

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**«Розробка систем енергопостачання підприємства по
виробництву причепів до автомобілів**

**Development of power supply systems for a company
producing car trailers»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-22мб
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ П. Семенченко
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ П. Плешков

« _____ » _____ 2025 р.

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

Семенченко Павла Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка систем енергопостачання підприємства по виробництву причепів до автомобілів*

Development of power supply systems for a company producing car trailers

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 *02.06.2025 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: проектування систем енергопостачання ТОВ «Ось».*

Завдання: 1. Вступ; 2. Розрахунок електричних навантажень підприємства; 3. Розрахунок теплових навантажень; 4. Побудова картограм теплових навантажень; 5. Вибір системи та джерела теплопостачання; 6. Гідравлічний розрахунок теплової мережі; 7. Побудова графіків електричних навантажень підприємства; 8. Побудова картограм електричних навантажень; 9. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства; 10. Режим реактивної потужності; 11. Розрахунок струмів КЗ; 12. Облік та вимірювання режимних параметрів системи електропостачання; 13. Спеціальний розділ; 14. Заключення.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Коротка характеристика тех. процесу</i>	<i>03.03</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень вище 1000 В</i>	<i>10.03</i>	
3	<i>Розрахунок теплових навантажень</i>	<i>17.03</i>	
4	<i>Побудова картограм теплових навантажень</i>	<i>24.03</i>	
5	<i>Вибір системи та джерела теплопостачання</i>	<i>31.03</i>	
6	<i>Гідравлічний розрахунок теплової мережі</i>	<i>07.04</i>	
7	<i>Побудова графіків електричних навантажень підприємства</i>	<i>14.04</i>	
8	<i>Побудова картограм електричних навантажень</i>	<i>21.04</i>	
9	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>28.04</i>	
10	<i>Режим реактивної потужності</i>	<i>05.05</i>	
11	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	<i>12.05</i>	
12	<i>Облік та вимірювання режимних параметрів системи електропостачання</i>	<i>19.05</i>	
13	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>26.05</i>	
14	<i>Заключення</i>	<i>29.05</i>	
15	<i>Виконання презентації</i>	<i>02.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2025 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2025 р.

Підпис здобувача

_____ Семенченко П.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 82 с.; 9 рис.; 32 табл.; 7 джерел

Семенченко П.О. Розробка систем енергопостачання підприємства по виробництву причепів до автомобілів. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2025 рік.

В даній кваліфікаційній роботі розроблена система енергопостачання підприємства по виробництву причепів до автомобілів.

В роботі проведено розрахунок силових електричних навантажень методом впорядкованих діаграм, а також розрахунок освітлювальних навантажень методом питомої щільності навантаження. В третьому розділі проведений розрахунок теплових навантажень підприємства. Побудована картограма теплових навантажень. Обрана система теплопостачання, а також джерело тепла. Проведений гідравлічний розрахунок теплових мереж, вибрані перерізи трубопроводів, проведений розрахунок теплових втрат. Побудовані графіки електричних навантажень. Виконані розрахунки для побудови картограми електричних навантажень та обрано місце розташування ЦРП. В дев'ятому розділі проведено вибір напруг зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Розглянуто питання компенсації реактивної потужності: обрано потужність компенсуючих пристроїв та місце їх розташування. Розраховано струми короткого замкнення в схеми електропостачання, а також проведено вибір сучасного силового електрообладнання. В спеціальному розділі розглянуто енергозбереження на підприємстві. Перелічені основні способи заощадження теплової та електричної енергії, води та стислого повітря. Розраховано енергозбереження шляхом установки частотно-регульованого приводу та промивання трубопроводів системи опалення.

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

ABSTRACT

Qualification work: 82 p.; 9 Fig.; 32 tables; 7 sources

Semenchenko P.O. Development of power supply systems for a company producing car trailers. - Manuscript.

Qualification work of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", EPP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

In this qualification work, the power supply system of the enterprise for the production of car trailers is developed.

The work calculates the power electrical loads using the method of ordered diagrams, as well as the calculation of lighting loads using the method of specific load density. In the third section, the calculation of the thermal loads of the enterprise is carried out. A cartogram of thermal loads is constructed. A heat supply system and a heat source are selected. A hydraulic calculation of heat networks is carried out, pipeline cross-sections are selected, and heat losses are calculated. Electrical load graphs are constructed. Calculations are made to construct a cartogram of electrical loads and the location of the DCP is selected. In the ninth section, the selection of external and internal power supply voltages is carried out. The issue of reactive power compensation is considered: the power of compensating devices and their location are selected. Short-circuit currents in power supply circuits are calculated, and modern power electrical equipment is selected. A special section discusses energy saving at the enterprise. The main ways to save heat and electricity, water and compressed air are listed. Energy savings are calculated by installing a frequency-controlled drive and flushing the heating system pipelines.

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

ЗМІСТ

1. Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства та вивчення енергопотоків.....	7
2. Розрахунок електричних навантажень.	9
2.1 Розрахунок силових електричних навантажень підприємства до 1000 В.	9
2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень.....	9
2.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В.	14
3. Розрахунок теплових навантажень та побудова графіків теплового споживання	18
3.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення.....	18
3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію.....	19
3.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання	20
4. Побудова картограми теплових навантажень, та вибір раціонального місця розташування котельні, центрального теплового пункту.....	23
5. Вибір системи та джерела теплопостачання	25
6. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції	26
6.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі.....	26
6.2. Розрахунок теплової ізоляції	29
7. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.	30
8. Побудова картограми електричних навантажень, і вибір раціонального місця розташування ГПП/ЦРП.....	34
9. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства	35
9.1 Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства.....	35
9.2 Техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання підприємства.....	42
10. Режими реактивної потужності системи електропостачання	43
10.1 Розрахунок балансу реактивної потужності підприємства «Ось» та вибір компенсуючих пристроїв в електричних мережах	43
10.2 Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв мережі 0,4 кВ підприємства «Ось».....	48
11. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання підприємства «Ось»	49
12. Спеціальний розділ. Енергозбереження на підприємстві.....	56
13. Заключення	81
14. Список використаних джерел.....	82

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розробка систем енергопостачання підприємства по виробництву причепів до автомобілів			Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.	Семенченко П.О.										6	82
Перевір.	Сіріков О.І.											
Н. Контр.	Сіріков О.І.											
Затв.	Плешков П.Г.											
					ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб							

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		Км	Розрахункова потужність			
			Одного	Сумарн					Рср, кВт	Qср, квар		Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Механічний цех														
	Металоріжучі станки	21	1,20 - 7,0	121,8	6	0,1	0,4	2,3	14,62	33,49					
	Ковальські машини	10	14,0 - 21,0	70,0	2	0,3	0,5	1,7	21,00	36,37					
	Компресори	2	1,50 - 20,0	37,0	13	0,8	0,8	0,9	27,75	24,47					
	Шліфувальні станки	4	5,0 - 25,0	80,0	5	0,3	0,7	1,2	24,00	28,06					
	Нагрівальні печі	6	5,0 - 20,0	90,0	4	0,7	0,9	0,48	63,00	30,51					
	Насоси	9	5,0 - 25,0	180,0	5	0,7	0,8	0,9	126,00	111,12					
	Вентилятори	10	0,5 - 10,0	95,0	20	0,7	0,8	0,8	66,50	49,88					
	Всього	62	0,5 - 25	673,8	50	0,51	0,74	0,9	342,87	313,90	54	1,14	389,8	313,90	500,52
2	Дільниця покриття														
	Катодні ванни	3	5,00 - 30,0	75,0	6	0,6	0,8	0,8	45,00	36,10					
	Електролізні ванни	4	2,0 - 12,0	40,0	6	0,6	0,8	0,8	24,00	19,25					
	Ванни електропокриття	2	5,00 - 40,0	70,0	8	0,6	0,8	0,8	42,00	33,70					
	Кран з ПВ%=40	4	10,0 - 10,0	28,3	1	0,1	0,5	1,7	2,83	4,90					
	Насоси	6	5,5 - 15,0	90,0	3	0,7	0,8	0,9	63,00	55,56					
	Вентилятори	6	5,5 - 16,0	180,0	3	0,7	0,8	0,8	126,00	94,50					
	Всього	25	2,0 - 40	333,0	20	0,91	0,78	0,8	302,83	244,02	17	1,00	302,8	244,02	388,91
3	Ковальсько-складальний цех														
	Вентилятори	8	0,80 - 10,0	73,6	13	0,7	0,8	0,8	51,52	38,64					
	Транспортери	4	3,0 - 10,0	28,0	3	0,4	0,8	0,9	11,20	9,88					
	Ковальські машини	21	6,00 - 20,0	294,0	3	0,3	0,5	1,7	88,20	152,77					
	Штапи	8	10,0 - 40,0	240,0	4	0,2	0,7	1,2	40,80	47,70					
	Всього	41	0,8 - 40	635,6	50	0,30	0,61	1,3	191,72	248,98	32	1,31	250,6	248,98	353,28
4	Зварювально-складальний цех														
	Автоматична поточна лінія	3	50,00 - 100,0	150,0	2	0,4	0,5	1,7	52,50	90,93					
	Багатофункціональні автомати	22	7,0 - 21,0	308,0	3	0,2	0,4	2,3	61,60	141,14					
	Металоріжучі станки	25	1,20 - 7,0	145,0	6	0,1	0,4	2,3	17,40	39,87					
	Зварювальні трансформатори	20	10,0 - 20,0	200,0	2	0,5	0,7	1	100,00	102,02					
	Компресори	14	1,5 - 20,0	259,0	13	0,8	0,8	0,9	194,25	171,31					
	Вентилятори	12	0,8 - 10,0	110,4	13	0,7	0,8	0,8	77,28	57,96					
	Всього	96	0,8 - 100	1172,4	125	0,43	0,64	1,2	503,03	603,24	23	1,27	639,2	603,24	878,91

		Продовження табл. 2.1													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	Адмінбудівля														
	Оргтехніка	16	0,50 - 2,0	24,0	4	0,4	0,7	1	9,60	9,79					
	Побутові електроприлади	21	0,1 - 2,0	39,9	20	0,4	0,7	1	15,96	16,28					
	Кондиціонери	16	1,50 - 3,0	16,0	2	0,7	0,8	0,8	11,20	8,40					
	Насоси	2	1,1 - 2,0	1,8	2	0,7	0,8	0,9	1,26	1,11					
	Вентилятори	4	0,5 - 3,0	10,0	6	0,7	0,8	0,8	7,00	5,25					
	Всього	59	0,1 - 3	91,7	30	0,49	0,74	0,9	45,02	40,84	59	1,14	51,2	40,84	65,46
6	Цех бджолоінвентарю														
	Деревообробні станки	20	1,20 - 35,0	676,0	29	0,2	0,7	1	135,20	137,93					
	Преси	5	10,0 - 14,0	20,0	1	0,2	0,7	1,2	3,40	3,98					
	Плоско-шліфувальні станки	4	5,00 - 15,0	40,0	3	0,1	0,4	2,3	5,60	12,83					
	Сушильні камери	8	2,0 - 6,0	32,0	3	0,7	1	0,3	22,40	7,36					
	Вентилятори	10	0,5 - 10,0	95,0	20	0,7	0,8	0,8	66,50	49,88					
	Всього	47	0,5 - 35	863,0	70	0,27	0,74	0,9	233,10	211,98	47	1,27	295,8	211,98	363,93
7	Допоміжний цех														
	Зварювальні трансформатори	8	12,00 - 20,0	64,0	2	0,5	0,7	1	32,00	32,65					
	Сушильні печі	6	4,5 - 15,0	63,0	3	0,7	1	0,3	44,10	14,49					
	Вентилятори	4	0,50 - 3,0	10,0	6	0,7	0,8	0,8	7,00	5,25					
	Всього	18	0,5 - 20	137,0	40	0,61	0,85	0,6	83,10	52,39	14	1,23	101,9	52,39	114,58
8	Деревообробний цех														
	Сушильні печі	2	4,50 - 20,0	31,0	4	0,7	1	0,3	21,70	7,13					
	Строгальні станки	4	1,2 - 10,0	35,2	8	0,2	0,7	1,2	5,98	7,00					
	Токарні станки	4	5,00 - 15,0	40,0	3	0,2	0,7	1,2	6,80	7,95					
	Шліфувальні станки	6	6,0 - 12,0	36,0	2	0,3	0,7	1,2	10,80	12,63					
	Преси	4	5,5 - 10,0	18,0	2	0,2	0,7	1,2	3,06	3,58					
	Вентилятори	6	2,0 - 10,0	48,0	5	0,7	0,8	0,8	33,60	25,20					
	Всього	26	1,2 - 20	208,2	17	0,39	0,79	0,8	81,94	63,48	21	1,31	107,4	63,48	124,78
9	Насосна														
	Насоси	49	0,50 - 15,0	230,0	30	0,7	0,8	0,9	161,00	141,99					
	Всього	49	0,5 - 15	230,0	30	0,70	0,75	0,9	161,00	141,99	31	1,10	177,2	141,99	227,09
10	Малярне відділення														
	Насоси	10	0,50 - 5,0	45,0	10	0,7	0,8	0,9	31,50	27,78					
	Компресори	4	0,5 - 2,0	4,0	4	0,8	0,8	0,9	3,00	2,65					
	Краскопульти	6	0,50 - 2,0	9,0	4	0,8	0,8	0,9	6,75	5,95					
	Вентилятори	3	0,5 - 5,0	13,5	10	0,7	0,8	0,8	9,45	7,09					
	Всього	23	0,5 - 5	71,5	10	0,71	0,76	0,9	50,70	43,47	23	1,11	56,5	43,47	71,29

		Продовження табл. 2.1													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	Гараж														
	Вентилятори	3	3,0 - 5,0	8,0	2	0,7	0,8	0,8	5,60	4,20					
	Кран з ПВ%=25	2	0,50 - 9,0	9,0	18	0,1	0,5	1,7	0,45	0,78					
	Компресори	4	0,5 - 2,0	4,0	4	0,7	0,8	0,8	2,60	1,95					
	Металоріжучі станки	2	2,5 - 14,0	23,0	6	0,1	0,4	2,3	2,76	6,32					
	Всього	11	0,5 - 14	44,0	28	0,26	0,65	1,2	11,41	13,25	6	1,94	22,1	14,58	26,50
12	Цех бджолоінвентарю №2														
	Деревообробні станки	10	1,20 - 35,0	338,0	29	0,2	0,7	1	67,60	68,97					
	Преси	5	10,0 - 14,0	20,0	1	0,2	0,7	1,2	3,40	3,98					
	Плоско-шліфувальні станки	4	5,00 - 15,0	40,0	3	0,1	0,4	2,3	5,60	12,83					
	Сушильні камери	8	2,0 - 6,0	32,0	3	0,7	1	0,3	22,40	7,36					
	Вентилятори	10	0,5 - 10,0	95,0	20	0,7	0,8	0,8	66,50	49,88					
	Всього	37	0,5 - 35	525,0	70	0,32	0,76	0,9	165,50	143,01	30	1,31	216,4	143,01	259,41
13	Цех бджолоінвентарю №3														
	Сушильні печі	2	4,50 - 10,0	11,0	2	0,7	1	0,3	7,70	2,53					
	Строгальні станки	4	1,2 - 7,0	23,2	6	0,2	0,7	1,2	3,94	4,61					
	Токарні станки	4	5,00 - 7,0	8,0	1	0,2	0,7	1,2	1,36	1,59					
	Вентилятори	6	2,0 - 10,0	48,0	5	0,2	0,8	0,8	8,16	6,12					
	Всього	16	1,2 - 10	90,2	8	0,23	0,82	0,7	21,16	14,85	16	1,55	32,8	14,85	36,04
14	Склад готової продукції														
	Вентилятори	3	3,00 - 10,0	13,0	3	0,7	0,8	0,8	9,10	6,83					
	Кран з ПВ%=25	2	2,0 - 10,0	10,0	5	0,1	0,5	1,7	0,50	0,87					
	Всього	5	2,0 - 10	23,0	5	0,42	0,78	0,8	9,60	7,69	5	1,71	16,4	8,46	18,48
16	Механо-складальний цех														
	Металоріжучі станки	21	1,20 - 7,0	121,8	6	0,1	0,4	2,3	14,62	33,49					
	Ковальські машини	10	14,0 - 21,0	70,0	2	0,3	0,5	1,7	21,00	36,37					
	Шліфувальні станки	4	5,00 - 25,0	80,0	5	0,3	0,7	1,2	24,00	28,06					
	Насоси	9	5,0 - 25,0	180,0	5	0,7	0,8	0,9	126,00	111,12					
	Вентилятори	10	0,5 - 10,0	95,0	20	0,7	0,8	0,8	66,50	49,88					
	Всього	54	0,5 - 25	546,8	50	0,46	0,70	1	252,12	258,92	44	1,17	295,8	258,92	393,10
17	Склади														
	Вентилятори	3	3,00 - 10,0	13,0	3	0,7	0,8	0,8	9,10	6,83					
	Кран з ПВ%=25	2	2,0 - 10,0	10,0	5	0,1	0,5	1,7	0,50	0,87					

2.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В.

Силові електричні мережі з напругою вище 1000 В відіграють ключову роль у системах електропостачання, забезпечуючи передачу та розподіл електроенергії на великі відстані до трансформаторних підстанцій, промислових підприємств, інфраструктурних об'єктів та регіональних центрів навантаження. Ефективність, надійність і безпека функціонування цих мереж значною мірою залежать від точності розрахунку електричних навантажень, які визначають режими роботи обладнання та впливають на вибір основних технічних рішень.

Розрахунок електричних навантажень в мережах понад 1000 В має свої особливості, пов'язані з високими рівнями напруги, значними обсягами переданої потужності, необхідністю обліку втрат в елементах мережі та впливу навантаження на параметри системи в цілому. У цьому розділі розглядаються основні принципи та методи розрахунку навантажень для високовольтних мереж, включаючи визначення середніх і максимальних значень потужності, розрахункових струмів, графіків навантаження та коефіцієнтів попиту. Також аналізуються особливості планування навантажень у багатоланцюгових системах і методи врахування перспективного розвитку електроспоживання.

Методика розрахунку електричних навантажень в мережах вище 1000 В детально розглянута в [1, 5, 6]. Розрахунок електронавантажень в силових мережах вище 1000 В приведений в таблиці 2.3.

Навантаження в цілому по підприємству визначається таким самим чином як і навантаження окремих ТП.

Таблиця 2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		Км	Розрахункова потужність				
			Одного	Сумарна					Рср, кВт	Qср, квар		Pr, кВт	Qr, квар	Sp, кВА		
1	2 ТП№1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	<u>Зварювально-складальний цех</u>															
	силова	96	0,8 - 100	1172,40	125	0,43	0,64	1,20	503,03	603,24	23	1,27	639,22	603,24	878,91	
	освітлювальна												1,97	0,95	2,19	
14	<u>Малярне відділення</u>															
	силова	23	0,5 - 5	71,50	10	0,71	0,76	0,86	50,70	43,47	23	1,11	56,50	43,47	71,29	
	освітлювальна												0,62	0,30	0,68	
15	<u>Насосна</u>															
	силова	49	0,5 - 15	230,00	30	0,70	0,75	0,88	161,00	141,99	31	1,10	177,23	141,99	227,09	
	освітлювальна												0,16	0,07	0,17	
	Всього по ТП№1	168	0,50 - 100,0	1473,9	200,0	0,48	0,67	1,10	714,73	788,69	29	1,18	843,4	788,7	1154,7	
	освітлювальна												2,7	1,3	3,0	
	Всього												846,1	790,0	1157,6	
	БСК													-600,0		
	3 урахуванням БСК												846,1	190,0	867,2	
	Втрати в трансформаторі S _{тр} = 630	2											9,8	53,3	54,2	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№1												855,9	243,3	889,9	
	ТП№2															
2	<u>Ковальсько-складальний цех</u>															
	силова	41	0,8 - 40	636	50	0,3	0,6	1,3	192	249	32	1,3	251	249	353	
	освітлювальна												2,58	4,46	5,16	
9	<u>Склади</u>															
	силова	5	2,0 - 10	23	5	0,4	0,8	0,8	10	8	5	1,7	16	8	18	
	освітлювальна												0,24	0,42	0,48	
10	<u>Цех бджолоінвентарю №3</u>															
	силова	16	1,2 - 10	90	8	0,2	0,8	0,7	21	15	16	1,6	33	15	36	
	освітлювальна												1,12	1,94	2,24	

Продовження табл. 2.3.															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	<u>Склад готової продукції</u>														
	силова	5	2,0 - 10	23	5	0,4	0,8	0,8	10	8	5	1,7	16	8	18
	освітлювальна												0,27	0,47	0,55
12	<u>Допоміжний цех</u>														
	силова	18	0,5 - 20	137	40	0,6	0,8	0,6	83	52	14	1,2	102	52	115
	освітлювальна												0,56	0,27	0,62
13	<u>Деревообробний цех</u>														
	силова	26	1,2 - 20	208	17	0,4	0,8	0,8	82	63	21	1,3	107	63	125
	освітлювальна												0,53	0,92	1,06
16	<u>Гараж</u>														
	силова	11	0,5 - 14	44	28	0,3	0,7	1,2	11	13	6	1,9	22	15	27
	освітлювальна												0,72	0,35	0,80
17	<u>Механо-складальний цех</u>														
	силова	54	0,5 - 25	547	50	0,5	0,7	1,0	252	259	44	1,2	296	259	393
	освітлювальна												1,57	0,75	1,74
	<u>Освітлення території заводу</u>												0,43	0,74	0,85
	Всього по ТП№2														
	силова	176	0,5 - 40	1707,8	80	0,39	0,70	1,01	660,7	667,3	85	1,14	755,47	667,26	1008,0
	освітлювальна												8,02	10,32	13,07
	Всього												763,50	677,58	1020,8
	БСК													-320,0	
	3 урахованням БСК												763,50	357,58	843,09
	Втрати в трансформаторі S _{тр} = 630	2											9,43	51,85	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№2												772,92	409,43	874,67
	ТП№3														
3	<u>Дільниця покриття</u>														
	силова	25	2,0 - 40	333,0	20	0,91	0,78	0,81	302,8	244,0	17	1,00	302,83	244,02	388,91
	освітлювальна												0,40	0,19	0,44
4	<u>Механічний цех</u>														
	силова	62	0,5 - 25	674	50	0,5	0,7	0,9	343	314	54	1,1	390	314	501
	освітлювальна												1,29	2,23	2,57
5	<u>Адмінбудівля</u>														
	силова	59	0,1 - 3	92	30	0,5	0,7	0,9	45	41	59	1,1	51	41	65
	освітлювальна												1,70	0,82	1,89
	Всього по ТП№3														

Продовження табл. 2.3.															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	слово	146	0,10 - 40,0	1098,5	400,0	0,63	0,76	0,87	690,72	598,76	55	1,18	815,0	598,8	1011,3
	освітлювальна												3,4	3,2	4,7
	Всього												818,4	602,0	1016,0
	БСК													-320,0	
	3 урахуванням БСК												818,4	282,0	865,6
	Втрати в трансформаторі $S_{тр} = 630$	2											9,8	53,2	54,1
	Всього на шинях 10 кВ ТП№3												828,2	335,2	893,5
	ТП№4														
6	Цех бджолоінвентарю														
	слово	47	0,5 - 35	863	70	0,3	0,7	0,9	233	212	47	1,3	296	212	364
	освітлювальна												0,81	1,40	1,62
7	Цех бджолоінвентарю №2														
	слово	37	0,5 - 35	525	70	0,3	0,8	0,9	166	143	30	1,3	216	143	259
	освітлювальна												1,05	1,82	2,10
8	Виставкова зала														
	освітлювальна												0,98	2,68	2,86
	Всього по ТП№4														
	слово	84	0,50 - 35,0	1388,0	70,0	0,29	0,75	0,89	398,60	354,98	79	1,18	470,3	355,0	589,3
	освітлювальна												2,8	5,9	6,6
	Всього												473,2	360,9	595,1
	БСК													-350,0	
	3 урахуванням БСК												473,2	10,9	473,3
	Втрати в трансформаторі $S_{тр} = 630$	1											5,6	29,2	29,8
	Всього на шинях 10 кВ ТП№4												478,8	40,1	480,5
	Всього по підприємству														
	слово	574	0,10 - 100,0	5668,2	1000	0,43	0,72	0,98	2464,7	2409,7	113	1,11	2733,5	2409,7	3644,0
	освітлювальна												17,0	20,8	26,8
	Всього												2750,5	2430,5	3670,5
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ													-1590,0	
	Всього з врахуванням КП-0,4												2750,5	840,5	2876,1
	Втрати в трансформаторах	7											34,6	187,6	190,8
	Всього по заводу												2785,2	1028,1	2968,9
	Компенсуючі пристрої 10 кВ													-900	
	Всього на шинях 10 кВ												2785,2	128,1	2788,1

$$Q_{Г.В.}^{\max} = \chi Q_{Г.}^{\text{сер.т.}} = 1 \cdot 3,6 = 3,6 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання зварювально-складального цеху в літній період, кВт:

$$Q_{Г.Л.}^{\max} = \chi Q_{Г.Л.}^{\text{сер.т.}} = 1 \cdot 2,9 = 2,9 \text{ кВт.}$$

Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання для інших підрозділів підприємства є аналогічними, а результати приведені в таблиці 3.3.1.

Таблиця 3.3.1. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання.

№ п/п	Найменування підрозділу	м, люд.	$Q_{Г.З.}^{\text{сер.т.}}$, кВт	$Q_{Г.Л.}^{\text{сер.т.}}$, кВт	$Q_{Г.З.}^{\max}$, кВт	$Q_{Г.Л.}^{\max}$, кВт
1	Зварювально-складальний цех	20	3,64	2,91	3,64	2,91
2	Ковальсько-складальний цех	25	4,55	3,64	4,55	3,64
3	Дільниця покриття	25	4,55	3,64	4,55	3,64
4	Механічний цех	40	7,27	5,82	7,27	5,82
5	Адміністративна будівля	50	9,09	7,27	9,09	7,27
6	Цех бджолоінвентарю №1	25	4,55	3,64	4,55	3,64
7	Цех бджолоінвентарю №2	25	4,55	3,64	4,55	3,64
8	Виставкова зала	10	1,82	1,45	1,82	1,45
9	Склад	30	5,46	4,36	5,46	4,36
10	Цех бджолоінвентарю №3	25	4,55	3,64	4,55	3,64
11	Склад готової продукції	40	7,27	5,82	7,27	5,82
12	Допоміжний цех	20	3,64	2,91	3,64	2,91
13	Деревообробний цех	15	2,73	2,18	2,73	2,18
14	Малярне відділення	15	2,73	2,18	2,73	2,18
15	Насосна	5	0,91	0,73	0,91	0,73
16	Гараж	10	1,82	1,45	1,82	1,45
17	Механо-складальний цех	10	1,82	1,45	1,82	1,45
Всього по підприємству		390	70,92	56,74	70,92	56,74

Розрахунок загального максимального теплового навантаження підприємства приведені в таблиці 3.3.2.

4. Побудова картограми теплових навантажень, та вибір раціонального місця розташування котельні, центрального теплового пункту

Розрахунок будемо проводити за методикою, що наведена в [3].

Приведемо приклад розрахунку для зварювально-складального цеху:

$$R_1 = \sqrt{\frac{Q_{\Sigma}}{\pi t}} = \sqrt{\frac{45,70}{\pi \cdot 0,05}} = 17 \text{ мм}$$

$$\alpha_B = \frac{Q_B \cdot 360}{Q_{\Sigma}} = \frac{6,06 \cdot 360}{45,70} = 48^{\circ}$$

$$\alpha_{Г.В.} = \frac{Q_{Г.В.}^{\max} \cdot 360}{Q_{\Sigma}} = \frac{3,64 \cdot 360}{45,70} = 29^{\circ}$$

Розрахунок для інших будівель та цехів підприємства є аналогічним і наведений в таблиці 4.

Таблиця 4 Побудова теплової картограми підприємства.

№ п/п	Найменування підрозділу	Q_0^p , кВт	Q_B^p , кВт	$Q_{1,3}^{max}$, кВт	Q_{Σ} , кВт	R, мм	α_B , град	$\alpha_{г.в.}$, град	X, м	Y, м	QX, кВт*м	QY, кВт*м
1	Зварювально-складальний цех	36,01	6,06	3,64	45,70	17	48	29	63,0	56,1	2879,0	2563,6
2	Ковальсько-складальний цех	53,28	30,74	4,55	88,56	24	125	18	61,2	60,0	5420,0	5313,7
3	Дільниця покриття	5,33	1,14	4,55	11,02	8	37	149	27,6	27,0	304,0	297,4
4	Механічний цех	9,09	1,64	7,27	18,00	11	33	145	58,2	43,2	1047,8	777,7
5	Адміністративна будівля	12,68	2,07	9,09	23,84	12	31	137	63,0	72,0	1502,1	1716,7
6	Цех бджолоінвентарю №1	9,71	7,80	4,55	22,06	12	127	74	49,5	78,0	1091,9	1720,6
7	Цех бджолоінвентарю №2	3,29	9,78	4,55	17,61	11	200	93	5,0	31,5	88,1	554,8
8	Виставкова зала	5,88	1,89	1,82	9,58	8	71	68	33,0	9,0	316,3	86,3
9	Склад	13,05	5,24	5,46	23,75	12	79	83	49,5	21,0	1175,7	498,8
10	Цех бджолоінвентарю №3	23,68	10,40	4,55	38,63	16	97	42	54,0	20,1	2085,8	776,4
11	Склад готової продукції	11,60	5,84	7,27	24,72	13	85	106	6,0	58,2	148,3	1438,5
12	Допоміжний цех	7,08	3,57	3,64	14,29	10	90	92	33,0	78,9	471,4	1127,2
13	Деревообробний цех	7,41	3,40	2,73	13,54	9	91	73	5,1	63,9	69,1	865,3
14	Малярне відділення	11,40	4,43	2,73	18,56	11	86	53	1,5	36,0	27,8	668,1
15	Насосна	5,05	0,00	0,91	5,96	6	0	55	9,0	37,8	53,6	225,3
16	Гараж	11,99	2,04	1,82	15,85	10	46	41	21,9	79,2	347,0	1255,0
17	Механо-складальний цех	38,96	4,91	1,82	45,69	17	39	14	30,6	42,6	1398,2	1946,5
	Всього по підприємству	265,50	100,94	70,92	437,36						18426,2	21832,0
				X= 42								
				Y= 50								

6. Гідрравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції

6.1. Гідрравлічний розрахунок теплової мережі

Гідрравлічний розрахунок трубопровідних теплових мереж будемо проводити за методикою наведеною в [4-6].

В якості прикладу проведемо розрахунок витрат води для зварювально-складального цеху.

Витрата води на опалення зварювально-складального цеху, кг/с:

$$G_o^{\max} = \frac{Q_o^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{36,01}{4,19(95 - 70)} = 0,156$$

Витрата води на вентиляцію зварювально-складального цеху, кг/с:

$$G_B^{\max} = \frac{Q_B^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{6,06}{4,19(95 - 70)} = 0,026$$

Витрати води на гаряче водопостачання зварювально-складального цеху, кг/с:

$$G_{Г.В}^{\max} = \frac{Q_{Г.В}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{3,64}{4,19(65 - 15)} = 0,029$$

Сумарна витрата води зварювально-складального цеху, кг/с:

$$G_{\Sigma} = G_o^{\max} + G_B^{\max} + G_{Г.В}^{\max} = 0,156 + 0,026 + 0,029 = 0,21.$$

Результати розрахунку витрати води для інших будівель промислового підприємства наведено в таблиці 6.1.

						Арк.
						26

Таблиця 6.1. Розрахунок витрат теплоносія

№ п/п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_b^p , кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	Q_{Σ} , кВт	$G_{o\max}$, кг/с	$G_{v\max}$, кг/с	$G_{h\max}$, кг/с	G_d , кг/с
1	Зварювально-складальний цех	36,01	6,06	3,64	45,70	0,156	0,026	0,029	0,21
2	Ковальсько-складальний цех	53,28	30,74	4,55	88,56	0,231	0,133	0,036	0,40
3	Дільниця покриття	5,33	1,14	4,55	11,02	0,023	0,005	0,036	0,06
4	Механічний цех	9,09	1,64	7,27	18,00	0,039	0,007	0,058	0,10
5	Адміністративна будівля	12,68	2,07	9,09	23,84	0,055	0,009	0,072	0,14
6	Цех бджолоінвентарю №1	9,71	7,80	4,55	22,06	0,042	0,034	0,036	0,11
7	Цех бджолоінвентарю №2	3,29	9,78	4,55	17,61	0,014	0,042	0,036	0,09
8	Виставкова зала	5,88	1,89	1,82	9,58	0,026	0,008	0,014	0,05
9	Склад	13,05	5,24	5,46	23,75	0,057	0,023	0,043	0,12
10	Цех бджолоінвентарю №3	23,68	10,40	4,55	38,63	0,103	0,045	0,036	0,18
11	Склад готової продукції	11,60	5,84	7,27	24,72	0,050	0,025	0,058	0,13
12	Допоміжний цех	7,08	3,57	3,64	14,29	0,031	0,015	0,029	0,08
13	Деревообробний цех	7,41	3,40	2,73	13,54	0,032	0,015	0,022	0,07
14	Малярне відділення	11,40	4,43	2,73	18,56	0,049	0,019	0,022	0,09
15	Насосна	5,05	0,00	0,91	5,96	0,022	0,000	0,007	0,03
16	Гараж	11,99	2,04	1,82	15,85	0,052	0,009	0,014	0,08
17	Механо-складальний цех	38,96	4,91	1,82	45,69	0,169	0,021	0,014	0,20
Всього по підприємству		265,50	100,94	70,92	437,36	1,15	0,44	0,56	2,15

Методика розрахунку гідравлічних втрат для трубопроводів, що застосована в цьому розділі детально розписана в [4].

Результати гідравлічного розрахунку теплової мережі наведено в таблиці 6.2.

Таблица 6.2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Форма № 33 - РГ

№ участка по расчету	Характеристика участка			Расходные данные участка										потери напора от источника теплоснабжения	Располагаемый напор в конце участка	
	диаметр	длина	сумма коэф. местных сопротивл.	расход воды	скорость воды	удельные потери напора при K=0,5	принятая эквивалент шероховат.	поправоч. коэф. к удел. потерям	истинное значение удельных потерь	Потери напора на участке			всего по двум трубопроводам			
№ расчетного	мм	м		т/ч	м/с	мм/м	мм			м	м	м	м	м	м	м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17,0
Сетевые насосы																
Водонагревательная установка																
ТЕПЛОВАЯ СЕТЬ																
3	1	60	3,4		0,27		0,02	3	1,63	0,036	0,000	0,0000	0,000	0,000	2,68	42,32
3	2	60	7,1		0,25		0,02	3	1,63	0,031	0,000	0,0001	0,000	0,001	2,68	42,32
6	3	60	34,5		0,52		0,08	3	1,63	0,132	0,005	0,0014	0,006	0,012	2,68	42,32
6	4	60	4,2		1,44		0,62	3	1,63	1,013	0,004	0,0013	0,006	0,011	2,66	42,34
6	5	60	3,0		0,33		0,03	3	1,63	0,053	0,000	0,0000	0,000	0,000	2,65	42,35
9	7	60	7,7		0,27		0,02	3	1,63	0,036	0,000	0,0001	0,000	0,001	2,37	42,63
9	8	60	3,2		0,10		0,00	3	1,63	0,005	0,000	0,0000	0,000	0,000	2,37	42,63
10	6	60	42,3		2,29		1,57	3	1,63	2,563	0,108	0,0325	0,141	0,282	2,65	42,35
10	9	60	38,9		0,38		0,04	3	1,63	0,071	0,003	0,0008	0,004	0,007	2,37	42,63
12	10	60	81,2		2,66		2,12	3	1,63	3,458	0,281	0,0842	0,365	0,730	2,36	42,64
12	11	60	4,5		0,76		0,17	3	1,63	0,282	0,001	0,0004	0,002	0,003	1,64	43,36
15	13	60	2,6		0,48		0,07	3	1,63	0,113	0,000	0,0001	0,000	0,001	1,83	43,17
15	14	60	1,5		0,44		0,06	3	1,63	0,095	0,000	0,0000	0,000	0,000	1,82	43,18
17	15	60	13,1		0,92		0,25	3	1,63	0,414	0,005	0,0016	0,007	0,014	1,82	43,18
17	16	60	5,0		0,66		0,13	3	1,63	0,213	0,001	0,0003	0,001	0,003	1,81	43,19
20	17	60	42,0		1,59		0,76	3	1,63	1,236	0,052	0,0156	0,067	0,135	1,81	43,19
20	19	60	3,9		0,74		0,16	3	1,63	0,268	0,001	0,0003	0,001	0,003	1,67	43,33
20	18	60	25,5		0,17		0,01	3	1,63	0,014	0,000	0,0001	0,000	0,001	1,67	43,33
22	20	60	70,5		2,50		1,87	3	1,63	3,054	0,215	0,0646	0,280	0,560	1,67	43,33
22	21	60	25,5		0,33		0,03	3	1,63	0,053	0,001	0,0004	0,002	0,004	1,11	43,89
25	23	60	9,6		0,49		0,07	3	1,63	0,117	0,001	0,0003	0,001	0,003	0,58	44,42
25	24	60	6,5		0,40		0,05	3	1,63	0,078	0,001	0,0002	0,001	0,001	0,58	44,42
27	25	60	25,5		0,89		0,24	3	1,63	0,387	0,010	0,0030	0,013	0,026	0,58	44,42
27	26	60	6,8		0,23		0,02	3	1,63	0,026	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,55	44,45
29	27	60	41,3		1,13		0,38	3	1,63	0,624	0,026	0,0077	0,033	0,067	0,55	44,45
29	28	60	7,2		0,38		0,04	3	1,63	0,071	0,001	0,0002	0,001	0,001	0,49	44,51
30	29	60	50,3		1,50		0,67	3	1,63	1,100	0,055	0,0166	0,072	0,144	0,49	44,51
30	22	60	75,0		2,83		2,40	3	1,63	3,914	0,294	0,0881	0,382	0,763	1,11	43,89
30	12	60	86,9		3,42		3,51	3	1,63	5,716	0,496	0,1489	0,645	1,291	1,63	43,37
31	30	60	4,5		7,75		18,01	3	1,63	29,353	0,132	0,0396	0,172	0,343	0,34	44,66

6.2. Розрахунок теплової ізоляції

Розрахунок теплових втрат в трубопровідних мережах проведемо за методикою, що наведена в [4].

Прийmemo до використання на підприємстві безканальну прокладку теплових мереж. Глибина прокладання на рівні 80 см. Відстань між осями труб в траншеї 40 см. Грунт – середньої вологості. Розрахунок проведено у вигляді табл. 6.3.

При розрахунках було прийнято:

$$\lambda_{із} = 0,033 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$\lambda_{пс} = 0,43 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

Температура ґрунту $t_{г} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблиця 6.3. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції.

№ п/п	Стандартний діаметр труби, мм	Розрахункова товщина пенополіуретану, мм	Товщина захисної поліетиленової оболонки, мм	Опір ізоляції, (м·°C)/Вт	Опір захисного шару, (м·°C)/Вт	Глибина залягання трубопроводу, мм	Опір ґрунту, (м·°C)/Вт	Сумарний опір трубопроводу, (м·°C)/Вт	Відстань між осями труб, мм	Додатковий термічний опір, (м·°C)/Вт	Температура в подавальному трубопроводі, °C	Температура в зворотньому трубопроводі, °C	Температура ґрунту, °C	Питомі втрати теплоти в подавальному трубопроводі, Вт/м	Питомі втрати теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт/м	Сумарна довжина трубопроводу, м	Втрата теплоти в подавальному трубопроводі, Вт	Втрата теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт
1	57	31,5	3	3,59	0,02	800	0,303	3,9	400,0	0,1	95	40	2	23,5	8,92	733,0	17208,0	6538,29

7. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.

Детально методика розрахунку та побудови графіків електричних навантажень використаних в цьому пункті наведена в [3, 4].

Нижче наведені результати розрахунку і побудови з використання математичного пакету Mathcad.

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 2785.2 \text{ кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 2618.1 \text{ квар}$$

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

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

$$T_{\Gamma} = 365$$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка (1 - для активної потужності, 2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	75	90
2	60	79
3	45	69
4	45	69
5	40	65
6	48	70
7	43	67
8	78	89
9	85	91
10	100	100
11	85	89
12	78	85
13	82	89
14	90	95
15	92	95
16	80	87
17	62	78
18	71	83
19	78	85
20	78	85
21	70	83
22	77	86
23	82	88
24	72	...

Вихідні дні

	1	2
1	29	55
2	29	55
3	29	55
4	29	55
5	29	55
6	29	55
7	29	55
8	29	55
9	25	50
10	25	50
11	25	50
12	25	50
13	25	50
14	25	50
15	25	50
16	25	50
17	25	50
18	25	50
19	27	52
20	27	52
21	28	54
22	28	54
23	28	54
24	28	54

4. Обчислення сходинок графіка навантаження:

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

Power_1 =

	1	2	3
1	1776	2003	2677
2	1420	1758	2260
3	1065	1536	1869
4	1065	1536	1869
5	947	1447	1729
6	1136	1558	1928
7	1018	1491	1805
8	1847	1981	2708
9	2012	2025	2855
10	2367	2225	3249
11	2012	1981	2823
12	1847	1892	2643
13	1941	1981	2773
14	2131	2114	3002
15	2178	2114	3035
16	1894	1936	2708
17	1468	1736	2273
18	1681	1847	2497
19	1847	1892	2643
20	1847	1892	2643
21	1657	1847	2482
22	1823	1914	2643
23	1941	1958	2757
24	1705	1847	...

Power_2 =

	1	2	3
1	2089	2356	3149
2	1671	2068	2659
3	1253	1806	2199
4	1253	1806	2199
5	1114	1702	2034
6	1337	1833	2268
7	1198	1754	2124
8	2172	2330	3186
9	2367	2382	3359
10	2785	2618	3823
11	2367	2330	3322
12	2172	2225	3110
13	2284	2330	3263
14	2507	2487	3531
15	2562	2487	3571
16	2228	2278	3186
17	1727	2042	2674
18	1977	2173	2938
19	2172	2225	3110
20	2172	2225	3110
21	1950	2173	2919
22	2145	2252	3109
23	2284	2304	3244
24	2005	2173	...

Power_3 =

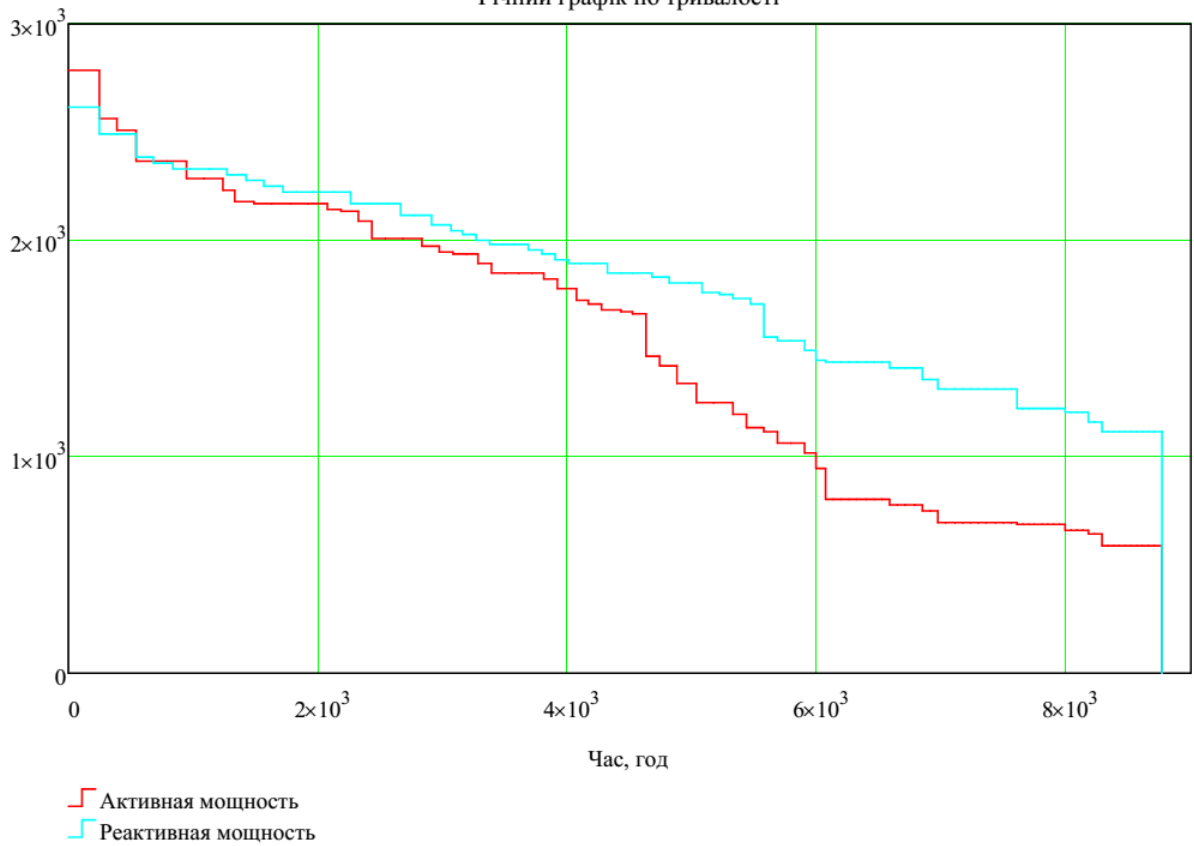
	1	2	3
1	687	1224	1403
2	687	1224	1403
3	687	1224	1403
4	687	1224	1403
5	687	1224	1403
6	687	1224	1403
7	687	1224	1403
8	687	1224	1403
9	592	1113	1260
10	592	1113	1260
11	592	1113	1260
12	592	1113	1260
13	592	1113	1260
14	592	1113	1260
15	592	1113	1260
16	592	1113	1260
17	592	1113	1260
18	592	1113	1260
19	639	1157	1322
20	639	1157	1322
21	663	1202	1372
22	663	1202	1372
23	663	1202	1372
24	663	1202	...

Power_4 =

	1	2	3
1	808	1440	1651
2	808	1440	1651
3	808	1440	1651
4	808	1440	1651
5	808	1440	1651
6	808	1440	1651
7	808	1440	1651
8	808	1440	1651
9	696	1309	1483
10	696	1309	1483
11	696	1309	1483
12	696	1309	1483
13	696	1309	1483
14	696	1309	1483
15	696	1309	1483
16	696	1309	1483
17	696	1309	1483
18	696	1309	1483
19	752	1361	1555
20	752	1361	1555
21	780	1414	1615
22	780	1414	1615
23	780	1414	1615
24	780	1414	...

- 1 - активна потужність
- 2 - реактивна потужність
- 3 - повна потужність

Річний графік по тривалості



Споживання активної енергії за літню вихідну добу, кВт·год:	$W_{\text{лето_в}} = 15341$
Споживання активної енергії за літню робочу добу, кВт·год:	$W_{\text{лето_р}} = 40625$
Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, кВт·год:	$W_{\text{зима_в}} = 18048$
Споживання активної енергії за зимову робочу добу, кВт·год:	$W_{\text{зима_р}} = 47794$
Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, квар·год:	$V_{\text{лето_в}} = 28040$
Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, квар·год:	$V_{\text{лето_р}} = 44508$
Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, квар·год:	$V_{\text{зима_в}} = 32988$
Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, квар·год:	$V_{\text{зима_р}} = 52362$
Річне споживання активної енергії, кВт·год:	$W_{\Gamma} = 13200829$
Річне споживання реактивної енергії, квар·год:	$V_{\Gamma} = 15860659$
Кількість годин використання максимуму потужності, год:	$T_{\text{max}} = 5398$
Річний час максимальних втрат, год:	$\tau = 3694$

Розрахунковий струм в ПЛ:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3}U_H} = \frac{2788,1}{\sqrt{3} \cdot 35} = 45,9$$

Площа перерізу проводів ПЛ оберемо за економічною густиною струму:

$$F_{\Sigma} = \frac{I_P}{j_{\Sigma}} = \frac{45,9}{1,0} = 45,9 \text{ мм}^2$$

Приймаємо двохцепну ЛЕП з проводами марки АС площею перерізу 70 мм². Параметри на один ланцюг ПЛ: $\Delta P_{1KM} = 125$ кВт/км, $I_D = 265$ А, $K_O = 10,7 \cdot 50 = 535$ тис. грн.

Завантаження лінії в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_P}{2I_D} = \frac{45,9}{2 \cdot 265} = 0,086$$

На ГЗП передбачається встановлення двох трансформаторів типу ТМ потужністю $S_H = 2500$ кВА кожен, напругою 35/10 кВ. $I_X = 1,1\%$, $\Delta P_X = 5,1$ кВт, $\Delta P_K = 23,5$ кВт, $U_K = 6,5\%$. Трансформатори ГЗП в нормальному режимі має коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_P}{2S_H} = \frac{2788,1}{2 \cdot 2500} = 0,557$$

При відключенні одного трансформатора, той що залишився, працюючи з допустимим аварійним перевантаженням, забезпечує живлення навантаження

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

Втрати енергії в лінії:

$$\Delta P_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{1КК}} I_{\Sigma}^2 K_3^2 = 56 \cdot 20 \cdot 0,232^2 = 60,282 \text{ кВт}$$

$$\Delta E_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{Л}} \tau = 60,282 \cdot 3690 = 222441 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрати енергії в трансформаторах ГЗП:

$$\Delta E_{\text{ТР}} = 2(\Delta P_X t_{\text{вкл}} + \Delta P_K K_3^2 \tau) = 2(5,1 \cdot 8760 + 23,5 \cdot 3690 \cdot 0,557^2) = 143146 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні втрати електричної енергії в ЛЕП і трансформаторах ГЗП:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{Л}} + \Delta E_{\text{ТР}} = 222441 + 143146 = 365587 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії для варіанта з ГЗП:

						Арк.
						38

Варіант №1.

Розрахункова схема для обчислення надійності містить один ланцюг живлення, що включає вимикач 10 кВ та КЛ довжиною 10 км

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,01 + 10 \cdot 0,08 = 0,81 \frac{1}{\text{рік}}$$

Середній час відновлення для одного ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,01 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,08 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,81} = 0,705 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

Коефіцієнт планового простою для одного ланцюга:

$$K_{\text{п}} = 1,2 \cdot K_{\text{пmax}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою для одного ланцюга:

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,81 \cdot 0,705 \cdot 10^{-3} = 0,571 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою для випадку коли один ланцюг відключений для планового ремонту і в цей час другий відключається по причині пошкодження розраховується за формулою:

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,81 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 2,333 \cdot 10^{-6}$$

Коефіцієнт аварійного простою для двох ліній:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (0,571 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 2,333 \cdot 10^{-6} = 4,992 \cdot 10^{-6}$$

Середньорічний час аварійного простою для розрахункової схеми електропостачання

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 4,992 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,0437 \text{ год.}$$

Середньорічне активне навантаження підприємства «Ось» складе:

$$P_{\text{ср}} = \frac{2785,2 \cdot 5398}{8760} = 1716,2 \text{ кВт}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії при $Y_o = 20$ грн. для підприємства «Ось» складе:

$$Y = Y_o \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_a = 20 \cdot 1716,2 \cdot 0,0437 = 1,5 \text{ тис. грн.}$$

Економічно обґрунтована реактивна потужність, що може бути взята з енергосистеми підприємством «Ось»:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_e = 2785,1 \cdot 0,15 = 417,76 \text{ квар.}$$

Отже, загальна потужність компенсуючих пристроїв підприємства «Ось» виходячі з балансу потужності на межі розподілу:

$$Q_{\text{кп}\Sigma} = Q_p - Q_e = 2618,1 - 417,76 = 2200,34 \text{ квар.}$$

Мінімально необхідна кількість трансформаторів підприємства «Ось»:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{T.H}} = \frac{2785,1}{0,7 \cdot 630} = 6,3 \approx 7$$

Варіант I $N = N_0 = 7$.

Реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ підприємства «Ось» в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 2785,1^2} = 1331,4 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв підприємства «Ось», що встановлюються в мережі 0,4 кВ визначаємо з умов балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_H - Q_{II} = 2430,5 - 1331,4 = 1099,1 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей $Q_{\text{кн}} = 1590$ квар, згідно з табл. 10.1.

Уточнюємо значення пропускну реактивної потужності Q_{II} :

$$Q_{II} = Q_H - Q_{\text{кн}} = 2430,5 - 1590 = 840,5 \text{ квар.}$$

З умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ підприємства «Ось» визначаємо потужність високовольтних компенсуючих пристроїв (батарей конденсаторів):

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{кн}} - Q_e = 2618,1 - 1590 - 417,76 = 610,34 \text{ квар.}$$

Потужність високовольтних батарей конденсаторів в мережі підприємства «Ось»:

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{\text{кв}} - Q_{\text{СДmax}} = 610,34 - 0 = 610,34 \text{ квар.}$$

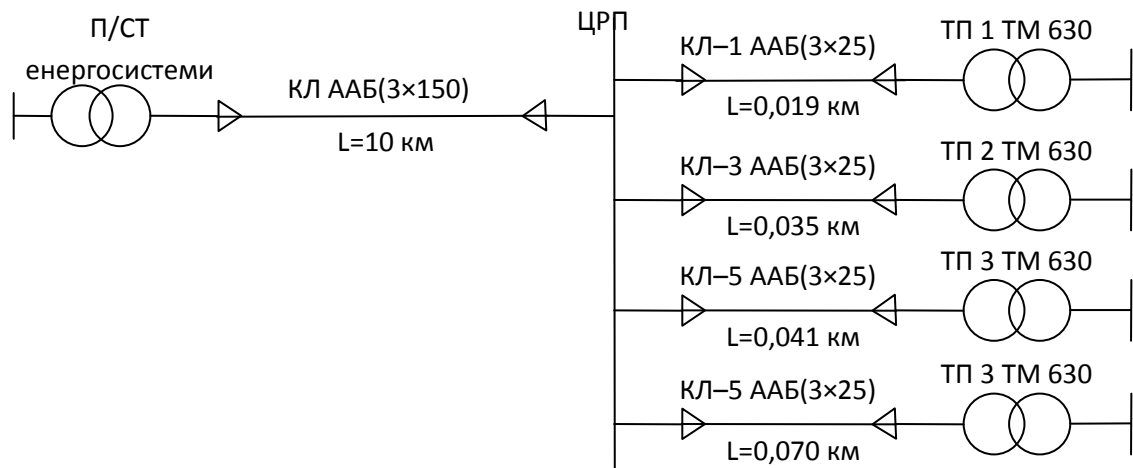


Рис. 11.1. Розрахункова схема ЦРП підприємства «Ось» для розрахунку струмів к. з.

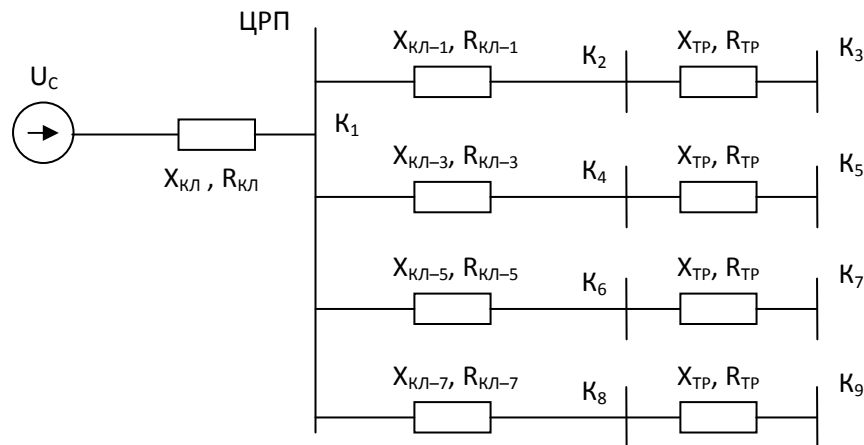


Рис. 11.2. Схема заміщення ЦРП підприємства «Ось» для розрахунку струмів к. з.

Розрахуємо опори елементів схеми заміщення (рис. 11.2):

– трансформатора ТМ 630

$$R = \frac{P_{кз} U_n^2}{S_n^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{630^2} = 0,0019 \text{ Ом},$$

$$Z = \frac{U_{\%} U_n^2}{S_n} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{630} = 0,87 \text{ Ом},$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{0,87^2 - 0,0019^2} = 0,756 \text{ Ом},$$

– КЛ від п/ст до ЦРП

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,079 \cdot 10}{1} = 0,79 \text{ Ом}, \quad R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,206 \cdot 10}{1} = 2,06 \text{ Ом}$$

– КЛ від ЦРП до ТП 1

$$X = x_0 l = 0,079 \cdot 0,019 = 0,0015 \text{ Ом}$$

$$R = r_0 l = 0,206 \cdot 0,019 = 0,0401 \text{ Ом}$$

Розрахунок опорів інших кабельних ліній підприємства «Ось» подібний, а результати розрахунку зведені в таблицю 11.1.

Таблиця 11.1 Розрахунок опорів кабельних ліній підприємства «Ось»

№ КЛ	L, км	R, Ом	X, Ом
КЛ1	0,019	0,0401	0,0015
КЛ2	0,019	0,0401	0,0015
КЛ3	0,035	0,0072	0,0027
КЛ4	0,035	0,0072	0,0027
КЛ5	0,041	0,0084	0,0032
КЛ6	0,041	0,0084	0,0032
КЛ7	0,070	0,0144	0,0055

Розрахуємо струм к.з. в т. К1 рис. 11.2.

Струм к.з. від енергосистеми в т. К1:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}z_{рез}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,061} = 2,94 \text{ кА}$$

$$R_{екв} = R_{КЛ} = 2,06 \text{ Ом}$$

$$X_{екв} = X_{КЛ} = 0,79 \text{ Ом}$$

$$Z_{екв} = \sqrt{X_{екв}^2 + R_{екв}^2} = \sqrt{0,079^2 + 2,06^2} = 2,061 \text{ Ом}$$

Ударний струм к. з. від енергосистеми в т. К1

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 2,94(1 + e^{\frac{-0,01}{0,00012}}) = 4,1 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{екв}}{\omega \cdot R_{екв}} = \frac{0,079}{314 \cdot 2,06} = 0,00012 \text{ 1/с}$$

$$I_{\text{доп}} = K_{\Pi} I_{\text{доп}} \quad I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 100 = 92 \text{ A}$$

де K_{Π} – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження при прокладці декількох кабелів в одній траншеї.

Перевірка кабелю КЛ-1 за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{\text{ав}} \leq K_{\text{ап}} I_{\text{доп}} \quad 51,4 \leq 1 \cdot 1,3 \cdot 100 \quad 51,4 \leq 130$$

$K_{\text{ав}}$ – коефіцієнт аварійного перевантаження кабелю КЛ-1, приймаємо рівним 1,3.

Мінімальна площа поперечного перерізу кабелю КЛ-1 за умовою термічної стійкості розраховується за формулою:

$$F_{\text{мін}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{92} \sqrt{3,7 \cdot 10^6} = 6,6 \text{ мм}^2$$

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

B_{κ} – тепловий імпульс, який розраховується за формулою:

$$B_{\kappa} = I_{\text{н.о.}}^2 (t_{\text{отк}} + T_a) = 2,748^2 (0,5 + 0,0) = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Інші кабелі напругою 10 кВ системи електропостачання підприємства «Ось» обираються аналогічно, результати розрахунку наведені в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3 Вибір кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p,ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{доп}$, А	K_{Π}	$K_{\Pi} I_{доп}$	K_3	$K_{ап}$	$K_{п}'$	$K_{ап} K_{п}' I_{доп}$	B_{κ} , кА ² с	$F_{мін}$, мм ²
КЛ-1,2	444,9	2	12,8	25,7	9	ААБ(3х50)	140	0,92	128,8	0,10	1	1,3	182	18,74	47
КЛ-3,4	444,9	2	12,8	25,7	9	ААБ(3х50)	140	0,92	128,8	0,10	1	1,3	182	18,74	47
КЛ-5,6	583,1	2	16,8	33,7	12	ААБ(3х50)	140	0,92	128,8	0,12	1	1,3	182	18,74	47
КЛ-7	291,6	1	16,8	-	12	ААБ(3х50)	140	1	140	0,12	-	-	-	18,74	47

Вибір вимикачів.

Детально методика вибору і перевірки високовольтних вимикачів застосована в даному розділі викладена в [1, 5, 6].

На вводі 10 кВ встановлюються вакуумні вимикачі типу VM–1S. Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в таблиці 11.4. та 11.5.

Всі вимикачі встановлені в комірці комплектних розподільчих пристроїв зовнішньої установки типу КРЗ-10 виробництва РЗВА.

Таблиця 11.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
25,7 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
2,94 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
4,1 кА	$i_y \leq 4,1\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
2,94 кА	$I_{пт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 2,94 + 0 = 4,15\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл}(1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K \leq I_K^2(t_{від} + t_{рз}) =$ $= 2,94^2(1,5 + 0,045) =$ $= 13,35\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Таблиця 11.5. Вибір вимикачів на лініях до ТП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
51,4 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
2,94 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
4,1 кА	$i_y \leq 4,1\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
2,94 кА	$I_{пт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 2,94 + 0 = 4,2\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл}(1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K \leq I_K^2(t_{від} + t_{рз}) =$ $= 2,94^2(1,5 + 0,045) =$ $= 13,35\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Параметри шафи з вакуумними вимикачами VM-1S:

- Номинальна напруга - 10 кВ;
 Номинальний струм головних кіл - 1600 А;
 Стійкість головних кіл при наскрізних струмах:
 Термічна на протязі 3 сек. - 20 кА;
 Електромеханічна - 52 кА;
 Номинальний струм відключення вимикачів - 20 кА.

Вибір трансформаторів власних потреб.

Вибір трансформаторів для власних потреб ЦРП проведемо за методикою викладеною в [5, 6].

Розрахунок навантаження трансформаторів власних потреб ЦРП підприємства «Ось» наведено в таблиці 11.6.

Таблиця 11.6. Навантаження власних потреб підприємства «Ось».

№ п/п	Споживач власних потреб	P, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП	18×1,0	0,0
2	Оперативні кола	2,0	0,0
Всього по споживачам		20,0	0,0

Розрахункова потужність споживачів власних потреб ЦРП підприємства «Ось»:

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

Потужність трансформатора власних потреб обереться з нерівності:

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

Обираємо для ЦРП підприємства «Ось» трансформатор ТМ – 25/10 з такими параметрами:

$$S_{ном} = 25 \text{ кВА, } U_{нн} = 0,4 \text{ кВ, } U_{вн} = 10 \text{ кВ, } \Delta P_k = 0,6 \text{ кВт, } \Delta P_{xx} = 0,13 \text{ кВт,}$$

$$I_{xx} = 3,2 \%, U_k = 4,5\%.$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора власних потреб в нормальному режимі (робота обох секцій):

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

- теплові насоси. Високу ефективність вам забезпечать як повітряні так і на основі ґрунтового колектора. Ефект від впровадження даних систем - дуже високий.

Енергозбереження на підприємстві в парових системах і котлах.

Пар часто використовується в промисловості, особливо на підприємствах текстильної, харчової та обробних галузей.

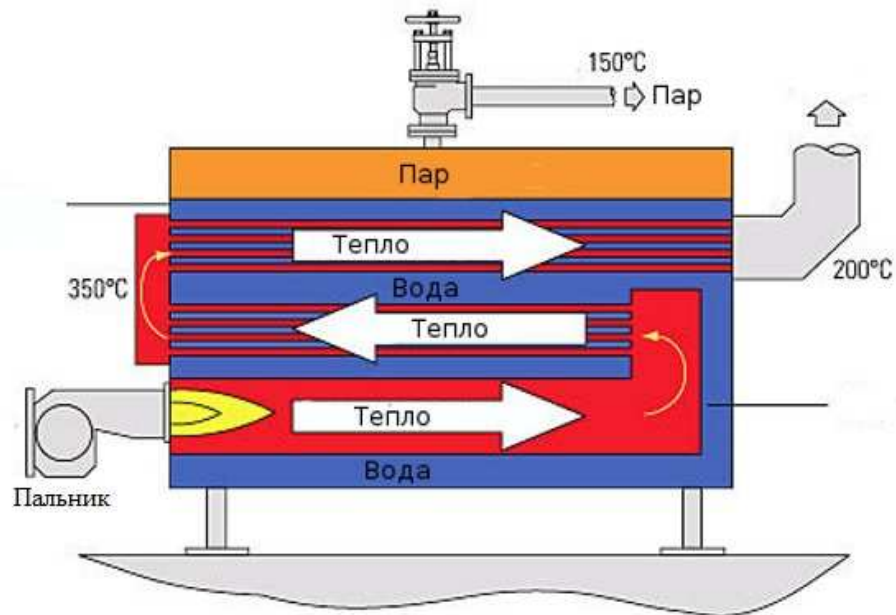


Рис. 12.1. Принципова схема роботи котла.

Підвищення ефективності роботи парових котлів і повторне використання тепла, що виділяється може значно скоротити енергоспоживання на таких підприємствах.

Виробництво пари.

Котел працює найефективніше на повній потужності.

У зв'язку з тим, що потреба в кількості пари може змінюватися з часом, часто виходить так, що котел працює нижче свого оптимального завантаження.

Потужність встановленого котла може бути набагато вище потреб підприємства, в зв'язку з падінням попиту на продукцію, або нереалізованих планів розширення виробництва.

Такий кумулятивний ефект вкрай позитивно позначається на загальній рентабельності бізнесу. Це доведено повсюдним впровадженням політики енергозбереження в виробництвах Західної Європи і США, країнах Південно-Східної Азії. Підприємства які будуть ігнорувати ці заходи - приречені на технологічне відставання і наступний фінансовий крах.

Опис заходу «Установка частотно-регульованого приводу».

У загальному балансі енергоспоживання країни на частку електроприводу доводиться за різними оцінками 30-40%. Відповідно, тут зосереджений найбільший потенціал економії електроенергії. Нераціональні втрати в електроприводі викликані, головним чином, невідповідністю його параметрів необхідним. Наприклад, що розвивається насосом натиск в гідравлічній системі тиск 60 м в. ст., а достатнім є тиск 40м. При цьому експлуатаційний персонал або не робить ніяких дій, що призводить до перевитрати не тільки електроенергії, але і води, а також до погіршення умов роботи для обладнання в системі, або обмежує тиск вихідний засувкою насоса. В останньому випадку крім втрат енергії в засувці має місце порушення правил експлуатації запірної арматури.

Регульований привід також дозволяє:

- регулювати вихідні параметри;
- здійснювати плавний пуск електродвигуна.

Сучасні перетворювачі частоти (ПЧ) містять регулятор технологічного процесу, якого часто досить для стабілізації вихідного показника системи (тиску, температури і ін.). Якщо ж ЧРП ввімкнений в систему управління більш високого рівня, то забезпечується і більш складне управління необхідним параметром.

Методика розрахунку ефективності, заходи для одного насоса:

Крок 1. Величина споживаної з мережі потужності насоса [кВт] дорівнює:

$$P_{\text{нас}} = \frac{2,72 \cdot G \cdot H \cdot \rho \cdot 10^{-6}}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл.прив}}}, \quad (12.1)$$

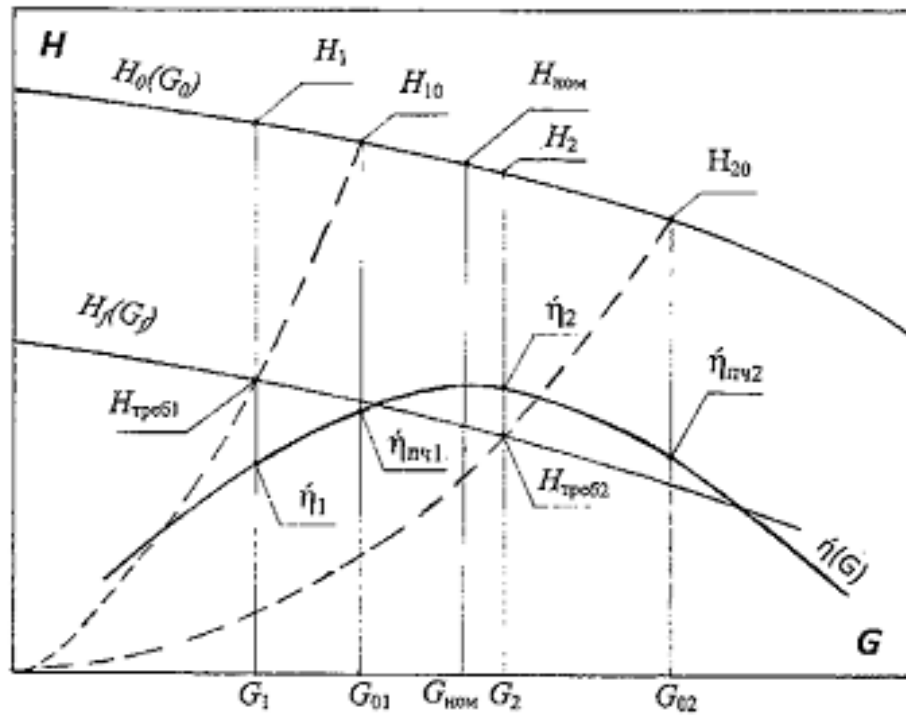


Рис. 12.3. Графічні побудови для визначення ккд регульованого насоса по його характеристиках.

Визначити кількісні зміни ккд при переході на роботу з регульованим приводом можна графічно як показано на рис. 12.3 але такі досить громіздкі побудови доречні в проекті установки конкретного ПЧ. Для енергоаудиту доцільно користуватися приведеної нижче спрощеною методикою.

Позначимо вихідні величини (до установки ПЧ) індексом «0» (P_0, H_0 і т.д.), а після установки ПЧ - «пч» (РПЧ і т.д.). З урахуванням прийнятого вище співвідношення $\eta_{\text{ел.прив.пч}} = 0,98 \cdot \eta_{\text{ел.прив.0}}$ за формулою 12.2. відносна зміна потужності:

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{P_{\text{пч}} - P_0}{P_0} = 1,02 \cdot \frac{H_{\text{пч}}}{H_0} \left/ \frac{\eta_{\text{пч}}}{\eta_0} \right. - 1 \quad (12.2)$$

Отже, величина відносної зміни потужності дорівнює збільшеному в 1,02 рази частці від ділення відносного зміни напору $H_{\text{пч}} / H_0$ на відносну зміну ККД $\eta_{\text{пч}} / \eta_0$ мінус одиниця. Якщо при розрахунку враховувати не обобщений ККД перетворювача частоти 0,98, а фактичний для відомого типу, то у формулі 13.2. слід замінити коефіцієнт 1,02 на дійсну величину $1 / \eta_{\text{преобр}}$.

Фактичний напір H_0 вимірюється при обстеженнях, а після установки ПЧ приймається рівним необхідному технологічним процесом з урахуванням тиску на вході механізму, тобто $H_{ПЧ} = H_{\text{треб}}$.

При відсутності характеристик приближений розрахунок витрати і ккд можна виконати при апроксимації характеристик напору і ККД квадратичними залежностями. Для насоса, що має, як правило, найбільший натиск при нульовій витраті:

$$H = H_{G=0} - (H_{G=0} - H_{\text{ном}}) \cdot \left(\frac{G}{G_{\text{ном}}}\right)^2 \quad (12.3)$$

$$\eta = \eta_{\text{ном}} - \frac{\dot{\eta}_{\text{ном}}}{G^2} \cdot \left(\frac{G}{G_{\text{ном}}}\right)^2 = \eta_{\text{ном}} \cdot \left(1 - \left(\frac{G}{G_{\text{ном}}} - 1\right)^2\right) \quad (12.4)$$

Значення $H_{G=0}$ можна обчислити за відомими значеннями напору і витрати в будь-якому режимі, наприклад, під час обстеження $H_{\text{обсл}}$, $G_{\text{обсл}}$:

$$H_{G=0} = \frac{H_{\text{обсл}} - H_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{G_{\text{обсл}}}{G_{\text{ном}}}\right)^2}{\left(1 - \frac{G_{\text{обсл}}}{G_{\text{ном}}}\right)^2} \quad (12.5)$$

Із формул 12.3-12.4 виходить:

$$\frac{G}{G_{\text{ном}}} = \sqrt{\frac{H_{G=0} - H}{H_{G=0} - H_{\text{ном}}}} \quad (12.6)$$

$$\frac{\dot{\eta}}{\dot{\eta}_{\text{ном}}} = 1 - \left(\frac{G}{G_{\text{ном}}} - 1\right)^2 \quad (12.7)$$

$$H = H_{ПЧ} \cdot \frac{G^2}{G_{ПЧ}^2} \quad (12.8)$$

Прирівнюємо праві частини формул 12.4 до 12.8:

$$G_{\text{расч}} = \sqrt{\frac{H_{G=0}}{\frac{H_{ПЧ}}{G_{ПЧ}^2} + \frac{H_{G=0} - H_{\text{ном}}}{G_{\text{ном}}^2}}} \quad (12.9)$$

$$\frac{G_{\text{расч}}}{G_{\text{ном}}} = \sqrt{\frac{H_{G=0}}{H_{ПЧ} \cdot \frac{G_{\text{ном}}^2}{G_{ПЧ}^2} + H_{G=0} - H_{\text{ном}}}} \quad (12.10)$$

Аналітична залежність напору від витрати виявляється більш громіздкою:

$$H = H_{max} + \frac{(H_{ном} - H_{max}) \cdot (V - V_{H_{max}})^2}{(V_{H_{max}} - V_{ном})^2} \quad (12.11)$$

Крок 3. Якщо механізм має кілька характерних режимів, наприклад, для мережевого насоса зимовий і літній, то, відповідно, обчислюються відносні, потім і абсолютні зміни потужностей для кожного режиму.

Зниження електроспоживання за рік від регулювання електроприводу:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P_1 \cdot T_1 + \Delta P_2 \cdot T_2 + \dots + \Delta P_n \cdot T_n, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (12.12)$$

Вартість зекономленої електроенергії розраховується за встановленим для споживача тарифами.

Приклад розрахунку.

Необхідно провести оцінку річної економії від впровадження заходу в натуральному і грошовому вираженні для ЦТП, на якому в системі ХПП встановлені підвищувальні насоси типу К 100-65-200 з електродвигунами потужністю 30 кВт. Характеристики насоса:

Потужність електродвигуна $P_{ном} = 30$ кВт.

Подача насоса $G_{нас} = 100 \text{ м}^3/\text{г}$.

Напір $H_{НАС} = 50 \text{ м}$.

ККД насоса $\eta_{нас} = 0,69$.

Струм електродвигуна $I_{ном} = 55,7 \text{ А}$, $\cos\varphi = 0,91$, ККД $\eta_{дв} = 0,90$.

Одноставковий тариф на момент обстеження $T = 6,9$ грн/кВт.

Обстеженнями отримані наступні середні показники:

Витрата води $G_0 = G_{пч} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$,

Тиск на вході насоса $H_{ВХ} = 20 \text{ м}$,

- на виході - 75 м,

- тиск після підігрівача ГВП - 73 м,

Струм електродвигуна $I = 29 \text{ А}$,

Напруга на двигуні $U = 380 \text{ В}$.

В роботі 1 насос.

Опис заходу «Промивання трубопроводів системи опалення. Зниження теплових і гідравлічних втрат за рахунок видалення внутрішніх відкладень з поверхонь радіаторів та розвідних трубопроводів»

Методика розрахунку.

Крок 1. Втрати тиску діляться на 2 групи:

- по довжині;
- на місцевих опорах (переходи, звуження, витратомірного і балансувальні шайби, трійники і т.д.).

Для втрат по довжині застосовується формула Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}, \text{Па} \quad (12.16)$$

де λ – коефіцієнт втрат по довжині; L [м] - довжина ділянки трубопроводу; D [м] – його внутрішній діаметр; ρ кг/м³ – щільність рідини; ω м/с – швидкість руху рідини, визначається за формулою:

$$\omega = \frac{G}{\rho \cdot S} \quad (12.17)$$

де G кг/с – витрати води, S м² – площа поперечного перерізу труби, ρ кг/м³ – щільність рідини.

Для визначення коефіцієнта втрат по довжині існують різні залежності в залежності від режиму течії рідини: ламінарний або турбулентний.

Для ламінарного течії ($Re \leq 2300$) застосовується формула 12.18:

$$\lambda = \frac{68}{Re} \quad (12.18)$$

Для турбулентної течії ($Re > 2300$) застосовується формула Блаузіуса:

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (12.19)$$

де Re – число (критерій) Рейнольдса, яке визначається наступним співвідношенням:

$$Re = \frac{D \cdot \omega}{\nu} \quad (12.20)$$

Таблиця 12.1.1. Розрахунки промивки труб

Ділянка	D, м	L, м	Витрата води, кг/с	Швидкість руху води, м/с	Число Рейнольдса		Відношення втрати тиску		Коефіцієнт втрат на тертя		Втрати тиску, Па		Витрати на перекачку, Вт		Річна втрата електроенергії, кВт·год	
					в ПП	в ЗТ	в ПП	в ЗТ	в ПП	в ЗТ	в ПП	в ЗТ	в ПП	в ЗТ	в ПП	в ЗТ
3 - 1	0,06	3,4	0,08	0,0266	5146	2422	1,412	1,412	0,037	0,045	0,741	0,895	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
3 - 2	0,06	7,1	0,07	0,0243	4699	2212	1,412	1,002	0,038	0,031	1,321	1,064	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000
6 - 3	0,06	34,5	0,14	0,0508	9845	4634	1,412	1,412	0,032	0,038	23,581	28,470	0,0038	0,0045	0,0078	0,0094
6 - 4	0,06	4,2	0,40	0,1417	27441	12916	1,412	1,412	0,025	0,030	17,262	20,841	0,0077	0,0093	0,0158	0,0191
6 - 5	0,06	3,0	0,09	0,0320	6190	2914	1,412	1,412	0,036	0,043	0,910	1,099	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
9 - 7	0,06	7,7	0,08	0,0266	5159	2428	1,412	1,412	0,037	0,045	1,688	2,038	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004
9 - 8	0,06	3,2	0,03	0,0103	1996	940	1,318	1,005	0,034	0,072	0,095	0,202	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10 - 6	0,06	42,3	0,63	0,2246	43476	20464	1,412	1,412	0,022	0,026	388,976	469,612	0,2744	0,3313	0,5652	0,6824
10 - 9	0,06	38,9	0,10	0,0370	7155	3368	1,412	1,412	0,034	0,041	15,192	18,341	0,0018	0,0021	0,0036	0,0044
12 - 10	0,06	81,2	0,74	0,2615	50631	23831	1,412	1,412	0,021	0,025	974,233	1176,196	0,8004	0,9663	1,6486	1,9903
12 - 11	0,06	4,5	0,21	0,0748	14479	6815	1,412	1,412	0,029	0,035	6,042	7,294	0,0014	0,0017	0,0029	0,0035
15 - 13	0,06	2,6	0,13	0,0472	9145	4305	1,412	1,412	0,032	0,039	1,532	1,850	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006
15 - 14	0,06	1,5	0,12	0,0434	8408	3958	1,412	1,412	0,033	0,040	0,778	0,939	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003
17 - 15	0,06	13,1	0,26	0,0907	17554	8262	1,412	1,412	0,027	0,033	24,542	29,629	0,0070	0,0084	0,0144	0,0174
17 - 16	0,06	5,0	0,18	0,0651	12603	5932	1,412	1,412	0,030	0,036	5,213	6,294	0,0011	0,0013	0,0022	0,0027
20 - 17	0,06	42,0	0,44	0,1558	30157	14194	1,412	1,412	0,024	0,029	203,621	245,833	0,0996	0,1203	0,2052	0,2478
20 - 19	0,06	3,9	0,20	0,0725	14028	6603	1,412	1,412	0,029	0,035	4,954	5,981	0,0011	0,0014	0,0023	0,0028
20 - 18	0,06	25,5	0,05	0,0170	3298	1552	1,412	1,001	0,042	0,044	2,572	2,701	0,0001	0,0001	0,0003	0,0000
22 - 20	0,06	70,5	0,69	0,2452	47483	22350	1,412	1,412	0,021	0,026	756,444	913,259	0,5828	0,7036	1,2004	1,4493
22 - 21	0,06	25,5	0,09	0,0328	6359	2993	1,412	1,412	0,035	0,043	8,112	9,794	0,0008	0,0010	0,0017	0,0021
25 - 23	0,06	9,6	0,14	0,0482	9336	4395	1,412	1,412	0,032	0,039	5,980	7,220	0,0009	0,0011	0,0019	0,0023
25 - 24	0,06	6,5	0,11	0,0397	7680	3615	1,412	1,412	0,034	0,041	2,855	3,447	0,0004	0,0004	0,0007	0,0009
27 - 25	0,06	25,5	0,25	0,0879	17017	8010	1,412	1,412	0,028	0,033	45,417	54,833	0,0125	0,0151	0,0258	0,0312
27 - 26	0,06	6,8	0,06	0,0227	4399	2070	1,412	1,002	0,039	0,033	1,127	0,954	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000
29 - 27	0,06	41,3	0,31	0,1106	21416	10080	1,412	1,412	0,026	0,032	109,863	132,638	0,0382	0,0461	0,0786	0,0949
29 - 28	0,06	7,2	0,10	0,0369	7151	3366	1,412	1,412	0,034	0,041	2,812	3,396	0,0003	0,0004	0,0007	0,0008
30 - 29	0,06	50,3	0,42	0,1475	28566	13446	1,412	1,412	0,024	0,029	221,579	267,513	0,1027	0,1240	0,2115	0,2554
30 - 22	0,06	75,0	0,79	0,2781	53842	25343	1,412	1,412	0,021	0,025	1002,700	1210,565	0,8760	1,0576	1,8043	2,1784
30 - 12	0,06	86,9	0,95	0,3360	65052	30619	1,412	1,412	0,020	0,024	1616,676	1951,821	1,7065	2,0603	3,5149	4,2435
31 - 30	0,06	4,5	2,15	0,7616	147460	69408	1,412	1,412	0,016	0,019	350,785	423,505	0,8393	1,0133	1,7288	2,0872
														Всього	11,0394	13,3271

