

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
“___” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проектування системи енергопостачання
механоскладального корпусу машинобудівного заводу
з розробкою енергоаудиту компресорних установок
Designing the energy supply system of the mechanical
assembly building of the machine-building plant with the
development of an energy audit of compressor units»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕНМ-20-ЗСК
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Ю. Яловенко
«___» _____ 2023 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
«___» _____ 2023 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

«_____» _____ 2023 р.

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

Яловенко Юрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Проектування системи енергопостачання механоскладального корпусу машинобудівного заводу з розробкою енергоаудиту компресорних установок*

Designing the energy supply system of the mechanical assembly building of the machine-building plant with the development of an energy audit of compressor units

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 02.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: проектування системи енергопостачання механоскладального корпусу машинобудівного заводу з розробкою енергоаудиту компресорних установок*

Завдання: 1. Вступ. Вивчення енергопотоків; 2. Розрахунок електричних навантажень корпусу; 3. Розрахунок теплових навантажень корпусу; 4. Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції; 5. Вибір джерела теплопостачання; 6. Побудова графіків електричних навантажень; 7. Побудова картограми електричного та теплового навантаження; 8. Техніко-економічне обґрунтування схеми зовнішнього електропостачання корпусу; 9. Режимы реактивної потужності системи електропостачання корпусу; 10. Розрахунок струмів кз, вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 11. Спеціальний розділ. Розробка енергоаудиту компресорних установок; 12. Висновки; 13. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Вивчення енергопотоків</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень корпусу</i>	<i>12.04-19.04</i>	
3	<i>Розрахунок теплових навантажень корпусу</i>	<i>19.04-21.04</i>	
4	<i>Гідравлічний розрахунок теплової мережі та розрахунок теплової ізоляції</i>	<i>21.04-24.04</i>	
5	<i>Вибір джерела теплопостачання</i>	<i>24.04-26.04</i>	
6	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>26.04-01.05</i>	
7	<i>Побудова картограми електричного та теплового навантаження</i>	<i>01.05-03.05</i>	
8	<i>Техніко-економічне обґрунтування схеми зовнішнього електропостачання корпусу</i>	<i>03.05-05.05</i>	
9	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання корпусу</i>	<i>05.05-12.05</i>	
10	<i>Розрахунок струмів кз, вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>12.05-19.05</i>	
11	<i>Спеціальний розділ. Розробка енергоаудиту компресорних установок</i>	<i>19.05-23.05</i>	
12	<i>Висновки</i>	<i>23.05-25.05</i>	
13	<i>Перелік посилань</i>	<i>25.05-26.05</i>	
14	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів</i>	<i>26.05-01.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Яловенко Ю.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 82 с.; 14 рис.; 33 табл.; 9 джерел

Яловенко Ю. С. Проектування системи енергопостачання механоскладального корпусу машинобудівного заводу з розробкою енергоаудиту компресорних установок. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Бакалаврська робота присвячена проектуванню системи енергопостачання механоскладального корпусу машинобудівного заводу з розробкою енергоаудиту компресорних установок. В першому розділі роботи здійснено розрахунок силових та освітлювальних електричних навантажень. У другому розділі визначені теплові навантаження корпусу. В третьому розділі виконано гідравлічний розрахунок теплових мереж та проведено розрахунок теплових втрат в них. В четвертому розділі обране джерело тепла. У п'ятому розділі побудовані графіки електричних навантажень, розраховані значення T_m та τ_m . У шостому розділі побудована картограма навантажень, обрано місце розташування ЦРП. У сьомому розділі розглянуто питання техніко-економічного порівняння варіантів зовнішнього електропостачання. У восьмому розділі розрахована компенсація реактивної потужності. В дев'ятому розділі розраховано струми короткого замикання в схемі електропостачання, а також проведено вибір сучасного силового електрообладнання. В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи (десятий розділ) розроблена система енергоаудиту компресорних установок, а також запропоновані заходи з енергозбереження та підвищення ресурсу роботи компресорів.

Ключові слова: електричні навантаження, теплові навантаження, компенсація реактивної потужності, вибір енергетичного обладнання, енергоаудит, компресорні установки

ABSTRACT

Qualification work: 82 p.; 14 Fig.; 33 tables; 9 sources

Yalovenko Yu. S. Designing the energy supply system of the mechanical assembly building of the machine-building plant with the development of an energy audit of compressor units. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The bachelor's work is devoted to the design of the power supply system of the mechanical assembly building of the machine-building plant with the development of an energy audit of compressor units. In the first section of the work, the calculation of power and lighting electrical loads was carried out. In the second section, thermal loads of the housing are defined. In the third section, the hydraulic calculation of heat networks was carried out and the calculation of heat losses in them was carried out. In the fourth section, the heat source is selected. In the fifth section, graphs of electrical loads are drawn, T_m and τ_m values are calculated. In the sixth section, a cartogram of loads is constructed, the location of the CRP is chosen. The issue of technical and economic comparison of external power supply options is considered in the seventh chapter. In the eighth section, reactive power compensation is calculated. In the ninth chapter, the short-circuit currents in the power supply scheme are calculated, and the selection of modern power electrical equipment is also carried out. In a special section of the qualification work (tenth section), a system of energy audit of compressor units was developed, as well as proposed measures to save energy and increase the resource of compressors.

Key words: electrical loads, heat loads, compensation of reactive power, selection of energy equipment, energy audit, compressor units

ЗМІСТ

ВСТУП. ВИВЧЕННЯ ЕНЕРГОПОТОКІВ.	7
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ КОРПУСУ	8
1.1. Визначення силових електронавантажень корпусу до 1000 В	8
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень корпусу.....	21
1.3. Визначення силових електронавантажень корпусу вище 1000 В і вибір кількості та потужності трансформаторів.....	24
2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ КОРПУСУ	28
2.1. Розрахунок теплових навантажень корпусу на опалення	28
2.2. Розрахунок теплових навантажень корпусу на вентиляцію	28
2.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання корпусу.....	28
3. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ	30
3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі	30
3.2. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції.....	32
4. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	34
5. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	35
6. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	40
6.1. Побудова картограми електричного навантаження.....	40
6.2. Побудова картограми теплового навантаження.....	41
7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОРПУСУ	43
8. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОРПУСУ	49
8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір пристроїв її компенсації.....	49
8.2. Вибір кількості, потужності і місця розташування комплектних конденсаторних установок	53
9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	55
9.1. Розрахунок струмів КЗ.....	55
9.2. Вибір електричного обладнання	56
10. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА ЕНЕРГОАУДИТУ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК.....	61
ВИСНОВКИ	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Яловенко Ю.С.				Проектування системи енергопостачання механоскладального корпусу машинобудівного заводу з розробкою енергоаудиту компресорних установок	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Сіріков О.І.						6	82
Н. Контр.	Сіріков О.І.				Designing the energy supply system of the mechanical assembly building of the machine-building plant with the development of an energy audit of compressor units	ЦНТУ гр. ЕНМ–20-ЗСК		
Затв.	Плешков П.Г.							

ВСТУП. ВИВЧЕННЯ ЕНЕРГОПОТОКІВ.

Сучасний стан справ у сфері обліку енергоресурсів, стримує розвиток ринкових відносин в економіці України, сприяє їх розкраданню та безгосподарному використанню, перешкоджає ефективному проведенню енергозберігаючих заходів. В умовах, що існують, значна частина енергоресурсів, витрачається безконтрольно та марнотратно. Економіка обліку енергоресурсів, що існує, практично визначається сформованим станом, коли понаднормативні втрати енергоресурсів, оплачуються споживачами через систему тарифів, субсидій чи дотацій, що фінансуються з державного та місцевих бюджетів.

На сучасному етапі фактично склалися умови, коли у підприємств, що займаються виробництвом, передачею і розподілом енергоресурсів, обмежені можливості у підвищенні якості обліку, та у виявленні і зниженні понаднормативних втрат. Для забезпечення належного контролю за використанням енергоресурсів в Україні, у першу чергу, необхідна цілісна система правових таї нормативних документів, що визначали б правову, економічну і технічну політику держави у цій сфері.

Вивчення енергопотоків.

Підприємство використовує наступні види енергії: електричну, теплову і стисле повітря.

Електрична енергія використовується робочими станками і верстатами, механізмами та електрозварюванням. Електрична енергія також використовується на виробництво вторинного енергоносія стислого повітря. Відносно велика частка споживання електричної енергії використовується освітлювальними установками.

Теплова енергія використовується підприємством для опалення приміщень. Використання гарячої води або пари для технологічного процесу не передбачається. Власного джерела тепла на підприємстві немає.

На підприємстві використовується стисле повітря, яке призначено для пулівезаторів фарби малярного відділення.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ КОРПУСУ

1.1. Визначення силових електронавантажень корпусу до 1000 В

Проводити розрахунок електронавантажень до 1000 В корпусу будемо за методикою «Упорядкованих діаграм», яка висвітлена в [1, 2, 6].

В якості прикладу розрахуємо електричне навантаження до 1000 В заточного відділення. Розрахункове активне навантаження заточного відділення визначається за виразом:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 12,202 \cdot 2,2 = 26,84 \text{ кВт},$$

де P_{cm} – середньозмінне активне навантаження групи струмоприймачів заточного відділення (сума 9 колонки табл. 1.1); K_m – коефіцієнт максимуму навантаження. Знаходиться з таблиць або кривих [2, 5, 6] в залежності від значення групового коефіцієнта використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} = 12,202/86,18 = 0,14;$$

та ефективної кількості струмоприймачів у групі або вузлі навантаження:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n, \max}} = 2 \cdot 86,18/15 = 11.$$

Так як n_e більше дійсної кількості струмоприймачів групи (вузла) $n = 9$, слід приймати $n_e = n = 9$ за [2, 5, 6].

Розрахункове реактивне навантаження вузла навантаження при $n_e < 10$

$$Q_p = 1,1 Q_{cm} = 1,1 \cdot 25,9 = 28,49 \text{ квар},$$

де Q_{cm} – середньозмінне реактивне навантаження групи струмоприймачів заточного відділення (сума 10 колонки табл. 1.1).

Розрахункове повне навантаження заточного відділення

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{26,84^2 + 28,49^2} = 39,14 \text{ кВА}.$$

Розрахунок електричних навантажень інших підрозділів корпусу напругою до 1000 В аналогічний розрахунку заточного відділення. Результати розрахунку наведено в табл. 1.1.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Таблиця 1.1. Розрахунок електричних навантажень корпусу в мережі до 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Р _н , кВт		К _и	Cos	tg	Середнє		п _э	К _м	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Перший поверх														
1	Заточне відділення													
	Зварювальний трансформатор СТЗ	1	15	15	0,2	0,53	1,60	3	4,8					
	Заточно-шліфувальний 3662	4	6,74	26,96	0,12	0,4	2,29	3,24	7,4					
	Полірувальний 38634	3	11	33	0,14	0,4	2,29	4,62	10,6					
	Заточно-шліфувальний 36740	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Всього по заточному відділенню	9	6,74-15	86,18	0,14	0,43	2,12	12,202	25,9	9	2,2	26,84	28,49	37,14
2	Свердлильне відділення													
	Радіально-свердлильний 2598	3	5,5	16,5	0,12	0,4	2,29	1,98	4,5					
	Горизонтально-свердлильний ГН 2878	4	3,7	14,8	0,12	0,4	2,29	1,776	4,1					
	Свердлильний верстат 2070	3	4	12	0,12	0,4	2,29	1,44	3,3					
	Токарний верстат ГН 1920	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Спеціалізований токарний ГН 1801	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Кран-балка 3 т	1	1,5	1,5	0,05	0,5	1,73	0,075	0,1					
	Автомат нанесення логотипів 070-015	1	2	2	0,14	0,4	2,29	0,28	0,6					
	Всього по свердлильному відділенню	14	1,5-11,0	65,3	0,12	0,40	2,29	7,771	17,8	12	2,2	17,10	17,8	24,65
3	Ділянка обробки шестірень НШ 32/50УК/УР													
	Напіваавтомат багатошпіндельний CAO22	10	7,5	75	0,12	0,4	2,29	9	20,6					
	Токарний верстат 12568	1	8,37	8,37	0,12	0,4	2,29	1,00	2,3					
	Зубообробний верстат 5350	3	8	24	0,12	0,4	2,29	2,88	6,6					
	Зубострогальний 5140	5	7,5	37,5	0,12	0,4	2,29	4,5	10,3					
	Зубострогальний 5A122	3	7,5	22,5	0,12	0,4	2,29	2,7	6,2					
	Зубообробний верстат 5702	9	14,8	133,2	0,12	0,4	2,29	15,984	36,6					
	Токарний напіваавтомат 1A240	10	13,9	139	0,12	0,4	2,29	16,68	38,2					
	Зубофрезерувальний верстат 56312	15	7,5	112,5	0,12	0,4	2,29	13,5	30,9					
	Універсальний токарно-гвинторезний ЕМ-440	3	15,0	45	0,12	0,4	2,29	5,4	12,4					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Універсальний токарно-гвинторезний ЕМ-392	1	11,5	11,5	0,12	0,4	2,29	1,38	3,2					
	Універсальний токарно-гвинторезний СА-709	3	15,0	45	0,12	0,4	2,29	5,4	12,4					
	Універсальний токарно-гвинторезний СА-846	1	11,5	11,5	0,12	0,4	2,29	1,38	3,2					
	Універсальний токарно-гвинторезний ЕМ-288	3	8,5	25,5	0,12	0,4	2,29	3,06	7,0					
	Токарний багаторезцовий 1Н713	2	8,37	16,74	0,12	0,4	2,29	2,0088	4,6					
	Токарний САО23	2	7,5	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Горизонтально-фрезерний 6Р82	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Токарно-револьверний 1НЗТ160	1	15,0	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Токарний багаторезцовий 1713Н160	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Токарний багаторезцовий 1734	4	8,5	34	0,12	0,4	2,29	4,08	9,3					
	Зубофрезерувальний верстат 53А30	5	8,0	40	0,12	0,4	2,29	4,8	11,0					
	Шліфувальний ВС302094	3	11,0	33	0,14	0,4	2,29	4,62	10,6					
	Координатно-розточний 24СА1	1	2,0	2	0,12	0,4	2,29	0,24	0,5					
	Кран-балка 2 т	2	1,1	2,2	0,05	0,5	1,73	0,11	0,2					
	Всього по ділянці НШ 32/50 УК/УР	89	1,1-15,0	867,23	0,12	0,40	2,29	104,57	239,547	89	1,23	128,63	239,5	271,90
4	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 А3/М4													
	Зубообробний верстат 5350	4	8	32	0,12	0,4	2,29	3,84	8,8					
	Зубовідділочний верстат 5702Б	15	14,8	222	0,12	0,4	2,29	26,64	61,0					
	Зубострогальний 5А122	12	7,5	90	0,12	0,4	2,29	10,8	24,7					
	Зубофрезерувальний верстат 56312	4	7,5	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Універсальний токарно-гвинторезний СА-709	4	15	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Токарний САО23	4	7,5	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Вертикально-свердлильний	3	1,5	5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці НШ 32/50 А3/М4	47	1,1-14,8	469,6	0,12	0,40	2,29	56,275	128,9	47	1,4	78,79	128,9	151,08

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 УК													
	Токарний СА023	4	7,5	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Зубофрезерувальний верстат 56312	10	7,5	75	0,12	0,4	2,29	9	20,6					
	Зубообробний верстат 5350	4	8	32	0,12	0,4	2,29	3,84	8,8					
	Зубострогальний 5А122	8	7,5	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Зубовідділочний верстат 5702	9	14,8	133,2	0,12	0,4	2,29	15,984	36,6					
	Всього по ділянці НШ 32/50 УК	35	7,5-14,8	330,2	0,12	0,40	2,29	39,624	90,8	35	1,5	59,44	90,8	108,51
6	Ділянка обробки корпусу НШ 32М4, 50 УК													
	Заточний верстат ОС368	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Сторгальний ОС791	1	5,5	5,5	0,12	0,4	2,29	0,66	1,5					
	Токарний АМ-16329	1	8,37	8,37	0,12	0,4	2,29	1,0044	2,3					
	Заточний верстат ЗХА6733П	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Фрезерувальний безперервної дії 621	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Свердильний напівавтомат 22027	1	5,5	5,5	0,12	0,4	2,29	0,66	1,5					
	Розточний верстат ГМ-2657	2	4	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Алмазно-розточний 27009	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці НШ 32М4, 50 УК	12	1,1-11,22	85,19	0,12	0,40	2,29	10,15	23,22	12	2,2	22,32	23,2	32,21
7	Ділянка зубообробки шестірень НШ 10 та НМШ 25													
	Зубофрезерувальний верстат 56312	4	7,5	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Координатно-розточний КН24	15	5,5	82,5	0,12	0,4	2,29	9,9	22,7					
	Зубообробний верстат 5350	1	8	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Зубовідділочний верстат 5702	12	14,8	177,6	0,12	0,4	2,29	21,312	48,8					
	Зубострогальний 5А122	3	7,5	22,5	0,12	0,4	2,29	2,7	6,2					
	Зубофрезерувальний 5К301	1	8	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Зубофрезерувальний 5306	1	7,95	7,95	0,12	0,4	2,29	0,954	2,2					
	Круглошліфувальний 3А151	3	6,74	20,22	0,12	0,4	2,29	2,4264	5,6					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Алмазно-розточний 270049	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Заточний 3612	2	5,18	10,36	0,12	0,4	2,29	1,2432	2,8					
	Зубофрезерувальний верстат 53A20	1	18,75	18,75	0,12	0,4	2,29	2,25	5,2					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці НШ 10 та НМШ 25	45	1,1-18,75	391,48	0,12	0,40	2,29	46,901	107,4	42	1,45	68,01	107,4	127,15
8	Ділянка токарної обробки шестірень НШ 10 та НМШ 25													
	Токарний автомат 1Б240	4	4,5	18	0,12	0,4	2,29	2,16	4,9					
	Токарний СА412	5	18,5	92,5	0,12	0,4	2,29	11,1	25,4					
	Токарний СА338	4	22	88	0,12	0,4	2,29	10,56	24,2					
	Токарний СА302	1	18,5	18,5	0,12	0,4	2,29	2,22	5,1					
	Багаторезцовий 1708	2	7,5	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Багаторезцовий 1А730	1	8	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Багаторезцовий 1А616	1	8	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Універсальний токарний верстат SP 180	4	11,22	44,88	0,12	0,4	2,29	5,3856	12,3					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці токарної обробки НШ 10 та НМШ 25	23	1,1-22	293,98	0,12	0,40	2,29	35,201	80,6	23	1,8	63,36	80,6	102,54
9	Ділянка обробки кришек НШ 32УК													
	Карусельно фрезерувальний ГФ2211	2	11	22	0,12	0,4	2,29	2,64	6,0					
	Токарний автомат 1Б290	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Токарно-револьверний 13093	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Вертикально-фрезерувальний 6Р12	1	10,5	10,5	0,12	0,4	2,29	1,26	2,9					
	Токарний автомат ФТ 11	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Плоско-шліфувальний SFW 315	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці обробки кришек НШ 32УК	8	1,1-15	81,6	0,12	0,40	2,29	9,715	22,2	8	2,7	26,23	22,2	34,38
10	Ділянка обробки кришек НШ 32УК/М4													
	Полірувальний 38634	1	11	11	0,14	0,4	2,29	1,54	3,5					
	Полірувальний 3892	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Алмазно-розточний 2706В	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Фрезерувальний безперервної дії 621	1	10	10	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7					
	Токарний КК1101	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Токарно-револьверний 1341	3	11	33	0,12	0,4	2,29	3,96	9,1					
	Вертикально-фрезерувальний 6Р12	1	10,5	10,5	0,12	0,4	2,29	1,26	2,9					
	Вертикально-свердильний 2Г175	1	40	40	0,12	0,4	2,29	4,8	11,0					
	Вертикально-свердильний 2С150	1	7	7	0,12	0,4	2,29	0,84	1,9					
	Заточний 3ХА6019	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці обробки кришок НШ 32УК/М4	13	1,1-40	143,82	0,12	0,40	2,29	17,401	39,8	13	2,2	38,28	39,8	55,25
11	Ділянка обробки корпусу НШ 32/50УК/М4													
	Алмазно-розточний 270077	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Заточний ЗК634	1	3,2	3,2	0,12	0,4	2,29	0,384	0,9					
	Вертикально-свердильний	2	4,5	9	0,12	0,4	2,29	1,08	2,5					
	Токарно-карусельний АМ15727	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Токарний автомат АМ11435	4	15	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Карусельно фрезерувальний ГФ2211	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Розточний верстат ГМ-2657	1	4	4	0,12	0,4	2,29	0,48	1,1					
	Всього по ділянці обробки корпусу НШ 32/50УК/М4	11	3,2-15	106,7	0,12	0,40	2,29	12,804	29,3	11	2,2	28,17	29,3	40,67
12	Ділянка зубообробки шестірень НМШ 50 та НШ 90													
	Плоскошліфувальний ЗЛ722	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Розточний верстат Нева 260	1	10	10	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7					
	Токарно-револьверний 1Е3658	1	13,9	13,9	0,12	0,4	2,29	1,668	3,8					
	Координатно-розточний КН24	4	5,5	22	0,12	0,4	2,29	2,64	6,0					
	Координатно-розточний АВС-12	3	11	33	0,12	0,4	2,29	3,96	9,1					
	Зубообробний верстат 5702	1	14,8	14,8	0,12	0,4	2,29	1,776	4,1					
	Зубофрезерувальний верстат 56312	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Круглошліфувальний 3А151	1	6,74	6,74	0,12	0,4	2,29	0,8088	1,9					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Всього по ділянці зубообробки шестірень НМШ 50 та НП 90	13	5,5-14,8	118,94	0,12	0,40	2,29	14,273	32,7	13	2,2	31,40	32,7	45,34
13	Ділянка мехобробки серих шестірень НШ 32/50УК/УР													
	Зубообробний верстат 5702	4	14,8	59,2	0,12	0,4	2,29	7,104	16,3					
	Зубообробний верстат ВСН 340	4	11	44	0,12	0,4	2,29	5,28	12,1					
	Зубострогальний 5А893	2	8	16	0,12	0,4	2,29	1,92	4,4					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці мехобробки серих шестірень НШ 32/50УК/УР	11	1,1-14,8	120,3	0,12	0,40	2,29	14,359	32,9	11	2,4	34,46	32,9	47,62
	Всього по першому поверху	330	1,1-40	3160,52	0,12	0,40	2,29	381,24	871,148	158	1,16	442,24	871,1	976,97
	Другий поверх													
1	Бригада ремонту обладнання													
	Токарний верстат 16К20	4	11,22	44,88	0,12	0,4	2,29	5,3856	12,3					
	Токарний верстат 1М638	1	13,90	13,9	0,12	0,4	2,29	1,67	3,8					
	Радіально-свердильний 2598	1	5,5	5,5	0,12	0,4	2,29	0,66	1,5					
	Вертикально-свердильний 2185	1	10	10	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7					
	Вертикально-свердильний 2М125	1	2,8	2,8	0,12	0,4	2,29	0,336	0,8					
	Радіально-свердильний 2А554	1	5,5	5,5	0,12	0,4	2,29	0,66	1,5					
	Ножовочна пила 8725	1	2,2	2,2	0,12	0,4	2,29	0,264	0,6					
	Компресор ЕС-55	2	45	90	0,8	0,8	0,75	72	54,0					
	Зубофрезерний верстат 53А80	1	12,5	12,5	0,12	0,4	2,29	1,5	3,4					
	Зубофрезерний верстат 5Д32	1	3,95	3,95	0,12	0,4	2,29	0,474	1,1					
	Зуборізний 525	1	7,95	7,95	0,12	0,4	2,29	0,954	2,2					
	Зубострогальний 514	1	7,95	7,95	0,12	0,4	2,29	0,954	2,2					
	Зубофрезерний верстат 53В30	1	13,5	13,5	0,12	0,4	2,29	1,62	3,7					
	Зубострогальний 5М161	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Довбальний верстат 7А410	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Розточний верстат 26450	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Вертикально-фрезерувальний 6М13	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Токарно-карусельний ГФ1599	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Плоскошліфувальний ЗЛ722	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Горизонтально-консольний ВГ681	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Всього по ремонтній бригаді	24	2,2-45	302,63	0,32	0,66	1,15	97,516	112,464	13	1,5	146,27	112,5	184,51
2	Ділянка механічної обробки компенсатора НШ 20М4													
	Верстат FL-12	2	48,56	97,12	0,12	0,4	2,29	11,654	26,7					
	Верстат вібраційний СВТ-100	1	2	2	0,2	0,5	1,73	0,4	0,7					
	Верстат вібраційний СВ-150	1	2,5	2,5	0,2	0,5	1,73	0,5	0,9					
	Полірувальний 3807	1	30	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Полірувальний ЗД8170	1	30	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Вертикально-фрезерувальний 6М13	2	15	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Горизонтально-консольний 6Р81	2	5,5	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Токарно-револьверний	7	15	105	0,12	0,4	2,29	12,6	28,9					
	Вертикально фрезерувальний СФ-40М	2	5,5	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Вертикально-свердлильний 2С150	1	7	7	0,12	0,4	2,29	0,84	1,9					
	Фрезерувальний верстат 621	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Вертикально фрезерувальний 6Р10	2	3	6	0,12	0,4	2,29	0,72	1,6					
	Верстат розточний 260	3	2	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Верстат відрізний	3	4,5	13,5	0,12	0,4	2,29	1,62	3,7					
	Горизонтально свердлильний СС2875	1	7	7	0,12	0,4	2,29	0,84	1,9					
	Всього по ділянці механічної обробки компенсатора НШ 20М4	32	2,0-48,56	386,62	0,12	0,40	2,28	46,754	106,6	16	1,95	91,17	106,6	140,29
3	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 71/100А3													
	Токарно-револьверний верстат ГМ1344	1	13,9	13,9	0,12	0,4	2,29	1,668	3,8					
	Алмазно-розточний верстат 2706	4	4,5	18	0,12	0,4	2,29	2,16	4,9					
	Токарний верстат СС10108	1	30	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Токарний автомат АМ 11433	1	30	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Токарно-гвинторізний МК653	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Токарний автомат багатошпіндельний 1283	4	55	220	0,12	0,4	2,29	26,4	60,5					
	Токарний верстат 16328	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Багаторезцовий токарний верстат 1734	1	8,5	8,5	0,12	0,4	2,29	1,02	2,3					
	Всього по ділянці механічної обробки корпусу НШ 71/100А3	16	4,5-55	361,4	0,12	0,40	2,29	43,37	99,37	13	2,2	95,41	99,4	137,76
4	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 32А3													
	Токарно-револьверний верстат ГМ1344	1	13,9	14	0,12	0,4	2,29	1,668	3,8					
	Алмазно-розточний верстат 2706	3	4,5	14	0,12	0,4	2,29	1,62	3,7					
	Горизонтально свердлильний СС2875	1	7	7	0,12	0,4	2,29	0,84	1,9					
	Токарний верстат 1К62	1	11,22	11	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Алмазно-розточний верстат 270023	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Заточувальний верстат ХС-74	1	30	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Розпілювальний верстат АМ8712	1	2,2	2,2	0,12	0,4	2,29	0,264	0,6					
	Напівавтомат багатопіндельний АМ2372	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Токарний автомат 1К282	2	55	110	0,12	0,4	2,29	13,2	30,2					
	Свердлильний напівавтомат 2ХА214	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Токарний автомат 1А290	2	30	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Всього по ділянці механічної обробки корпусу НШ 32А3	15	2,2-55	270,82	0,12	0,40	2,29	32,498	74,5	10	2,4	78,00	74,5	107,83
5	Ділянка механічної обробки платіков НШ 50/100А3													
	Багаторезцовий токарний верстат ГФ-1765	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Алмазно-розточний верстат 270023	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Алмазно-розточний верстат 2706	1	4,5	4,5	0,12	0,4	2,29	0,54	1,2					
	Шліфувальний верстат ОС-3905	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Токарний верстат 16К20	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Розпілювальний верстат АМ8712	1	2,2	2,2	0,12	0,4	2,29	0,264	0,6					
	Токарний автомат 1К282	2	55	110	0,12	0,4	2,29	13,2	30,2					
	Верстат відрізний ХА8149	1	10	10	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7					
	Токарний автомат 1А290	2	30	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Токарний автомат ГФ1297	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Фрезерний верстат FSS 400	1	18,5	18,5	0,12	0,4	2,29	2,22	5,1					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Свердильний напівавтомат 2ХА214	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Токарний напівавтомат АМ 16342	2	15	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці механічної обробки платіков НШ 50/100А3	17	1,1-55	296,52	0,12	0,40	2,29	35,51	81,32	11	2,4	85,21	81,3	117,79
6	Ділянка механічної обробки втулок НШ32/50УК													
	Верстат токарно-гвинторізний SV-18R2	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Вертикально фрезерувальний верстат 6А12	1	10	10	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7					
	Вертикально фрезерувальний верстат 6Т12	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Внутрішньошліфувальний ГФ 320Б	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Токарний автомат ГФ-1297	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Заточувальний верстат ХС-73	2	22	44	0,12	0,4	2,29	5,28	12,1					
	Горизонтально фрезерувальний 6Н81	2	4	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Токарний автомат КК1101	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Зубострогальний верстат ГФ513	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Шлішувальний верстат КК3309	1	45,5	45,5	0,12	0,4	2,29	5,46	12,5					
	Алмазно-розточний верстат 2706	2	4,5	9	0,12	0,4	2,29	1,08	2,5					
	Вертикально свердильний 2С150	2	7	14	0,12	0,4	2,29	1,68	3,8					
	Фрезерувальний безперервної дії 621	1	10	10	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7					
	Токарний напівавтомат АМ 16342	6	15	90	0,12	0,4	2,29	10,8	24,7					
	Токарний автомат 1К282	1	55	55	0,12	0,4	2,29	6,6	15,1					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці механічної обробки втулок НШ32/50УК	29	1,1-45,5	395,1	0,12	0,40	2,29	47,335	108,4	17	1,95	92,30	108,4	142,40
7	Ділянка загартованих шестірень НШ71/100А3													
	Круглошліфувальний 3Т161	6	13	78	0,12	0,4	2,29	9,36	21,4					
	Круглошліфувальний 3М151	4	10	40	0,12	0,4	2,29	4,8	11,0					
	Полірувальний верстат 3Д8796	2	2,2	4,4	0,12	0,4	2,29	0,528	1,2					
	Розточувальний верстат ГМ-2685	2	5,5	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Круглошліфувальний 3А151	4	6,74	26,96	0,12	0,4	2,29	3,2352	7,4					
	Верстат круглошліфувальний SASE 200	2	10	20	0,12	0,4	2,29	2,4	5,5					
	Печі опору	2	12	24	0,8	1	0,00	19,2	0,0					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці загартованих шестірень НШ71/100А3	23	1,1-13	205,46	0,20	0,64	1,21	40,90	49,69	23	1,4	57,26	49,7	75,81
8	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50А3													
	Полірувальний верстат 3Д8796	3	2,2	6,6	0,12	0,4	2,29	0,792	1,8					
	Розточувальний верстат ГМ-2685	3	5,5	16,5	0,12	0,4	2,29	1,98	4,5					
	Круглошліфувальний 3К12	1	5,5	5,5	0,12	0,4	2,29	0,66	1,5					
	Печі опору	6	12	72	0,8	1	0,00	57,6	0,0					
	Верстат круглошліфувальний SASE 200	8	10	80	0,12	0,4	2,29	9,6	22,0					
	Круглошліфувальний 3А151	5	6,74	33,7	0,12	0,4	2,29	4,044	9,3					
	Торцекруглошліфувальний верстат 76Ф2	2	15	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Плоскошліфувальний "КИКИНДА"	10	15	150	0,12	0,4	2,29	18	41,2					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці загартованих шестірень НШ32/50А3	39	1,1-15	395,4	0,24	0,74	0,92	96,331	88,7	39	1,25	120,41	88,7	149,56
9	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50УК													
	Печі опору	4	12	48	0,8	1	0,00	38,4	0,0					
	Полірувальний верстат 3Д8796	3	2,2	6,6	0,12	0,4	2,29	0,792	1,8					
	Верстат круглошліфувальний SASE 200	10	10	100	0,12	0,4	2,29	12	27,5					
	Круглошліфувальний 3А151	8	6,74	53,92	0,12	0,4	2,29	6,4704	14,8					
	Розточувальний верстат ГМ-2685	3	5,5	16,5	0,12	0,4	2,29	1,98	4,5					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по ділянці загартованих шестірень НШ32/50УК	29	1,1-12	226,12	0,26	0,77	0,82	59,697	48,8	29	1,3	77,61	48,8	91,66
10	Лінія механічної обробки піджимної обойми НШ 71/100А3													

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Свердильний верстат ГМ2923	1	1,8	1,8	0,12	0,4	2,29	0,216	0,5					
	Токарний верстат 1К62	3	11,22	33,66	0,12	0,4	2,29	4,0392	9,3					
	Горизонтально фрезерувальний 6М82	3	7,5	22,5	0,12	0,4	2,29	2,7	6,2					
	Вертикально свердильний верстат ГФ2190	3	4,5	13,5	0,12	0,4	2,29	1,62	3,7					
	Круглошліфувальний ЗХА11253	1	22	22	0,12	0,4	2,29	2,64	6,0					
	Зубострогальний ОС-5110	4	7,5	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Токарний верстат ГФ1080	2	10	20	0,12	0,4	2,29	2,4	5,5					
	Вертикально свердильний 2Н15	1	2,2	2,2	0,12	0,4	2,29	0,264	0,6					
	Токарно револьверний верстат КК-130	3	15	45	0,12	0,4	2,29	5,4	12,4					
	Шліфувальний верстат СМ392	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Токарний верстат 16709	1	15	15	0,12	0,4	2,29	1,8	4,1					
	Кран-балка 2 т	1	1,1	1,1	0,05	0,5	1,73	0,055	0,1					
	Всього по лінії механічної обробки піджимної обойми НШ 71/100А3	24	1,1-22	217,76	0,12	0,40	2,29	26,05	59,67	20	1,8	46,90	59,7	75,89
11	Лінія механічної обробки обойми підшипників НШ 50 А3													
	Фрезерувальний верстат FY 400/1600	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Горизонтально фрезерувальний 6М82	5	7,5	37,5	0,12	0,4	2,29	4,5	10,3					
	Горизонтально фрезерувальний КК686	2	5,5	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Токарний верстат КК1655	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
	Токарний автомат КК1290	2	10	20	0,12	0,4	2,29	2,4	5,5					
	Багаторезцовий токарний верстат ГФ-1765	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Токарно карусельний верстат ГФ-1798	2	11	22	0,12	0,4	2,29	2,64	6,0					
	Алмазно-розточний 2731	7	4,5	31,5	0,12	0,4	2,29	3,78	8,7					
	Зубообробний верстат ОС-5079	3	7,5	22,5	0,12	0,4	2,29	2,7	6,2					
	Токарний верстат 16265	4	15	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Спеціалізований шлішувальний ЗХА4595	6	22	132	0,12	0,4	2,29	15,84	36,3					
	Алмазно-розточний верстат 2706	2	4,5	9	0,12	0,4	2,29	1,08	2,5					
	Горизонтально-фрезерний 6Р82	2	11,22	22,44	0,12	0,4	2,29	2,6928	6,2					
	Вертикально свердильний верстат ГФ2190	2	4,5	9	0,12	0,4	2,29	1,08	2,5					
	Токарний багаторезцовий ГФ-1798	1	18,55	18,55	0,12	0,4	2,29	2,226	5,1					

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Токарний верстат ГФ-1080	4	15	60	0,12	0,4	2,29	7,2	16,5					
	Протяжногоризонтальний верстат ГМ-7526	1	5,5	5,5	0,12	0,4	2,29	0,66	1,5					
	Токарний верстат 1А616	1	8	8	0,12	0,4	2,29	0,96	2,2					
	Кран-балка 2 т	3	1,1	3,3	0,05	0,5	1,73	0,165	0,3					
	Всього по лінії механічної обробки обойми підшипників НШ 50 АЗ	52	1,1-22	524,29	0,12	0,40	2,29	62,684	143,5	48	1,4	87,76	143,5	168,24
12	Заточне відділення													
	Зубообробний 5А89	4	8	32	0,12	0,4	2,29	3,84	8,8					
	Полірувальний 38667	6	11	66	0,12	0,4	2,29	7,92	18,1					
	Полірувальний 38642	3	11	33	0,12	0,4	2,29	3,96	9,1					
	Круглошліфувальний 3132	1	7,5	7,5	0,12	0,4	2,29	0,9	2,1					
	Заточувальний 3А64	1	2,2	2,2	0,12	0,4	2,29	0,264	0,6					
	Полірувальний 38633	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Полірувальний 38634	1	11	11	0,12	0,4	2,29	1,32	3,0					
	Всього по заточному відділенню	17	2,2-11	162,7	0,12	0,40	2,29	19,524	44,7	17	1,9	37,10	44,7	58,11
13	Ділянка ремонту оснастки													
	Вертикально фрезерувальний 6Р12	1	10,5	10,5	0,12	0,4	2,29	1,26	2,9					
	Горизонтально-фрезерний 6Р82	1	11,2	11,2	0,12	0,4	2,29	1,344	3,1					
	Круглошліфувальний 3А151	2	6,74	13,48	0,12	0,4	2,29	1,6176	3,7					
	Токарний верстат 1К62	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Токарний верстат 16К20	1	11,22	11,22	0,12	0,4	2,29	1,3464	3,1					
	Плоскошліфувальний 3Г71	1	2,2	2,2	0,12	0,4	2,29	0,264	0,6					
	Круглошліфувальний 3Т161	1	13	13	0,12	0,4	2,29	1,56	3,6					
	Вертикально свердильний 2Н135	1	4	4	0,12	0,4	2,29	0,48	1,1					
	Всього по ділянці ремонту оснастки	9	2,2-11,22	76,82	0,12	0,40	2,29	9,2184	21,1	9	2,5	23,05	21,1	31,26
	Всього по другому поверху	326	1,1-55	3821,64	0,16	0,51	1,68	617,38	1038,89	139	1,15	710,0	1038,9	1258,3
	Загальнопромислові установки													
	Ліфт 5 т	3	10,5	31,5	0,1	0,5	1,73	3,15	5,5					
	Вентилятори	20	8	160	0,7	0,8	0,75	112	84,0					
	Всього по загальнопромисловим установкам	23	8-10,5	191,5	0,60	0,79	0,78	115,15	89,5	23	1,14	131,27	89,5	158,85
	Всього по МСК-2	679	1,1-55	7173,66	0,16	0,49	1,80	1113,8	1999,5	261	1,1	1225,2	1999,5	2345,0

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень корпусу

Розрахунок освітлювальних електронавантажень корпусу виконаємо по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі виробничого приміщення. Розрахунок освітлювальних навантажень проводимо за методикою детально наведеною в [6].

В якості прикладу розрахуємо освітлювальне навантаження свердлильного відділення. Встановлена потужність освітлювальних електроприймачів свердлильного відділення:

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 575 \cdot 10^{-3} = 9,2 \text{ кВт},$$

де p_0 – питома потужність освітлювального навантаження (визначається за характером навантаження [6]) Вт/м²; F – площа приміщення (визначається за генпланом підприємства), м².

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів свердлильного відділення:

$$P_{p.осв} = K_n P_y = 0,8 \cdot 9,2 = 7,4 \text{ кВт}$$

де K_n – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження (визначається в залежності від характеру приміщення з [6]).

В свердлильному відділенні використовуються застарілі лампи ДРЛ. В подальшому планується поступовий перехід на світлодіодне освітлення по мірі виходу з ладу ламп ДРЛ. Реактивна потужність, що споживається лампами ДРЛ свердлильного відділення визначається за формулою [2, 5, 6]:

$$Q_{p.осв} = P_p \operatorname{tg} \varphi = 7,4 \cdot 1,73 = 12,7 \text{ квар},$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ відповідає характерному для даних джерел світла коефіцієнту потужності $\cos \varphi$ (для ламп ДРЛ $\cos \varphi = 0,5$ [6]).

Розрахунок освітлювальних навантажень для інших відділень корпусу аналогічний, результати розрахунку наведені в табл. 1.2.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювального навантаження корпусу.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перший поверх										
1	Свердлильне відділення	575	16	9,2	1,73	15,92	0,8	7,4	12,7	14,7
2	Ділянка упакування насосів	310	18	5,58	0,48	2,68	0,8	4,5	2,1	5,0
3	Ділянка регенерації масла	104	18	1,872	0,48	0,90	0,9	1,7	0,8	1,9
4	Кладова	52	12	0,624	0,48	0,30	0,6	0,4	0,2	0,4
5	Кімнати майстрів	38	20	0,76	0,48	0,36	0,8	0,6	0,3	0,7
6	Кімната електриків	19	20	0,38	0,48	0,18	0,8	0,3	0,1	0,3
7	Окрашувальне відділення	233	18	4,194	1,73	7,26	0,8	3,4	5,8	6,7
8	Інженерне відділення	191	20	3,82	0,48	1,83	0,95	3,6	1,7	4,0
9	ІРК	34	16	0,544	0,48	0,26	0,8	0,4	0,2	0,5
10	Зварювальне відділення	27	16	0,432	1,73	0,75	0,7	0,3	0,5	0,6
11	Заточувальне відділення	70	18	1,26	1,73	2,18	0,8	1,0	1,7	2,0
12	Ділянка обробки шестірень НШ 32/50УК/УР	1200	16	19,2	1,73	33,22	0,9	17,3	29,9	34,5
13	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 АЗ/М4	523	16	8,368	1,73	14,48	0,9	7,5	13,0	15,0
14	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 УК	306	16	4,896	1,73	8,47	0,9	4,4	7,6	8,8
15	Ділянка обробки корпусу НШ 32М4, 50 УК	220	16	3,52	1,73	6,09	0,9	3,2	5,5	6,3
16	Ділянка зубообробки шестірень НШ 10 та НМШ 25	523	16	8,368	1,73	14,48	0,9	7,5	13,0	15,0
17	Ділянка токарної обробки шестірень НШ 10 та НМШ 25	471	16	7,536	1,73	13,04	0,9	6,8	11,7	13,6
18	Ділянка обробки кришек НШ 32УК	250	16	4	1,73	6,92	0,9	3,6	6,2	7,2
19	Ділянка обробки кришек НШ 32УК/М4	250	16	4	1,73	6,92	0,9	3,6	6,2	7,2
20	Ділянка обробки корпусу НШ 32/50УК/М4	434	16	6,944	1,73	12,01	0,9	6,2	10,8	12,5
21	Ділянка зубообробки шестірень НМШ 50 та НП 90	182	16	2,912	1,73	5,04	0,9	2,6	4,5	5,2
22	Ділянка мехобробки серих шестірень НШ 32/50УК/УР	228	16	3,648	1,73	6,31	0,9	3,3	5,7	6,6
23	Коридори	2400	12	28,8	1,73	49,82	1	28,8	49,8	57,5
	Всього по першому поверху	8640		130,9		209,4		118,4	190,4	224,2

		Продовження табл. 1.2.										
Вим.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Арк.			Другий поверх									
№ документа		24	Кімната майстра	18	20	0,36	0,48	0,17	0,8	0,3	0,1	0,3
		25	Ділянка зборки	350	18	6,3	0,48	3,02	0,8	5,0	2,4	5,6
		26	Комора ПРБ	36	12	0,432	0,48	0,21	0,6	0,3	0,1	0,3
		27	Склад незавершеного виробництва	144	12	1,728	1,73	2,99	0,6	1,0	1,8	2,1
Підпис		28	Бригада ремонту обладнання	382	18	6,876	1,73	11,90	0,7	4,8	8,3	9,6
		29	Ділянка механічної обробки компенсатора НШ 20М4	432	16	6,912	1,73	11,96	0,9	6,2	10,8	12,4
		30	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 71/100А3	432	16	6,912	1,73	11,96	0,9	6,2	10,8	12,4
		31	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 32А3	432	16	6,912	1,73	11,96	0,9	6,2	10,8	12,4
Дата		32	Ділянка механічної обробки платіков НШ 50/100А3	432	16	6,912	1,73	11,96	0,9	6,2	10,8	12,4
		33	Ділянка механічної обробки втулок НШ32/50УК	432	16	6,912	1,73	11,96	0,9	6,2	10,8	12,4
		34	Ділянка загартованих шестірень НШ71/100А3	424	16	6,784	1,73	11,74	0,9	6,1	10,6	12,2
		35	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50А3	580	16	9,28	1,73	16,05	0,9	8,4	14,4	16,7
		36	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50УК	480	16	7,68	1,73	13,29	0,9	6,9	12,0	13,8
		37	Лінія механічної обробки піджимної обойми НШ 71/100А3	480	16	7,68	1,73	13,29	0,9	6,9	12,0	13,8
		38	Лінія механічної обробки обойми підшипників НШ 50 А3	848	16	13,568	1,73	23,47	0,9	12,2	21,1	24,4
		39	Комора абразивних матеріалів	26	12	0,312	0,48	0,15	0,6	0,2	0,1	0,2
		40	Заточне відділення	116	18	2,088	1,73	3,61	0,7	1,5	2,5	2,9
		41	Ділянка ремонту оснастки	146	18	2,628	1,73	4,55	0,7	1,8	3,2	3,7
		42	Ділянка приготування СОЖ	52	18	0,936	0,48	0,45	0,7	0,7	0,3	0,7
		43	ІРК	110	16	1,76	0,48	0,84	0,8	1,4	0,7	1,6
		44	Бригада по ремонту електрообладнання	56	18	1,008	0,48	0,48	0,8	0,8	0,4	0,9
		45	Склад РТІ	20	12	0,24	0,48	0,12	0,6	0,1	0,1	0,2
		46	Коридори	2212	12	26,544	1,73	45,92	1	26,5	45,9	53,0
			Всього по другому поверху		8640		130,8		212,0		116,1	189,8
		Всього по МСК-2		17280		261,6		421,4		234,5	380,3	446,72
23	Арк.											

1.3. Визначення силових електронавантажень корпусу вище 1000 В і вибір кількості та потужності трансформаторів

Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів

Методика вибору трансформаторів, що застосована для корпусу детально викладена в [1, 5, 6]. Обираємо до установки трансформатори потужністю 630 кВА. Кількість трансформаторів можна визначити за формулою:

$$N_{\text{тр}} = \frac{P_p + P_{\text{осв}}}{K_3 S_{\text{тр}}} = \frac{1225,2 + 234,5}{0,7 \cdot 630} = 4.$$

Розподіл трансформаторних підстанцій поміж споживачами (відділеннями та цехами корпусу) наводиться в табл. 1.3.

Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою вище 1000 В

Детально методика розрахунку електронавантажень в силових мережах вище 1000 В, що застосована для корпусу викладена в [1, 2, 5, 6]. Силове електричне навантаження по ТП визначається аналогічно п. 1.1. Силове освітлювальне навантаження визначається сумуванням окремих цехів та підрозділів. Втрати в трансформаторах ТП-1 визначимо за формулами:

$$\Delta P = n(\Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{кз}} K_3^2) = 2(2,27 + 7,6 \cdot 0,692^2) = 11,81 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = n \left(\frac{I_{\text{хх}}}{100} S_{\text{н.т}} + \frac{U_{\text{кз}}}{100} S_{\text{н.т}} K_3^2 \right) = 2 \left(\frac{2}{100} 630 + \frac{5,5}{100} 630 \cdot 0,692^2 \right) = 58,35 \text{ квар};$$

де n – число трансформаторів; $\Delta P_{\text{хх}}$, $\Delta P_{\text{кз}}$ – втрати відповідно х.х. і к.з., кВт; $I_{\text{хх}}$ – струм х.х., $U_{\text{кз}}$ – напруга к.з., %; $S_{\text{н.т}}$ – номінальна потужність трансформатора ТП, кВА; K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_p}{n S_{\text{н.т}}} = \frac{871,48}{2 \cdot 630} = 0,692.$$

Втрати потужності в трансформаторах ТП-2 визначаються аналогічно, результати розрахунку наведені в табл. 1.3.

Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В корпусу оформлюється у вигляді табл. 1.3.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

Таблиця 1.3. Розрахунок електричних навантажень корпусу в мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		пэ	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				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
	ТП 1 (2×630)													
	<i>Перший поверх</i>													
1	Свердлильне відділення	14	1,5-11,0	65,3	0,12	0,4	2,29	7,77	17,76	12	2,2	17,10	17,76	24,65
2	Заточне відділення	9	6,74-15	86,18	0,14	0,43	2,12	12,20	25,88	9	2,2	26,84	25,88	37,29
3	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 АЗ/М4	47	1,1-14,8	469,6	0,12	0,4	2,29	56,28	128,91	47	1,4	78,79	128,91	151,08
4	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 УК	35	7,5-14,8	330,2	0,12	0,4	2,29	39,62	90,79	35	1,5	59,44	90,79	108,51
5	Ділянка обробки корпусу НШ 32М4, 50 УК	12	1,1-11,22	85,19	0,12	0,4	2,29	10,15	23,22	12	2,2	22,32	23,22	32,21
6	Ділянка зубообробки шестірень НШ 10 та НМШ 25	45	1,1-18,75	391,48	0,12	0,4	2,29	46,90	107,43	42	1,45	68,01	107,43	127,15
7	Ділянка токарної обробки шестірень НШ 10 та НМШ 25	23	1,1-22	293,98	0,12	0,4	2,29	35,20	80,62	23	1,8	63,36	80,62	102,54
	<i>Другий поверх</i>													
8	Бригада ремонту обладнання	24	2,2-45	302,63	0,32	0,66	1,15	97,52	112,46	13	1,5	146,27	112,46	184,51
9	Ділянка механічної обробки компенсатора НШ 20М4	32	2,0-48,56	386,62	0,12	0,4	2,28	46,75	106,62	16	1,95	91,17	106,62	140,29
10	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 71/100А3	16	4,5-55	361,4	0,12	0,4	2,29	43,37	99,37	13	2,2	95,41	99,37	137,76
11	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 32А3	15	2,2-55	270,82	0,12	0,4	2,29	32,50	74,46	9,8	2,4	78,00	74,46	107,83
12	Ділянка механічної обробки платіков НШ 50/100А3	17	1,1-55	296,52	0,12	0,4	2,29	35,51	81,32	11	2,4	85,21	81,32	117,79
	Всього силова по ТП 1	289	1,1-55	3339,92	0,14	0,44	2,05	463,76	948,86	121	1,13	524,05	948,86	1083,96
	Всього освітлення по ТП 1							261,62	421,45			234,46	380,25	
	Всього по ТП 1							725,38	1370,31			758,51	1329,12	1530,32
	КП 0,4 кВ												900,00	
	Всього по ТП 1 з КП											758,51	429,12	871,48

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Втрати потужності в тр-рах 2×630											11,81	58,35	
	Всього по ТП на шинах 10 кВ											770,32	487,47	911,60
	ТП 2 (2×630)													
	<i>Перший поверх</i>													
13	Ділянка обробки кришек НШ 32УК	8	1,1-15	81,6	0,12	0,4	2,29	9,72	22,23	8	2,7	26,23	22,23	34,38
14	Ділянка обробки кришек НШ 32УК/М4	13	1,1-40	143,82	0,12	0,4	2,29	17,40	39,84	13	2,2	38,28	39,84	55,25
15	Ділянка обробки корпусу НШ 32/50УК/М4	11	3,2-15	106,7	0,12	0,4	2,29	12,80	29,34	11	2,2	28,17	29,34	40,67
16	Ділянка зубообробки шестірень НМШ 50 та НШ 90	13	5,5-14,8	118,94	0,12	0,4	2,29	14,27	32,70	13	2,2	31,40	32,70	45,34
17	Ділянка мехобробки серих шестірень НШ 32/50УК/УР	11	1,1-14,8	120,3	0,12	0,4	2,29	14,36	32,87	11	2,4	34,46	32,87	47,62
18	Ділянка обробки шестірень НШ 32/50УК/УР	89	1,1-15,0	867,23	0,12	0,4	2,29	104,57	239,55	89	1,23	128,63	239,55	271,90
	<i>Другий поверх</i>													
19	Ділянка механічної обробки втулок НШ32/50УК	29	1,1-45,5	395,1	0,12	0,4	2,29	47,34	108,43	17	1,95	92,30	108,43	142,40
20	Ділянка загартованих шестірень НШ71/100А3	23	1,1-13	205,46	0,2	0,64	1,21	40,90	49,69	23	1,4	57,26	49,69	75,81
21	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50А3	39	1,1-15	395,4	0,24	0,74	0,92	96,33	88,71	39	1,25	120,41	88,71	149,56
22	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50УК	29	1,1-12	226,12	0,26	0,77	0,82	59,70	48,77	29	1,3	77,61	48,77	91,66
23	Лінія механічної обробки піджимної обойми НШ 71/100А3	24	1,1-22	217,76	0,12	0,4	2,29	26,05	59,67	20	1,8	46,90	59,67	75,89
24	Лінія механічної обробки обойми підшипників НШ 50 А3	52	1,1-22	524,29	0,12	0,4	2,29	62,68	143,53	48	1,4	87,76	143,53	168,24
25	Заточне відділення	17	2,2-11	162,7	0,12	0,4	2,29	19,52	44,74	17	1,9	37,10	44,74	58,11
26	Ділянка ремонту оснастки	9	2,2-11,22	76,82	0,12	0,4	2,29	9,22	21,12	9	2,5	23,05	21,12	31,26
27	<i>Загальнопромислові установки</i>	23	8-10,5	191,5	0,6	0,79	0,78	115,15	89,46	23	1,14	131,27	89,46	158,85

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Всього силова по ТП 2	390		3833,74	0,17	0,53	1,62	650,02	1050,64	77	1,1	715,02	1050,64	1270,86
	Всього освітлення по ТП 2							0,00	0,00			0,00	0,00	
	Всього по ТП 2											715,02	1050,64	1270,86
	КП 0,4 кВ												550,00	
	Всього по ТП 2 з КП											715,02	500,64	872,86
	Втрати потужності в тр-рах 2×630											11,83	58,46	
	Всього по ТП на шинах 10 кВ											726,85	559,09	917,01
	Всього силова по заводу 0,4 кВ	679	1,1-55	7173,66	0,16	0,49	1,80	1113,78	1999,50	261	1,1	1225,16	1999,5	2345,00
	Всього освітлення по заводу							261,62	421,45			234,46	380,25	
	Всього навантаження по заводу							1375,40	2420,94			1459,61	2379,75	2791,72
	Всього КП 0,4 кВ по заводу												1450,0	
	Всього по заводу з КП											1459,61	929,75	1730,58
	Всього втрати потужності в тр-рах											23,6	116,8	
	Всього НН по ТП на шинах 10 кВ											1483,26	1046,56	1815,31
	КП 10 кВ												900,0	
	Всього по заводу на шинах 10кВ											1483,3	146,56	1490,5

2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ КОРПУСУ

2.1. Розрахунок теплових навантажень корпусу на опалення

Розрахунок теплового навантаження на опалення корпусу проведемо за методикою висвітленою в [3, 4]. Виконаємо розрахунок теплових навантажень на опалення для першого поверху МСК-2. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $q_o = 0,47 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $V_3 = 67390 \text{ м}^3$. Теплове навантаження на опалення:

$$Q_o^p = (1 + \mu) q_o V_3 (t_{в.р.} - t_{п.о.}) = (1 + 0,25) \cdot 0,47 \cdot 67390 \cdot (16 - (-21)) = 1465 \text{ кВт}.$$

Розрахунок теплового навантаження на опалення для другого поверху повністю аналогічний, а результати наведені в табл. 2.1.

2.2. Розрахунок теплових навантажень корпусу на вентиляцію

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію корпусу будемо проводити за методикою висвітленою в [3, 4]. В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових навантажень на вентиляцію для першого поверху МСК-2. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $q_v = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $V_3 = 67390 \text{ м}^3$. Теплове навантаження на вентиляцію, кВт:

$$Q_v^p = q_v V_3 (t_{в.р.} - t_{п.в.}) = 0,17 \cdot 67390 \cdot (16 - (-9)) = 286,4 \text{ кВт}.$$

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію для другого поверху повністю аналогічний. Результати розрахунку наведено в табл. 2.1.

2.3. Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання корпусу

Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання для корпусу будемо проводити за методикою висвітленою в [3, 4]. Кількість працюючих людей на першому поверху МСК-2 складає 200, другому 250. Підприємство працює в одну зміну. Середньогодинне навантаження на гаряче водопостачання в зимовий період:

– перший поверх

$$Q_{г.з.}^{сер.т.} = \frac{amc_{\text{в}}(t_{\text{г}} - t_{\text{х}})}{n_{\text{с}}} = \frac{25 \cdot 200 \cdot 4190(55 - 5)}{8 \cdot 3600} = 36,4 \text{ кВт},$$

– другий поверх

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

$$Q_{Г.З.}^{сер.т.} = \frac{amc_B(t_{Г.} - t_{Х.})}{n_c} = \frac{25 \cdot 250 \cdot 4190(55 - 5)}{8 \cdot 3600} = 45,5 \text{ кВт.}$$

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання в літній період:

– перший поверх

$$Q_{Г.Л.}^{сер.т.} = Q_{Г.З.}^{сер.т.} \frac{t_{Г.} - t_{Х.Л.}}{t_{Г.} - t_{Х.З.}} \beta = 36,4 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 1 = 29,12 \text{ кВт,}$$

– другий поверх

$$Q_{Г.Л.}^{сер.т.} = Q_{Г.З.}^{сер.т.} \frac{t_{Г.} - t_{Х.Л.}}{t_{Г.} - t_{Х.З.}} \beta = 45,5 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 1 = 36,4 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в зимовий період:

– перший поверх

$$Q_{Г.В.}^{max} = \chi Q_{Г.}^{сер.т.} = 1 \cdot 36,4 = 36,4 \text{ кВт,}$$

– другий поверх

$$Q_{Г.В.}^{max} = \chi Q_{Г.}^{сер.т.} = 1 \cdot 45,5 = 45,5 \text{ кВт.}$$

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

– перший поверх

$$Q_{Г.Л.}^{max} = \chi Q_{Г.Л.}^{сер.т.} = 1 \cdot 29,12 = 29,12 \text{ кВт,}$$

– другий поверх

$$Q_{Г.Л.}^{max} = \chi Q_{Г.Л.}^{сер.т.} = 1 \cdot 36,4 = 36,4 \text{ кВт.}$$

Загальне теплове навантаження для першого поверху МСК-2:

$$Q_{\Sigma} = Q_o^p + Q_B^p + Q_{Г.З.}^{max} = 1465 + 286,4 + 36,4 = 1787,8 \text{ кВт.}$$

Розрахунок загального максимального теплового навантаження для другого поверху аналогічний. Результати розрахунку наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Теплове навантаження корпусу.

№ п\п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_B^p , кВт	$Q_{Г.В.}^{max}$, кВт	Q_{Σ} , кВт
1	Перший поверх	1465,00	286,40	36,40	1787,80
2	Другий поверх	1465,00	286,40	45,50	1796,90
Всього по МСК-2		2930,00	572,80	81,90	3584,70

3. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

Гідравлічний розрахунок теплових мереж проведемо за методикою висвітленою в [3, 4]. Для проведення гідравлічного розрахунку необхідно визначити витрату мережевого теплоносія, тобто води. В якості прикладу проведемо розрахунок витрат води для першого поверху МСК-2. При визначенні витрати мережевої води приймемо, що температурний графік системи опалення 60/30°C.

Витрата води на опалення:

$$G_o^{\max} = \frac{Q_o^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{1465}{4,19(60 - 30)} = 11,655 \text{ кг/с.}$$

Витрата води на вентиляцію:

$$G_b^{\max} = \frac{Q_b^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{286,4}{4,19(60 - 30)} = 2,278 \text{ кг/с.}$$

Витрати води на гаряче водопостачання:

$$G_{г.в}^{\max} = \frac{Q_{г.в}^{\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{36,4}{4,19(60 - 30)} = 0,29 \text{ кг/с.}$$

Сумарна витрата води:

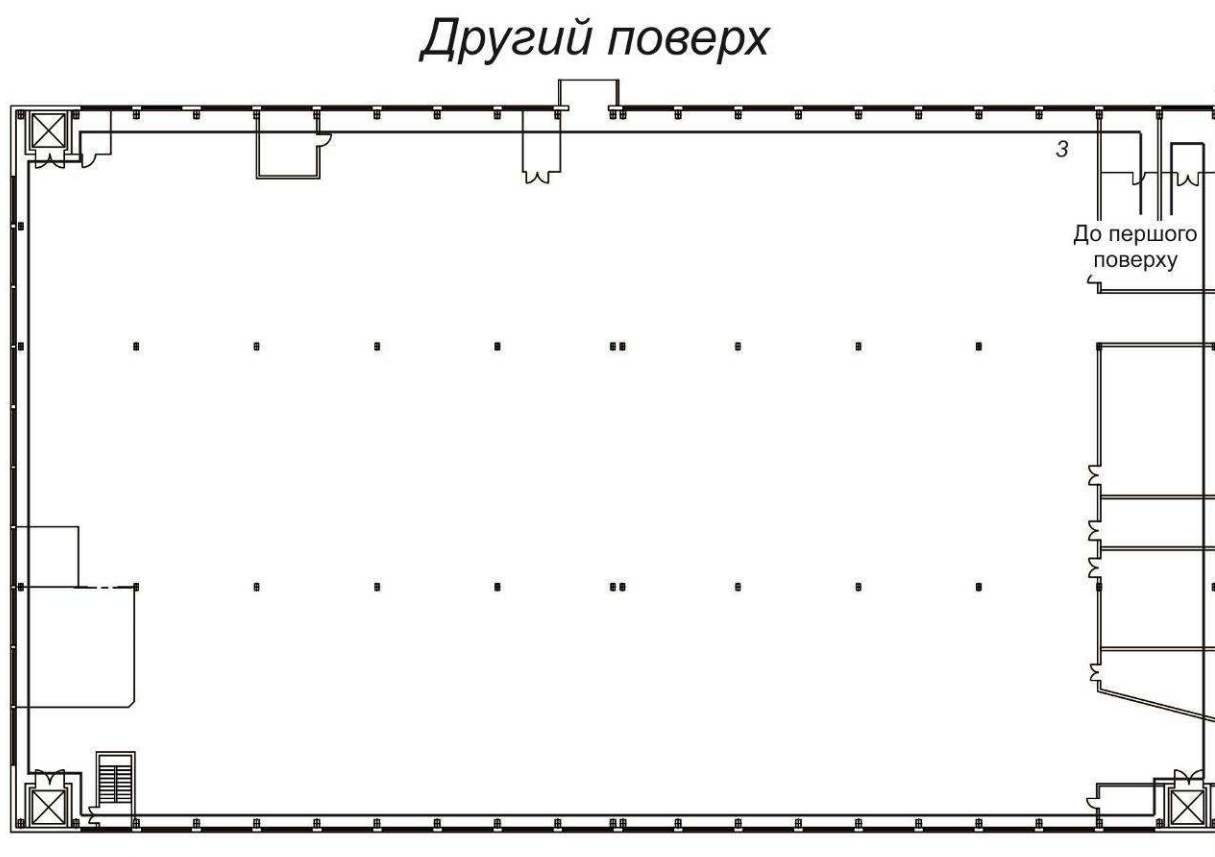
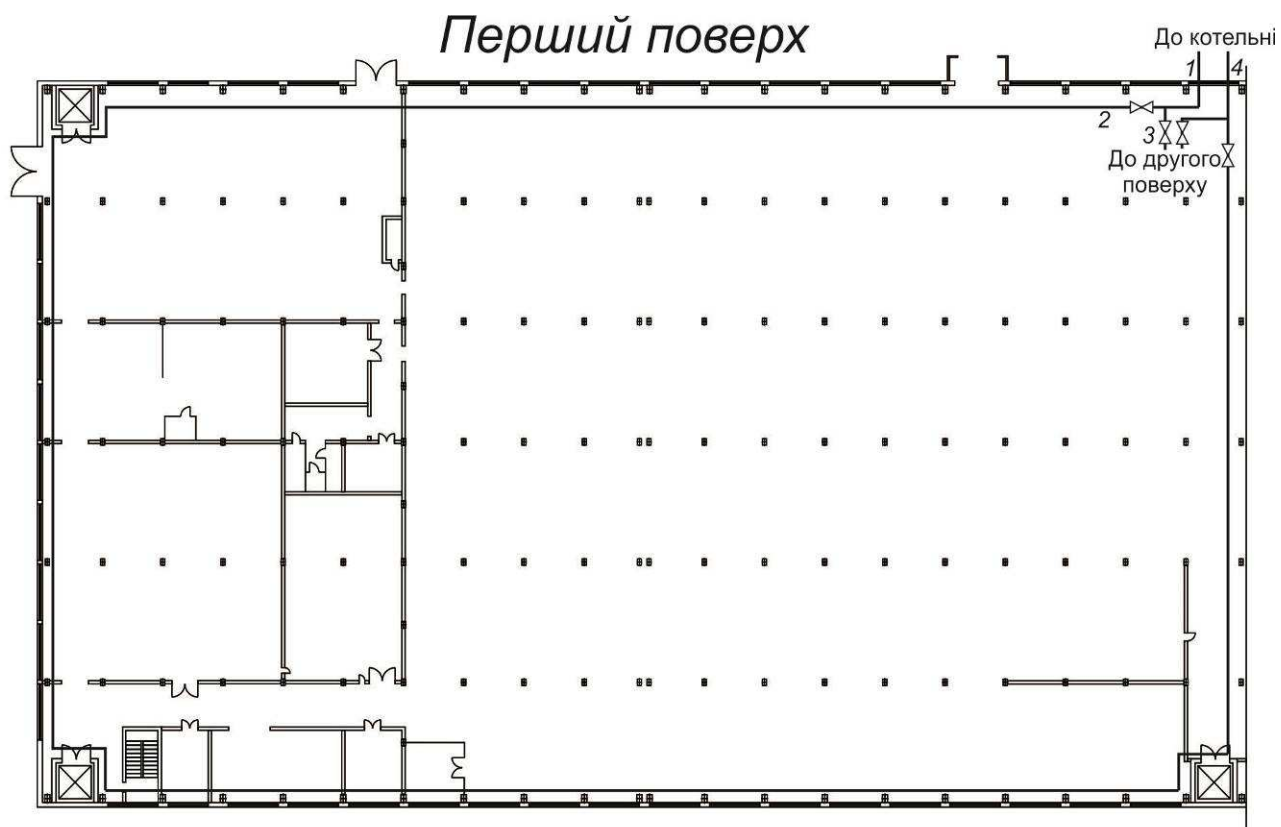
$$G_{\Sigma} = G_o^{\max} + G_b^{\max} + G_{г.в}^{\max} = 11,655 + 2,278 + 0,290 = 14,22 \text{ кг/с.}$$

Розрахунок витрати води для другого поверху МСК-2 аналогічний. Результати розрахунку наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку витрат теплоносія корпусу

№ п\п	Найменування підрозділу	$G_{o\max}$, кг/с	$G_{v\max}$, кг/с	$G_{h\max}$, кг/с	G_d , кг/с
1	Перший поверх	11,655	2,278	0,290	14,22
2	Другий поверх	11,655	2,278	0,362	14,30
Всього по підприємству		23,31	4,56	0,65	28,52

Розрахункова схема теплових мереж наведена на рис. 3.1.



Довжини ділянок:

- 1 - 20 м;
- 2 - 384 м;
- 3 - 402 м;
- 4 - 20 м.

Рис. 3.1. Генплан МСК-2 з нанесенням теплових мереж.

Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Арк.

31

Методика розрахунку гідравлічних втрат в трубопроводах застосована в цьому розділі детально розписана в [4]. Гідравлічний розрахунок проведений за цією методикою представлений в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Результати гідравлічного розрахунку теплових мереж.

№ ділянок	Розрахункова витрата води на ділянці G_d , кг/с	Розрахункова витрата води на ділянці G_d , т/год	Довжина ділянки L , м	Попередній розрахунок при					Кінцевий розрахунок							
				R_0			R'		Стандартний діаметр ділянки D^*s , мм	Швидкість води на ділянці w , м/с	Питомі втрати тиску на ділянці R , Па/м	Еквівалентна довжина l_c , м	Приведена довжина $l_{пр}$, м	Втрати тиску на ділянці, Па	Втрати напору на ділянці, м	Сумарні втрати напору, м
				Питомі втрати тиску R_0 , Па/м	Діаметр ділянки D_0 , мм	Матеріальна характеристика M_0 , м ²	Питомі втрати тиску на ділянці R , Па/м	Діаметр ділянки D , мм								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Головна магістраль																
1	28,52	102,66	20	-	-	-	40,9	219	219*5	0,82	45,5	4,2	24,2	1101,1	0,115	0,115
3	14,30	51,46	402	-	-	-	65,4	159	159*5	0,70	61,0	99,6	501,6	30597,6	3,202	3,202
4	28,52	102,66	20	-	-	-	40,9	219	219*5	0,82	45,5	0	20,0	910,0	0,095	0,095
Відгалудження																
2	14,22	51,20	384	-	-	-	273,8	-	133*4	1,14	151,8	74,4	458,4	69585,1	7,283	7,283

3.2. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції

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

Прийmemo до застосування в корпусі безканальну прокладку теплових мереж. Глибина закладання – 0,8 м. Відстань між осями труб 0,4 м. Грунт прийmemo середньої вологості. Розрахунок проведено в табличному вигляді. Результати розрахунку наведено в табл. 3.3.

При розрахунках використані наступні довідкові дані:

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

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

Температура ґрунту $t_r = 2^{\circ}\text{C}$, середня температура в подавальному трубопроводі 60°C , а в зворотному 30°C . Низькі значення температур в подавальному та зворотному трубопроводах пояснюються спільним використанням теплових мереж для одночасного тепло- та гаряче водопостачання.

Таблиця 3.3. Розрахунок втрат в тепловій ізоляції мереж.

№ п/п	Стандартний діаметр труби, мм	Розрахункова товщина пенополіуретану, мм	Товщина захисної поліетиленової оболонки, мм	Опір ізоляції, ($\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$)	Опір захисного шару, ($\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$)	Глибина залягання трубопроводу, мм	Опір ґрунту, ($\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$)	Сумарний опір трубопроводу, ($\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$)	Відстань між осями труб, мм	Додатковий термічний опір, ($\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$)	Температура в подавальному трубопроводі, $^{\circ}\text{C}$	Температура в зворотньому трубопроводі, $^{\circ}\text{C}$	Питомі втрати теплоти в подавальному трубопроводі, $\text{Вт}/\text{м}$	Питомі втрати теплоти в зворотньому трубопроводі, $\text{Вт}/\text{м}$	Сумарна довжина трубопроводу, м	Втрага теплоти в подавальному трубопроводі, Вт	Втрага теплоти в зворотньому трубопроводі, Вт
1	219	43,1	3,5	1,6	0,008	800	0,217	1,826	400	0,133	60	30	30,8	13,10	20	616,22	261,9
4	219	43,1	3,5	1,6	0,008	800	0,217	1,826	400	0,133	60	30	30,8	13,10	20	616,22	261,9
Всього втрат																1232,4	523,8

4. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Проведемо вибір водогрійного котла (теплогенератора) для котельні системи теплопостачання МСЦ-2.

Розрахункове сумарне теплове навантаження підприємства:

$$Q_{\Sigma} = 3584,70 \text{ кВт}$$

Обираємо до встановлення два однакових котлоагрегати КОЛВІ 1850 з номінально теплопродуктивністю 1850 кВт, отже сумарна потужність 3700 кВт.

Технічні характеристики водогрійного котла КОЛВІ 1850 наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики водогрійного котла КОЛВІ 1850

Марка	Теплова продуктивність, кВт	Тиск води, бар	Температура води, °C		ККД, %
			на вході	На виході	
КОЛВІ 1850	1850	6	40	115	92

В якості палива використовується природний газ.

5. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Детально методика розрахунку та побудови графіків електричних навантажень використаних в цьому пункті наведена в [1, 6].

При розрахунку та побудові графіків електричних навантажень прийняті наступні показники кількості: вихідних зимових днів – 65, робочих – 147, літніх вихідних днів – 48, робочих – 105. Також, прийнято, що літнє навантаження складає лише 85% від зимового. Нижче наведені результати розрахунку та побудови з використання математичного пакету Mathcad.

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 1483.3 \quad \text{кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 2496.6 \quad \text{квар}$$

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

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

$$T_{\Gamma} = 365$$

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

Робочі дні

	1	2
1	50	50
2	43	43
3	45	45
4	46	46
5	48	48
6	46	46
7	46	46
8	70	70
9	100	100
10	92	92
11	89	89
12	85	85
13	79	79
14	90	90
15	87	87
16	75	75
17	59	59
18	62	62
19	56	56
20	52	52
21	52	52
22	52	52
23	49	49
24	52	...

Вихідні дні

	1	2
1	50	50
2	50	50
3	50	50
4	50	50
5	50	50
6	40	40
7	40	40
8	40	40
9	40	40
10	40	40
11	40	40
12	40	40
13	40	40
14	40	40
15	40	40
16	40	40
17	40	40
18	40	40
19	40	40
20	40	40
21	50	50
22	50	50
23	50	50
24	50	50

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

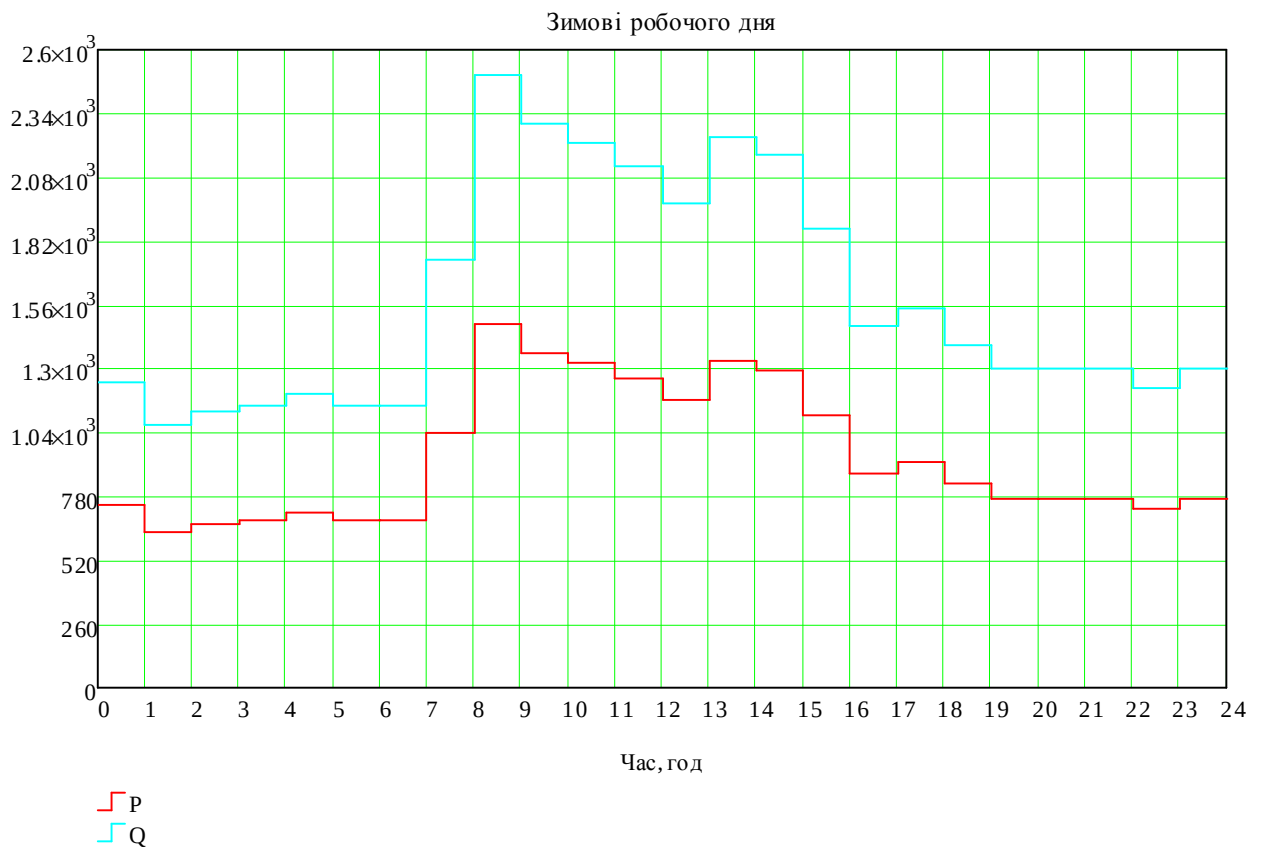
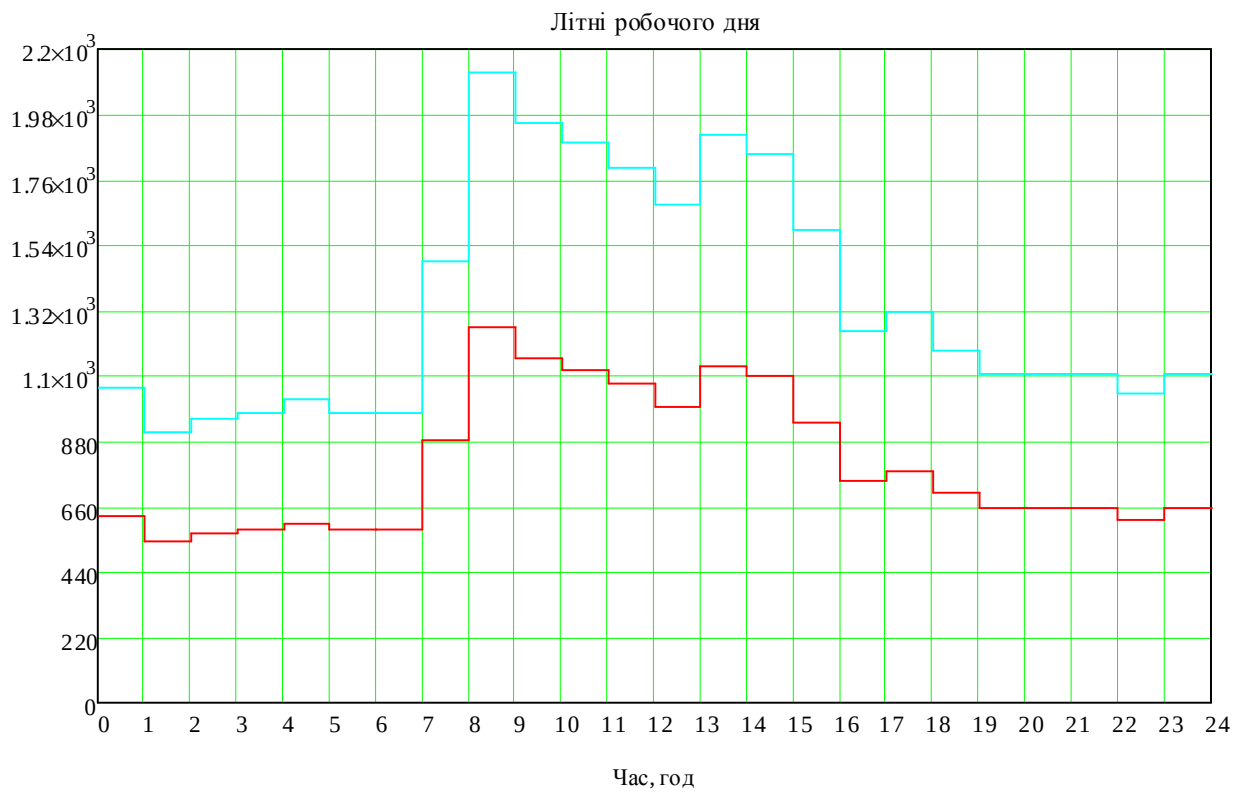
	1	2	3
1	630	1061	1234
2	542	913	1061
3	567	955	1111
4	580	976	1133
5	605	1019	1185
6	580	976	1135
7	580	976	1135
8	883	1485	1728
9	1261	2122	2468
10	1160	1952	2271
11	1122	1889	2197
12	1072	1804	2098
13	996	1676	1950
14	1135	1910	2222
15	1097	1846	2148
16	946	1592	1851
17	744	1252	1456
18	782	1316	1530
19	706	1188	1382
20	656	1103	1284
21	656	1103	1284
22	656	1103	1284
23	618	1040	1210
24	656	1103	...

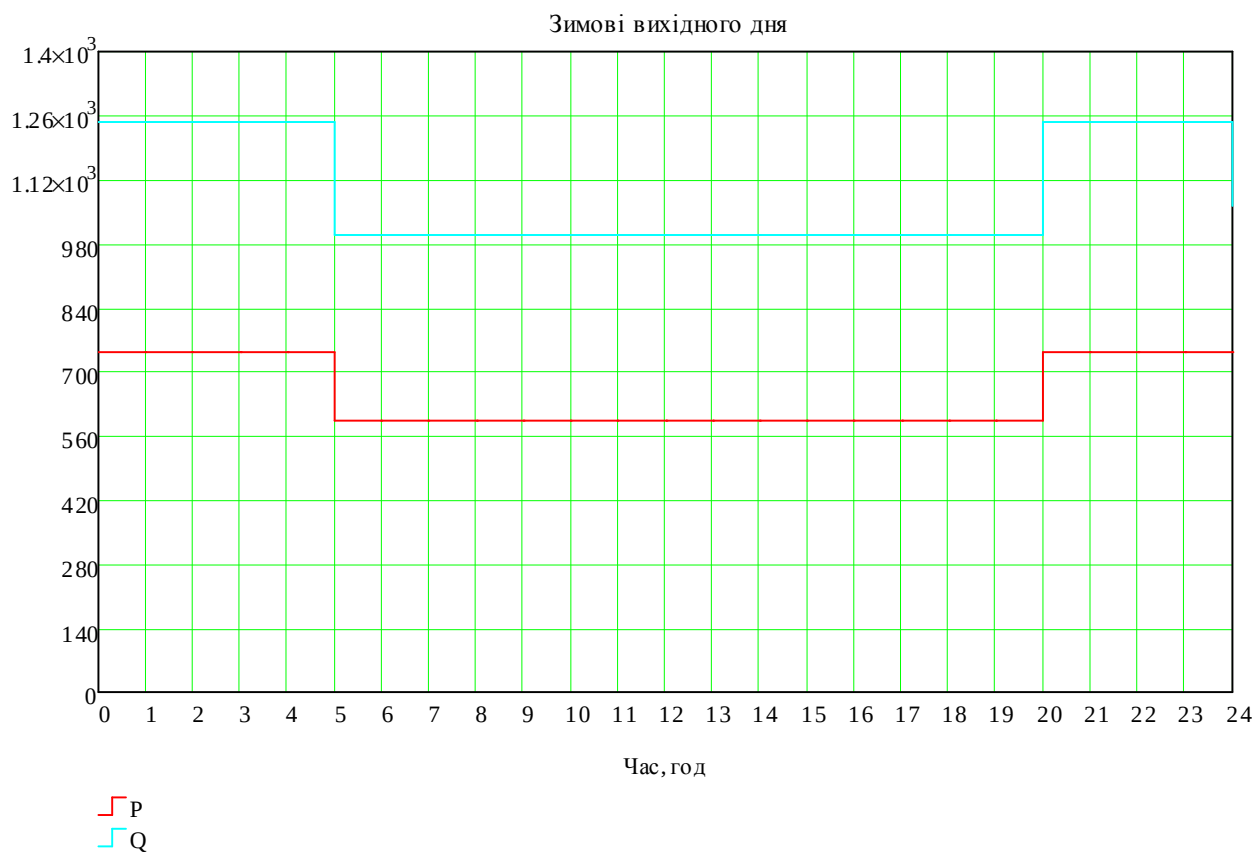
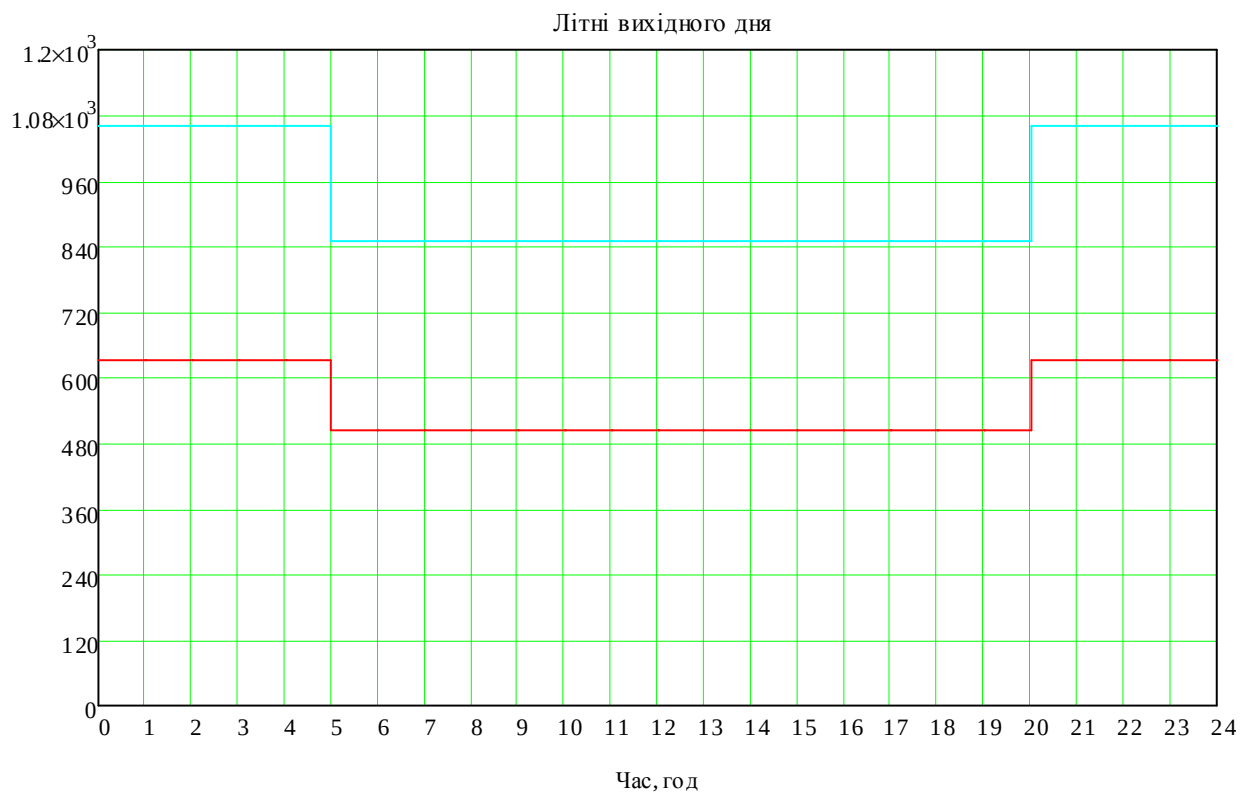
	1	2	3
1	742	1248	1452
2	638	1074	1249
3	667	1123	1307
4	682	1148	1336
5	712	1198	1394
6	682	1148	1336
7	682	1148	1336
8	1038	1748	2033
9	1483	2497	2904
10	1365	2297	2672
11	1320	2222	2585
12	1261	2122	2468
13	1172	1972	2294
14	1335	2247	2614
15	1290	2172	2526
16	1112	1872	2178
17	875	1473	1713
18	920	1548	1800
19	831	1398	1626
20	771	1298	1510
21	771	1298	1510
22	771	1298	1510
23	727	1223	1423
24	771	1298	...

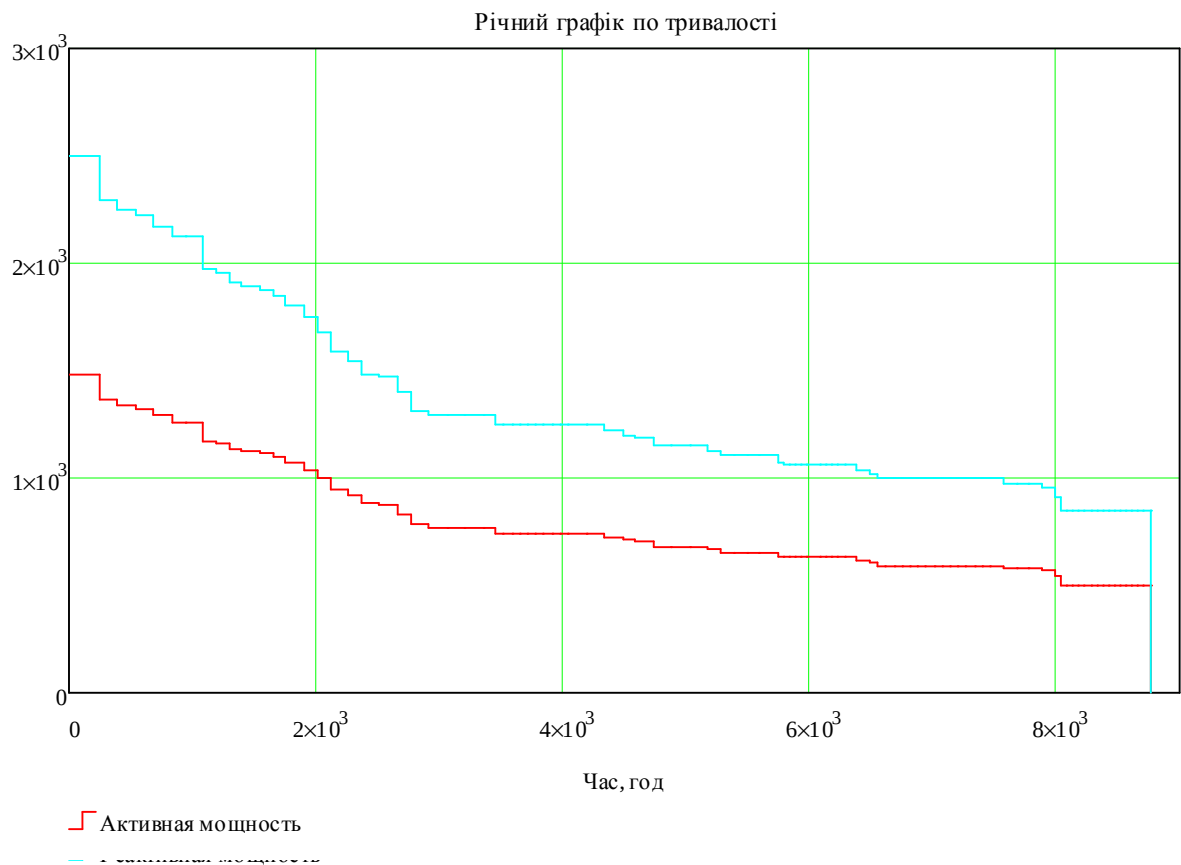
	1	2	3
1	630	1061	1234
2	630	1061	1234
3	630	1061	1234
4	630	1061	1234
5	630	1061	1234
6	504	849	987
7	504	849	987
8	504	849	987
9	504	849	987
10	504	849	987
11	504	849	987
12	504	849	987
13	504	849	987
14	504	849	987
15	504	849	987
16	504	849	987
17	504	849	987
18	504	849	987
19	504	849	987
20	504	849	987
21	630	1061	1234
22	630	1061	1234
23	630	1061	1234
24	630	1061	...

	1	2	3
1	742	1248	1452
2	742	1248	1452
3	742	1248	1452
4	742	1248	1452
5	742	1248	1452
6	593	999	1162
7	593	999	1162
8	593	999	1162
9	593	999	1162
10	593	999	1162
11	593	999	1162
12	593	999	1162
13	593	999	1162
14	593	999	1162
15	593	999	1162
16	593	999	1162
17	593	999	1162
18	593	999	1162
19	593	999	1162
20	593	999	1162
21	742	1248	1452
22	742	1248	1452
23	742	1248	1452
24	742	1248	...

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







Споживання активної енергії за літню вихідну добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{лето_в}} = 13238$$

Споживання активної енергії за літню робочу добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{лето_р}} = 19227$$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{зима_в}} = 15575$$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу, $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{зима_р}} = 22620$$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{лето_в}} = 22282$$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{лето_р}} = 32362$$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{зима_в}} = 26214$$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{зима_р}} = 38073$$

Річне споживання активної енергії, $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\Gamma} = 6991850$$

Річне споживання реактивної енергії, $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\Gamma} = 11768255$$

Кількість годин використання максимуму потужності, год:

$$T_{\text{max}} = 4714$$

Річний час максимальних втрат, год:

$$\tau = 2798$$

6. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

6.1. Побудова картограми електричного навантаження

Розрахунок проводимо за методикою викладеною в [1, 6].

Для прикладу наведемо побудову для свердлильного відділення, прийемо, що масштаб $m = 0,03 \text{ кВт/мм}^2$:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{24,46}{\pi \cdot 0,03}} = 16 \text{ мм}, \quad \alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_1} = \frac{7,36 \cdot 360}{24,46} = 108^\circ.$$

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

Розрахунок координат центру електричних навантажень приведений в табл. 6.1. Центр навантаження знаходиться в точці координатах $X = 64 \text{ м}$, $Y = 39 \text{ м}$.

Таблиця 6.1. Результати розрахунку картограми електричного навантаження

п/п	Найменування цеху або відділення	$P_p^{\text{сил}}, \text{кВТ}$	$P_p^{\text{осв}}, \text{кВТ}$	$\Sigma P_p, \text{кВТ}$	$R, \text{мм}$	$\alpha, \text{град}$	$X, \text{м}$	$Y, \text{м}$	$PX, \text{кВт} \cdot \text{м}$	$PY, \text{кВт} \cdot \text{м}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Свердлильне відділення	17,10	7,36	24,46	16	108	20	60	476,9	1467,4
2	Ділянка упакування насосів	0,00	4,46	4,46	7	360	9	36	41,5	159,4
2	Ділянка регенерації масла	0,00	1,68	1,68	4	360	18	43	30,3	71,8
3	Окрашувальне відділення	0,00	3,36	3,36	6	360	13	18	42,3	60,4
4	Інженерне відділення	0,00	3,63	3,63	6	360	30	23	108,9	83,8
5	ІРК (Перший поверх)	0,00	0,44	0,44	2	360	33	4	14,2	1,6
6	Зварювальне відділення	0,00	0,30	0,30	2	360	14	4	4,4	1,1
7	Заточувальне відділення	26,84	1,01	27,85	17	13	23	4	651,7	100,3
8	Ділянка обробки шестірень НШ 32/50УК/УР	128,63	17,28	145,91	39	43	68	59	9892,4	8623,0
9	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 АЗ/М4	78,79	7,53	86,32	30	31	69	59	5955,8	5127,2
10	Ділянка зубообробки шестірень НШ 32/50 УК	59,44	4,41	63,84	26	25	58	30	3677,3	1915,3
11	Ділянка обробки корпусу НШ 32М4, 50 УК	22,32	3,17	25,49	16	45	83	30	2118,1	764,7
12	Ділянка зубообробки шестірень НШ 10 та НМШ 25	68,01	7,53	75,54	28	36	70	18	5280,0	1382,3
13	Ділянка токарної обробки шестірень НШ 10 та НМШ 25	63,36	6,78	70,14	27	35	70	6	4903,0	441,9
14	Ділянка обробки кришек НШ 32УК	26,23	3,60	29,83	18	43	107	65	3185,9	1950,9

Продовження табл. 6.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	Ділянка обробки кришек НШ 32УК/М4	38,28	3,60	41,88	21	31	107	54	4473,1	2249,1
16	Ділянка обробки корпусу НШ 32/50УК/М4	28,17	6,25	34,42	19	65	106	37	3634,6	1280,4
17	Ділянка зубообробки шестірень НМШ 50 та НП 90	31,40	2,62	34,02	19	28	104	18	3551,8	612,4
18	Ділянка мехобробки серих шестірень НШ 32/50УК/УР	34,46	3,28	37,74	20	31	102	6	3850,0	237,8
19	Ділянка зборки	0,00	5,04	5,04	7	360	6	48	31,8	241,9
20	Склад незавершеного виробництва	0,00	1,04	1,04	3	360	6	17	6,5	18,0
21	Бригада ремонту обладнання	146,27	4,81	151,09	40	11	35	65	5212,5	9790,4
22	Ділянка механічної обробки компенсатора НШ 20М4	91,17	6,22	97,39	32	23	35	54	3360,0	5259,2
23	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 71/100А3	95,41	6,22	101,63	33	22	35	42	3506,2	4299,0
24	Ділянка механічної обробки корпусу НШ 32А3	78,00	6,22	84,22	30	27	35	29	2905,5	2476,0
25	Ділянка механічної обробки платіков НШ 50/100А3	85,21	6,22	91,43	31	24	35	17	3154,5	1590,9
26	Ділянка механічної обробки втулок НШ32/50УК	92,30	6,22	98,52	32	23	35	6	3399,1	620,7
27	Ділянка загартованих шестірень НШ71/100А3	57,26	6,11	63,36	26	35	84	66	5322,5	4182,0
28	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50А3	120,41	8,35	128,77	37	23	84	55	10816,3	7030,6
29	Ділянка загартованих шестірень НШ32/50УК	77,61	6,91	84,52	30	29	84	42	7099,6	3549,8
30	Лінія механічної обробки піджимної обойми НШ 71/100А3	46,90	6,91	53,81	24	46	84	29	4520,0	1582,0
31	Лінія механічної обробки обойми підшипників НШ 50 А3	87,76	12,21	99,97	33	44	84	15	8397,4	1499,5
32	Комора абразивних матеріалів	0,00	0,19	0,19	1	360	111	69	20,8	12,9
33	Заточне відділення	37,10	1,46	38,56	20	14	114	61	4395,5	2348,1
34	Ділянка ремонту оснастки	23,05	1,84	24,89	16	27	114	41	2837,0	1007,9
35	Ділянка приготування СОЖ	0,00	0,66	0,66	3	360	114	31	74,7	20,0
36	ІРК (Другий поверх)	0,00	1,41	1,41	4	360	114	23	160,5	32,1
37	Бригада по ремонту електрообладнання	0,00	0,81	0,81	3	360	114	15	91,9	12,1
Всього				1838,6					117204	72104

6.2. Побудова картограми теплового навантаження

Розрахунок проводимо за методикою, що наведена в [9].

Для прикладу наведемо побудову для першого поверху корпусу:

$$R_1 = \sqrt{\frac{Q_{\Sigma}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1787,80}{\pi \cdot 0,2}} = 53 \text{ мм},$$

$$\alpha_B = \frac{Q_B \cdot 360}{Q_{\Sigma}} = \frac{286,40 \cdot 360}{1787,8} = 58^{\circ},$$

$$\alpha_{Г.В.} = \frac{Q_{Г.В.}^{\max} \cdot 360}{Q_{\Sigma}} = \frac{36,40 \cdot 360}{1787,8} = 7^{\circ}.$$

Розрахунок картограми для другого поверху аналогічний, результати наведені в табл. 6.2. Розраховувати центр теплового навантаження немає сенсу адже розрахунок ведеться для одного приміщення.

Таблиця 6.2. Результати розрахунку картограми теплового навантаження

№ п\п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_B^p , кВт	$Q_{Г.В.}^{\max}$, кВт	Q_{Σ} , кВт	R, мм	α_B , град	$\alpha_{Г.В.}$, град
1	Перший поверх	1465,00	286,40	36,40	1787,80	53	58	7
2	Другий поверх	1465,00	286,40	45,50	1796,90	53	57	9
		2930,00	572,80	81,90	3584,70			

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОРПУСУ

Вибір напруги і схеми для зовнішнього електропостачання проведемо згідно з методикою наведеною в [1, 6].

У відповідності з можливими варіантами електропостачання підприємство може живитися від п/ст енергосистеми «Центральна» з трьома класами напруги: 150, 35 та 10 кВ. Враховуючи невелику потужність МСК-2 варіант електропостачання напругою 150 кВ слід відкинути одразу. Тому слід розглядати два варіанти електропостачання напругою 10 і 35 кВ (рис. 7.1).

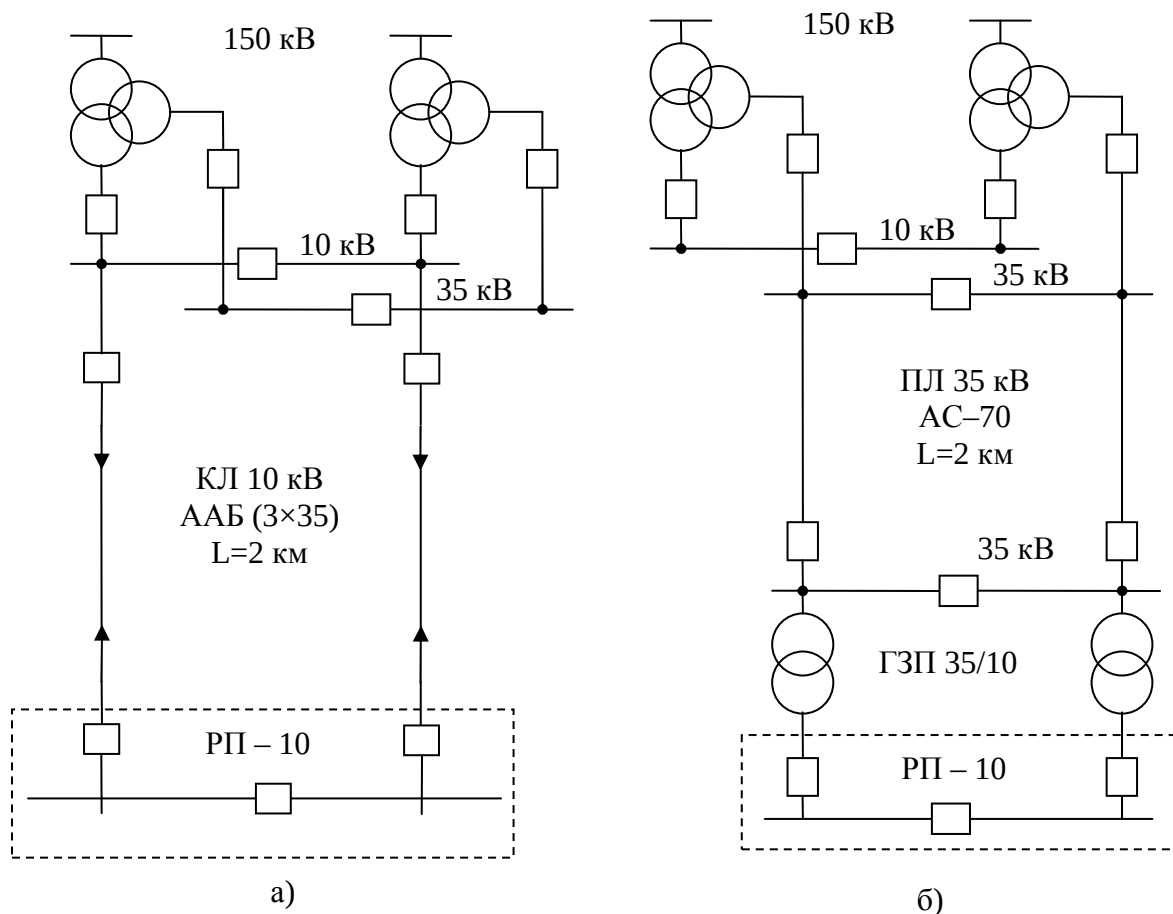


Рис. 7.1. Схеми зовнішнього електропостачання

Варіант №1. Живлення здійснюється напругою 10 кВ (рис. 7.1.а).

Розрахунковий струм в КЛ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{1490,5}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 81,9 \text{ А}$$

Площа перерізу КЛ визначається з економічної густини струму:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{81,9}{1,4} = 58,5 \text{ мм}^2$$

де $j_{\text{э}} = 1,4$ для кабелів з алюмінієвими жилами і при $3000 < T_M < 5000$ год [6].

Приймаємо до прокладання дві кабельних лінії площею перерізу 50 мм^2 кожна, кабель марки ААБ (3×35) з тривалим допустимим струмовим навантаженням $I_{\text{д}} = 115 \text{ А}$, втратами потужності на 1 км $\Delta P_{\text{1км}} = 42 \text{ кВт}$ вартістю 1 км $K_0 = 2,08 \cdot 40 = 83,2$ тис. грн. Таблиця 4.14 [5]. Завантаження кабелю для нормального режиму:

$$K_3 = \frac{I_p}{2I_{\text{д}}} = \frac{81,9}{2 \cdot 115} = 0,356.$$

При виході із ладу однієї КЛ, працююча з перевантаженням повинна забезпечити живлення $I = I_{\text{д}} \cdot K_{\text{ап}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot N = 115 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 149,5 \text{ А}$, де $K_{\text{ап}}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження КЛ, $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прокладки для аварійного режиму. Розрахунок показує, що в аварійному режимі живлення КЛ витримає підвищене навантаження, а отже, електропостачання корпусу не порушується. Втрати відповідно потужності ΔP та енергії $\Delta \text{Э}$ в КЛ:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{1км}} l_{\Sigma} K_3^2 = 42 \cdot 4 \cdot 0,356^2 = 21,3 \text{ кВт},$$

де l_{Σ} – сумарна довжина двох ланцюгів кабелю. ($l_{\Sigma} = 2l = 2 \cdot 2 = 4$ км, де $l = 2$ км – відстань від п/ст до корпусу).

$$\Delta \text{Э} = \Delta P_{\text{л}} \tau = 21,3 \cdot 2798 = 59597 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де τ – час використання максимального навантаження.

Вартість втрат енергії:

$$C_{\text{втр}} = \Delta \text{Э} C_0 = 59597 \cdot 6,56 = 390956 \text{ грн.}$$

Варіант №2. Живлення здійснюється напругою 35 кВ (рис. 7.1.б).

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} = \frac{1490,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 24,6 \text{ А.}$$

Площу перерізу проводів повітряної лінії оберемо за економічною густиною струму:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{24,6}{1,1} = 22,4 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо двох цепну ЛЕП з проводами АС площею перерізу 70 мм².
Параметри на один ланцюг: $\Delta P_{\text{ікм}} = 125 \text{ кВт/км}$, $I_{\text{д}} = 265 \text{ А}$, $K_0 = 10,7 \cdot 40 = 428$ тис. грн.

Завантаження повітряної лінії для нормального режиму:

$$K_3 = \frac{I_p}{2I_{\text{д}}} = \frac{24,6}{2 \cdot 265} = 0,05.$$

На ГЗП передбачимо встановлення двох трансформаторів типу ТМН потужністю $S_{\text{н}} = 1600 \text{ кВА}$ кожний, з напругою 35/10 кВ. $I_{\text{х}} = 1,3\%$, $\Delta P_{\text{х}} = 2,9 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{к}} = 16,5 \text{ кВт}$, $U_{\text{к}} = 6,5 \%$ [5]. Завантаження трансформаторів для нормального режиму роботи:

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_{\text{н}}} = \frac{1490,5}{2 \cdot 1600} = 0,47.$$

При відключенні одного трансформатора, працюючий з допустимим аварійним перевантаженням, повинен забезпечувати живлення корпусу:

$$S = 1,4S_{\text{н}} = 1,4 \cdot 1600 = 2240 \text{ кВА}.$$

Втрати електричної потужності та енергії в повітряній лінії:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{ікм}} l_{\Sigma} K_3^2 = 125 \cdot 4 \cdot 0,05^2 = 1,25 \text{ кВт},$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \tau = 1,25 \cdot 2798 = 3497,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати енергії в трансформаторах ГЗП:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{тр}} = 2(\Delta P_{\text{х}} t_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{к}} K_3^2 \tau) = 2(2,9 \cdot 8760 + 16,5 \cdot 2798 \cdot 0,47^2) = 71204 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумарні втрати:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_{\text{л}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{тр}} = 3497,5 + 71204 = 74701,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат:

$$C_{\text{втр}} = \Delta \mathcal{E} C_0 = 74701,5 \cdot 5,29 = 395171 \text{ грн}.$$

Розрахунок капітальних та поточних витрат по варіантами зовнішнього електропостачання наведено в табл. 7.1.1 - 7.1.3.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

Таблиця 7.1.1. Розрахунок капітальних витрат по варіантами зовнішнього електропостачання.

№ вар.	Елемент схеми	Од.	К-ть	Вартість тис. грн	Всього тис. грн
I	Шафи вимикачами додатково встановлені на п/ст системи	шт.	2	200	400
	Кабель ААБ	км	4	83,2	332,8
	Траншея	км	2	100	200
Всього					932,8
II	ЛЕП 35 кВ на З/Б опорах	км	2	428	856
	КТБП 35/10 кВ	Комплект	1	4000	4000
Всього					4856

Таблиця 7.1.2. Розрахунок поточних витрат по варіантами зовнішнього електропостачання.

№ варіанта	Назва елемента схеми	K _j тис. грн.	P _{aj} %	C _{aj} тис. грн.	P _{эj} %	C _{эj} тис. грн.	C _j тис. грн.
I	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	532,8	5	26,6	2	10,7	37,3
	Шафи КРУ з вимикачами	400	15	60	3	12,0	72,0
Всього							109,3
II	ЛЕП 35 кВ	856	5	42,8	0,14	1,2	44,0
	КТБП 35/10 кВ	4000	15	600	3	120,0	720,0
Всього							764,0

Розрахунок ймовірного збитку від перерву в електропостачанні.

Варіант №1.

Розрахункова схема одного ланцюга електропостачання містить вимикач 10 кВ та КЛ довжиною 2 км

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,01 + 2 \cdot 0,08 = 0,17 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Середній час на відновлення одного ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,01 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,16 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,17} = 6,65 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт планового простою для одного ланцюга

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

$$K_{\pi} = 1,2 \cdot K_{\pi \max} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт для аварійного простою одного ланцюга

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,17 \cdot 6,65 \cdot 10^{-3} = 1,131 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою у випадку коли один ланцюг відімкнений на плановий ремонт, а в цей час інший відключається із-за пошкодження

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\pi}^2 = 0,5 \cdot 0,17 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 0,49 \cdot 10^{-6}.$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (1,131 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,49 \cdot 10^{-6} = 2,26 \cdot 10^{-6}.$$

Середній час аварійного простою на рік

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 2,26 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,0198 \text{ год.}$$

Середньорічне активне навантаження корпусу

$$P_{\text{cp}} = \frac{1483,3 \cdot 4714}{8760} = 798,2 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії при $Y_o = 200$ грн. становить

$$Y = Y_o \cdot P_{\text{cp}} \cdot T_a = 200 \cdot 798,2 \cdot 0,0198 = 3,16 \text{ тис. грн.}$$

Варіант №2.

Розрахункова схема одного ланцюга живлення містить повітряну лінію 35 кВ довжиною 2 км, вимикач 35 кВ і трансформатор 35/10 кВ.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,011 \cdot 2 + 0,01 + 0,01 = 0,042 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Середній час відновлення одного ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,022 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{0,042} = 11,44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга

$$K_{\pi} = 1,2 \cdot K_{\pi \max} = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,042 \cdot 11,44 \cdot 10^{-3} = 0,48 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою коли один ланцюг відімкнений для планового ремонту і в цей час другий відключається із-за пошкодження

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,042 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^2 = 1,089 \cdot 10^{-6}.$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній

$$K_{\text{а}}^{(2)} = K_{\text{а}}^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (0,48 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 1,089 \cdot 10^{-6} = 2,408 \cdot 10^{-6}.$$

Середньорічний час аварійного простою

$$T_{\text{а}} = K_{\text{а}}^{(2)} \cdot 8760 = 2,408 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,0211 \text{ год.}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії становить

$$Y = Y_{\text{o}} \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{а}} = 200 \cdot 798,2 \cdot 0,0211 = 3,37 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 7.1.3. Техніко-економічні показники по варіантам.

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Варіант схеми	
			10 кВ	35 кВ
1	Капітальні вкладення	тис.грн.	932,8	4856
2	Поточні витрати	тис.грн.	109,3	764,0
3	Вартість втрат електроенергії	тис.грн.	391,0	395,2
4	Збиток від перериву	тис.грн.	3,16	3,37
	Зведені витрати	тис.грн.	615,4	1745,3

В результаті порівняння одержується, що варіант I за економічними показниками є більш вигідним. Тому цей варіант зовнішнього електропостачання і приймемо до застосування.

8. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОРПУСУ

8.1. Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір пристроїв її компенсації

Розрахунок балансу реактивної потужності проведемо згідно з методикою наведеною в [1, 6, 9].

Підсумкове навантаження на шинах 10 кВ складається з навантаження 0,4 кВ і втрат в трансформаторах 10/0,4 кВ.

$$P_p = P_H + \Delta P_{тр} + P_B = 1459,61 + 23,6 + 0 = 1483,21 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_H + \Delta Q_{тр} + Q_B = 2379,75 + 116,8 + 0 = 2496,55 \text{ квар.}$$

Економічно доцільна реактивна потужність системи, що може бути передана споживачам з енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_e = 1483,21 \cdot 0,15 = 222,5 \text{ квар.}$$

Загальна потужність компенсуючих пристроїв по балансу:

$$Q_{кп\Sigma} = Q_p - Q_e = 2496,55 - 222,5 = 2274,05 \text{ квар.}$$

Мінімально можлива кількість трансформаторів в корпусі (при прийнятій одиничній потужності трансформатора 630 кВА та бажаному коефіцієнті завантаження 0,7):

$$N_0 = \frac{P_H}{K_3 \cdot S_{T.H}} = \frac{1459,61}{0,7 \cdot 630} = 3,31 \approx 4.$$

Розглянемо три варіанти компенсації РП за кількістю трансформаторів:
 $N = N_0$; $N = N_0 + 1$; $N = N_0 + 2$

Варіант I $N = N_0 = 4$.

Реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ до мережі 0,4 кВ:

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 1459,61^2} = 990 \text{ квар.}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 0,4 кВ визначасмо з умов балансу:

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 2379,75 - 990 = 1389,75 \text{ квар.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

Приймаємо стандартну потужність комплектних батарей конденсаторів $Q_{KH} = 1450$ квар, згідно з табл. 8.2.

Уточнюємо значення пропускної потужності через ТП з урахуванням обраної стандартної потужності Q_{Π} :

$$Q_{\Pi} = Q_H - Q_{KH} = 2379,75 - 1450 = 929,75 \text{ квар.}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ з умови балансу РП на шинах 10 кВ ЦРП:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 2496,55 - 1450 - 222,5 = 824,05 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність високовольтних батарей конденсаторів (2×450) $Q_{KB} = 900$ квар.

Уточнюємо значення споживання з енергосистеми з умов балансу реактивної потужності в системі електропостачання Q_e :

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 2496,55 - 1450 - 900 = 440,5 \text{ квар.}$$

Втрати потужності в низьковольтних і високовольтних батареях конденсаторів визначається за питомим значенням втрат:

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{\Pi IT}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 1450 = 6,525 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{\Pi IT}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 900 = 2,25 \text{ кВт,}$$

де $\Delta P_{\Pi IT}^{KH}$, $\Delta P_{\Pi IT}^{KB}$ – питомі втрати активної потужності для низьковольтних і високовольтних БК, кВт/квар.

Втрати активної потужності в трансформаторах ТП при передачі реактивної потужності:

$$\Delta P_{\Pi T} = \frac{Q_{\Pi}^2}{U_H^2} \cdot R'_{EK} = \frac{929,75^2}{10^2} \cdot 0,000479 = 4,14 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R'_{EK} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{N \cdot S_{T.H}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{4 \cdot 630^2} = 0,000479 \text{ кОм.}$$

Вартість низьковольтних і високовольтних БК:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KKY0,4i} = 2 \cdot 425680 + 2 \cdot 291410 = 1434180 \text{ грн.}$$

де 425680 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 450 квар;

291410 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 275 квар.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KKV10i} = 2 \cdot 380230 = 760460 \text{ грн.}$$

де 380230 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 450 квар.

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 2 \cdot 3199200 = 6398400 \text{ грн.},$$

де $N_{КТП-1}$; $N_{КТП-2}$ – кількість одно та двох трансформаторних КТП;

$K_{КТП-1}$; $K_{КТП-2}$ – вартість одно та двох трансформаторних КТП.

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$\begin{aligned} 3 &= E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{КТП}) \cdot C_0 \cdot \tau = \\ &= 0,12(1434180 + 760460 + 6398400) + (6,525 + 2,25 + 4,14) 6,56 \cdot 2798 = \\ &= 1268218 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Варіант II $N = N_0 + 1 = 5$

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(5 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 1459,61^2} = 1653 \text{ квар},$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 2379,75 - 1653 = 726,75 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей $Q_{KH} = 790$ квар, згідно з табл. 8.2.

Уточнюємо значення Q_{II} :

$$Q_{II} = Q_H - Q_{KH} = 2379,75 - 790 = 1589,75 \text{ квар},$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 2496,55 - 790 - 222,5 = 1484,05 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність: $Q_{KB} = 1350$ квар.

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 2496,55 - 790 - 1350 = 356,55 \text{ квар.}$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 790 = 3,555 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 1350 = 3,375 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{ТП} = \frac{Q_{II}^2}{U_H^2} \cdot R'_{ЕК} = \frac{1589,75^2}{10^2} \cdot 0,000383 = 9,68 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R'_{ЕК} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{N \cdot S_{T.H}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{5 \cdot 630^2} = 0,000383 \text{ кОм.}$$

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KKV0,4i} = 3 \cdot 113940 + 2 \cdot 291410 = 924640 \text{ грн.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KKY10i} = 1 \cdot 556770 + 1 \cdot 380230 = 937000 \text{ грн.}$$

де 556770 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 900 квар.

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 1 \cdot 1546800 + 2 \cdot 3199200 = 7945200 \text{ грн.,}$$

$$3 = 0,12(924640 + 937000 + 7945200) + (3,555 + 3,375 + 9,68) 6,56 \cdot 2798 = 1481695 \text{ грн.}$$

$$\text{Варіант III } N = N_o + 2 = 6$$

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(6 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 1459,61^2} = 2207 \text{ квар,}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 2379,75 - 2207 = 173 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних БК $Q_{KH} = 240$ квар, згідно з табл. 8.2.

Уточнюємо значення Q_{II} :

$$Q_{II} = Q_H - Q_{KH} = 2379,75 - 240 = 2139,75 \text{ квар,}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 2496,55 - 240 - 222,5 = 2034,05 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність ВБК: $Q_{KB} = 1800$ квар.

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 2496,55 - 240 - 1800 = 456,55 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 240 = 1,08 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 1800 = 4,5 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{ТП} = \frac{Q_{II}^2}{U_H^2} \cdot R_{ЕК}' = \frac{2139,75^2}{10^2} \cdot 0,000319 = 14,6 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R_{ЕК}' = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{N \cdot S_{T.H}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{6 \cdot 630^2} = 0,000319 \text{ кОм.}$$

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KKY0,4i} = 3 \cdot 113940 = 341820 \text{ грн.}$$

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KKY10i} = 2 \cdot 556770 = 1113540 \text{ грн.}$$

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 2 \cdot 1546800 + 2 \cdot 3199200 = 9492000 \text{ грн.,}$$

$$3 = 0,12(341820 + 1113540 + 9492000) + (1,08 + 4,5 + 14,6) 6,56 \cdot 2798 = 1684085 \text{ грн.}$$

Розрахунок балансу РП по варіантам наведених в табл. 8.1.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

Таблиця 8.1. Баланс реактивної потужності для різних варіантів компенсації РП.

№	Показники	Варіант		
		I	II	III
1	Потужність КП 0,4 кВ, квар	1450	790	240
2	Потужність КП 10 кВ, квар	900	1350	1800
3	Споживання з системи, квар	440,5	356,5	456,5
4	Всього за умовами балансу, квар	2496,5	2496,5	2496,5

В результаті розрахунків визначено, що витрати по трьох варіантах компенсації складають:

$$З_1 = 1268218 \text{ грн.}$$

$$З_2 = 1481695 \text{ грн.}$$

$$З_3 = 1684085 \text{ грн.}$$

Отже, остаточно приймаємо варіант I.

8.2. Вибір кількості, потужності і місця розташування комплектних конденсаторних установок

Розрахунок потужності та місця розташування батарей конденсаторів проводимо згідно з методикою викладеною в [6].

Для різних варіантів $N = N_0$; $N = N_0 + 1$; $N = N_0 + 2$ розраховується реактивна потужність, що може бути передана через ТП в мережу 0,4 кВ, та потужність батарей конденсаторів, що встановлюються на боці 0,4 кВ ТП.

Знаходимо потужність, що потрібно компенсувати на всіх ТП згідно з обраним варіантом. Відповідно для ТП -1 знаходимо:

Потужність, що можна передати через трансформатори:

$$Q_{II} = \sqrt{(NK_z S_{н.т.}) - P_p^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 768,01^2} = 433,7 \text{ квар,}$$

$$Q_{KH} = Q_p - Q_{II} = 655,5 - 433,7 = 221,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартні батареї конденсаторів потужністю $Q_{нб} = 112,5$ квар в кількості $N = 2$ шт. Розрахунки по інших ТП є подібними. Результати розрахунку по всім трьом варіантам наведені в табл. 8.2.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

Таблиця 8.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування БК по різним варіантам компенсації реактивної потужності

№ ТП	N _{тр}	P _р , кВт	Q _р , кВар	Q _п , кВар	Q _{кп} , кВар	N _{БК}	Тип БК	ΣQ _{БК} , кВар	K ₃	S _р , кВА
Варіант 1 N = 4										
ТП 1	2	758,51	1329,12	450,1	879,0	2	KPM-0,4-450-9 У3	900	0,69	871,48
ТП 2	2	715,02	1050,64	516,4	534,2	2	KPM-0,4-275-5 У3	550	0,69	872,86
Варіант 2 N = 5										
ТП 1,2	3	758,51	1329,12	1084,0	245,1	3	KPM-0,4-80-4 У3	240	0,70	1327,22
ТП 3	2	715,02	1050,64	516,4	534,2	2	KPM-0,4-275-5 У3	550	0,69	872,86
Варіант 3 N = 6										
ТП 1,2	3	758,51	1329,12	1084,0	245,1	3	KPM-0,4-80-4 У3	240	0,70	1327,22
ТП 3,4	3	715,02	1050,64	1113,1	-62,5	-	-	0	0,67	1270,86

9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

9.1. Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів короткого замкнення проведемо за методикою висвітленою в [1, 6].

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

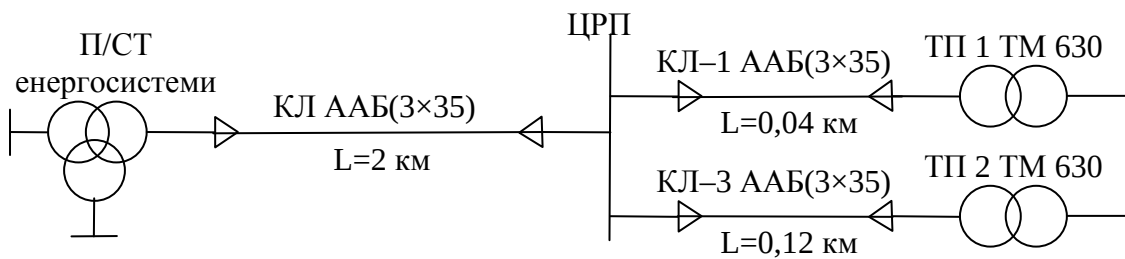


Рис. 9.1 Розрахункова схема ЦРП для розрахунку струмів к. з.

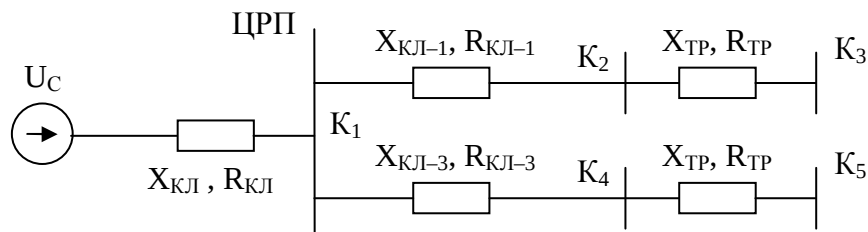


Рис. 9.2. Схема заміщення ЦРП для розрахунку струмів к. з.

Розраховуємо опори елементів для схеми заміщення:

– трансформатора ТМ 630

$$R = \frac{P_{кз} U_n^2}{S_n^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{630^2} = 1,91 \text{ Ом}, \quad Z = \frac{U_{\%} U_n^2}{S_n} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{630} = 8,7 \text{ Ом},$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{8,7^2 - 1,91^2} = 8,49 \text{ Ом}.$$

– КЛ від п/ст до ЦРП

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,095 \cdot 2}{1} = 0,19 \text{ Ом}; \quad R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,89 \cdot 2}{1} = 1,78 \text{ Ом}.$$

– КЛ від ЦРП до ТП 1

$$X = x_0 l = 0,095 \cdot 0,04 = 0,004 \text{ Ом}; \quad R = r_0 l = 0,89 \cdot 0,04 = 0,0356 \text{ Ом}.$$

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

Таблиця 11.1 Розрахунок опорів кабельних ліній.

№ КЛ	L, км	R, Ом	X, Ом
КЛ1,2	0,04	0,0356	0,004
КЛ3,4	0,12	0,1068	0,0114

Розраховуємо струм к.з. в т. К1.

Струм від енергосистеми:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}z_{рез}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,79} = 3,39 \text{ кА},$$

$$R_{екв} = R_{КЛ} = 1,78 \text{ Ом}; X_{екв} = X_{КЛ} = 0,19 \text{ Ом};$$

$$Z_{екв} = \sqrt{X_{екв}^2 + R_{екв}^2} = \sqrt{0,19^2 + 1,78^2} = 1,79 \text{ Ом}.$$

Ударний струм к. з. від енергосистеми

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 3,39(1 + e^{\frac{-0,01}{0,00034}}) = 4,79 \text{ кА},$$

$$T_a = \frac{X_{екв}}{\omega \cdot R_{екв}} = \frac{0,19}{314 \cdot 1,78} = 0,00034 \text{ 1/с}.$$

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

Таблиця 9.2. Результати розрахунку струмів короткого замкнення в мережі 10 кВ.

№ т. к. з.	$X_{екв}$, Ом	$R_{екв}$, Ом	I_{Σ}'' , кА	T_a , 1/с	$i_{y\Sigma}$, кА
1	0,19	1,78	3,39	0,00034	4,79
2	0,194	1,816	3,32	0,00034	4,695
3	8,684	3,726	16,038	0,0074	28,579
4	0,201	1,887	3,195	0,00034	4,518
5	8,691	3,797	15,979	0,0073	28,33

9.2. Вибір електричного обладнання

Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольної мережі.

Методика вибору і перевірки КЛ напругою 10 кВ детально висвітлена в [1, 6]. Виберемо кабель для лінії КЛ-1 від ЦРП до ТП №1.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

Площа поперечного перерізу кабелю КЛ-1:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{26,8}{1,4} = 19,2 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{930,08}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 26,8 \text{ А}.$$

При $T_{\max} = 4714 \text{ год} - J_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$

Приймається кабель ААБ (3×35) мм² з допустимим довготривалим струмом $I_{дон} = 115 \text{ А}.$

Перевірка кабелю КЛ-1 за струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{дон} \quad 26,8 \text{ А} \leq 105,8 \text{ А}$$

$$I_{дон} = K_{II} I_{дон}' \quad I_{дон} = 0,92 \cdot 115 = 105,8 \text{ А}$$

де K_{II} – коефіцієнт прокладання, що враховує зниження допустимого струмового навантаження при одночасному прокладанні декількох кабелів в одній траншеї. Обирається за таблицею 7.17. [5]

Перевірка кабелю КЛ-1 за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{ав} \leq K_{ан} I_{дон} \quad 2 \cdot 26,8 \leq 1,3 \cdot 115 \quad 53,6 \leq 152,1$$

$K_{ав}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження кабелю, приймаємо $K_{ав} = 1,3.$

Мінімальна площа поперечного перерізу кабелю КЛ-1 за умовою термічної стійкості від дії струмів КЗ:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{92} \sqrt{20,8 \cdot 10^6} = 49,5 \text{ мм}^2,$$

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

B_k – тепловий імпульс, який можна обчислити за формулою:

$$B_k = I_{н.о.}^2 (t_{отк} + T_a) = 3,39^2 (0,5 + 0,0) = 5,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Всі інші кабелі системи електропостачання корпусу обираються аналогічно, а розрахунки зведені до табл. 9.3.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

Таблиця 9.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ, для електропостачання корпусу.

№ КЛ	S _p , кВА	n	I _p , А	I _{p.ав} , А	F _{ек} , мм ²	Марка кабелю	I _{доп} , А	K _п	K _п I _{доп}	K _з	K _{ап}	K _п '	K _{ап} K _п 'I _{доп}	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²
КЛ-1,2	911,6	2	26,3	52,6	19	ААБ(3×35)	115	0,92	105,8	0,25	1	1,3	149,5	5,75	26
КЛ-3,4	1270,9	2	36,7	73,4	26	ААБ(3×35)	115	0,92	105,8	0,35	1	1,3	149,5	5,75	26

Вибір вимикачів.

Методика вибору і перевірки високовольтних вимикачів викладена в [1, 6].

На вводі 10 кВ встановлюються вакуумні вимикачі VM–1S. Розрахунки по вибору і перевірці вимикача наведені в табл. 9.4. та 9.5.

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

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
81,9 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
3,39 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
4,79 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
3,39 кА	$I_{п\tau} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 3,39 + 0 = 4,79\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{ном\tau} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н\відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_k \leq I_k^2(t_{від} + t_{p3}) =$ $= 3,39^2(1,5 + 0,045) =$ $= 17,8\text{кА}^2\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Таблиця 9.5. Вибір вимикачів на лініях до ТП від ЦРП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
73,4 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
3,39 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
4,79 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
3,39 кА	$I_{п\tau} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 3,39 + 0 = 4,79\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{ном\tau} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н\відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_k \leq I_k^2(t_{від} + t_{p3}) =$ $= 3,39^2(1,5 + 0,045) =$ $= 17,8\text{кА}^2\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

$$i_{at} = \sqrt{2} I'' e^{-\frac{\tau}{T_d}} = \sqrt{2} \cdot 3,39 e^{-\frac{0,01}{0,00034}} = 0 \text{ кА}$$

Параметри шафи з вакуумними вимикачами VM–1S:

Номінальний струм головних кіл - 1600 А;

Номінальна напруга - 10 кВ;

Стійкість головних кіл при наскрізних струмах:

Термічна на протязі 3 сек. - 20 кА;

Номінальний струм відключення вимикачів - 20 кА;

Електромеханічна - 52 кА.

Вибір розрядників.

На напругу 10 кВ встановлюємо розрядники типу РВО – 10 для захисту трансформаторів напруги з наступними параметрами:

Номінальна напруга - $U_{ном} = 10 \text{ кВ};$

найбільша допустима напруга - $U_{доп} = 12,7 \text{ кВ};$

пробивна напруга - $26 \leq U_{пр} \leq 30,5 \text{ кВ};$

імпульсна напруга пробивна напруга - $U_{ім} = 48 \text{ кВ}.$

Вибір трансформаторів власних потреб ЦРП.

Вибір трансформаторів власних потреб проведемо за методикою викладеною в [1, 6]. Розрахунок навантаження власних потреб для ЦРП корпусу проведено в стандартному табличному вигляді та наведено в табл. 9.6.

Таблиця 9.6. Навантаження власних потреб ЦРП корпусу.

№ п/п	Споживач	Р, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП	14×1	0
2	Навантаження, що споживається оперативними колами	2	0
Всього		16	0

Загальна розрахункова потужність споживачів для трансформатора власних потреб складе:

$$S_{розр} = K_C \sqrt{(P_{встp}^2 + Q_{встp}^2)} = 0,8 \sqrt{16^2 + 0^2} = 12,8 \text{ кВА.}$$

Потужність трансформатора власних потреб повинна бути більше за:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{12,8}{1,4} = 9,14 \text{ кВА.}$$

Обираємо трансформатор ТМ – 25/10 з такими параметрами:

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

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

Трансформатор власних потреб обраний з завищеною потужністю адже це найменша потужність, якою обладнуються комірки КРЗ-10.

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_{роз}}{n S_{ном}} = \frac{12,8}{2 \cdot 25} = 0,256.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		60

10. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОАУДИТУ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК.

Оцінка застосування стиснутого повітря та частки електроенергії, що витрачаються на його виробництво, від загального її споживання в деяких галузях промисловості приведені в табл. 10.1.

Таблиця 10.1. Частка електроенергії на виробництво стиснутого повітря.

№	Галузь виробництва	Частка, %
1	Виробництво тарного скла	20%
2	Машинобудування	12%
3	Виробництво продуктів харчування і напоїв	9%
4	Виробництво гуми і пластмас	10%
5	Виробництво хімікатів	8%

У той же час, у таких галузях промисловості, як вугільна, чорна і кольорова металургія, хімічна і нафтохімічна промисловість при меншій частці витрат електроенергії на виробництво стиснутого повітря в загальному балансі електроспоживання абсолютні значення витрат досить великі.

Таким чином, потенціал скорочення втрат електроенергії в системі стиснутого повітря дуже великий (до 30%) і ця обставина є основою для обов'язкового включення цієї системи в перелік об'єктів для проведення енергоаудиту.

Слід зазначити, що виробництво стиснутого повітря, з погляду енергетичної ефективності, є не вигідним. За рахунок значних втрат від джерела стиснутого повітря, як споживача електроенергії (привід компресора), до кінцевого споживача вартість стиснутого повітря приблизно в 50 разів перевищує ціну викопного палива й у 15 разів – ціну на електроенергію. Фактично в кінцевій точці споживання стислого повітря використовується лише 10% витраченої енергії.

Система стиснутого повітря підприємства

Система стиснутого повітря підприємства включає одну або кілька компресорних установок, магістральну та розподільні системи з арматурою.

До складу компресорної установки входять: компресор, його привід, пристрій контролю, допоміжне устаткування (всмоктувальний фільтр, повітряні і масляні охолоджувачі, насоси системи масло змащування й охолодження, мастилопроводи системи змащення, всмоктувальний повітропровід).

Повітророзподільна мережа включає магістральні і розподільчі повітропроводи, повітрозбірники (ресивер), охолоджувач повітря, осушувач повітря й ін.

Допоміжне устаткування

Повітрозбірники

Повітрозбірники виконують три основні функції:

- працюють як вторинні охолоджувачі;
- створюють більш стабільний тиск, ефективно працюючи як демпфери пульсацій;
- утворюють накопичувальну ємність.

У повітрозбірник повітря надходить після доохолоджувача і додатково охолоджується в самому приймачі. У тих системах, де компресорна установка мала, доохлоджувач може не встановлюватися, тим самим, роблячи приймач місцем, де збирається велика частина конденсованої рідини.

Осушувачі повітря

Атмосферне повітря містить воду: в одному кубічному метрі вільного насиченого повітря при температурі 15°C знаходяться 12,5 г води. Якщо взяти компресор продуктивністю 500 л/с (1880 м³/год) повітря, то кількість води в ньому складе 22,5 л/год. Для того, щоб забезпечити видалення значно більшої кількості води зі стиснутого повітря, необхідно після доохлодження пропустити повітря через осушувач.

Існують три основних типи осушувачів, що мають різні області застосування і режими роботи: вологовбирні; охолоджуючий; регенеративні, що осушують.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

Вологовбирний осушувач. Принцип роботи вологовбирних осушувачів заснований на пропущенні стиснутого повітря через розчинну речовину, наприклад, сіль, що розчиняється в міру поглинання вологи. Основна перевага таких осушувачів полягає в тім, що вони не споживають додаткової енергії, крім тієї, котра необхідна для подолання перепаду тисків у розподільній системі (0,01÷0,04 МПа). При цьому немає втрат в обсязі повітря. Однак вони не є регенеративними, тому вологовбирний матеріал повинний періодично мінятися, що спричиняє витрати на працю і матеріали. Вологовбирні осушувачі є найменш дорогими і енергоефективними, але забезпечують точку роси приблизно лише на 12°C нижче температури повітря на вході.

Охолодний осушувач. Охолодні осушувачі є найбільш простими і найбільш розповсюдженими для осушення стиснутого повітря. Вони дозволяють досягти точки роси в 2°C при пропущенні стиснутого повітря над охолодним змійовиком з метою конденсації вологи. Ці агрегати відносяться до числа найбільше енергоефективних. У них використовується принцип теплообміну зустрічних потоків для зменшення витрат на охолодження. Вони також відносно недорогі і характеризуються низькими капітальними й експлуатаційними витратами.

На рис. 10.1 представлена типова схема охолодної осушувальної системи:

- осушувач розташований після повітроприймача. Перевага такого розташування в тім, що повітроприймач вже зменшив зміст води в повітрі, тим самим, зменшивши навантаження на осушувач;
- відповідні відстійники розташовані між компресором і осушувачем для того, щоб уся конденсована волога була вилучена до того, як повітря надійде на осушувачі.

Регенеративний осушувач. У регенеративних або осушувачах, що збезводнюють, для видалення вологи зі стиснутого повітря використовується адсорбуючий матеріал, наприклад, активований оксид алюмінію або силікагель. Традиційно вони містять дві вежі, наповнені визначеним матеріалом. Одна вежа осушує повітря, у той час як інша піддається регенерації, нагріваючи вологопоглинач або продуваючи його сухим повітрям.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

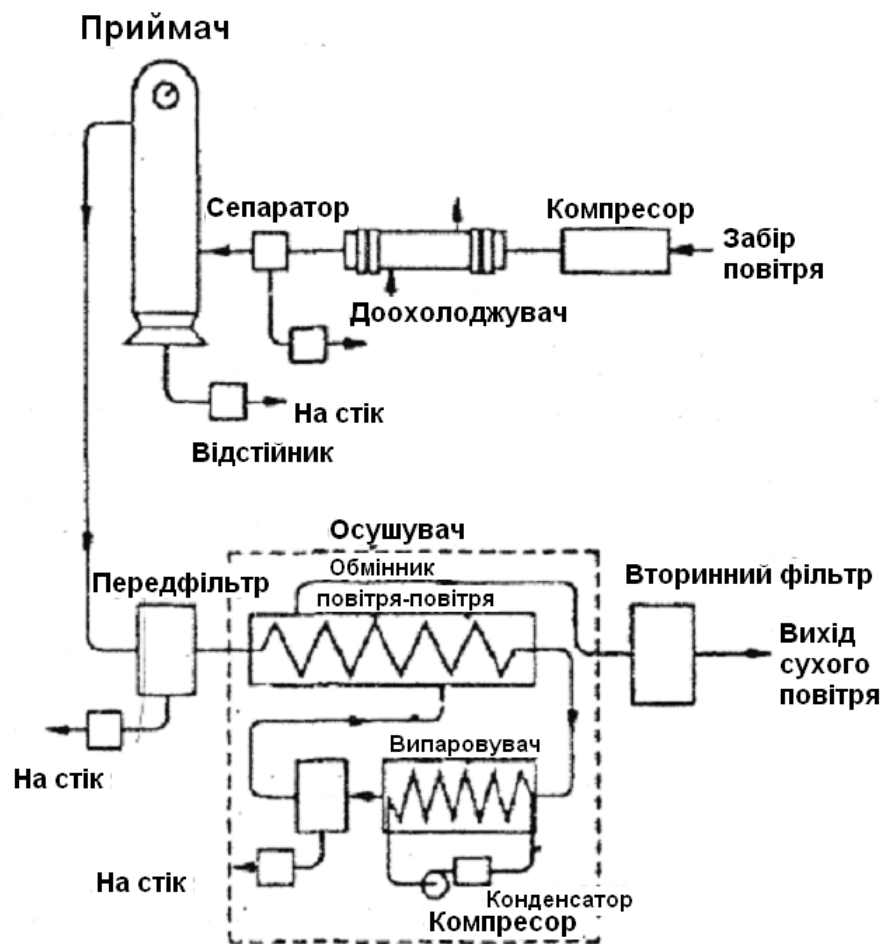


Рис. 10.1. Схема сушки повітря.

Основною перевагою є те, що вони подають повітря з найнижчою точкою роси (до -40°C), тобто саме сухе повітря. У той же час, регенеративні вологовбирні осушувачі є найбільш дорогими по капітальних витратах і найменш ефективними по енерговитратах у порівнянні з всіма іншими типами осушувачів.

Розподільчі лінії

Максимальний потік повітря визначається виразом

$$Q = 3 \cdot 10^{-3} (P+1) D^2,$$

де Q – потік повітря, $\text{м}^3/\text{хв}$; D – внутрішній діаметр труби, мм ; P – тиск повітря (відповідно до показань манометра), МПа .

Як приклад, на рис. 10.2 приведений графік рекомендованого потоку повітря в залежності від діаметра трубопроводу для тиску $0,7\text{МПа}$ (швидкість, що рекомендується, $\sim 0,6\text{ м/с}$).

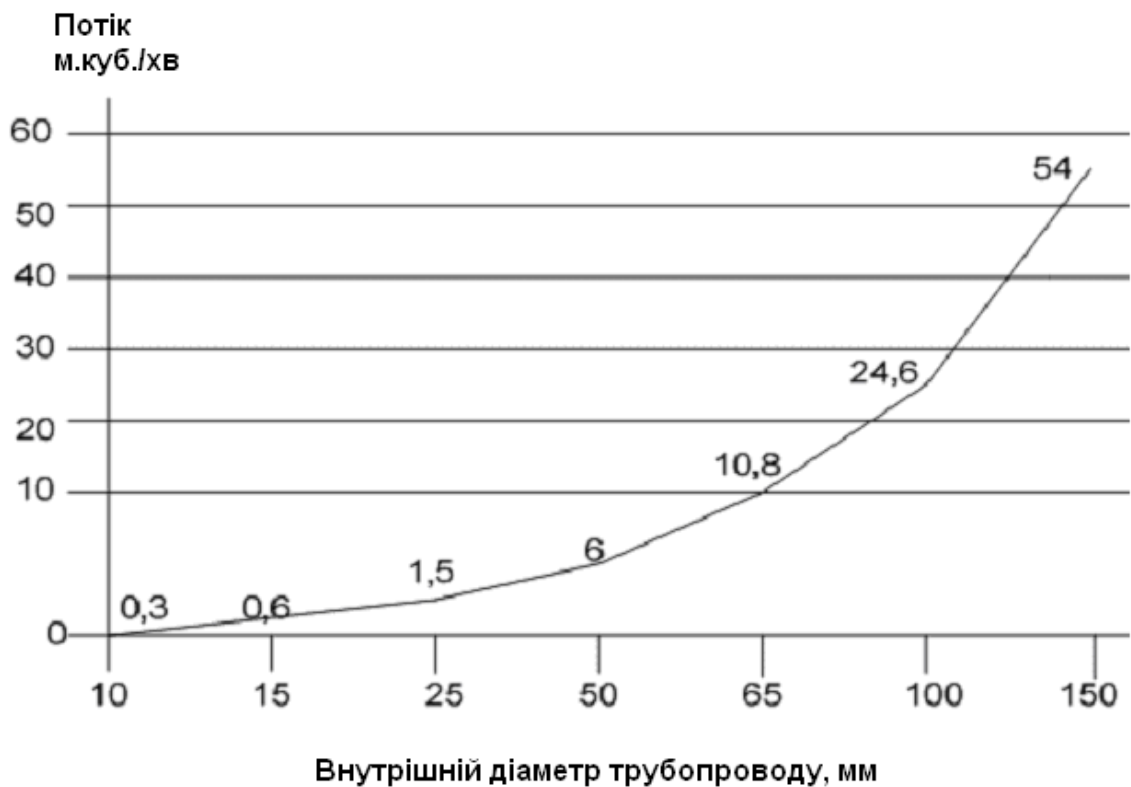


Рис. 10.2. Максимальні швидкості повітря, що рекомендуються.

В табл. 10.2 представлені приклади втрат енергії для різних діаметрів труб при витраті 15 м³/хв. повітря з тиском 0,7 МПа.

Таблиця 10.2. Порівняльний аналіз втрат енергії.

Внутрішній діаметр трубопроводу, мм	Перепад тиску на 100 мм, МПа	Еквівалентна потужність компресора, кВт
40	1,8	9,5
50	0,065	3,4
65	0,022	1,2
80	0,004	0,2
100	0,002	0,1

Втрати на витік

Витік є самим серйозним одиничним фактором енергетичних втрат, зв'язаних з використанням стиснутого повітря. Дуже часто втрати на витоки перевищують 50% енергії, споживаної на промисловому об'єкті. Причин для цього багато. Найбільш розповсюджені наступні:

– відкрито дренажні клапани для стоку води і клапани, що відтинають;

- течі шлангів і з'єднань трубопроводів;
- постійно відкриті трубопроводи охолодження повітря;
- робота устаткування, що використовує повітря, коли в цьому немає необхідності.

Важливо, шляхом регулярного виявлення й усунення витоків підтримувати втрати на мінімальному рівні. Ревізію всієї розподільної системи варто проводити не рідше одного разу в три місяці. Витік – це не тільки джерело енергетичних утрат, але і фактор непрямого впливу на експлуатаційні витрати. В міру їх збільшення, тиск у системі падає, пневматичні інструменти працюють менш ефективно, що негативно позначається на виробничому процесі. Єдиним рішенням стає збільшення робітника тиску, щоб компенсувати втрати.

Обсяг повітря, що протікає через "свищі", (Q , м³/с) можна визначати за формулою:

$$Q = F \sqrt{\frac{2kP_1\rho_1}{k-1}} \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \left(\frac{P}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

де F – площа отвору еквівалентного діаметра, м; P , P_1 – тиск в середовищі, куди відбувається витікання й у системі стиснутого повітря, відповідно, кН/м²; $k=1,4$ – постійна адіабати; ρ – щільність повітря при тиску в системі, кг/м³. Або за спрощеною формулою:

$$Q = \mu F \sqrt{2g(P_2 - P_1)}, \text{ м}^3/\text{с},$$

де μ – коефіцієнт витрати, значення якого $0,6 \div 0,9$, причому більше значення для малих отворів ($0,8 \div 0,9$).

Втрати електроенергії за рахунок витоку повітря через нещільності $\Delta \mathcal{E}$, кВт орієнтовно можна визначити з графіка рис. 10.3 або за формулою:

$$\Delta \mathcal{E} = a \cdot n \cdot \omega \cdot t, \text{ кВт}$$

де a – коефіцієнт витрати повітря через нещільності, м³/хв; n – кількість точок, де потрібно усунути витоки; t – час, протягом якого повітропровід знаходиться під тиском, год; ω – питома витрата електроенергії на вироблення 1 м³ стиснутого повітря, кВт год/м³.

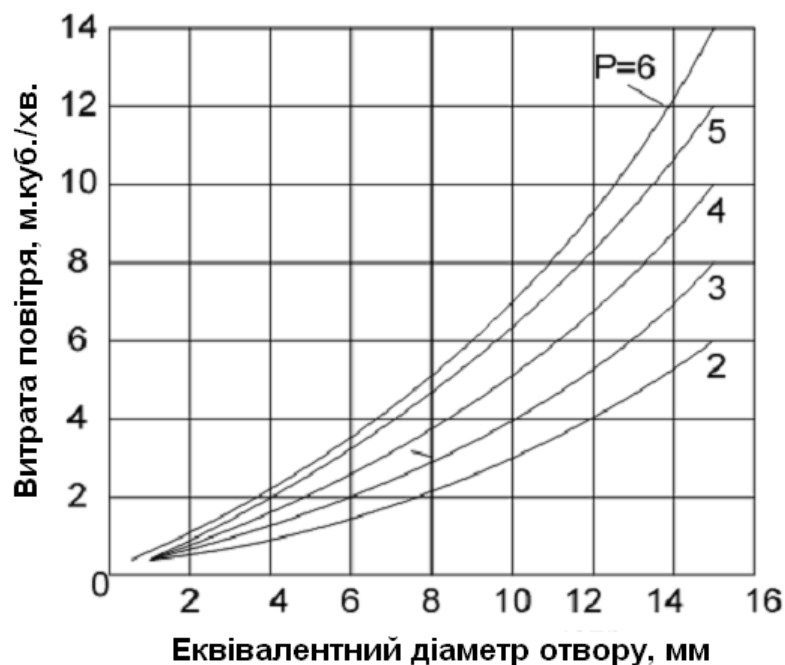


Рис. 10.3. Графік для визначення витоків.

Представлений графік наочно ілюструє важливість обов'язкової періодичної ревізії систем стиснутого повітря з метою зниження втрат електроенергії. Це особливо важливо на підприємствах з потужними компресорними станціями і великою довжиною мереж.

Вибір потужності, споживаної компресором

Для вибору найбільш підходящого компресора ключовим фактором є постійний контроль щоденних коливань навантажень. Існує ряд емпіричних правил роботи компресорів:

- відключення електродвигуна, якщо це дозволяє інструкція з експлуатації, коли час роботи без навантаження занадто великий;
- застосування прогнозованого переключення;
- узгодження продуктивності з навантаженням шляхом вибору компресора найближчої потужності;
- експлуатація компресора в режимі двохпозиційного регулювання (не плавного регулювання), якщо це можливо.

Визначення потужності відцентрових і осьових компресорів

Необхідна потужність осьових і відцентрових компресорів визначається з виразу:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67

$$N_{\text{роб}} = k \frac{G_T C_p (T_H - T_{\text{BC}}) + Q}{0,24 \eta_M},$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати тепла в навколишнє середовище ($1,01 \div 1,02$ – для великих осьових компресорів; $1,08 \div 1,1$ – для невеликих відцентрових машин); G_T – фактична витрата повітря, що проходить через компресор з урахуванням витоків, кг/с; $C_p = \gamma \frac{293}{273 + t_H} P$ – теплоємність повітря при постійному тиску і різних значеннях температури, вибирається за табл. 10.3; T_H – температура повітря в напірному патрубку, К; T_{BC} – температура повітря на всмоктуванні компресора, К; Q_t – кількість теплоти, відданої охолодній воді, визначається за формулою $Q_t = G_v \cdot C_p (t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}})$, де G_v – кількість охолодної рідини, кг/с; $t_{\text{вих}}$, $t_{\text{вх}}$ – температура охолодної води на виході і на вході в холодильник, °С; C_p – теплоємність води, Дж/кг град; P – абсолютний тиск повітря в місці виміру, кг/см²; γ – щільність повітря, кг/м³; V – обсяг повітря по витратоміру, м³/с; t_H – температура повітря, °С; η_M – механічний ККД компресора, ($0,97 \div 0,98$).

Таблиця 10.3. Теплоємність повітря, C_p , Дж/кг°С.

P , кг/см ²	t , °С			
	18	38	58	124
1	0,241	0,241	0,241	0,241
10	0,247	0,245	0,244	0,243
15	0,250	0,248	0,247	0,244
30	0,261	0,257	0,254	0,247
70	0,285	0,278	0,271	0,258
100	0,302	0,292	0,281	0,264
150	0,323	0,309	0,295	0,270
200	0,347	0,326	0,309	0,283

Визначення потужності поршневих компресорів

Потужність поршневих компресорів визначається за формулою, кВт:

$$N_{\text{роб.маш}} = \frac{N_{\text{мех}}}{\eta_{\text{мех}}},$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД компресора.

В залежності від потужності і конструкції компресора його механічний ККД коливається в межах від 0,8 до 0,95:

- середні і великі компресора вертикального або кутового типу у виконанні (від 10 м³/хв і вище) – 0,9÷0,95;
- горизонтальні багатоступінчасті – 0,88÷0,93;
- малі (до 10 м³/хв) – 0,8÷0,85.

Менші значення $\eta_{\text{мех}}$ відносяться до компресорів меншої продуктивності, великі – до більшого. Зі співвідношення $N_{\text{инд}} = N_{\text{ном}} (1 + \Delta C_{\text{инд}})$ визначається індикаторна потужність компресора. Де $\Delta C_{\text{инд}}$ – коефіцієнт втрат індикаторної потужності для повітря; а $N_{\text{ном}}$ – номінальна потужність, що визначають за формулою:

$$N_{\text{ном}} = 1,639 P_{\text{BC}} V_{\text{h}} \lambda_{\text{vlg}} \frac{k}{k-1} \left(\epsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

де P_{BC} – тиск повітря на вході в ступінь, кг/см²; $V_{\text{h}} = f \cdot h \cdot n$ – хвилинний робочий об'єм, м³/хв, f – робоча площа поршня, м², h – хід поршня, м, n – частота обертання компресора, об/хв; $\lambda_{\text{vlg}} = 1 - a \left(\epsilon^{\frac{1}{k}} - 1 \right)$ – коефіцієнт подачі, де a – відносна величина мертвого простору, $k=1,4$ – показник адіабати стиснутого повітря.

Тиск нагнітання першої ступені компресора визначається за виразом

$$P_{\text{НАТ}_1} = P_{\text{BC}_2} = \sqrt[n]{P_{\text{НАГН}}},$$

де P_{BC_2} – тиск всмоктування другої ступені компресора, кг/см²; $P_{\text{НАТ}_1}$ – тиск нагнітання компресора, кг/см²; n – число ступіней компресора.

На рис. 10.4 представлена залежність коефіцієнта втрат індикаторної потужності від тиску на вході компресора.

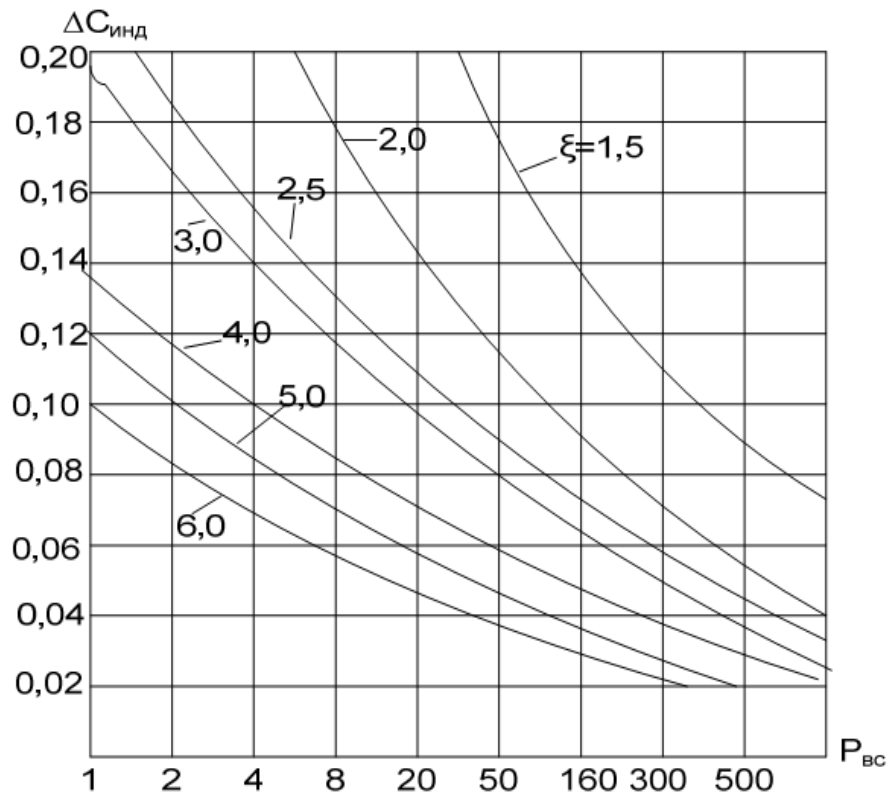


Рис. 10.4. Залежність $\Delta C_{\text{инд}}$ від $P_{\text{вс}}$.

У загальному виді, при проведенні енергетичних обстежень існуючого устаткування, витрати електроенергії на роботу одиничного компресора $W_{\text{к}}$, кВт·год оцінюють шляхом проведення вимірів добового навантаження або за паспортними даними (для попередньої оцінки), використовується показник питомої витрати електроенергії на виробництво 1 м^3 повітря й облік робочого часу.

$$W_{\text{комп}} = \frac{A \cdot Q_{\text{к}} \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{д}}}$$

де A – питома витрата електроенергії, необхідної на стиск 1 м^3 повітря, кВт·год/ м^3 ; $Q_{\text{к}}$ – продуктивність компресора (визначається за паспортом або звітові по налагодженню), $\text{м}^3/\text{хв}$; τ – число годин роботи компресора за розрахунковий період, год; $\eta_{\text{к}}$ – ККД компресора (для поршневих $0,6 \div 0,8$; для турбокомпресорів $0,6 \div 0,7$); $\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі ($0,95 \div 0,97$); $\eta_{\text{д}}$ – ККД електродвигуна ($0,95 \div 0,97$).

Для компресорної станції, що складає з n компресорів, витрати електроенергії $W_{\text{ст}}$, кВт·год складають:

$$W_{\text{ст}} = \sum_1^n W_{\text{комп}} + (1 + K_{\text{доп}}), \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $K_{\text{доп}} = \frac{N_{\text{всп}}}{N_{\text{уст}}}$ – питома частка встановленої потужності допоміжного

устаткування до встановленої потужності компресорів.

До допоміжного устаткування відносяться: електродвигуни системи охолодження, змащення, приводів арматури, освітлення і вентиляція приміщень.

Системи керування роботою компресорів

З огляду на, що сучасне підприємство має, як правило, компресорну станцію з декількома компресорами, однієї з задач ефективної роботи системи стиснутого повітря є керування компресорами.

Основні системи керування компресорами наступні:

- традиційне (таймерне) керування;
- плавне керування;
- прогнозоване переключення;
- ротаційна послідовність циклу;
- на вибір потужності;
- переключення компресорів;
- каскадне регулювання тиску.

Традиційне керування

При регулюванні зі знятим навантаженням, існують попередньо встановлені границі тиску, при яких компресор відключається від навантаження при підвищеному тиску і знову підключається до навантаження при зниженому тиску.

Основним недоліком є те, що ненавантажений компресор як і раніше споживає 20-40% номінальної потужності (тобто потужності при повному навантаженні) у випадку двохпозиційного (релейного) керування і 70% у випадку плавного регулювання.

Традиційне керування з таймером "роботи двигуна"

Можливий спосіб скорочення тривалості періодів з відключенням навантаження припускає установку таймера "роботи двигуна". Якщо визначений компресор знаходиться в стані відключення від навантаження протягом часу, що

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		71

перевищує попередньо установлену величину, електродвигун буде автоматично зупинятися. Часті зупинки і пуски можуть зашкодити електродвигуну, тому таймер повинний встановлюватися на час не менш 12 хвилин. Компресор автоматично включається, коли з'являється навантаження.

Плавне і прогнозоване керування

Традиційно найбільш розповсюдженими формами керування є плавне або двохпозиційне керування. Плавність досягається за рахунок регулювання відкриття вхідного дросельного клапана. Двохпозиційне (релейне) керування досягається шляхом повного відкриття клапана на вході або його повному закритті в залежності від навантаження або за допомогою механічної взаємодії всмоктувальних клапанів на циліндрах низького і високого тиску.

У випадку плавного керування положення клапана регулюється у функції сигналу тиску, щоб підтримувати вихідний тиск на постійному попередньо встановленому рівні. При відключенні від навантаження (у режимі холостого ходу) вхідний клапан цілком закривається, хоча електродвигун компресора продовжує працювати.

Прогнозоване переключення компресорів забезпечує найбільш ефективне рішення, однак вимагає досить складного виміру навантажень. З метою спрощення процесу застосовують ряд емпіричних правил, що забезпечують мінімізацію витрат енергії на виробництво стислого повітря:

- відключати двигун на початку наступного періоду без навантаження, якщо цей період досить великий;
- застосовувати ротаційну послідовність;
- погоджувати продуктивність і навантаження, шляхом вибору компресора з найближчою потужністю;
- використовувати, якщо можливо, компресор у режимі двохпозиційного, а не плавного пуску.

Ротаційна послідовність і підходи до вибору потужності компресора

У випадку великої кількості компресорів і досить стабільному навантаженню застосовується метод, називаний "ротаційна послідовність".

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		72



Рис. 10.5. Ротаційна послідовність.

На схемі рис. 10.5 для порівняння показаний каскадний і ротаційний метод регулювання. На верхній схемі видно, що частина компресорів працює без навантаження, коли інша відключена. Однак, при роботі без навантаження має місце витрата електроенергії.

При ротаційному способі (нижня схема) є компресори, які працюють без навантаження.

У випадку наявності на підприємстві декількох компресорів різної потужності дуже важливим є, з погляду ефективного використання енергії, вибір найбільш підходящого компресора для переважаючого (характерного) навантаження. При цьому варто також враховувати відносну ефективність (ККД) окремих компресорів.

Нижче розглянуті найбільш ефективні заходи, впроваджувані у виробництві й експлуатації системи стиснутого повітря.

Рекомендації зі зниження витрат енергії

Зниження номінального робочого тиску компресорної установки

Споживачів стиснутого повітря з загальновиробничій мережі, які за звичай потребують різний номінальний тиск, можна підрозділити на дві категорій:

- споживачі об'ємної витрати;
- споживачі постійного тиску.

Втрати енергії при використанні завищеного тиску повітря в системі, відносно номінального визначається виразом (ΔW , кВт·год/рік):

$$\Delta W = \frac{1,1(A_1 - A_2)Q_k \cdot \tau \cdot 60}{3,6 \cdot 10^6 \eta_c \eta_m \eta_d \eta_i},$$

де A_1, A_2 – робота стиску 1 м^3 свіжого повітря в залежності від тиску, обумовлена по характеристиці компресора, Дж/м³; Q_k – подача компресора, м³/хв; τ – час роботи компресора, год. на рік; η_c, η_d – ККД електричної мережі й електродвигуна (0,8÷0,99); η_m – ККД компресора механічний (0,85÷0,95); η_i – індикаторний ККД (0,83÷0,87); 1,1 – коефіцієнт, що враховує додаткову витрату електроенергії в зв'язку зі зносом устаткування компресора і додатковим електроустаткуванням.

Одним зі способів регулювання тиску служить каскадне регулювання.

Каскадне регулювання тиску

Найнижчий тиск у компресорній визначається мінімальним тиском, необхідним для найбільш важливої одиниці устаткування, що у багатьох випадках складає 0,58МПа. Щоб його забезпечити, тиск у компресорній (тобто тиск у системі регулювання) повинний бути, наприклад, на 0,07МПа вище цієї величини для компенсації втрат тиску в лінії в критичній точці розподільної мережі. Крім того, такий низький припустимий тиск у системі регулювання компресору повинний враховувати випадки, коли витрата повітря найвища і, відповідно, втрати на розподіл також найвищі.

Незважаючи на визначені переваги каскадного регулювання по мінімізації витрат енергії, він не позбавлений недоліків. Чим більше компресорів, тим вище будуть втрати. Найбільш важливим критерієм, обов'язковим для виконання, є умова забезпечення необхідного тиску у кінцевого споживача. Цей критерій повинний виконуватися протягом всього періоду роботи виробництва.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		74

Втрати електроенергії від зниження ККД компресора в порівнянні з паспортним

При тривалій роботі компресора через знос деталей знижується ККД, що приводить до додаткових витрат електроенергії, які складуть:

– для поршневих машин:

$$\Delta W = \frac{k \cdot A \cdot Q_k \cdot 60(\eta_k - \eta_{k.ф.})}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_d \cdot \eta_k \cdot \eta_{k.ф.}} \tau_k, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $k = 1,1 \div 1,2$ – коефіцієнт запасу потужності; $\eta_{k.ф.}$ – фактичний ККД компресора, обумовлений з виразу:

$$\eta_{k.ф.} = \frac{k \cdot A \cdot Q_k \cdot 60}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_i \cdot \eta_d \cdot N_{\phi}}$$

де $N_{\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1000}$ – фактична потужність споживана електродвигуном компресора з мережі, кВт (визначається в результаті вимірів або аналітично); U – напруга мережі, В; I – струм фактичний, що споживається компресором, А; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності електродвигуна компресора.

– для осьових машин (турбокомпресорів) перевитрата електроенергії від зниження ККД визначається як:

$$\Delta W = \frac{L_{из} \cdot Q_k \cdot 60(\eta_i - \eta_{из.ф.})}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_d \cdot \eta_{из} \cdot \eta_{из.ф.}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $L_{из}$ – робота ізотермічного стиску, Дж/м³; $\eta_{из}$, $\eta_{к.ф.}$ – ізотермічний ККД циклу стиску, номінальний (паспортний) і фактичний, дорівнює

$$\eta_{из.ф.} = \frac{L_{из} \cdot Q_k \cdot 60}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_d}$$

Роль температури стиснутого повітря

Вплив температури стиснутого повітря на конкретних ділянках системи робить різний ефект. Тому температура стиснутого повітря в проміжних холодильниках, наприклад, не повинна перевищувати +60°C – для поршневих компресорів і +70°C – для турбокомпресорів. Зниження температури стиснутого повітря в проміжних холодильниках на кожні 6°C приводить до економії

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		75

електроенергії приблизно на 1%. Перепад між температурою стиснутого повітря на виході з холодильника й охолоджуючою водою, не повинний перевищувати 5-10°C. Його збільшення до 20°C приводить до перевитрати електроенергії до 14% при рівнозначних інших умовах.

Перевитрата електроенергії (ΔW , кВт·год/рік) при перевищенні температури повітря на виході з проміжного холодильника можна визначити:

– для поршневого компресора як:

$$\Delta W = \frac{[N_{\phi} \cdot (t - 60) \cdot 0,01] \cdot \tau}{6}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де t – температура повітря на виході з проміжного холодильника, °C; N_{ϕ} – фактично споживана електродвигуном потужність, кВт;

– для турбокомпресора:

$$\Delta W = \frac{[N_{\phi} \cdot (t - 70) \cdot 0,01] \cdot \tau}{7}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Перевитрата електроенергії при збільшенні перепаду температури охолодної води визначається (з умови 0,7% на кожен градус) як

$$\Delta W = 0,007 \cdot [(t_{\text{пов}} - t_{\text{H}_2\text{O}}) - 10] \cdot \tau \cdot N_{\phi}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $t_{\text{пов}}$ – температура повітря після проміжного холодильника, °C; $t_{\text{H}_2\text{O}}$ – температура охолодної води на виході.

Зниження температури повітря на всмоктуванні в компресор.

Місце забору повітря для компресора повинне знаходитися поза зоною підвищеної запиленості, удалині від цехів, будівель і стін з великим тепловиділенням. Прокладку усмоктувального трубопроводу необхідно здійснювати в затемнених місцях, на північній стороні будинків. У випадку проходження всмоктуючого повітропроводу через зону підвищеного тепловиділення, його варто ізолювати, аж до штучного охолодження. Результати проведених досвідчених досліджень свідчать, що зниження температури повітря на всмоктуванні на кожні 4 °C знижує енергоспоживання на 1%.

Підвищення температури стиснутого повітря перед споживачем.

Одним з напрямків зниження енерговитрат є підігрів стиснутого повітря перед споживачем, що підвищує його тиск перед споживачем і, отже, дозволяє

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		76

заощаджувати витрати на електроенергію. Річна економія електроенергії (ΔW , кВт·год/рік) може бути визначена з виразу:

$$\Delta W = 0,22 \cdot Q \cdot \Delta T_{\text{ср}} \cdot W_0 \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік},$$

де Q – витрата стиснутого повітря, м³/хв; $\Delta T_{\text{ср}}$ – середнє підвищення температури повітря, °С; W_0 – питома витрата електроенергії на виробництво 1м³ стиснутого повітря, кВт·год/м³; τ – кількість годин роботи компресора в рік, год.

Підігрів стиснутого повітря перед споживачем до 150 °С може бути здійснений за рахунок вторинних енергоресурсів. При цьому економія електроенергії може скласти 15-20%, а при нагріванні на 50 °С – 10%.

Резонансне наддування поршневих компресорів

Особливістю роботи поршневих компресорів є наявність у поршня змінної швидкості, що змінюється від 0 до $\max$ і від $\max$ до 0, що створює коливання повітря. З іншого боку система, що всмоктує компресора має власну частоту коливань. При збігу або кратності частоти коливань стовпа повітря з власною частотою усмоктувального повітропроводу настає резонанс, при якому виникають стоячі хвилі, що підвищують тиск повітря перед клапаном. За рахунок цього ефекту наповнення циліндрів збільшується і продуктивність зростає.

Необхідна резонансна довжина усмоктувального трубопроводу визначається виразом: $l = \lambda/4$, де λ – довжина звукової хвилі, дорівнює $\lambda = a/v$, м; a – швидкість звуку в повітрі (при $t = 20^\circ\text{C}$ рівна 344 м/с); $v = n_b/60$, Гц – частота імпульсів, що підсилюють коливання звукової хвилі; n_b – частота обертання валу компресора, об/хв. Наявність резонансного наддування підвищує продуктивність компресора на 5÷8% при одночасному зниженні витрат електроенергії на 5%.

Втрати електроенергії при відхиленні довжини усмоктувальної ділянки від резонансної складають, $\Delta W = 0,05 N_{\phi} \cdot \tau$, кВт год.

Контроль параметрів при проведенні енергоаудиту системи стиснутого повітря

При проведенні енергоаудиту системи стиснутого повітря необхідно:

– ознайомитися з технічною документацією устаткування;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		77

– системою контролю керуванням електроприводом компресора, що поділяється на чотири категорії:

а) контроль включення (відключення) – використовується, головним чином, на невеликих поршневих компресорах;

б) контроль з навантаженням/без навантаження – використовується у великих поршневих компресорах.

с) контроль повної/половини навантаженням/без навантаження – є підваріантом попереднього з метою зниження рівня вироблення стиснутого повітря;

д) контроль повного регулювання – застосовується при роботі з роторним, гвинтовими і турбокомпресорами. Дозволяє забезпечити виробництво повітря у відповідності з попитом: для цього звичайно регулюється робочий обсяг циліндрів гвинта або турбіни, хоча на деякому устаткуванні використовуються електродвигуни з змінною швидкістю.

– Визначити за даними на таблиці потужність електродвигуна.

– Визначити коефіцієнт середнього навантаження. Для цього вимірюється час роботи на різних стадіях контрольного режиму (протягом 20-30 хв) або за даними виробника і фактичної потужності електродвигуна. Результати заносяться в таблицю.

– З робочих журналів визначається річне число роботи компресора.

Результати заносяться в табл. 10.4.

Таблиця 10.4. Рівень завантаження компресора.

Рівень завантаження	Секунди	%	N_{ϕ}	Стиснене повітря, m^3
Повне завантаження				
Половинне завантаження				
Без завантаження				
Всього				

– Визначається середньозважене споживання електроенергії за цикл роботи компресора:

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{ф.п.з.}} \cdot \tau_{\text{п.з.}} + N_{\text{ф.1/2.з.}} \cdot \tau_{\text{1/2.з.}} + N_{\text{ф.б.з.}} \cdot \tau_{\text{б.з.}}}{\tau_{\text{п.з.}} + \tau_{\text{1/2.з.}} + \tau_{\text{б.з.}}}, \text{ кВт.}$$

Аналогічно можна визначити середньозважену норму виробітку повітря.

Енергозберігаючі заходи запропоновані за результатами енергоаудиту

Захід №1.

На підприємстві працює два 45-кіловатних компресори, що управляються вручну і працюють протягом 16 годин на добу. Система розподілення складається з 2 секцій, причому: 1 секція задіяна протягом 16 годин на добу, 1 секція задіяна протягом 8 годин на добу.

За результатами енергоаудиту виявлено, що 20% продуктивності кожної з секцій уходить на витік, за рахунок нещільностей клапанів пневмоінструменту, запірної апаратури, а отже такі витоки ліквідувати неможна.

З 8:00 до 16:00 усі 2 секції активні – система завантажена на 100% (працюють два компресори).

З 16:00 до 24:00 – 1 секція активна – система завантажена на 50%, але в цей же час друга секція, що залишилися, не активною, дає витоки, а це ще – 20% навантаження.

Сумарне навантаження при цьому – 70%. Для того, щоб забезпечити таку продуктивність, необхідно, щоб працювали 2 компресори.

Споживання енергії при цьому складає:

$$E = 2 \cdot 45 \text{ кВт} \cdot 16 (\text{годин в день}) \cdot 220 (\text{днів у році}) = 316800 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Рекомендовано встановити два крани, які вручну відсікають неактивні секції. Тоді можна один компресор вимкнути.

Економія:

$$\Delta E = 45 \text{ кВт} \cdot 8 (\text{годин на день}) \cdot 220 (\text{днів у році}) = 79200 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Захід №2.

Використання компресорами вуличного повітря замість цехового. Для цього потрібно побудувати теплоізолюваний повітропровід за межі цеху. Економія електроенергії буде полягати в зменшенні температури повітря на всмоктуванні.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		79

Зниження температури повітря на всмоктуванні на кожні 4 °С знижує енергоспоживання на 1%. Середньомісячна температура наведена в табл. 10.5.

Таблиця 10.5. Середні значення температури по місяцям року.

Показник	Січ	Лют	Бер	Кв	Тр	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гр
$t_{cp}, ^\circ C$	-5,9	-5,2	-0,4	7,5	14,7	17,8	23,2	21,6	13,9	7,5	1,2	-3,5

Розрахунок економії електроенергії по місяцям наведений в табл. 10.6.

Таблиця 10.6. Розрахунок економії електроенергії від зниження температури повітря в всмоктувальному повітропроводі.

Показник	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$t_{cp}, ^\circ C$	-5,9	-5,2	-0,4	7,5	14,7	17,8	23,2	21,6	13,9	7,5	1,2	-3,5
$t_{всм}, ^\circ C$	18	18	18	18	18	20	23,2	21,6	18	18	18	18
$\Delta t, ^\circ C$	23,9	23,2	18,4	10,5	3,3	2,2	0	0	4,1	10,5	16,8	21,5
Економія $\Delta E, \%$	5,975	5,8	4,6	2,625	0,825	0,55	0	0	1,025	2,625	4,2	5,375
Кількість робочих днів	21	21	21	21	20	20	20	20	20	21	21	21
Споживання електроенергії, кВт·год												
1 зміна	15120	15120	15120	15120	14400	14400	14400	14400	14400	15120	15120	15120
2 зміна	7560	7560	7560	7560	7200	7200	7200	7200	7200	7560	7560	7560
Всього	22680	22680	22680	22680	21600	21600	21600	21600	21600	22680	22680	22680
Економія електроенергії	1355	1315	1043	595	178	119	0	0	221	595	953	1219
Всього за рік												7595

Захід №3.

Запропонована ротаційна послідовність включення компресорної установки на другу зміну. Враховуючи, що компресорних установок дві та на другу зміну залишається в роботі лише одна, проводиться почергове відключення компресорів на другу зміну. Наприклад, в понеділок залишається в роботі на другу зміну компресор №1, у вівторок компресор №2 і т.п. Це призведе до рівномірного зносу компресорних установок та збільшення терміну роботи одної, яка мала працювати обидві зміни.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі спроектована система енергопостачання механоскладального корпусу машинобудівного заводу з розробкою енергоаудиту компресорних установок.

У вступі наведено коротку характеристику технологічного процесу виробництва і проведено дослідження енергопотоків на підприємстві. У першому розділі здійснено розрахунок силових електричних навантажень за допомогою методу впорядкованих діаграм, а також розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою методу питомої щільності навантаження. У другому розділі проведено розрахунок теплових навантажень корпусу. В третьому розділі здійснено гідравлічний розрахунок теплових мереж, вибрані перерізи трубопроводів та проведено розрахунок теплових втрат. У четвертому розділі обрана система теплопостачання, а також джерело тепла. У п'ятому розділі побудовані графіки електричних навантажень та розраховані значення T_m та τ_m . Розрахунок п'ятого розділу здійснено з використанням математичного пакету Mathcad. У шостому розділі виконані розрахунки для побудови картограми навантажень та обрано місце розташування ЦРП. У сьомому розділі розглянуто питання вибору схем електропостачання шляхом техніко-економічного порівняння варіантів зовнішнього електропостачання. У восьмому розділі розглянуто питання компенсації реактивної потужності: обрано потужність компенсуючих пристроїв та місце їх розташування, при цьому порівнювалися три варіанти компенсації. У дев'ятому розділі розраховано струми короткого замикання в схемі електропостачання, а також проведено вибір сучасного силового електрообладнання. У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи (десятий розділ) розроблена система енергоаудиту компресорних установок, а також запропоновані заходи з енергозбереження та підвищення ресурсу роботи компресорів.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		81

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
2. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.
3. Енергетичні установки. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни „Енергетичні установки” для студентів 4 курсу спеціальності 8.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” заочної форми навчання. / Укл. С.П. Богатирьова, В.І. Кравченко, О.А. Козловський. Кіровоград: КДТУ, 2002. – 73 с.
4. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання. Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007, – 244 с.
5. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Электроснабжение /Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.: ил.
6. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007
7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.];Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
8. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.
9. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018.– 156 с. /