167,6	269,8	12	0,0	223,6	480	150	129504,0	40470,0
17	Любомира Гузара 42	146,1	0,0	167,6	313,7	13	0,0	192,3	410	160	128617,0	50192,0
18	Любомира Гузара 44	192,8	0,0	167,6	360,4	14	0,0	167,4	400	60	144160,0	21624,0
19	Любомира Гузара 48	192,8	0,0	167,6	360,4	14	0,0	167,4	340	200	122536,0	72080,0
20	Любомира Гузара 50	193,5	0,0	167,6	361,1	14	0,0	167,1	300	170	108330,0	61387,0
21	Любомира Гузара 52	193,5	0,0	251,4	444,9	15	0,0	203,4	220	240	97878,0	106776,0
22	Любомира Гузара 68	205,4	0,0	125,7	331,1	13	0,0	136,7	220	160	72842,0	52976,0
23	Любомира Гузара 70	131,7	0,0	167,6	299,3	13	0,0	201,6	240	80	71832,0	23944,0
24	Любомира Гузара 72	131,7	0,0	167,6	299,3	13	0,0	201,6	30	230	8979,0	68839,0
28	Кож.диспансер	127,5	86,1	8,7	222,3	11	139,5	14,1	640	220	142292,2	48912,9
29	Адмін.будівля	42,7	28,9	1,5	73,1	6	142,3	7,2	580	220	42377,6	16074,3
30	Адмін.будівля	60,7	41,0	0,3	102,0	7	144,7	1,0	490	360	49965,8	36709,6
31	Адмін.будівля	20,0	13,5	0,9	34,4	4	141,5	9,1	530	230	18207,0	7901,2
32	Адмін.будівля	20,0	13,5	0,7	34,2	4	142,1	7,7	360	240	12314,7	8209,8
33	Магазин №1	13,3	9,0	0,6	22,9	3	141,5	9,1	300	240	6870,6	5496,5
34	Магазин №2	6,7	4,5	0,4	11,6	2	139,7	13,5	190	400	2203,3	4638,6
35	Школа	89,8	70,4	0,4	160,6	9	157,8	1,0	30	370	4819,1	59436,2
Всього					**9171,7**						**4613363,1**	**2710710,3**

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНУ

Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання буде проводитися згідно з методикою наведеною в [7, 8].

Можливим джерелом електропостачання є підстанція енергосистеми «Кіровоградська» на якій встановлено два трансформатори потужністю по 40 МВА напругою 150/35/10,5 кВ. Трансформатори працюють окремо. Система нескінченної потужності. Відстань від підстанції енергосистеми 7 км. Враховуючи невелику потужність варіант електропостачання напругою 150 кВ слід відкинути одразу. Тому розглядати слід два варіанти електропостачання напругою 10 і 35 кВ (рис. 7.1).

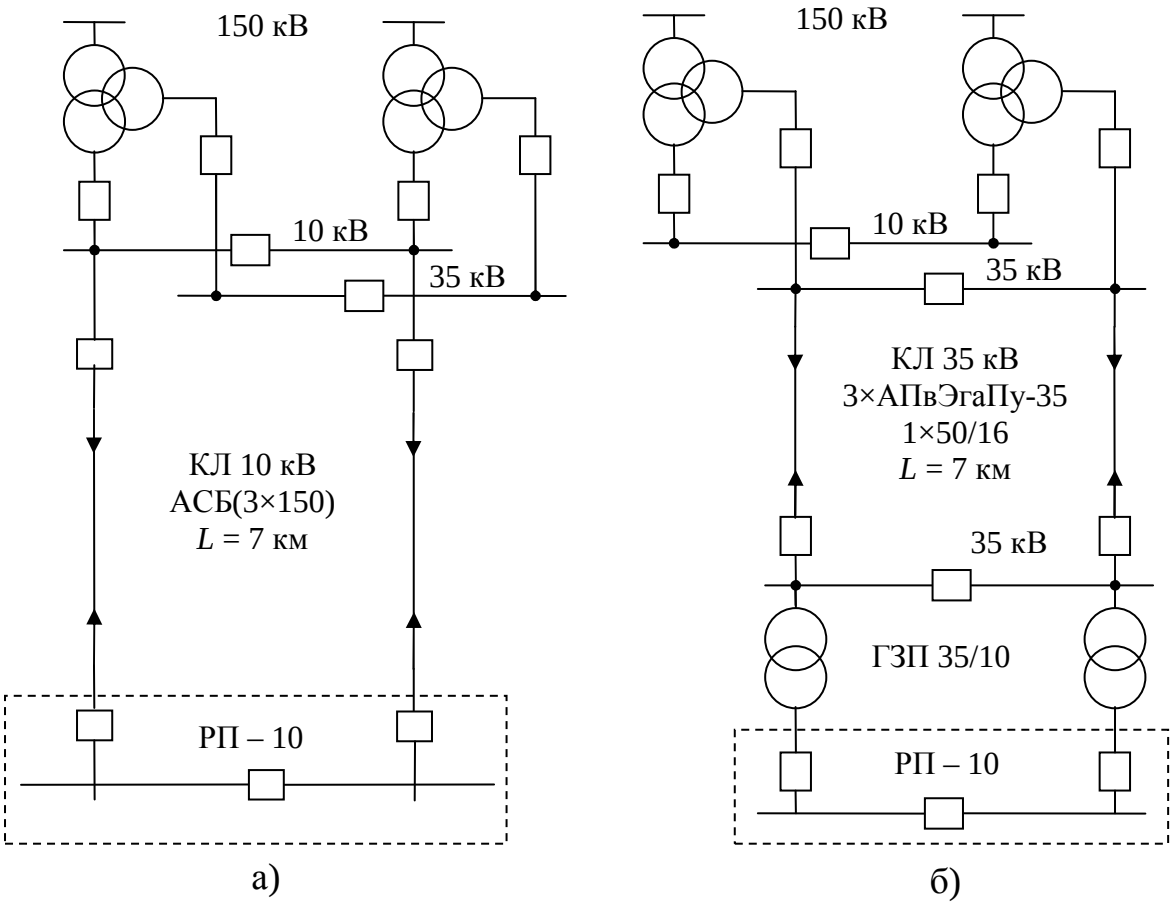


Рис. 7.1. Схеми зовнішнього електропостачання мікрорайону

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

Вибір перерізу проводу

Розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4424,68}{\sqrt{3}\cdot 10} = 255,5.$$

Площу перерізу кабельної лінії визначимо за економічною щільністю струму, так при $T_м$ = 3860 год. $j_{ек}$ = 1,2 А/мм^2), мм^2:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{255,5}{1,2} = 213.$$

Обираємо до встановлення дві КЛ марки АСБ(3×150). Паспортні дані КЛ АСБ(3×150): $I_{доп}$ = 210 А; $\Delta P_{1км}$ = 20 кВт/км; $К$ = 520 тис.грн.

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі:

$$I_р = 255,5/2 = 127,75 \text{ А} \le K_п I_{доп} = 0,92\cdot 210 = 193,2 \text{ А}.$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі:

$$I_{р.ав} = I_{max} = 255,5 \text{ А} \le K_{ав} K'_п I_{доп} = 1,25\cdot 1\cdot 210 = 262,5 \text{ А}.$$

Отже, КЛ марки АСБ(3×150) задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження кабельної лінії в нормальному режимі:

$$K_з = \frac{I_р}{I_{доп}} = \frac{127,75}{210} = 0,608.$$

Розрахунок втрат електроенергії

Втрати потужності в кабельній лінії:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_\Sigma K_з^2 = 20\cdot 14\cdot 0,608^2 = 103,6 \text{ кВт}.$$

Втрати електроенергії в кабельній лінії:

$$\Delta W_л = \Delta P_{кл} \tau = 103,6\cdot 2134 = 221082,4 \text{ кВт·год}.$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W_л C_0 = 221082,4\cdot 4,32\cdot 0,001 = 955,08 \text{ тис. грн}.$$

Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень проведемо в табличному вигляді табл. 7.1.

Розрахунок поточних витрат

Розрахунок проточних витрат проведемо в табличному вигляді табл. 7.2.

Таблиця 7.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км.	14	520	7280
	Траншея	км.	7	143	1001
	Шафи КРП КУ-10	шт.	2	300	600
Всього					8881

Таблиця 7.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Назва елемента схеми	K_j, тис. грн.	P_{aj}, %	C_{aj}, тис. грн.	P_{ej}, %	C_{ej}, тис. грн.	C_j, тис. грн.
1	КЛ 10 кВ	7280	5	364	5	364	728
	Траншея	1001	5	50,05	5	50,05	100,1
	Шафи КРП КУ-10	600	15	90	5	30	120
Всього							948,1

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

Розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4424{,}68}{\sqrt{3}\cdot 35} = 73.$$

Площу перерізу кабельної лінії визначимо за економічною щільністю струму, так при $T_м$ = 3860 год $j_{ек}$ = 1,161 А/мм^2 [11], мм^2:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{73}{1{,}161} = 63.$$

Обираємо до встановлення кабельні лінії марки АПвЭгаПу-35 1×50/16. Паспортні дані КЛ АПвЭгаПу-35: $I_{доп}$ = 157 А; K = 316 тис.грн./км.

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі:

$$I_р = 73/2 = 36{,}5 \text{ А} \le K_п I_{доп} = 0{,}92\cdot 157 = 144{,}44 \text{ А}.$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі:

$$I_{р.ав} = I_{\max} = 73 \text{ А} \le K_{ав} K'_п I_{доп} = 1{,}25\cdot 1\cdot 157 = 196{,}25 \text{ А}.$$

Отже, КЛ марки 3×АПвЭгаПу-35 1×50/16 задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження кабельної лінії в нормальному режимі:

$$K_з = \frac{I_р}{I_{доп}} = \frac{36,5}{157} = 0,23.$$

Вибір трансформаторів ГЗП

Розрахункова потужність трансформатора, МВА:

$$S_{р.тр} = \frac{S_{max} K_{1.2}}{1,4(n-1)} = \frac{4424,68 \cdot 1}{1,4(2-1)} = 3160.$$

Приймаємо два трансформатори ТМН-4000/35. Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_з = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{4,425}{2 \cdot 4} = 0,55.$$

Каталожні дані трансформатора: $S_{ном}$ = 4000 кВА; $\Delta P_{х.х.}$ = 5,3 кВт; $U_{вн}$ = 35 кВ; $\Delta P_{к.з.}$ = 33,5 кВт; $U_{нн}$ = 11 кВ; $U_к$ = 7,5 %.

Розрахунок втрат електроенергії

Втрати потужності в лінії:

$$R_{кл} = \rho L/F = 0,027 \cdot 7000/50 = 3,78 \text{ Ом}.$$

$$\Delta P_л = 3 R_{кл} I_р^2 n = 3 \cdot 3,78 \cdot 36,5^2 \cdot 2 = 30,2 \text{ кВт}.$$

де n – кількість ланцюгів.

Втрати електроенергії в лінії:

$$\Delta W_л = \Delta P_л \tau = 30,2 \cdot 2134 = 64479,7 \text{ кВт·год}.$$

Втрати електроенергії в трансформаторах:

$$\Delta W = n(\Delta P_х t + \Delta P_к K_з^2 \tau) = 2(5,3 \cdot 8760 + 33,5 \cdot 0,55^2 \cdot 2134) =$$

$$= 136106,8 \text{ кВт·год}.$$

Сумарні втрати електроенергії:

$$\Delta W_\Sigma = \Delta W_л + \Delta W_т = 64479,7 + 136106,8 = 200586,5 \text{ кВт·год}.$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W_\Sigma C_0 = 200586,5 \cdot 4,32 \cdot 0,001 = 866,53 \text{ тис. грн}.$$

Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок капітальних вкладень проведемо в табличному вигляді табл. 7.3.

Розрахунок поточних витрат

Розрахунок проточних витрат проведемо в табличному вигляді табл. 7.4.

Таблиця 7.3. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
2	КЛ 35 кВ	км.	42	316	13272
	Траншея	км.	7	143	1001
	ВРП 35 кВ	км.	1	950	950
	2×ТМН-4000/35	шт.	2	1004,96	2009,92
Всього					17232,92

Таблиця 7.4. Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Назва елемента схеми	K_j, тис. грн.	P_{aj}, %	C_{aj}, тис. грн.	P_{ej}, %	C_{ej}, тис. грн.	C_j, тис. грн.
2	КЛ 35 кВ	13272	5	663,6	5	663,6	1327,2
	Траншея	1001	5	50,05	5	50,05	100,1
	ВРП 35 кВ	950	15	142,5	5	47,5	190
	2×ТМН-1600/35	2009,92	15	301,488	5	100,496	401,984
Всього							2019,3

Розрахунок загальних витрат по варіантам наведений в табл. 7.5.

Таблиця 7.5. Техніко-економічні показники варіантів зовнішнього електропостачання

Показники	Варіанти	
	1 (10 кВ)	*2 (35 кВ)*
Капітальні вкладення	8881	17232,92
Поточні витрати	948,1	2019,3
Вартість втрат електроенергії	955,08	866,53
Зведені витрати	***2968,9***	***4953,78***

Отже, за результатами техніко-економічного розрахунку вибираємо варіант зовнішнього електропостачання на напругу 10 кВ, як такий, що має найменші зведені витрати.

8. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

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

Розрахунок балансу реактивної потужності проведемо за методикою наведеною в [6-8].

Реактивна потужність, що споживається від системи:

$$Q_{\text{е}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg}\phi = 4068 \cdot 0{,}15 = 610{,}2 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{КП}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{е}} = 1188 - 610{,}2 = 577{,}8 \text{ квар.}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_{\text{р}}}{\beta \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{4068}{0{,}7 \cdot 630} = 9{,}22 \approx 10 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 = 10$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{\left(N \cdot K_{з} \cdot S_{\text{тр.ном}}\right)^2 - P_p^2} = \sqrt{\left(10 \cdot 0{,}7 \cdot 630\right)^2 - 4068^2} = 1703 \text{ квар.}$$

Потужність КП в мережі до 1000 В $Q_{\text{КН}}$, визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{КН}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 1188 - 1703 = -515 \text{ квар.}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, $Q_{\text{КВ}}$, визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах10 кВ:

$$Q_{\text{КВ}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{КН}} - Q_{\text{е}} = 1188 - 0 - 610{,}2 = 577{,}8 \text{ квар.}$$

Розрахунок варіантів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість трансформаторів	Q_1, квар	$Q_{кн}$, квар	$Q_{кв}$, квар
1	10	1703	0	577,8
2	11	2643	0	577,8
3	12	3385	0	577,8

8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

Розрахунок потужності і місця розташування батарей конденсаторів проводимо за методикою наведеною в [6-8].

Варіант 1. N = 10 шт.

Розрахунок для даного варіанту проведений в табличному вигляді і представлений в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 10 шт.

№ КТП	$N_{тр}$	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$Q_{пр}$, квар	$Q_{кп}$, квар	Кількість, тип БК	$\Sigma Q_{бк}$, квар	$Q_{кп} - \Sigma Q_{бк}$, квар	$K_з$	$S_р$, кВА
1	2	877	381,03	93,8	287,2	2×УКМ58-0,4-150-30	300	-12,8	0,70	880,7
2	2	817,85	432,8	330,2	102,6	2×УКМ58-0,4-50-25	100	2,6	0,70	883,0
3	2	861,4	429,5	189,5	240,0	2×УКМ58-0,4-120-30	240	0,0	0,70	882,0
4	2	812,5	428,45	343,2	85,3	2×УКМ58-0,4-50-25	100	-14,7	0,70	876,4
5	2	866,4	428,45	165,2	263,3	2×УКМ58-0,4-150-30	300	-36,7	0,70	875,9

Сумарна потужність БК на боці 0,4 кВ складає 1040 квар.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{кн.пит} Q_{кн} = 0{,}0045 \cdot 1040 = 4{,}68 \text{ кВт}.$$

Витрати активної потужності в трансформаторах при передачі через них реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_Н^2} R_{тр} \cdot 10^{-3} = \frac{4068^2 + (1188 - 1040)^2}{10^2} 0{,}19 \cdot 10^{-3} = 31{,}5 \text{ кВт},$$

де

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_К U^2_{ном}}{N \cdot S^2_Н} 10^3 = \frac{7{,}6 \cdot 10^2}{10 \cdot 630^2} 10^3 = 0{,}19 \text{ Ом.}$$

Вартість КП на напругу 0,4 кВ:

$$К_{кн} = \Sigma N_{кні} К_{кні} = 4 \cdot 20 + 2 \cdot 15 + 4 \cdot 12 = 158 \text{тис. грн.}$$

Вартість КТП:

$$К_{КТП} = N_{КТП(2)} К_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} К_{КТП(1)} = 5 \cdot 1532{,}5 = 7662{,}5 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$З = E_Н(К_{КН} + К_{КВ} + К_{КТП}) + C_0 \tau(\Delta P_{КН} + \Delta P_{КВ} + \Delta P_{ТП}) =$$

$$= 0{,}12(158 + 0 + 7662{,}5) + 4{,}32 \cdot 2134(4{,}68 + 0 + 31{,}5) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1068{,}2 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок інших варіантів проводиться аналогічно. Результати розрахунку вибору типу та потужності БК для варіантів з $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ наведений в табл. 8.3 і 8.4.

Таблиця 8.3. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 11 шт.

№ КТП	$N_{тр}$	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$Q_{пр}$, квар	$Q_{кп}$, квар	Кількість, тип БК	$\Sigma Q_{бк}$, квар	$Q_{кп} - \Sigma Q_{бк}$, квар	$К_з$	$S_р$, кВА
1,2	3	877	381,03	990,6	-609,5	-	0	-609,5	0,51	956,2
3	2	817,85	432,8	330,2	102,6	2×УКМ58-0,4-50-25	100	2,6	0,70	883,0
4	2	861,4	429,5	189,5	240,0	2×УКМ58-0,4-120-30	240	0,0	0,70	882,0
5	2	812,5	428,45	343,2	85,3	2×УКМ58-0,4-50-25	100	-14,7	0,70	876,4
6	2	866,4	428,45	165,2	263,3	2×УКМ58-0,4-150-30	300	-36,7	0,70	875,9

Сумарна потужність БК на боці 0,4 кВ складає 740 квар.

Кількість та потужність БК на боці 10 кВ: 0 квар.

Таблиця 8.4. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 12 шт.

№ КТП	$N_{тр}$	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$Q_{пр}$, квар	$Q_{кп}$, квар	Кількість, тип БК	$\Sigma Q_{бк}$, квар	$Q_{кп} - \Sigma Q_{бк}$, квар	$К_з$	$S_р$, кВА
1,2	3	877	381,03	990,6	-609,5	-	0	-609,5	0,51	956,2
3	2	817,85	432,8	330,2	102,6	2×УКМ58-0,4-50-25	100	2,6	0,70	883,0
4	2	861,4	429,5	189,5	240,0	2×УКМ58-0,4-120-30	240	0,0	0,70	882,0
5	2	812,5	428,45	343,2	85,3	2×УКМ58-0,4-50-25	100	-14,7	0,70	876,4
6,7	3	866,4	428,45	999,8	-571,4	-	0	-571,4	0,51	966,5

Сумарна потужність БК на боці 0,4 кВ складає 440 квар.

Кількість та потужність БК на боці 10 кВ: 2×100; сумарна потужність БК 10 кВ складає 200 квар.

Результати розрахунку приведених витрат на компенсацію реактивної потужності представлені в табл. 8.5.

Таблиця 8.5. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

№ Вар.	$Q_{кн}$, квар	$\Delta P_{кн}$, кВт	$Q_{кв}$, квар	$\Delta P_{кв}$, кВт	$N_{тр}$, шт.	$R_{тр}$, Ом	$\Delta P_{тп}$, кВт	$K_{КН}$, тис. грн.	$K_{КВ}$, тис. грн.	$K_{КТП}$, тис. грн.	$З$, тис. грн.
1	1040	4,68	0	0	10	0,19	31,5	158	0	7662,5	1068,2
2	740	3,33	0	0	11	0,17	28,5	118	0	8437,5	1140,8
3	440	1,98	200	0,5	12	0,16	27,4	78	12	9212,5	1222,0

Отже, за результатами техніко-економічного розрахунку перший варіант з $N = N_0 = 10$ трансформаторів є найкращим, так як має найменші приведені витрати $З = 1068,2$ тис. грн. Цей варіант і приймемо до застосування.

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

9.1. Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів короткого замкнення будемо проводити за методикою наведеною в [7, 8].

Для розрахунку струмів к. з. складаємо розрахункову схему, яка зображена на рис. 9.1 та розрахункову схему заміщення, яка зображена на рис. 9.2.

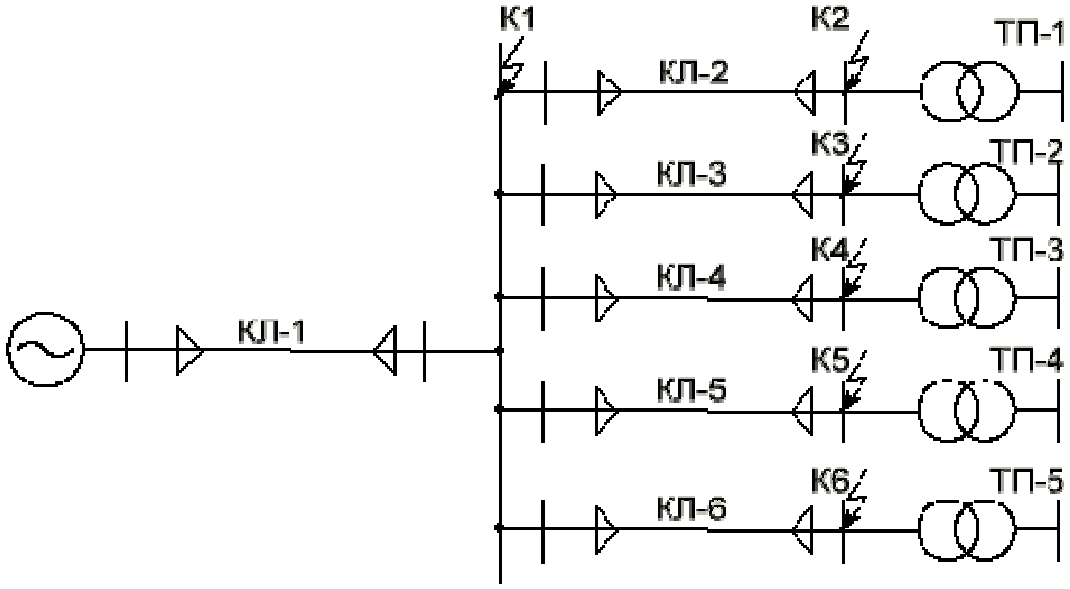


Рис. 9.1. Розрахункова схема для визначення струмів КЗ в СЕП.

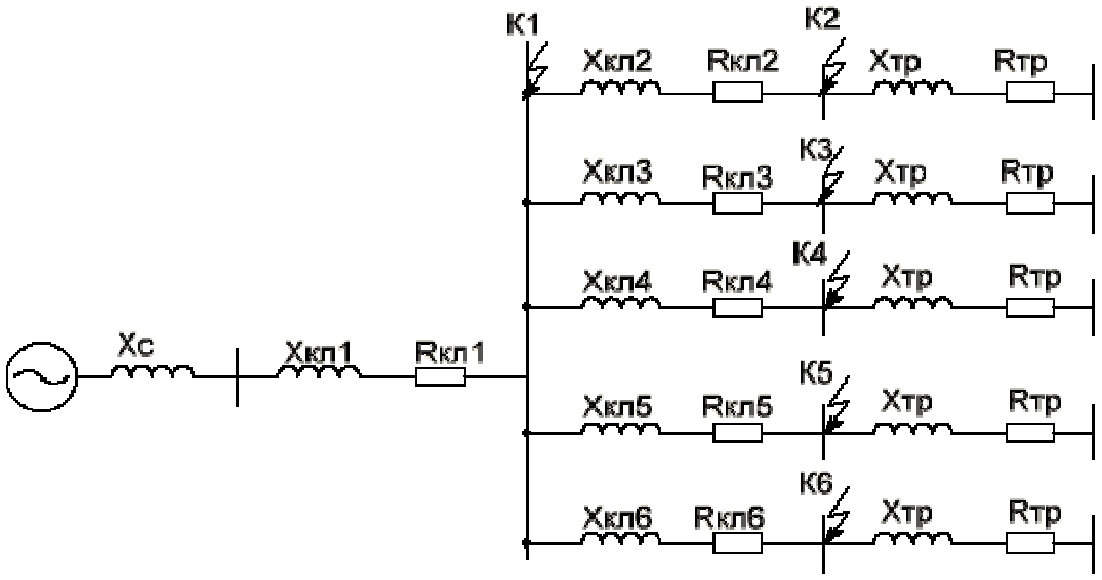


Рис. 9.2. Схема заміщення для визначення струмів КЗ в СЕП.

Розрахуємо опори елементів схеми заміщення:

– для трансформатора ТМ 630

$$R = \frac{P_{кз} U_н^2}{S_н^2} = \frac{7{,}6 \cdot 10^2}{630^2} = 1{,}915 \text{Ом};\ Z = \frac{U_к \% U_н^2}{S_н} = \frac{5{,}5 \cdot 10^2}{630} = 8{,}73 \text{ Ом};$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{8{,}73^2 - 1{,}915^2} = 8{,}517 \text{ Ом};$$

– для КЛ1 від п/ст до ЦРП

$$X = \frac{\mathrm{x}_0 l}{\mathrm{n}} = \frac{0{,}079 \cdot 7}{1} = 0{,}553 \text{ Ом};\ R = \frac{\mathrm{r}_0 l}{\mathrm{n}} = \frac{0{,}206 \cdot 7}{1} = 1{,}442 \text{ Ом};$$

– опір енергосистеми при $I_{кз} = \infty$

$$X_с = 0 \text{ Ом};$$

– для КЛ2 від ЦРП до ТП 1

$$X = x_0 l = 0{,}09 \cdot 0{,}05 = 0{,}005 \text{ Ом};\ R = r_0 l = 0{,}62 \cdot 0{,}05 = 0{,}031 \text{ Ом}.$$

Розрахунок опорів для 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
КЛ2	1,02	1,265	0,101
КЛ3	0,68	0,843	0,067
КЛ4	0,42	0,521	0,042
КЛ5	0,78	0,967	0,077
КЛ6	1,2	1,488	0,119

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

Струм від системи:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3} z_{рез}} = \frac{10{,}5}{\sqrt{3} \cdot 1{,}544} = 3{,}926 \text{ кА};$$

$R_{екв} = R_{КЛ} = 1{,}442$ Ом;

$X_{екв} = X_{КЛ} + X_с = 0{,}553 + 0 = 0{,}553$ Ом;

$Z_{екв} = \sqrt{X_{екв}^2 + R_{екв}^2} = \sqrt{0{,}553^2 + 1{,}442^2} = 1{,}544$ Ом.

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I''\left(1+e^{\frac{-0,01}{T_a}}\right) = \sqrt{2}\cdot 3,926\left(1+e^{\frac{-0,01}{0,0012}}\right) = 5,553 \text{ кА};$$

$$T_a = \frac{X_{екв}}{\omega \cdot R_{екв}} = \frac{0,553}{314\cdot 1,442} = 0,0012 \text{ 1/с}.$$

Розрахунки струмів короткого замкнення електричної схеми мікрорайону для інших точок подібні. Результати розрахунку зведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2. Результати розрахунку струмів короткого замкнення.

№ т. к. з.	$X_{екв}$, Ом	$R_{екв}$, Ом	I_{Σ}'', кА	T_a, 1/с	$i_{y\Sigma}$, кА
1	0,553	1,442	3,926	0,0012	5,553
2	0,654	2,707	2,177	0,0008	3,078
2′	9,174	4,617	14,757	0,0063	25,166
3	0,62	2,285	2,56	0,0008	3,621
3′	9,14	4,195	15,07	0,0069	26,356
4	0,595	1,963	2,955	0,0010	4,18
4′	9,115	3,873	15,303	0,0075	27,341
5	0,63	2,409	2,435	0,0008	3,443
5′	9,15	4,319	14,979	0,0067	25,994
6	0,672	2,93	2,017	0,0007	2,852
6′	9,192	4,84	14,589	0,006	24,581

9.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Методика вибору та перевірки кабельних ліній напругою 10 кВ детально викладена в [7, 8].

В якості прикладу виберемо кабель для лінії (КЛ2) від ЦРП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{25,42}{1,2} = 21,2 \text{ мм}^2,$$

де $I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_н} = \frac{880,7}{2\cdot\sqrt{3}\cdot 10} = 25,42$ А.

При T_{max} = 3860 год – $J_{ек}$ = 1,2 А/мм^2 [10].

Приймається кабель ААБ (3×25) мм^2 з допустимим струмом $I_{доп}$ = 90 А.

Перевірка кабелю за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_р \le I'_{доп} \qquad 25,42 \text{ А} \le 81 \text{ А}$$
$$I'_{доп} = K_п I_{доп} \qquad I'_{доп} = 0,9\cdot 90 = 81 \text{ А}$$

де $K_{п}$ – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження.

Перевірка кабелю за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{ав} = K_{ап} I_{доп};$$

$$50{,}84 \le 1 \cdot 1{,}3 \cdot 90;$$

$$50{,}84 \le 117;$$

де $K_{ап}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження для кабелю, приймаємо рівним 1,3.

Мінімально необхідна за умовою термічної стійкості площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_{\min} = \frac{1}{C}\sqrt{B_к} = \frac{1}{92}\sqrt{4{,}643 \cdot 10^6} = 23{,}4 \text{ мм}^2;$$

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

$B_к$ – тепловий імпульс:

$$B_к = I^2_{п.о.}\left(t_{отк} + T_a\right) = 3{,}926^2 (0{,}3 + 0{,}0012) = 4{,}643 \text{ кА}^2\text{·с}.$$

Інші кабелі системи електропостачання мікрорайону обираються аналогічно. Результати розрахунку зведені до табл. 9.3.

Таблиця 9.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№ КЛ	$S_р$, кВА	n	$I_р$, А	$I_{р.ав}$, 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-2	880,7	2	25,4	50,8	21	ААБ(3×25)	90	0,9	81	0,31	1	1,3	117	4,64	23
КЛ-3	883,0	2	25,5	51,0	21	ААБ(3×25)	90	0,9	81	0,31	1	1,3	117	4,64	23
КЛ-4	882,0	2	25,5	50,9	21	ААБ(3×25)	90	0,9	81	0,31	1	1,3	117	4,64	23
КЛ-5	876,4	2	25,3	50,6	21	ААБ(3×25)	90	0,9	81	0,31	1	1,3	117	4,64	23
КЛ-6	875,9	2	25,3	50,6	21	ААБ(3×25)	90	0,9	81	0,31	1	1,3	117	4,64	23

9.3. Вибір електрообладнання

Вибір вимикачів.

Перевіряється вимикач на термічну дію струмів короткого замкнення. Детально методика вибору і перевірки викладена в [7, 8].

На вводі 10 кВ встановлюємо вакуумні вимикачі типу ВР2-10-20/630У2. Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в табл. 9.4. Робочим форсованим струмом для вибору вимикача на вводі ЦРП є максимально

можливий струм. Даний струм може виникнути у разі відключення однієї секції шин, що призведе до підвищення струму в двічі.

Таблиця 9.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах в ЦРП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{\text{уст}} \le U_{\text{ном}}$	10 кВ
255,5 А	$I_{\text{роб.фор}} \le I_{\text{ном}}$	630 А
3,962 кА	$I_{\text{к}} \le I_{\text{дин}}$	16 кА
5,553 кА	$i_y \le 1{,}8\sqrt{2} I_{\text{дин}}$	40,7 кА
3,962 кА	$I_{\text{пτ}} \le I_{\text{ном.відк}}$	20 кА
11,2 кА	$\sqrt{2} I_{\text{номτ}} + i_{a\tau} \le \sqrt{2} I_{\text{н відкл}} (1+\beta_н)$	32 кА
4,64 кА^{2}с	$B_к \le I^2_{\text{тер}} t_{\text{тер}}$	1200 кА^{2}с

На лініях, що відходять до ТП від ЦРП встановлені такі ж самі вимикачі. Перевірка вимикачів приведена в табл. 9.5.

Таблиця 9.5. Вибір вимикачів на лініях до ТП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{\text{уст}} \le U_{\text{ном}}$	10 кВ
51 А	$I_{\text{роб.фор}} \le I_{\text{ном}}$	630 А
3,962 кА	$I_{\text{к}} \le I_{\text{дин}}$	16 кА
5,553 кА	$i_y \le 1{,}8\sqrt{2} I_{\text{дин}}$	40,7 кА
3,962 кА	$I_{\text{пτ}} \le I_{\text{ном.відк}}$	20 кА
11,2 кА	$\sqrt{2} I_{\text{номτ}} + i_{a\tau} \le \sqrt{2} I_{\text{н відкл}} (1+\beta_н)$	32 кА
4,64 кА^{2}с	$B_к \le I^2_{\text{тер}} t_{\text{тер}}$	1200 кА^{2}с

В якості робочого форсованого струму для вибору вимикачів на лініях, що відходять до ТП взятий максимальний аварійний струм КЛ. В даному випадку це аварійний струм КЛ3.

Вибір трансформаторів для власних потреб.

Вибір трансформаторів для власних потреб будемо проводити за методикою викладеною в [7, 8].

Розрахунок навантаження власних потреб ЦРП мікрорайону наведено в табл. 9.6.

Таблиця 9.6. Навантаження власних потреб.

№ п/п	Споживач	P, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	18×1	0
2	Освітлення і вентиляція приміщення КРП	8	3,87
3	Навантаження, яке споживають оперативні кола	2	0
	Всього	28	3,87

Розрахункова потужність споживачів власних потреб ЦРП:

$$S_{розр} = K_C \sqrt{(P^2_{встр} + Q^2_{встр})} = 0{,}8\sqrt{28^2 + 3{,}87^2} = 22{,}6 \text{ кВА}.$$

Потужність трансформатора власних потреб ЦРП:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1{,}4} = \frac{22{,}6}{1{,}4} = 16{,}2 \text{ кВА}.$$

Обираємо трансформатор типу ТМ – 25/10 з такими параметрами:

$S_{ном}$ = 25 кВА, $U_{вн}$ = 10 кВ, $U_{нн}$ = 0,4 кВ, $\Delta P_{хх}$ = 0,125 кВт, $\Delta P_к$ = 0,6 кВт, $U_к$ = 4,5%, $I_{хх}$ = 3,2 %.

Коефіцієнт завантаження трансформатора власних:

$$K_з = \frac{S_{роз}}{nS_{ном}} = \frac{22{,}6}{2 \cdot 25} = 0{,}452.$$

10. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.
РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Джерела тепла і системи транспорту теплової енергії для ТП

Вторинні теплові мережі мають порівняно невелику протяжність (видалення ТП від споживача до 500 метрів) і в міських умовах обмежуються одним або парою кварталів. Діаметри трубопроводів вторинних мереж, як правило, знаходяться в межах від 50 до 150 мм. При будівництві вторинних теплових мереж можуть використовуватися як сталеві, так і полімерні трубопроводи. Використання полімерних трубопроводів найвпевненіше, особливо для систем гарячого водопостачання, оскільки жорстка водопровідна вода в поєднанні з підвищеною температурою призводить до інтенсивної корозії і передчасного виходу з ладу сталевих трубопроводів. У випадку з індивідуальним тепловим пунктом вторинні теплові мережі можуть не бути.

Джерелом води для систем холодного та гарячого водопостачання служать водопровідні мережі [12].

Системи споживання теплової енергії у ТП

У типовому ТП є наступні системи постачання споживачів тепловою енергією:

– Система гарячого водопостачання (ГВП). Призначена для постачання споживачів гарячою водою. Розрізняють закриті та відкриті системи гарячого водопостачання. Часто тепло з системи ГВП використовується споживачами для часткового опалення приміщень, наприклад, ванних кімнат, в багатоквартирних житлових будинках.

– Система опалення. Призначена для обігріву приміщень з метою підтримки в них заданої температури повітря. Розрізняють залежні та незалежні схеми приєднання систем опалення.

– Система вентиляції. Призначена для забезпечення підігріву надходить у вентиляційні системи будівель зовнішнього повітря. Також може використовуватися для приєднання залежних систем опалення споживачів.

– Система холодного водопостачання. Не відноситься до систем, що споживають теплову енергію, проте присутня у всіх теплових пунктах, які

обслуговують багатоповерхові будівлі. Призначена для забезпечення необхідного тиску в системах водопостачання споживачів.

Принцип роботи теплового пункту та схема приєднання водопідігрівача ГВП

Теплоносій, що надходить в ТП по подаючому трубопроводі теплового вводу, віддає своє тепло в підігрівачах систем ГВП та опалення, а також надходить в систему вентиляції споживачів, після чого повертається в зворотний трубопровід теплового вводу та по магістральних мережах відправляється назад на теплогенеруюче підприємство для повторного використання. Частина теплоносія може витрачатися споживачем. Для заповнення втрат у первинних теплових мережах на котельнях і ТЕЦ існують системи підживлення, джерелами теплоносія для яких є системи водопідготовки цих підприємств.

Водопровідна вода, що надходить в ТП, проходить через насоси ХВП, після чого частина холодної води відправляється споживачам, а інша частина нагрівається в підігрівачі першого ступеня ГВП і надходить в циркуляційний контур системи ГВП. У циркуляційному контурі вода за допомогою циркуляційних насосів гарячого водопостачання рухається по колу від ТП до споживачів і назад, а споживачі відбирають воду з контуру по мірі необхідності. При циркуляції по контуру вода поступово віддає своє тепло і для того, щоб підтримувати температуру води на заданому рівні, її постійно підігрівають в підігрівачі другого ступеня ГВП.

Система опалення також представляє замкнений контур, за яким теплоносій рухається за допомогою циркуляційних насосів опалення від ТП до системи опалення будівель і назад. У міру експлуатації можливе виникнення витоків теплоносія з контуру системи опалення. Для заповнення втрат служить система підживлення теплового пункту, що використовує в якості джерела теплоносія первинні теплові мережі рекомендується передбачати в будівлях тільки ІТП [12].

Схема приєднання водопідігрівача гарячого водопостачання в закритих системах теплопостачання обирається в залежності від співвідношення максимального потоку теплоти на гаряче водопостачання Q_{hmax} максимального потоку теплоти на опалення Q_{omax} [12]:

$$0{,}2 \geq \frac{Q_{\text{h max}}}{Q_{\text{o max}}} \geq 1$$ одноступінчата схема (рис. 10.1.)

$$0{,}2 \leq \frac{Q_{\text{h max}}}{Q_{\text{o max}}} \leq 1$$ двоступінчата схема (рис. 10.2.).

При теплопостачанні від котельні потужністю 35 МВт і менше при техніко-економічному обґрунтуванні приєднання до теплових мереж водопідігрівача систем гарячого водопостачання по одноступінчатій схемі незалежно від співвідношення теплових навантажень гарячого водопостачання і опалення. Як за основу можна взяти горизонтальний секційний водопідігрівач, який зображено на рис. 10.3.

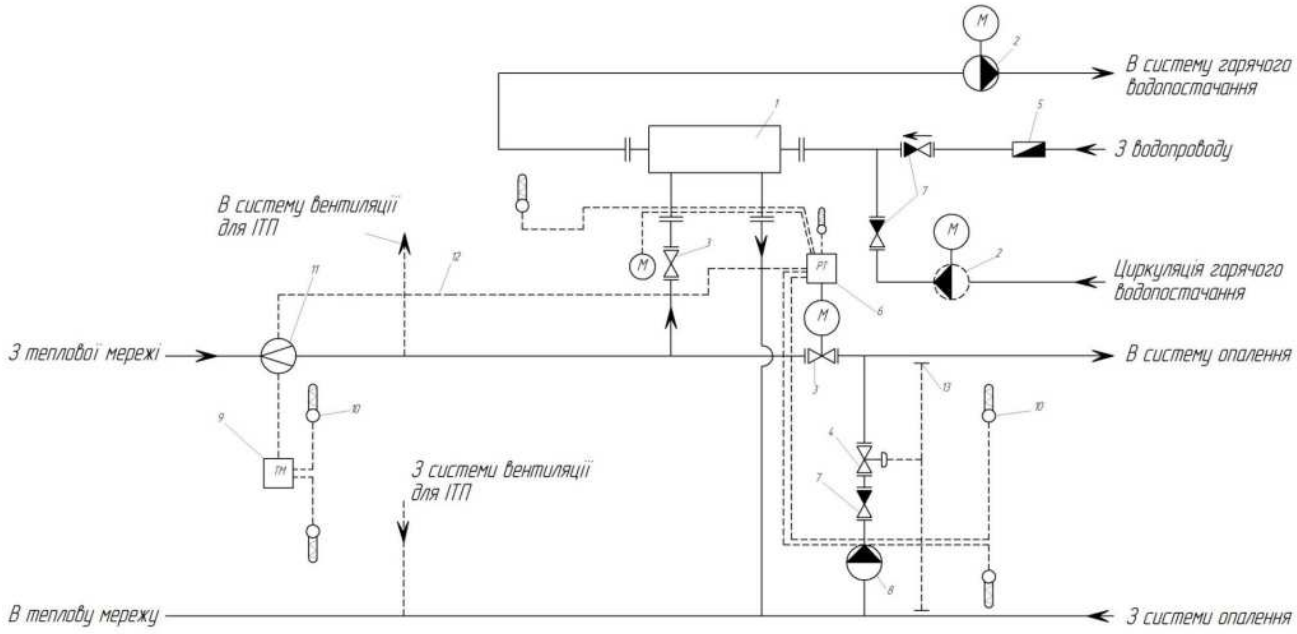


Рис. 10.1 Одноступінчата система приєднання водопідігрівача гарячого водопостачання

1) Водопідігрівач ГВС; 2) Підвищувально-циркуляційний насос (пунктиром-циркуляційний насос) ГВС; 3) Регулюючий клапан з електроприводом; 4) Регулятор перепаду тиску; 5) Водомір для холодної води; 6) Регулятор подачі теплоти на опалення; 7) Зворотній клапан; 8) Корегуючий підмішувальний насос; 9) Теплолічильник; 10) Датчик температури; 11) Датчик витрати води; 12) Сигнал обмежування максимальної витрати води з теплової мережі на ввід; 13) Датчик тиску води в трубопроводі.

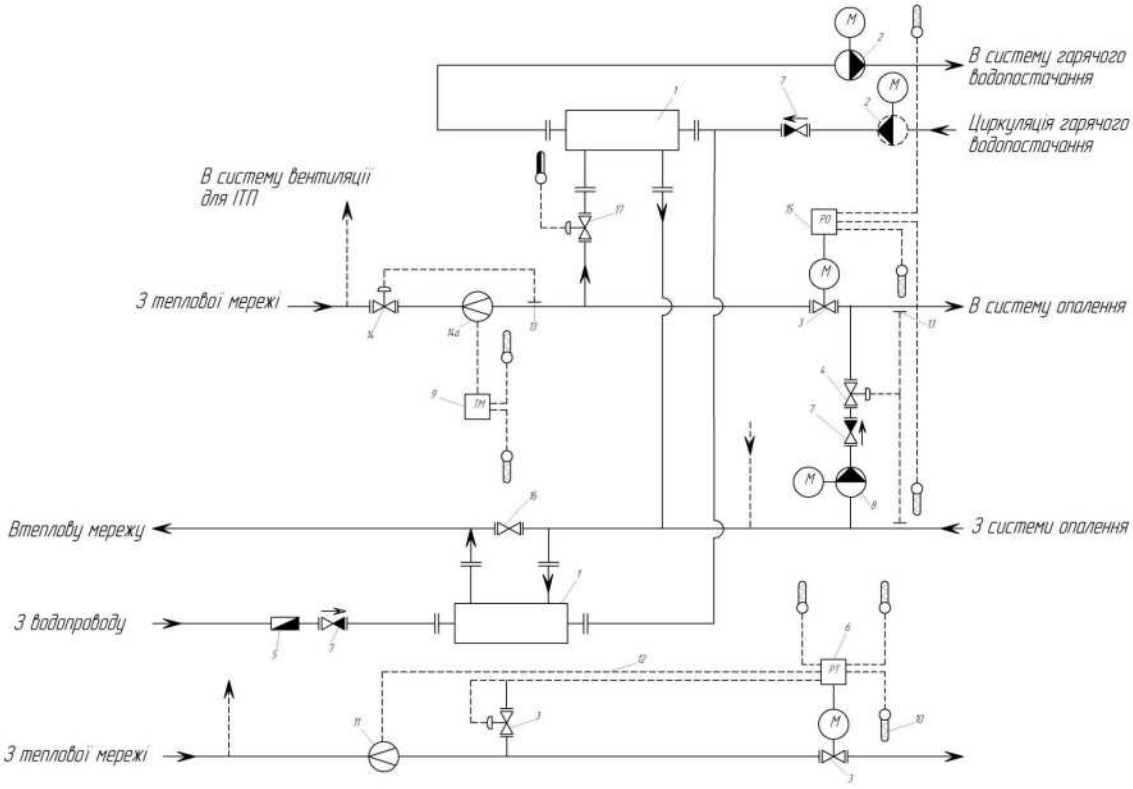


Рис. 10.2. Двоступінчата система приєднання водопідігрівача гарячого водопостачання

1-13 - такі самі позначення, що і на рис. 10.1. 14) Регулятор-обмежувач максимальної витрати води на вводі; 15) Регулятор подачі теплоти на опалення; 16) Засувка; 17) Регулятор подачі теплоти на гаряче водопостачання (прямої дії).

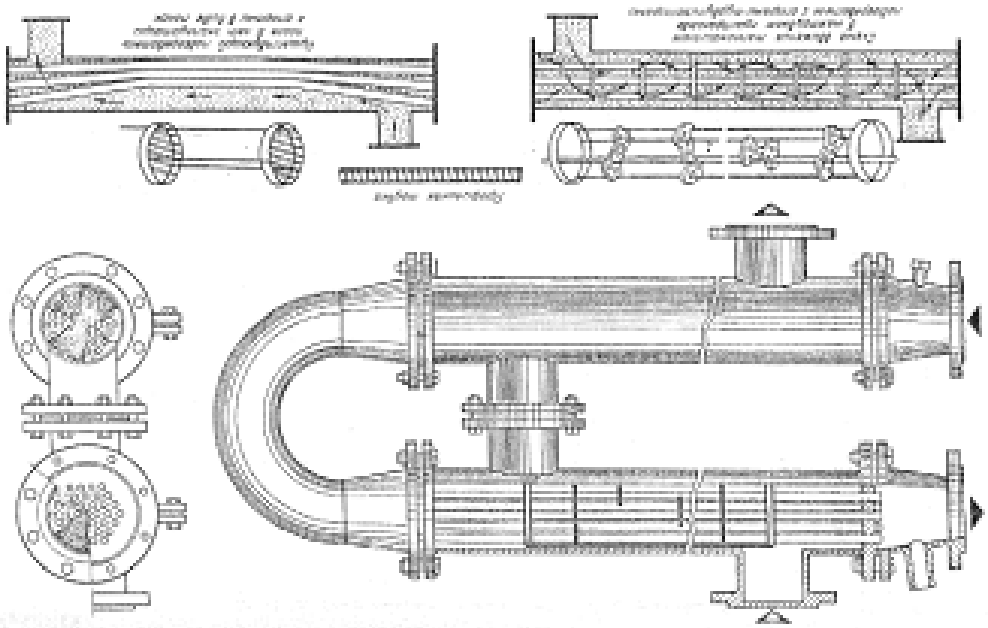


Рис. 10.3. Загальний вигляд горизонтального секційного кожухотрубного водопідігрівача

Принцип розташування теплових пунктів

У приміщеннях теплових пунктів допускається розміщувати обладнання санітарно-технічних систем будівель і споруд, у тому числі підвищувальні насосні установки, що подають воду на господарсько-питні та протипожежні потреби.

Основні вимоги до розміщення трубопроводів, обладнання та арматури в теплових пунктах слід приймати за даними табл. 10.1.-10.3.

Таблиця 10.1. Непрохідні канали

Умовний прохід трубопроводу, мм	Відстань від поверхні теплоізоляційної конструкції трубопроводів у просвіті, не менше			
	до стінки каналу, мм	до поверхні теплоізоляц. конструкції сміжного труб., мм	до перекриття каналу, мм	до дна каналу, мм
25-80	70	100	50	100
100-250	80	140	50	150
300-350	100	160	70	150
400	100	200	70	180
500-700	110	200	100	180
800	120	250	100	200
900-1400	120	250	100	300

Таблиця 10.2. Тунелі, надземна прокладка і теплові пункти

Умовний прохід трубопроводу, мм	Відстань від поверхні теплоізоляційної конструкції трубопроводів у просвіті, не менше				
	до стінки тунелю, мм	до перекриття тунелю, мм	до дна тунелю, мм	до поверхні теплоізоляційної конструкції сміжного трубопроводу в тунелях, при наземній прокладці і в теплових пунктах, мм	
				по вертикалі	по горизонталі
25-80	150	100	150	100	100
100-250	170	100	200	140	140
300-350	200	120	200	160	160
400	200	120	200	160	200
500-700	200	120	200	200	200
800	250	150	250	200	250
900	250	150	300	200	250
1000-1400	350	250	350	300	300

Таблиця 10.3. Вузли трубопроводів в тунелях, камерах, павільйонах і теплових пунктах

Найменування	Відстань в просвіті, не менше, мм
Від полу чи перекриття до поверхні теплоізоляційних конструкцій трубопроводів (для переходу)	700
Бокові проходи для ремонту арматури і сальникових компенсаторів (від стінки до фланцю арматури або до компенсатора) при діаметрах труб, мм:	
до 500	600
від 600 до 900	700
від 1000 та більше	1000
Від стінки до фланцю корпуса сальникового компенсатора (зі сторони патрубка) при діаметрах труб, мм:	
до 500	600
600 і більше	800
Від полу чи перекриття до фланцю арматури або до осі гайок сальникового уплітнювача.	400
Теж саме, до поверхні теплоізоляційної конструкції відходящої труби	300
Від видвинутого шпинделя засувки (або штурвалу) до стінки чи перекриття	200
Для труб діаметром 600 мм і більше між стінками сміжних труб з боку сальникового компенсатора	500
Від стінки чи від фланцю засувки до штуцерів для випуску води чи повітря	100
Від фланцю засувки на відходящій до поверхні теплоізоляійних конструкцій основних труб	100
Між теплоізоляційними конструкціями сміжних сильфонних компенсаторів при діаметрах компенсаторів, мм:	
до 500	100
600 і більше	150

Вимоги до розміщення трубопроводів при їх прокладанні в непрохідних каналах, тунелях, надземної і теплових пунктах.

Максимальні відстані у просвіті від теплоізоляційних конструкцій сильфонних компенсаторів до стінок, перекриття і дна тунелів слід приймати:

– При $D_y \geq 500$ – 100 мм;

– При $D_y = 600$ і більше – 150 мм.

При неможливості дотримання зазначених відстаней компенсатори слід встановлювати у розбіг зі зміщенням в плані не менше 100 мм відносно один одного.

Ширина проходу у просвіті в тунелях повинна прийматися рівною діаметру більшої труби плюс 100 мм, але не менше 700 мм.

Для швидкісних секційних водо-водяних водопідігрівачів слід приймати протилежну схему потоків теплоносіїв, при цьому гріюча вода з теплової мережі повинна надходити:

– В водопідігрівачі систем опалення - в трубки;

– Те ж, гарячого водопостачання - в міжтрубний простір.

В пароводяні водопідігрівачі пар повинен надходити в міжтрубний простір.

Для систем гарячого водопостачання при парових теплових мережах допускається застосовувати ємнісні водопідігрівачі, використовуючи їх як баки-акумулятори гарячої води за умови відповідності їх місткості необхідної при розрахунку для баків-акумуляторів.

Крім швидкісних водопідігрівачів можливе застосування водопідігрівачів інших типів, що мають високі теплотехнічні і експлуатаційні характеристики, малі габарити.

Мінімальне число водо-водяних водопідігрівачів слід приймати:

– Два, паралельно включених, кожен з яких повинен розраховуватися на 100% теплового навантаження - для систем опалення будинків, що не допускають перерв у подачі теплоти;

– Два, розрахованих на 75% теплового навантаження кожен, - для систем опалення будинків, що споруджуються в районах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря нижче мінус 40°С;

– Один - для інших систем опалення;

– Два, паралельно включених в кожному ступені підігріву, розрахованих на 50% теплового навантаження кожен, - для систем гарячого водопостачання.

При установці в системах опалення, вентиляції або гарячого водопостачання пароводяних водопідігрівачів число їх повинно прийматися не менше двох, що включаються паралельно, резервні водопідігрівачі можна не передбачати.

Для технологічних установок, що не допускають перерв у подачі теплоти, повинні передбачатися резервні водопідігрівачі, розраховані на теплове навантаження відповідно до режиму роботи технологічних установок підприємства.

На трубопроводах слід передбачати пристрій штуцерів із запірною арматурою умовним проходом 15 мм для випуску повітря у вищих точках усіх трубопроводів і умовним проходом не менше 25 мм - для спуску води в нижчих точках трубопроводів води і конденсату [13].

Допускається пристрої для спуску води виконувати не в приямку ЦТП, а за межами ЦТП в спеціальних камерах.

Брудовики слід встановлювати:

– В тепловому пункті на подавальних трубопроводах на вводі;

– На зворотному трубопроводі перед регулюючими пристроями і приладами обліку витрат води та теплоти - не більше одного;

– В ІТП - незалежно від наявності їх в ЦТП;

– В теплових вузлах споживачів 3-ї категорії – на подаючому трубопроводі на вводі.

Перед механічними водолічильниками (крильчасті, турбінними), пластинчастими теплообмінниками та іншим обладнанням по ходу води слід встановлювати фільтри (на вимогу підприємства-виробника).

У теплових пунктах не допускається влаштування пускових перемичок між подавальним і зворотним трубопроводами теплових мереж, а також обвідних трубопроводів крім насосів (крім підкачувальних), елеваторів, регулюючих клапанів, грязьовиків і приладів для обліку витрати води та теплоти.

Регулятори переливу і конденсатовідвідники повинні мати обвідні трубопроводи.

Для захисту від внутрішньої корозії і освіти накипи трубопроводів і обладнання централізованих систем гарячого водопостачання, що приєднуються до теплових мереж через водопідігрівачі, слід передбачати обробку води, здійснювану, як правило, в ЦТП. В ІТП допускається застосування тільки магнітної і силікатної обробки води.

В особливо важких умовах допускається зменшення відстані до 15 м за умови прийняття додаткових заходів щодо зниження шуму до допустимого за санітарними нормами рівня [13].

Теплові пункти з розміщення на генеральному плані поділяються на окремо стоячі, прибудовані до будівель і споруд та вбудовані в будівлі і споруди.

Вбудовані в будівлі теплові пункти слід розміщувати в окремих приміщеннях біля зовнішніх стін будівель.

Приміщення теплових пунктів споживачів пара тиском більше 0,07 МПа повинні мати не менше двох виходів незалежно від габаритів приміщення.

Прорізи для природного освітлення теплових пунктів передбачати не потрібно. Двері та ворота повинні відкриватися з приміщення або будівлі теплового пункту від себе.

За вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення теплових пунктів повинні відповідати категорії Д.

Теплові пункти, що розміщуються в приміщеннях виробничих і складських будівель, а також адміністративно-побутових будинках промислових підприємств, у житлових і громадських будівлях, повинні відокремлюватися від інших приміщень перегородками або огорожами, що запобігають доступ сторонніх осіб в тепловий пункт.

Для переміщення обладнання і арматури або нероз'ємних частин блоків обладнання слід передбачати інвентарні підіймально-транспортні пристрої.

У ЦТП з постійним обслуговуючим персоналом слід передбачати санвузол з умивальником.

Розрахунок економії теплової енергії при застосуванні ІТП

Економія теплової енергії (ΔQ) при встановленні ІТП знаходяться за виразом:

$$\Delta Q = \Delta Q_{п} + \Delta Q_{н} + \Delta Q_{с} + \Delta Q_{в},$$

де $\Delta Q_{п}$ – економія теплової енергії від ліквідації перетопу будинків в осінньо-весінній період, %;

$\Delta Q_{н}$ – економія теплової енергії від зниження її використання в нічний час, %;

$\Delta Q_{с}$ – економія теплової енергії від її використання у вихідні дні, %;

$\Delta Q_{в}$ – економія теплової енергії за рахунок врахування теплових вилучень від сонячної радіації і побутових приладів, %.

Економія теплової енергії $\Delta Q_{\text{п}}$ від ліквідації перетопу будинків в осінньо-весінній період опалювального сезону, коли джерело тепла для задоволення потреб в гарячій воді відпускає теплоносій з постійною температурою, яка перевищує потрібну для системи опалення орієнтовно може бути визначена за табл. 10.4. Відносна тривалість осінньо-весіннього періоду для Кіровоградської області становить 19%, при розрахунковій температурі зовнішнього повітря за опалювальний період -21 ºС.

Таблиця 10.4. Економія теплоенергії від ліквідації перетопу будинків в осінньо-весінній період

Відносна тривалість осінньо-весіннього періоду, % отоплювального сезону	5	10	15	20	25	30	35
Економія теплоенергії $\Delta Q_{\text{п}}$, % річної витрати	0,55	1,20	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85

Економія теплової енергії $\Delta Q_{\text{н}}$ від зниження її використання в нічний час визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\text{н}} = \frac{a \cdot \Delta t_{\text{в}}^{\text{нр}}}{24\left(t_{\text{в}}^{\text{р}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}\right)} 100 = \frac{7 \cdot 3}{24\left(18 - \left(-1\right)\right)} 100 = 4{,}6\%,$$

де a – тривалість зниження відпуску теплової енергії в нічний час, г/доб.;

$\Delta t_{\text{в}}^{\text{нр}} = 3$ – зниження температури повітря в приміщеннях в неробочий час, ºС;

$t_{\text{в}}^{\text{р}} = 18$ – усереднена розрахункова температура повітря в приміщеннях, ºС;

$t_{\text{н}}^{\text{ср}} = -1$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний сезон по Кіровоградській області, ºС;

Для жилих будинків: відпуск тепла рекомендується проводити з 21 години. Через a годин регулятор повинен ввімкнути опалювання на витрату тепла, забезпечуючи таким чином підняття температури приміщення до нормальної. Нормальна температура повинна бути досягнута до 6-7 години ранку. Найбільш економічно вигідним зниженням температури є $\Delta t_{\text{в}}^{\text{нр}} = 2$ ºС (з $t_{\text{в}}^{\text{р}} = 20$ ºС до 18 ºС). Для орієнтовних розрахунків можна прийняти a = 6-7 год. [13].

Для адміністративних будинків: тривалість зниження відпуску тепла *a* визначається режимом роботи будинку, для орієнтовних розрахунків можна прийняти, що *a* = 8-9 годин. Найбільш економічно вигідною величиною зниження температури є $\Delta t_{\text{в}}^{\text{нр}}$ = 2-4°С. При більш глибокому зниженні температури необхідно враховувати можливість теплоджерела швидко збільшувати відпуск тепла при різкому зниженні температури зовнішнього повітря. В будь-якому випадку, значення температури в період нічного зниження витрати теплоти в адміністративних забудовах повинно забезпечувати випадання конденсату в нічний період доби [13].

Економія теплоенергії $\Delta Q_{\text{в}}$ від зниження її відпуску у вихідні дні визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\text{в}} = \frac{b \cdot \Delta t_{\text{в}}^{\text{нр}}}{24\left(t_{\text{в}}^{\text{р}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}\right)} 100 = \frac{2 \cdot 3}{24\left(18 - (-1)\right)} 100 = 1{,}3\%,$$

де *b* – тривалість зниження відпуску теплової енергії у вихідні дні, доба/нед. (при 5-денній робочій неділі *b* = 2).

Економія теплоенергії $\Delta Q_{\text{в}}$ за рахунок тепловипромінювань від сонячної радіації та побутових приладів визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\text{в}} = \frac{\Delta t_{\text{в}}^{\text{в}}}{24\left(t_{\text{в}}^{\text{р}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}\right)} 100 = \frac{17}{24\left(18 - (-1)\right)} 100 = 3{,}1\%,$$

де $\Delta t_{\text{в}}^{\text{в}}$ = 17°С – усереднене значення перевищення температури повітря в приміщеннях через тепловипромінювання від сонячної радіації та побутових приладів по Кіровоградській області,

Економія теплової енергії (ΔQ) при встановленні ІТП знаходяться за виразом:

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{с}} + \Delta Q_{\text{в}} = 2{,}1 + 4{,}6 + 1{,}3 + 3{,}1 = 11{,}1\%$$

Розрахунок економії по будівлям проведемо в табличному вигляді результати наведені у табл. 10.5.

Таблиця 10.5. Результати розрахунку економії теплової енергії після впровадження ІТП

Адреса	$Q_{сум}$, кВт	$Q_{ср}$, кВт	Споживання теплової енергії, Гкал/рік	Економія теплової енергії, Гкал/рік	Опалювальна площа	Кап-я, грн	Економія, грн	$T_{окуп.}$, років
Любомира Гузара 3	319,20	155,51	911,24	101,15	6600	171117	25605,48	6,7
Любомира Гузара 5	361,10	175,92	1030,85	114,42	6600	171117	28966,60	5,9
Любомира Гузара 9	382,05	186,13	1090,66	121,06	9900	256676	30647,16	8,4
Любомира Гузара 11	497,80	242,52	1421,10	157,74	9900	256676	39932,35	6,4
Любомира Гузара 13	330,20	160,87	942,64	104,63	3300	85559	26487,87	3,2
Любомира Гузара 12а	314,30	153,12	897,25	99,59	3300	85559	25212,41	3,4
Любомира Гузара 15	497,80	242,52	1421,10	157,74	9900	256676	39932,35	6,4
Любомира Гузара 19	416,10	202,71	1187,85	131,85	8910	231009	33378,17	6,9
Любомира Гузара 25	417,97	203,62	1193,19	132,44	2970	77003	33528,17	2,3
Любомира Гузара 27	369,04	179,79	1053,52	116,94	1320	34223	29603,53	1,2
Любомира Гузара 30	410,94	200,20	1173,13	130,22	2640	68447	32964,64	2,1
Любомира Гузара 32	487,10	237,31	1390,55	154,35	6600	171117	39074,02	4,4
Любомира Гузара 34	227,90	111,03	650,60	72,22	6600	171117	18281,60	9,4
Любомира Гузара 36	215,36	104,92	614,80	68,24	660	17112	17275,68	1,0
Любомира Гузара 38	223,74	109,00	638,72	70,90	1980	51335	17947,90	2,9
Любомира Гузара 40	269,80	131,44	770,21	85,49	6600	171117	21642,72	7,9
Любомира Гузара 42	313,70	152,83	895,54	99,40	6600	171117	25164,28	6,8
Любомира Гузара 44	360,40	175,58	1028,85	114,20	6600	171117	28910,44	5,9
Любомира Гузара 48	360,40	175,58	1028,85	114,20	6600	171117	28910,44	5,9
Любомира Гузара 50	361,10	175,92	1030,85	114,42	6600	171117	28966,60	5,9
Любомира Гузара 52	444,90	216,75	1270,08	140,98	9900	256676	35688,84	7,2
Любомира Гузара 68	331,10	161,31	945,21	104,92	6600	171117	26560,07	6,4
Любомира Гузара 70	299,30	145,81	854,43	94,84	6600	171117	24009,15	7,1
Любомира Гузара 72	299,30	145,81	854,43	94,84	6600	171117	24009,15	7,1
Кож.диспансер	222,33	108,32	634,70	70,45	871	22582	17834,92	1,3
Адмін.будівля	73,06	35,60	208,58	23,15	770	19964	5861,09	3,4
Адмін.будівля	101,97	49,68	291,10	32,31	1095	28390	8179,87	3,5
Адмін.будівля	34,35	16,74	98,07	10,89	360	9334	2755,71	3,4
Адмін.будівля	34,21	16,67	97,65	10,84	360	9334	2744,04	3,4
Магазин №1	22,90	11,16	65,38	7,26	240	6222	1837,14	3,4
Магазин №2	11,60	5,65	33,11	3,67	120	3111	930,24	3,3
Школа	160,64	78,26	458,58	50,90	1742	45165	12886,03	3,5

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі розроблена системи енергопостачання мікрорайону вул. “Любомира Гузара” м. Кропивницький.

В проекті виконаний розрахунок електричних навантажень споживачів вул. “Любомира Гузара” методом коефіцієнта участі у максимумі навантаження. Також побудована картограма та графіки електричних навантажень, розрахована компенсація реактивної потужності. До встановлення прийняті батареї конденсаторів на 0,4 кВ загальною потужністю 1040 квар. Компенсація реактивної потужності на боці високої напруги 10 кВ не передбачається.

На основі техніко-економічного розрахунку вибрана схема зовнішнього електропостачання споживачів вул. “Любомира Гузара” кабельними лініями 10 кВ зі спорудженням центрального розподільчого пристрою. Внутрішнє електропостачання підстанцій здійснюється від ЦРП-10 кВ кабельними лініями за радіальною схемою, з використанням комірок з вакуумними вимикачами ВР2-10-20/630У2 на ЦРП. На основі розрахунків струмів короткого замикання вибрано та перевірено високовольтне обладнання.

Для розробки системи теплопостачання в роботі проведено розрахунок теплових навантажень на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання споживачів вул. “Любомира Гузара”. Сумарне теплове навантаження – 6,9 МВт.

Проведено гідравлічний розрахунок теплової мережі, на основі якого обрано діаметри трубопроводів. Проведено вибір теплової ізоляції трубопроводів, розраховано втрати теплової потужності крізь неї.

В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розглядалося питання розробки локальної системи теплопостачання. При виконанні спеціального розділу розглянутий спосіб локального теплопостачання за допомогою використання індивідуальних теплових пунктів, які регулюють температуру опалення в залежності від температури зовнішнього середовища, з зниженням енергоспоживання в нічні години та на вихідні. Таким чином досягається суттєва економія тепла в середньому з будинку близько 11%. В результаті щорічно досягається економія теплової енергії на суму біля 736 тис. грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тульчин И. К., Нудлер Г. И. "Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий" - М.: Энергоатомиздат, 1990 г.

2. Енергетичні установки: Методичні вказівки до курсової роботи для студентів спеціальності 8.090603/ Укл. С.П. Богатирьова та ін. Кіровоград: КДТУ, 2002, - 73 с.

3. Методичні вказівки до виконання дипломного і курсового проекту з курсу “Енергетичний менеджмент” для студентів спеціальності “Енергетичний менеджмент” усіх форм навчання. [Електронний ресурс] / Укладачі: Плєшков П.Г., Серебренніков С.В., Сіріков О.І., Полтавець М.М., Савеленко І.В. – Кіровоград: КНТУ, 2013 – 168 с. /

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

5. Плєшков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчалний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.

6. Електропостачання промислових підприємств: Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу) для студентів V-VI курсів спеціальності 8.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання /Укл.: П.Г.Плєшков, А.І.Котиш, А.Ю.Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004 – 133 с.

7. 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. Плєшков, 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.