

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков

“ ____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ
на тему:
«Проектування електротехнічної системи електроспоживання
елеваторного комплексу
Design of the electrical system of power consumption of the silo
complex »**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-19
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Р. Шаповалов
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник проекту
професор, канд. техн. наук
_____ П. Плешков

« ____ » _____ 2023 р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Плешков П.Г.*

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ *Шаповалова Ростислава Миколайовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Проектування електротехнічної системи**
електроспоживання елеваторного комплексу

2. Керівник роботи (проекту) *Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту **5.06.2023 р.**

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства;
Розрахунок електричних навантажень; Картограма електричних навантажень
та місце розташування ЦРП; Техніко-економічне обґрунтування схем
зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства; Компенсація
реактивної потужності; Трансформаторні підстанції; Розрахунок струмів
коротких замикань і вибір обладнання, електроустановок та силових мереж
системи електропостачання; Спеціальний розділ - Проектування системи
енергозбереження для елеваторного комплексу

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства</i>	1.05.23	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	5.05.23	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування ЦРП</i>	9.05.23	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	15. 05.23	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	19. 05.23	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	22. 05.23	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання, електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	25. 05.23	
8	<i>Спеціальний розділ - Проектування системи енергозбереження для елеваторного комплексу</i>	29. 05.23	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	31. 05.23	
10	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	2.06.23	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2023р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 72 с.; 10 рис.; 20 табл.; 7 джерел

Шаповалов Р.М. Проектування електротехнічної системи електроспоживання елеваторного комплексу – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню електротехнічної системи електроспоживання елеваторного комплексу. Технічні та інженерні рішення роботи задовольняють вимогам економічності та надійності проектуємого об'єкту. З цією метою було проведено основні техніко-економічні розрахунки: електричних навантажень, режимів реактивної потужності, струмів коротких замикань. Здійснено вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання станції, трансформаторних підстанцій, конденсаторних установок, струмопроводів, високовольтного обладнання.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розглядались питання енергозбереження на елеваторному комплексі. Запропоновано заходи з енергозбереження, а саме - підвищення навантаження робочих машин, економічний режим роботи трансформаторів та впровадження регульованого електроприводу вентиляторів. Розрахунки показали значний економічний ефект.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, електричне обладнання, енергозбереження, вентиляційні установки, автоматичне регулювання роботи трансформаторів.

ABSTRACT

Qualification work: 72 p.; Fig. 10; 20 tables; 7 sources

Shapovalov R.M. Design of the electrical system of power consumption of the elevator complex - Manuscript.

Qualification work 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 qualification work is devoted to the design of the electrical system of power consumption of the elevator complex. Technical and engineering work solutions meet the requirements of economy and reliability of the designed object. For this purpose, basic technical and economic calculations were carried out: electrical loads, reactive power modes, short-circuit currents. The selection of external and internal power supply schemes for the station, transformer substations, capacitor units, power lines, high-voltage equipment was made.

In a special section of the qualification work, the issue of energy saving at the elevator complex was considered. Energy-saving measures have been proposed, namely, increasing the load on working machines, the economical mode of operation of transformers, and the introduction of a regulated electric fan drive. The calculations showed a significant economic effect.

Key words: electrical loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, electrical equipment, energy saving, ventilation installations, automatic regulation of transformers.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	6
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА	8
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	9
2.1 Розрахунок силового навантаження	9
2.2 Розрахунок освітлювального навантаження	16
2.4. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.....	22
3. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП.....	28
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	31
4.1 Вибір напруги і схеми зовнішнього електропостачання.....	31
4.2 Вибір напруги і схем внутрішнього електропостачання.....	39
5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	40
5.1 Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір компенсуючих пристроїв	41
5.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	42
6. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ.....	44
7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	46
7.1. Розрахунок струмів коротких замикань	46

					Кваліфікаційна робота						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування електротехнічної системи електроспоживання елеваторного комплексу				Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Шаповалов										
Перевір.	Плешков П.Г.										
									ЦНТУ, ЕЕ-19		
Н.контр.											
Затвер	Плешков										

7.2. Вибір високовольтних кабелів.....	47
7.3. Вибір високовольтного обладнання	50
8. Спеціальний розділ. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ.....	53
8.1. Постановка задачі енергозбереження.....	53
8.2. Підвищення навантаження робочих машин.....	57
8.3. Економічний режим роботи трансформаторів.....	59
8.4. Впровадження регульованого електроприводу вентиляторів.....	63
8.5. Нормування електроенергії та електробаланс.....	69
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою систем електропостачання промислових підприємств та сільського господарства є забезпечення електроенергією різних пристроїв та обладнання, таких як двигуни, механізми, електричні печі, електролізні пристрої, апарати та машини для зварювання, освітлювальні пристрої та інші.

Завдання електропостачання підприємств виникло одночасно з широким використанням електроприводу в ролі рушійної сили для різноманітних машин і механізмів.

На сьогоднішній день і в найближчому майбутньому основною проблемою є створення ефективних систем електропостачання промислових підприємств.

У сучасній Україні особлива увага приділяється розвитку енергозберігаючої політики під час створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств.

В даній роботі розроблено електротехнічну систему електроспоживання елеваторного комплексу.

Збереження зерна є важливим чинником економічної стабільності країни, особливо для аграрної держави, як Україна. На території України розташовано багато зерносховищ, кількість яких постійно зростає, хоча темпи будівництва залишаються помірними. Ці споруди не просто служать для зберігання зерна. Елеватори в Україні представляють собою повноцінні системи, що надають весь необхідний комплекс послуг для зерна: зберігання, сушіння та сортування за розміром.

Великі та малі агрокомпанії, сільськогосподарські підприємства, фермерські господарства та зернотрейдери з усієї України користуються послугами елеваторів. Навіть невеликі індивідуальні фермери відвозять свої врожаї до елеваторів.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елеватори відіграють ключову роль у зерновому секторі країни, забезпечуючи надійне зберігання зерна та його подальшу обробку. Це допомагає забезпечувати стійкий розвиток аграрної галузі та сприяє експорту зернових культур, що має велике значення для економіки України.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА

Об'єктом проектування системи електропостачання є елеваторний комплекс, у якому виконується очистка, сушіння, сортування, зберігання зерна, а також виготовлення борошна.

Споживачі електричної енергії елеваторного комплексу відносяться до II та III категорії. Підприємство працює в дві зміни. Відстань до джерела живлення складає 3,9 км. Струм КЗ на шинах 10 кВ підстанції системи $I_{KЗ} = 10,4$ кА. Заданий коефіцієнт потужності на шинах 10 кВ дорівнює $\text{tg}\varphi = 0,15$. Район розміщення підприємств відноситься до III ^{го} кліматичного району.

Пікові навантаження на елеватор відбуваються під час сезону збору врожаю. Зерно потребує зберігання, сушіння, калібрування та експорту. Найбільше навантаження на елеватор спостерігається з липня до грудня. Найінтенсивніше надходження нового врожаю спостерігається в період від липня до жовтня. Зернові склади досягають своєї максимальної потужності в листопаді і грудні. Це період, коли елеватори працюють на повну потужність для задоволення пікових вимог.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

В практиці проектування систем електропостачання застосовують різні методи визначення електричних навантажень, які підрозділяються на основні та допоміжні.

Застосування того чи іншого метода визначається припустимою похибкою розрахунків (вчасності на стадії проектування) користуються методами які базуються на даних по сумарній встановленій потужності окремих груп приймачів.

Методи основані на використанні даних про одиничні приймачі, відносяться до найбільш точних.

2.1. Розрахунок силового навантаження

Розрахунок навантаження виконано згідно методики, викладеній в [1].

Окремо розраховують електричні навантаження для низьковольтного електрообладнання і розрахунок навантажень по п/ст. Всі розрахунки робимо в таблицях (див. Табл. 2.1-2.3)

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змн.			Табл.2.1 Розрахунок навантаження на шинах 0.4 кВ по елеваторному комплексу																
Арк.			№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _υ	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
№ докум.						Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
Підпис				Столярний цех															
			1	Сушильне обладнання	1	10	10	10	<3	0,4	0,9	0,48	4,00	1,94					
			2	Головний конвеєр	1	10	10	32	<3	0,50	0,70	1,02	16,00	16,32					
			3	Обрезний верстат	1	5	5	5	<3	0,4	0,7	1,02	2,00	2,04					
			4	Лінія шліфовки	2	15	15	15	<3	0,3	0,7	1,02	4,50	4,59					
			5	Лінія розкрою	1	4,5	4,5	4,5	<3	0,3	0,7	1,02	1,35	1,38					
			6	Токарний по дереву	3	5	5	15	<3	0,2	0,6	1,33	3,00	4,00					
			7	Рейсмусний верстат	6	4	4	24	<3	0,3	0,7	1,02	7,20	7,35					
			8	Фуговальний верстат	2	5	5	10	<3	0,2	0,7	1,02	2,00	2,04					
			9	Торцевальний верстат	4	5	5	20	<3	0,3	0,7	1,02	6,00	6,12					
			10	Циркулярка	6	4	4	24	<3	0,4	0,7	1,02	9,60	9,79					
			11	Вентилятори	6	2,2	5	24,4	<3	0,7	0,8	0,75	17,08	12,81					
				Всього по поз.1-11	33	2,2	15	183,9	>3	0,40	0,73	0,94	72,73	68,38	25	1,29	93,66	68,38	115,97
				Зварочний цех															
			12	Металоріжучі верстати	15	1,5	22	52	>3	0,20	0,7	1,02	10,40	10,61					
			13	Зварювальні пристрої	12	12	12	144	<3	0,15	0,50	1,73	21,60	37,41					
			14	Електропіч	1	15	15	15	<3	0,40	0,95	0,33	6,00	1,97					
			15	Високочастотні пристрої	1	30	30	30	<3	0,40	0,7	1,02	12,00	12,24					

Продовження Табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _υ	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
34	Заточний верстат	2	1	1	2	<3	0,20	0,70	1,02	0,40	0,41					
35	Електропила	2	3	3	6	<3	0,3	0,70	1,02	1,80	1,84					
36	Тр-р зварювальний	3	7,5	7,5	22,5	<3	0,20	0,50	1,73	4,50	7,79					
37	Вентиляція	2	5,5	5,5	11	<3	0,70	0,80	0,75	7,70	5,78					
	Всього по поз.30-37	20	1	7,5	81,5	>3	0,32	0,69	1,06	25,9	27,55	20	1,39	36,08	27,55	45,39
38	Насосна	28	1,5	50	111	>3	0,50	0,80	0,75	55,5	41,6	4	1,64	91,1	45,8	101,9
	Котельня															
39	Димосос	6	15	15	90	<3	0,50	0,8	0,75	45,00	33,75					
40	Насоси	8	2,2	55	70,4	>3	0,40	0,8	0,75	28,16	21,12					
41	Пристрій перекачки мазуту	2	10	10	20	<3	0,30	0,6	1,33	6,00	8,00					
42	Зварювальний трансформатор	1	17	17	17	<3	0,70	0,8	0,75	11,90	8,93					
43	Вентилятори	6	5,5	5,5	33	<3	0,70	0,8	0,75	23,10	17,33					
	Всього по поз.39-43	23	2,2	55	230,4	>3	0,50	0,79	0,78	114,2	89,1	8	1,43	162,82	98,03	190,05
44	Автопогрузчик ГУАР-15	4	5	5	20	<3	0,3	0,7	1,02	6,00	6,12	4	2,14	12,82	6,73	14,48
45	Склад зернової сировини	11	1,2	8	65	>3	0,30	0,70	1,02	19,5	19,9	11	1,59	30,9	19,9	36,8
46	Склад готової продукції №2	5	1,5	8	14	>3	0,30	0,70	1,02	4,2	4,3	4	2,26	9,5	4,7	10,6
	Промисловий корпус №2															
47	Ситовий сепаратор попередній	5	3	10	45	>3	0,50	0,70	1,02	22,5	23,0					
48	Ситовий сепаратор	6	5	10	50	<3	0,50	0,70	1,02	25,0	25,5					
49	Ваги	3	1	1	3	<3	0,40	0,70	1,02	1,2	1,2					
50	Відбирач каміння	3	8	8	24	<3	0,50	0,75	0,88	12,0	10,6					
51	Трієрна станція	5	5	5	25	<3	0,50	0,70	1,02	12,5	12,8					

Продовження Табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
52	Обоєчна машина	2	3	3	6	<3	0,60	0,75	0,88	3,6	3,2					
53	Автоматичний дозувач води	5	1	4	17	>3	0,50	0,70	1,02	8,5	8,7					
54	Шнек інтенсивного зволоження	6	3	3	18	<3	0,50	0,75	0,88	9,0	7,9					
55	Миєчна машина	3	5	5	15	<3	0,50	0,70	1,02	7,5	7,7					
56	Дозувач зерна	6	2	2	12	<3	0,40	0,75	0,88	4,8	4,2					
57	Інтенсивний зволожувач	6	3	3	18	<3	0,50	0,70	1,02	9,0	9,2					
58	Комбінований сепаратор	6	10	10	60	<3	0,50	0,80	0,75	30,0	22,5					
59	Комбінована сортувальня	6	12	12	72	<3	0,50	0,75	0,88	36,0	31,7					
60	Дробилка	6	5	10	50	<3	0,60	0,75	0,88	30,0	26,5					
61	Аспіраційна шафа	4	1,5	1,5	6	<3	0,40	0,70	1,02	2,4	2,4					
62	Вентиляція	8	5,5	5,5	44	<3	0,7	0,8	0,75	30,80	23,10					
	Всього по поз.47-62	80	1	12	465	>3	0,53	0,74	0,90	244,8	220,125	78	1,11	271,44	220,12	349,48
63	Склад сировини корпус №2	12	1,2	22	113	>3	0,3	0,7	1,02	33,90	34,58	10	1,61	54,61	34,58	64,64
	Компресорна															
64	Масляний насос	6	2,2	5,5	29,7	<3	0,70	0,80	0,75	20,79	15,59					
65	Лубрикатор ОПН-150	2	1,1	1,1	2,2	<3	0,7	0,80	0,75	1,54	1,16					
66	Компресор винтовий	1	130	130	130	<3	0,5	0,80	0,75	65,00	48,75					
67	Компресор	5	30	200	760	>3	0,50	0,80	0,75	380,00	285,00					
68	Насос ЦИГ-68	1	3	3	3	<3	0,7	0,80	0,75	2,10	1,58					
69	Витяжний вентилятор	4	5	5,5	21,5	<3	0,7	0,80	0,75	15,05	11,29					
70	Водяний насос	3	75	75	225	<3	0,6	0,80	0,75	135,00	101,25					
71	Вентилятор конденсату	10	3	3	30	<3	0,7	0,80	0,75	21,00	15,75					
	Всього по поз.64-71	32	1,1	200	1201,4	>3	0,53	0,80	0,75	640,48	480,36	12	1,31	839,35	480,36	967,09

Продовження Табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _υ	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P _{CM}					Q _{CM}	P _P			Q _P	S _P	
88	Просівач борошна	3	12	12	36	<3	0,5	0,80	0,75	18,00	13,50					
	Всього по поз.83-88	20	1,5	12	171	>3	0,50	0,79	0,77	85,3	65,89	20	1,25	106,73	65,89	125,43
	<u>Млин сортового помола пшениці</u>				□											
89	Вальцовий верстат	6	5,5	5,5	33	<3	0,50	0,7	1,02	16,50	16,83					
90	Ударний розмільчувач	10	18	18	180	<3	0,50	0,75	0,88	90,00	79,37					
91	Вібраційна вимольна машина	8	20	20	160	<3	0,50	0,8	0,75	80,00	60,00					
92	Вібраційна просівна машина	10	5	15	140	>3	0,50	0,80	0,75	70,00	52,50					
93	Ситовійна машина	6	15	15	90	<3	0,50	0,8	0,75	45,00	33,75					
94	Розсів	4	2,5	2,5	10	<3	0,30	0,7	1,02	3,00	3,06					
95	Роторний розмільчувач	10	18	18	180	<3	0,60	0,8	0,75	108,00	81,00					
96	Деташер	2	7,5	7,5	15	<3	0,40	0,7	1,02	6,00	6,12					
97	Пневмотранспорт	6	75	75	450	<3	0,40	0,8	0,75	180,00	135,00					
	Всього по поз 89-97	62	2,5	75	1258	>3	0,48	0,79	0,78	598,5	467,64	34	1,20	716,94	467,64	855,97
97	<u>Склад ГЗМ</u>	8	1,2	3,5	22	<3	0,20	0,70	1,02	4,40	4,49	8	1,96	8,62	4,94	9,94
98	<u>Побутові приміщення</u>	24	1,2	12	93	>3	0,50	0,75	0,88	46,50	41,01	16	1,29	60,01	41,01	72,69
99	<u>Адміністративний корпус</u>	49	1,2	5,5	240	>3	0,50	0,80	0,75	120,00	90,00	49	1,15	138,05	90,00	164,80
	Всього по комплексу	632	0,75	130	7555.7	>3	0,46	0,78	0,81	3454.47	2797.39	116	1,10	3811.44	2797.39	4727.84

2.2 Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок освітлювального навантаження робимо по питомій щільності освітлювального навантаження на один м² корисної площі виробництва та адміністративних приміщень (Руд). Значення Руд беремо із довідника та виконуємо згідно [2].

Всі розрахунки освітлювального навантаження приводимо в Табл.2.2.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Табл.2.2 Розрахунок освітлювального навантаження елеваторного комплексу

№ п/п	Приміщення	$F, \text{м}^2$	$P_{\text{уд}}, \text{Вт/м}^2$	K_c	$P_{\text{ро}}, \text{кВт}$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$Q_{\text{ро}}, \text{квар}$
1	Столярний цех	160	17	0,8	2,2	0,8	0,75	1,6
2	Зварочний цех	200	16	0,8	2,6	0,8	0,75	1,9
3	Тепловозне депо	100	12	0,7	0,8	0,7	1,02	0,9
4	Галерея перекачки комбікорма	60	5	0,7	0,2	0,7	1,02	0,2
5	Насосна рідкого топлива	50	5	0,7	0,2	0,7	1,02	0,2
6	Тароремонтна майстерня	2100	17	0,8	28,6	0,7	1,02	29,1
7	Цех попереднього змішування	1440	14	0,8	16,1	0,8	0,75	12,1
8	Ремонтно-механічний цех	500	18	0,8	7,2	0,8	0,75	5,4
9	Насосна	200	5	0,7	0,7	0,7	1,02	0,7
10	Котельня	740	5	0,7	2,6	0,7	1,02	2,6
11	Автопогрузчик ГУАР-15	100	12	0,6	1	0,7	1,02	1
12	Склад зернової сировини	770	5	0,7	3	0,7	1,02	3
13	Склад готової продукції №2	960	5	0,6	2,9	0,8	0,75	2,2
14	Промисловий корпус №2	820	14	0,8	9,2	0,8	0,75	6,9
15	Склад сировини корпус №2	670	5	0,7	2,3	0,7	1,02	2,4
16	Компресорна	180	5	0,7	0,6	0,7	1,02	0,6
17	Інерційний вагонорозгрузчик	270	5	0,6	0,8	0,7	1,02	0,8
18	Елеватор	4800	12	0,8	46,1	0,8	0,75	34,6
19	Прийом зерна з автотранспорта	90	5	0,6	0,3	0,8	0,75	0,2
20	Прийом та розгрузка зерна на залізничну дорогу	140	5	0,6	0,4	0,7	1,02	0,4
21	Зерносушилка	100	5	0,6	0,3	0,7	1,02	0,3
22	Склад відходів	250	5	0,6	0,8	0,7	1,02	0,8
23	Зарядна	320	12	0,7	2,7	0,7	1,02	2,7
24	Склад готової продукції	2300	10	0,7	16,1	0,8	0,75	12,1
25	Млин сортового помола пшениці	1500	12	0,8	14,4	0,7	1,02	14,7
26	Склад ГЗМ	260	10	0,6	1,6	0,7	1,02	1,6
27	Побутові приміщення	730	17	0,8	9,9	0,7	1,02	10,1
28	Адміністративний корпус	1200	18	0,8	17,3	0,7	1,02	17,6
29	Територія	123200	0,1	0,85	10,5	0,7	1,02	10,7
					201			177

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Змн.		Табл.2.3 Розрахунок навантаження по підстанціям елеваторному комплексу																
Арк.		№п/п	Наіменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _υ	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _е	K _М	Розрахункове навантаження, кВт			
№ докум.					Одного	Σ					P _{СМ}	Q _{СМ}			P _Р	Q _Р	S _Р	
			КТП-1 (2 × 630)															
		1	Столярний цех	33	2,2	15	183,9	>3	0,40	0,73	0,94	72,73	68,38					
		2	Зварочний цех	31	1,5	30	252	>3	0,22	0,64	1,19	56,60	67,19					
		3	Галерея перекачки комбікорма	6	1,5	50	57,5	>3	0,50	0,80	0,75	28,75	21,56					
		4	Цех попереднього змішування	28	1,5	45	258,7	>3	0,22	0,77	0,84	57,84	48,67					
		5	Ремонтно-механічний цех	20	1	7,5	81,5	>3	0,32	0,69	1,06	25,90	27,55					
		6	Насосна	28	1,5	50	111	>3	0,50	0,80	0,75	55,50	41,63					
		7	Котельня	23	2,2	55	230,4	>3	0,50	0,79	0,78	114,2	89,1					
		8	Автопогрузчик ГУАР-15	4	5	5	20	<3	0,30	0,70	1,02	6,0	6,1					
		9	Склад зернової сировини	11	1,2	8	65	>3	0,30	0,70	1,02	19,5	19,9					
		10	Склад готової продукції №2	5	1,5	8	14	>3	0,30	0,70	1,02	4,2	4,3					
		11	Промисловий корпус №2	80	1	12	465	>3	0,53	0,74	0,90	244,8	220,1					
		12	Склад сировини корпус №2	12	1,2	22	113	>3	0,30	0,70	1,02	33,9	34,6					
			Всього по позиціям 1-12	281	1	55	1852	>3	0,39	0,74	0,90	719,88	649,10	67	1,17	838,96	649,10	1060,74
		13	Освітлення													50	50,5	
		14	Компенсація														-260	
			Всього на 0.4 кВ													888,96	439,6	991,71
			Втрати в тр-рах													12,3	68,1	
			Всього на 10 кВ													901,2	507,7	1034,40
			КТП-2 (2 × 630)															
			15	Компресорна	32	1,1	200	1201,4	>3	0,53	0,80	0,75	640,48	480,36				
			16	Інерційний вагонорозгужик	6	2	55	118	>3	0,30	0,70	1,02	35,40	36,12				
	А рк																	

2.4. Побудова графіків електричних навантажень підприємства

Для побудови річних графіків тривалості роботи елеваторного комплексу використовуються добові графіки навантажень. Ці графіки передають повну інформацію про електроспоживання підприємства.

Зокрема, добовий графік включає дані про активне та реактивне навантаження елеваторного комплексу. Ці дані дозволяють визначити, які часові періоди мають найвище споживання електроенергії і які періоди є менш навантаженими.

Добовий графік активного навантаження вказує на максимальні показники споживання електроенергії протягом доби, тоді як графік реактивного навантаження відображає коливання реактивної потужності, що залежить від характеру роботи елеваторного комплексу.

Ці добові графіки є важливою основою для аналізу та планування електропостачання елеваторного комплексу, дозволяючи визначити оптимальні режими роботи та розрахувати необхідні резерви електроенергії для задоволення пікових потреб.

При побудові добового графіка реактивного навантаження враховуємо вимоги по компенсації реактивної потужності в режимі максимуму $\operatorname{tg} \varphi = 0.15$

Розрахункове активне навантаження підприємства на шинах 10 кВ

$$P_{p10} = P_{p0.4} + P_{po} + \Delta P_{mp} + P_{10} \quad , \quad (2.1)$$

де $P_{p0.4}$ – 3811,4 кВт силове навантаження на 0.4 кВ (Табл.2.1);

P_{po} – 201 кВт розрахункова потужність освітлення (Табл.2.2);

ΔP_{mp} - втрати в трансформаторах;

P_{10} - високовольтне навантаження $P_{10}=0$

Втрати в трансформаторах (N=10 шт.) із середнім коефіцієнтом навантаження 0.7 $S_N=630$ кВА

$$\Delta P_{mp} = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_z^2) \cdot 10 = (1.42 + 7.6 \cdot 0.7^2) \cdot 10 = 51.44 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{xx} = 1.42$ кВт, $\Delta P_{кз} = 7.6$ кВт.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Розрахункове навантаження по (3.1) складає

$$P_{p10} = 3811.4 + 201 + 51.4 = 4063.8 \text{ кВт}$$

З урахуванням компенсації ($\text{tg}\varphi = 0,15$) реактивне навантаження на шинах 10 кВ складає

$$Q_{p10} = P_{p10} \cdot \text{tg}\varphi = 4063.8 \cdot 0.15 = 609.6 \text{ квар}$$

Відповідні графіки наведені на рис. 2.1-2.4

На основі добових графіків активного і реактивного навантаження будуюмо річний графік по тривалості активної і реактивної потужності.

Тривалість кожної ступені річного графіка можна визначити

$$\tau = 365 t_i$$

На основі добових графіків активного і реактивного навантаження будуюмо річний графік по тривалості активної і реактивної потужності.

Тривалість кожної ступені річного графіка можна визначити

$$\tau = 365 t_i,$$

де t_i - сумарна тривалість ступіней добового графіка, що мають рівні ординати.

Враховуючи вихідні і святкові дні загальна кількість днів за рік розподілиться наступним чином:

Кількість зимових діб - 148

Кількість літніх діб - 106

Святкові і вихідні дні - 111

У вихідні дні навантаження складає 15% від розрахункового.

Всі розрахунки зводимо до табл. 2.4.

Визначимо з річного графіка витрати активної та реактивної енергії

$$\begin{aligned} W_e = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = & 4064 \cdot 148 + 3660 \cdot 106 + 3330 \cdot 148 + 3200 \cdot 444 + 3000 \cdot 106 + \\ & + 2960 \cdot 296 + 2880 \cdot 318 + 2830 \cdot 296 + 2710 \cdot 148 + 2660 \cdot 212 + 2590 \cdot 592 + \\ & + 2550 \cdot 212 + 2460 \cdot 148 + 2440 \cdot 106 + 2330 \cdot 424 + 2220 \cdot 254 + 2210 \cdot 444 + \\ & + 2000 \cdot 106 + 1880 \cdot 318 + 1850 \cdot 592 + 1660 \cdot 424 + 1600 \cdot 148 + \\ & + 1440 \cdot 106 + 610 \cdot 2664 = 16614412 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_z = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 610 \cdot 148 + 550 \cdot 106 + 500 \cdot 148 + 480 \cdot 444 + 450 \cdot 106 +$$

$$+ 440 \cdot 296 + 430 \cdot 318 + 410 \cdot 296 + 400 \cdot 148 + 390 \cdot 212 + 370 \cdot 592 +$$

$$+ 350 \cdot 212 + 330 \cdot 148 + 310 \cdot 106 + 300 \cdot 424 + 280 \cdot 148 + 250 \cdot 106 +$$

$$+ 240 \cdot 444 + 220 \cdot 106 + 90 \cdot 2664 = 2491740 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Табл.2.4 Розрахунок річного графіка по тривалості

P,кВт	t,час	Q,квар	t,год
4064	148	610	148
3660	106	550	106
3330	148	500	148
3200	444	480	444
3000	106	450	106
2960	296	440	296
2880	318	430	614
2830	296	410	148
2710	148	400	212
2660	212	390	804
2590	592	370	254
2550	212	350	424
2460	148	330	254
2440	106	310	444
2330	424	300	106
2220	148	280	910
2210	106	250	424
2090	444	240	148
2000	106	220	106
1880	318	90	2664
1850	592	0	0
1660	424	0	0
1600	148	0	0
1440	106	0	0
610	2664	0	0
	8760		8760
$W_z = 16614412 \quad V_z = 2491740$			

Кількість годин використання максимального навантаження визначимо за виразом

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					24

$$T_{\text{м}} = \frac{\sqrt{W_{\text{с}}^2 + V_{\text{с}}^2}}{S_{\text{м}}} = \frac{\sqrt{16614412^2 + 2491740^2}}{4109,3} = 4083,7 \text{ год}$$

де

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{р10}}^2 + Q_{\text{р10}}^2} = \sqrt{40638^2 + 609,6^2} = 4109,3 \text{ кВА}$$

Значення $\tau_{\text{м}}$ визначимо за формулою Кезевича

$$\tau_{\text{м}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4083,7}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2482,7 \text{ год}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

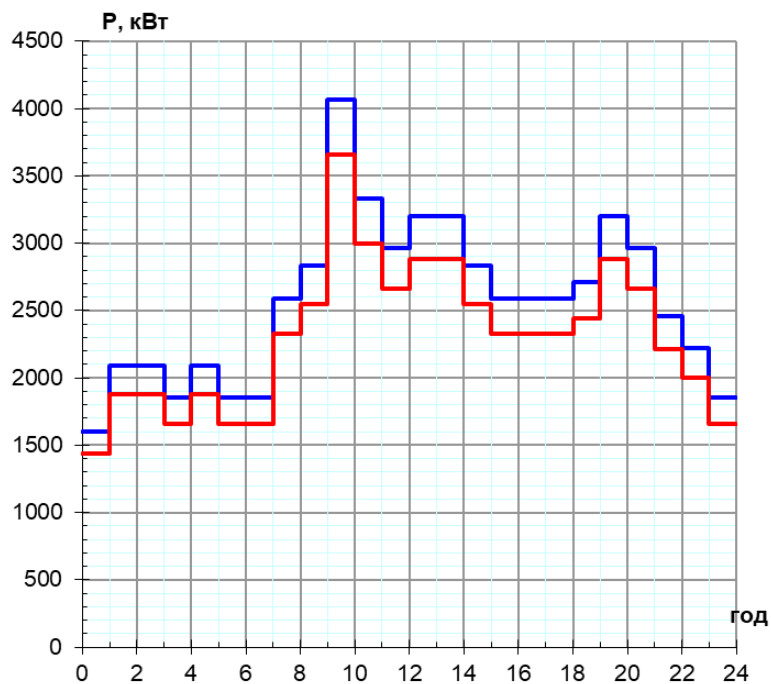


Рис.2.1 Добовий графік активного навантаження

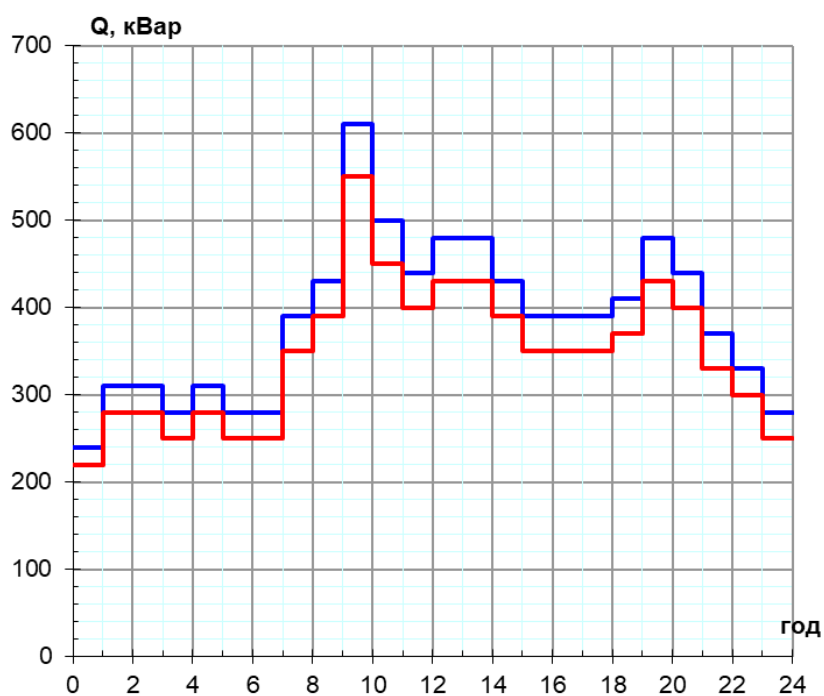


Рис.2.2 Добовий графік реактивного навантаження

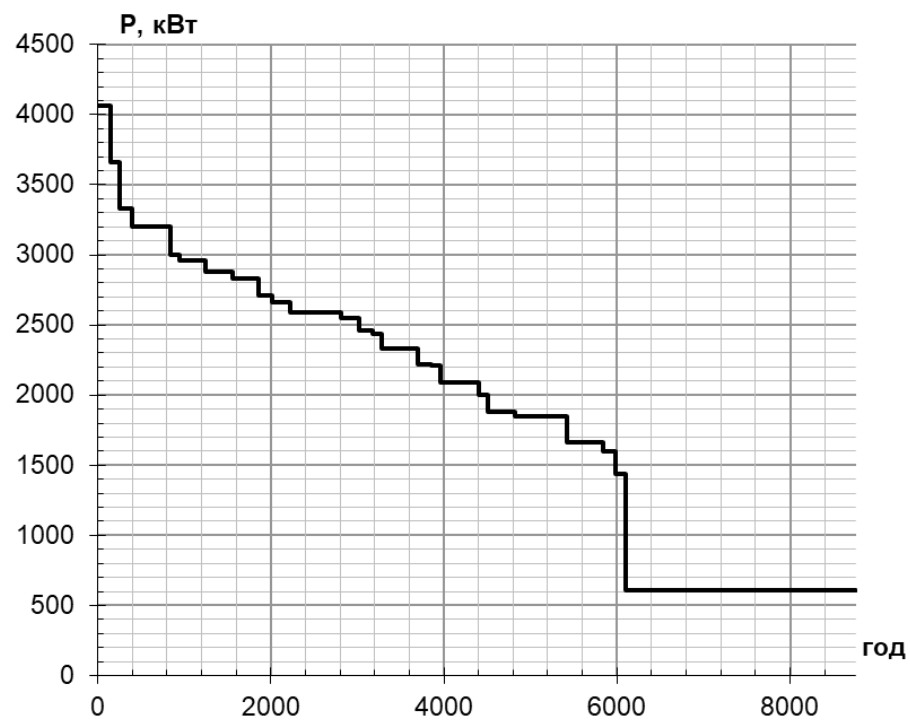


Рис.2.3 Річний графік по тривалості активної потужності.

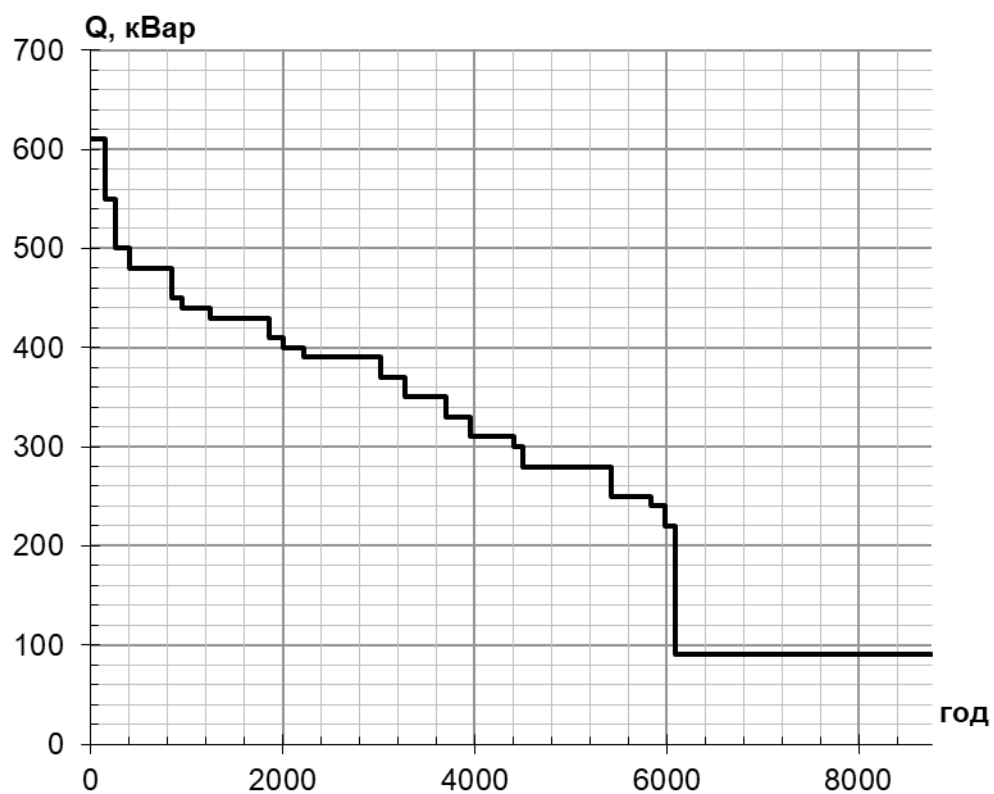


Рис 2.4 Річний графік по тривалості реактивної потужності

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП

При плануванні розташування ЦРП (центральных розподільних пунктів) та цехових ТП (трансформаторних підстанцій) на генеральний план комбінату хлібопродуктів наноситься картограма електричних навантажень. Ця картограма відображає розподіл електричних навантажень по всій території елеваторного комплексу.

При побудові картограми для кожного підрозділу визначається радіус кола, площа якого в масштабі відповідає розрахунковому навантаженню цього підрозділу. Таким чином, чим більша площа кола, тим більше навантаження на цей підрозділ.

Ця інформація допомагає визначити оптимальну локацію ЦРП та цехових ТП, щоб забезпечити ефективний розподіл електроенергії по всьому комплексу. Розташування ЦРП та ТП зазвичай планується таким чином, щоб мінімізувати втрати електроенергії та забезпечити надійне постачання електроенергії до всіх цехів та обладнання комплексу. Побудова здійснюється відповідно до методики [1].

Координати центра електричних навантажень промислового підприємства визначають як центр тяжіння плоских фігур

$$X_0 = \frac{\sum_i^n P_i \cdot X_i}{\sum P} \quad (3.3)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_i^n P_i \cdot Y_i}{\sum P} \quad (3.4)$$

Розрахунок картограми виконаний та наведений у вигляді таблиці 3.1.

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 Розрахунок картограми навантажень

№ п/п	Приміщення	$P_{осв},$ кВт	$P_{0.4}$ кВт	$P_{сум},$ кВт	$\alpha,$ град	R, см	X, см	Y, см
1	Столярний цех	2,2	93,7	96	8	1,2	23	47
2	Зварочний цех	2,6	88,6	91	10	1,2	28	47
3	Тепловозне депо	0,8	13,3	14	21	0,5	47	36
4	Галерея перекачки комбікорма	0,2	60,2	60	1	1,0	32	40
5	Насосна рідкого топлива	0,2	106,7	107	1	1,3	11	25
6	Тароремонтна майстерня	28,6	398,9	427	24	2,6	37	26,5
7	Цех попереднього змішування	16,1	99,0	115	50	1,4	15	47
8	Ремонтно-механічний цех	7,2	36,1	43	60	0,8	26	47
9	Насосна	0,7	91,1	92	3	1,2	41	46,5
10	Котельня	2,6	162,8	165	6	1,6	34	47
11	Автопогрузчик ГУАР-15	0,7	12,8	14	19	0,5	39,5	43
12	Склад зернової сировини	2,7	30,9	34	29	0,7	39	40
13	Склад готової продукції №2	2,9	9,5	12	84	0,4	35	40
14	Промисловий корпус №2	9,2	271,4	281	12	2,1	29	40
15	Склад сировини корпус №2	2,3	54,6	57	15	1,0	26	40
16	Компресорна	0,6	839,4	840	0	3,7	22,5	39,5
17	Інерційний вагонорозгрузчик	0,8	73,6	74	4	1,1	26	35
18	Елеватор	46,1	753,8	800	21	3,6	21	32
19	Приєм зерна з автотранспорта	0,3	27,9	28	3	0,7	24	27
20	Приєм та розгрузка зерна на залізничну дорогу	0,4	57,2	58	3	1,0	26	34
21	Зерносушилка	0,3	186,0	186	1	1,7	26	30
22	Склад відходів	0,8	31,3	32	8	0,7	30	29,5
23	Зарядна	2,7	6,3	9	108	0,4	41	32
24	Склад готової продукції	16,1	106,7	123	47	1,4	46	32
25	Млин сортового помола пшениці	14,4	716,9	731	7	3,4	36,5	32
26	Склад ГЗМ	1,6	8,6	10	55	0,4	17	25
27	Побутові приміщення	9,9	60,0	70	51	1,1	40,5	20,5
28	Адміністративний корпус	17,3	138,1	155	40	1,6	36	21
				4726			28,7	34,8

Визначаємо центр електричних навантажень

$$X = \frac{\sum_1 P_i \cdot X_i}{\sum_1 P_i} = \frac{96 \cdot 23 + 91 \cdot 28 + 14 \cdot 47 + 60 \cdot 32 + 107 \cdot 11 + 427 \cdot 37 + 115 \cdot 15 + 43 \cdot 32 + 92 \cdot 41 + 165 \cdot 34 + 14 \cdot 39.5 + 34 \cdot 39 + 12 \cdot 35 + 281 \cdot 29 + 57 \cdot 26 + 840 \cdot 22.5 + 74 \cdot 26 + 800 \cdot 21 + 28 \cdot 24 + 58 \cdot 26}{4726} = 28,7 \text{ мм}$$

$$Y = \frac{\sum_1 P_i \cdot Y_i}{\sum_1 P_i} = \frac{96 \cdot 47 + 91 \cdot 47 + 14 \cdot 36 + 60 \cdot 40 + 107 \cdot 25 + 427 \cdot 26.5 + 115 \cdot 47 + 43 \cdot 42 + 92 \cdot 46.5 + 165 \cdot 47 + 14 \cdot 43 + 34 \cdot 40 + 12 \cdot 40 + 281 \cdot 40 + 57 \cdot 40 + 840 \cdot 39.5 + 74 \cdot 35 + 800 \cdot 32 + 28 \cdot 27 + 58 \cdot 34 + 186 \cdot 30 + 32 \cdot 29.5 + 9 \cdot 32 + 123 \cdot 32 + 731 \cdot 32 + 10 \cdot 25 + 70 \cdot 20.5 + 155 \cdot 21}{4726} = 34,8 \text{ мм}$$

Отже, знайшовши значення x та y , тобто визначивши центр електричних навантажень комбінату хлібопродуктів, ми можемо визначити місце розташування ЦРП. Звичайно ЦРП доцільно розміщувати в умовному центрі електричних навантажень, але при спорудженні на підприємстві ЦРП її розміщують із зсувом від центру електричних навантажень в напрямку джерела живлення.

В цьому випадку вища напруга буде максимально наближена до центру споживання електроенергії, а розподільчі мережі будуть мати мінімальні довжини. Коли ж по деяких причинах (технологічних, архітектурних) не можна розмістити джерело живлення у центрі електричних навантажень, то при його зміщенні збільшуються річні приведені витрати на систему електропостачання, що зумовлені цим зміщенням.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.

4.1 Вибір напруги і схеми зовнішнього електропостачання

При виборі раціональної схеми електропостачання промислового підприємства необхідно враховувати кілька факторів, зокрема вибір напруги і схеми зовнішнього електропостачання. Питання вибору напруги більше 1000 В повинно розглядатися у контексті загальної схеми електропостачання.

Для цього розглядаються різні комбінації напруг в окремих ланках системи. За допомогою техніко-економічного порівняння варіантів визначається найбільш економічно вигідний варіант. Якщо показники техніко-економічного порівняння варіантів майже однакові, рекомендується вибрати вищу напругу як більш перспективну для подальшого розвитку підприємства.

На основі цього, можуть бути намічені два варіанти зовнішнього електропостачання підприємства.

Виходячи з цього намічаємо два варіанта зовнішнього електропостачання підприємства рис.4.1

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

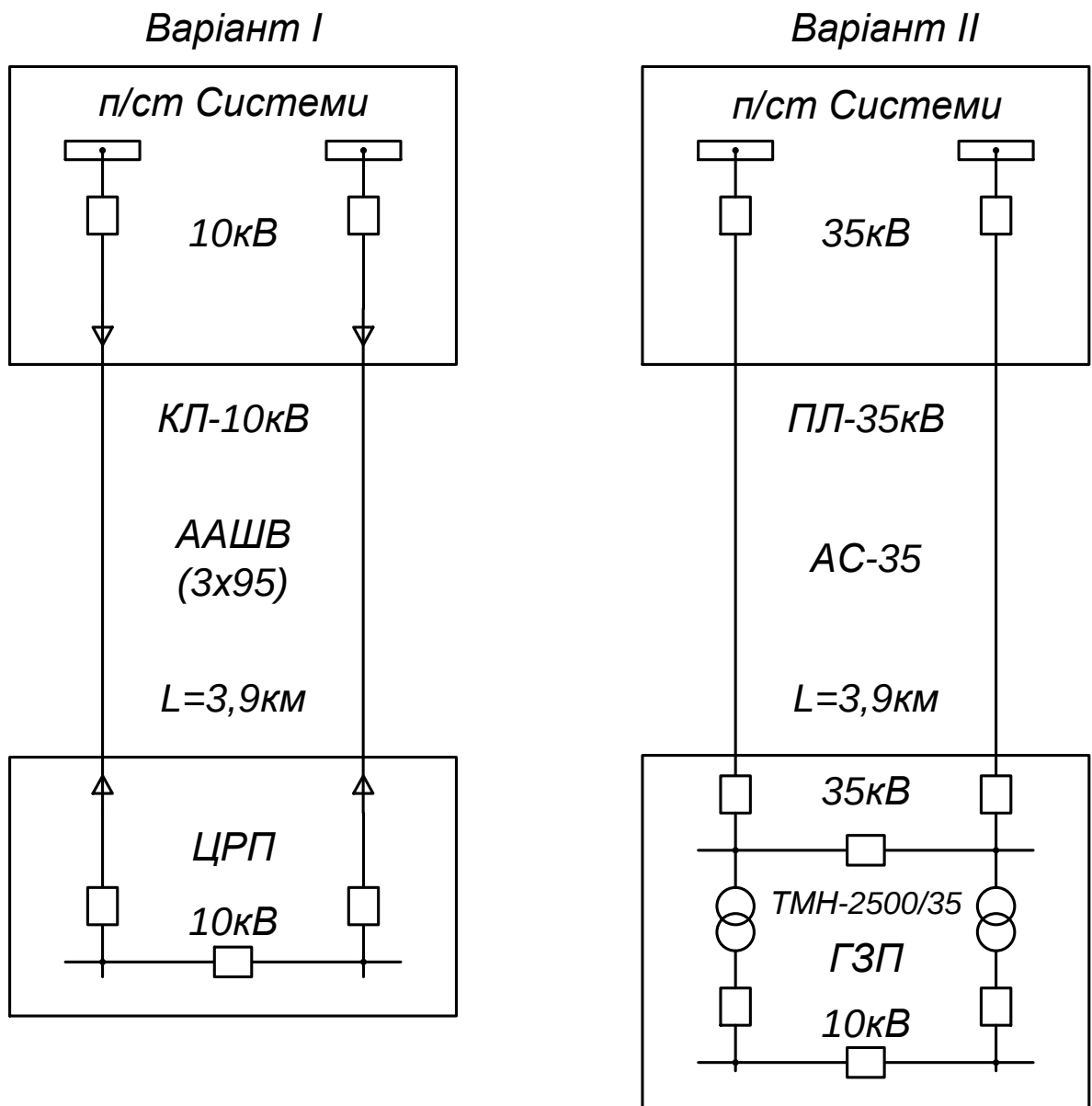


Рис.4.1 Схем зовнішнього електропостачання

Критерієм економічності схеми електропостачання являється мінімум приведених витрат.

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{ном}} + Y_i$$

де C_i , K_i – поточні витрати по передачі і розподілу енергії та сумарні капіталовкладення в i -й варіант;

$C_{\text{ном}}$ – вартість втрат енергії;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВАРІАНТ І. Живлення виконується від шин 10 кВ, кабелями напругою 10 кВ

Розрахунковий струм в лінії потужністю $S_p = 4109.3$ кВА (див. розд. 3).

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{4109.3}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 226 \text{ А}$$

Переріз визначимо по економічній щільності струму, $j_{ек}=1,4$ при $T_M < 5000 \text{ год}$ (Табл.10.1[1])

$$F_{ек} = \frac{I_p}{2 \cdot j_{ек}} = \frac{226}{2 \cdot 1.4} = 80,8 \text{ мм}^2$$

Приймаємо для прокладення 2 кабельних ліній перерізом 95мм² кожна, марка ААШВ(3х95) з тривало допустимим струмом нагріву $I_{д,доп}=205$ А Табл.7.10[6].

При виході з ладу одного ланцюга лінії, ланцюг що залишився в роботі забезпечує живлення навантаження.

$$I = I_{д,доп} \cdot K_{ан} = 205 \cdot 1,3 = 266,5 \text{ А}$$

де $K_{ан}$ - допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження

Вартість втрат електроенергії визначимо по середньому тарифу

$$C_{ном} = C_0 \cdot \Delta E \quad (4.1)$$

$$C_0 = 2,5767 \text{ грн/кВт*год (II клас)}$$

Втрати енергії визначимо за виразом

$$\Delta E = \Delta P_m \cdot \tau_m \quad (4.2)$$

$$\Delta P_m = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (4.3)$$

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де l - загальна довжина кабелю $l=3.9$ км

$R_0=0,326$ Ом/км- питомий опір [3]

Згідно (4.3) і (4.2) при $T_m=4083,7$ год , $\tau_m = 2487$ год (див.розділ3)
отримуємо

$$\Delta P_m = 3 \left(\frac{226}{2} \right)^2 \cdot 2 \cdot 0.326 \cdot 3.9 \cdot 10^{-3} = 94.84 \text{ кВт}$$

$$C_{втр} = C_0 \cdot \Delta P_m \cdot \tau_m = 2,5767 \cdot 94.84 \cdot 2482.7 \cdot 10^{-3} = 606,7 \text{ тис. грн.}$$

ВАРІАНТ 2 Живлення комбінату виконується від ВРУ –35 кВ по повітряній лінії рис.4.1 б

Розрахунковий струм в лінії

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{4109,3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 64,2 \text{ мм}^2$$

Переріз проводу визначаємо по економічній щільності струму $j_{ек}=1,1$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек} \cdot 2} = \frac{64,2}{1,1 \cdot 2} = 29,2 \text{ мм}^2$$

Приймаємо дволанцюгову ЛЕП з проводами АС-35 мм^2 ,

$$I_{д.доп}=175\text{А}, R_0=0,79\text{Ом/км}$$

На ГЗП попередньо вибираємо два трансформатора потужністю $S_n = 2,5$ мВ А кожен. Тип ТМН-2500/35 , $U_{ВН}=35\text{кВ}$, $U_{НН}=11$ кВ,

$$\Delta P_k = 23,5 \text{ кВт}, \Delta P_{xx} = 4,1, \text{ кВт}, U_k = 6,5, I_{xx} = 1$$

Завантаження трансформаторів в номінальному режимі

					Арк. 34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{ном}} = \frac{4109.3}{2 \cdot 2500} = 0.82$$

Перевіряємо трансформатор на допустиме перевантаження в аварійному режимі

$S_{дон} = 1.4 \cdot S_{ном} = 1,4 \cdot 2500 = 3500 < 4057,3$ в аварійному режимі відключаємо споживачів III категорії.

Втрати енергії в лінії 35 кВ

$$\Delta E_{л} = \Delta P_{л} \cdot \tau_{н} = 18.58 \cdot 2482.7 = 46128.6 \text{ кВт}$$

$$\text{де } \Delta P_{л} = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3} = 3 \left(\frac{64.2}{2} \right)^2 \cdot 0.79 \cdot 3.9 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 18.58 \text{ кВт}$$

Втрати енергії в трансформаторах

$$\begin{aligned} \Delta E_{тр} &= 2(\Delta P_{xx} \cdot T_{в} + \Delta P_{к} \cdot \tau_{н} \cdot K_3^2) = \\ &= 2(4.1 \cdot 8760 + 23.5 \cdot 2482.7 \cdot 0.81^2) = 148390 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Сумарні втрати

$$\Delta E = \Delta E_{л} + \Delta E_{тр} = 46128,6 + 148390 = 194518,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат

$$C_{втр} = \Delta E \cdot C_0 = 194518.6 \cdot 1,7707 \cdot 10^{-3} = 344,43 \text{ тис. грн}$$

$$C_0 = 1,7707 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год (I клас)}$$

Подальший розрахунок витрат по варіантах наведений в Табл.4.1-4.3

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Розрахунок капітальних вкладень

варіант	Елементи схеми	Кількість довжина	Вартість, од. тис. грн.	Вартість всього тис. грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем на п/ст джерела 10 кВ	2	30	60
	Кабель ААШВ-95 ,км	7,8	102	795,6
	Траншея, км	3,9	11,2	43,68
	Всього			899,28
2	Шкаф з вимикачем 35 кВ на п/ст системи	2	75,6	151,2
	Дволанцюгова лінія 35 кВ на залізобетонних опорах, км	3,9	334	1302,6
	ВРУ-35кВ, комплектне	1	426	426
	Силовий трансформатор ТМН-2500/35	2	256	512
	Всього			2391,8

Таблиця 4.2 Розрахунок поточних витрат

варіант	Елементи схеми	K _j , тис. грн.	P _a , %	C _{aj} , тис. грн.	P _э , тис. грн.	C _{эj} , тис. грн.	C _j , тис. грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем	60	15	9	5	3	12
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	839,28	5	41,964	5	41,964	83,928
	Всього						95,928
2	Шкаф з вимикачем 35 кВ	151,2	15	22,68	5	7,56	30,24
	Лінія 35 кВ	1302,6	5	65,13	5	65,13	130,26
	ВРУ-35кВ	426	15	63,9	5	21,3	85,2
	Трансформатори ТМН-2500	512	15	76,8	5	25,6	102,4
	Всього						348,1

Виконаємо розрахунок можливого збитку від перерви в електропостачанні.

ВАРІАНТ 1 Параметри потоку відмови одного ланцюга

$$\lambda_a = \sum_1^3 \lambda_{ai} = 2\lambda_{ав} + \lambda_{акл} = 2 \cdot 0.02 + 0.312 = 0.352 \text{ од/рік}$$

де $\lambda_{ав}$ —пошкодження комірки з вимикачем $\lambda_{ав}=0.02$ [3]

$\lambda_{акл}$ —пошкодження кабельної лінії $\lambda_{акл}=8$ од/рік на 100 км, тоді

$$\lambda_{акл} = \frac{8}{100} \cdot 3.9 = 0.312$$

Середній час відновлення одного ланцюга

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum_1^3 \lambda_{ai} \cdot T_{\epsilon i}}{\lambda_a} = \frac{2 \cdot 0.02 \cdot 1.1 \cdot 10^{-3} + 0.312 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0.352} = 6.27 \cdot 10^{-3} \text{ років}$$

$T_{\epsilon B}=1.1 \cdot 10^{-3}$ -час відновлення комірки з вимикачем;

$T_{\epsilon кл}=7.0 \cdot 10^{-3}$ -час відновлення кабельної лінії [3]

Коефіцієнт планового простою, одного ланцюга

$$K_n = 1.2 \cdot K_{nm} = 1.2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2.4 \cdot 10^{-3}$$

де K_{nm} - коефіцієнт планового простою елемента ланцюга, який має найбільший час планового простою, відн. од.

$K_{nm} = K_{н6} = 2 \cdot 10^{-3}$ - коефіцієнт планового простою комірки з вимикачем [3]

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга

$$K_a = \lambda_a \cdot T_{\epsilon} = 0.352 \cdot 6.27 \cdot 10^{-3} = 2.2 \cdot 10^{-3}$$

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт аварійного простою, коли один ланцюг у плановому ремонті

$$K_{an}=0.5*\lambda_a*K_n^2=0.5\cdot0.352\cdot2.4^2\cdot10^{-6}=1.01\cdot10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ланцюгів

$$K_a^{(2)}=K_a^2+2K_{an}=2.2^2\cdot10^{-3}+2\cdot1.01\cdot10^{-6}=6.86\cdot10^{-6}$$

Середній час аварійного простою

$$T_a=K_a^{(2)}*8760=6.86\cdot8760\cdot10^{-6}=0.06$$

Збиток від перерви в електропостачанні

$$Y=Y_0*P_{сг}*T_a=18\cdot1870.5\cdot0.06=2020\text{ грн}$$

де Y_0 -збиток від аварійного недовідпуску електроенергії $Y_0=18$ грн/кВт год (з урахуванням перерахунку тарифу на електроенергію)

$$P_{сг}=\frac{P_p\cdot T_m}{8760}=\frac{4063.8\cdot4083.7}{8760}=1870.5\text{ год}$$

де $P_{сг}$ - середньорічне навантаження

Розрахунок вірогідного збитку від перерви в електропостачанні варіант 2 виконуємо аналогічно.

Всі результуючі значення по варіантах зводимо до таблиці 4.3

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 4.3 Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капітальні вкладення, тис.грн.	899,28	2391,8
Поточні витрати, тис.грн.	95,9	348,1
Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	606,7	344,43
Збиток, тис.грн.	2,02	1,6
Приведені витрати, тис.грн.	812,53	981,15

Техніко-економічне порівняння варіантів дає можливість обрати варіант, тобто живлення елеваторного комплексу здійснюється по кабелям напругою 10 кВ.

4.2 Вибір напруги і схем внутрішнього електропостачання

При внутрішньому електропостачанні елеваторного комплексу вибір напруги може бути визначений попереднім розрахунком, і у даному випадку приймається напруга 10 кВ.

Розподілення електроенергії на елеваторному комплексі може здійснюватися за різними схемами, такими як радіальна, магістральна або змішана. Вибір конкретної схеми залежить від територіального розміщення навантажень, споживаної потужності та вимог до надійності електропостачання.

Радіальна схема передбачає розподіл електроенергії від центральної точки до окремих споживачів за допомогою окремих жил, що розходяться. Магістральна схема передбачає використання головної магістралі, по якій електроенергія подається до різних підстанцій, звідки вже розподіляється до споживачів. Змішана схема комбінує в собі елементи радіальної і магістральної схем.

5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.

5.1 Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір компенсуючих пристроїв

Пульсуюча реактивна потужність, яка протікає між джерелом живлення та електроприймачами, вимагає збільшення струму, що призводить до додаткових витрат на збільшення перерізу провідників мережі та потужності трансформаторів. Це також призводить до додаткових втрат електроенергії.

Однак, найбільш важливим аспектом є збільшення втрат напруги через реактивну складову, яка пропорційна реактивному навантаженню та індуктивному опору. Це може негативно вплинути на якість електроенергії, знижуючи її якість і стабільність.

Для компенсації реактивної потужності застосовуються місцеві джерела реактивної потужності, які допомагають знизити реактивне навантаження та вирівняти потужності в мережі. Це підвищує пропускну здатність мереж і трансформаторів, а також зменшує втрати енергії.

Застосування компенсації реактивної потужності допомагає досягти економічних і технічних переваг. Воно зменшує витрати на розширення і підтримку електричних систем, покращує якість електроенергії і забезпечує більш ефективне використання електроенергії.

Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір компенсуючих пристроїв проводимо згідно методики в [1].

На ЦРП елеваторного комплексу на шинах 10 кВ передбачають підтримувати $\text{tg } \varphi = 0,15$.

Визначимо реактивне навантаження на шинах 10 кВ без урахування компенсації

$$Q_{0,4} = Q_{p0,4} + Q_{po} = 2797.4 + 177 = 2974.4 \text{ кВар}$$

$$Q_{10} = Q_{0,4} + \Delta Q_{mp} + Q_{p10} = 2974.4 + 295.8 = 3270.2 \text{ кВар}$$

Реактивні втрати в трансформаторах ΔQ_{mp} складають:

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta Q_{mp} = \left(\frac{U_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n} + \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_n \right) \cdot n = \left(\frac{5,5}{100} \cdot 0,7^2 \cdot 630 + \frac{2}{100} \cdot 630 \right) \cdot 10 = 295,8 \text{ кВар}$$

Тоді у відповідності з (5.1)

$$Q_{\kappa y} = 3270,2 - 4063,8 \cdot 0,15 = 2660 \text{ кВар}$$

Визначаємо питому вартість втрат по тарифу на електроенергію:

$$C_0 = C_0' \cdot \tau_m = 2,5767 \cdot 2482,7 = 6397,2 \text{ грн}$$

Визначимо 3_{1n} і $3_{1\epsilon}$ по (5.5) і (5.6) з урахуванням $U_{\delta\kappa} = 1,05$ для напруги 10 кВ, $U_{\delta\kappa} = 1$ для напруги 0,4 кВ, $U = 1$, $C_0 = 2,5767$ тис. грн./мВт

$$3_{1\epsilon} = 0,32 \cdot 18 \cdot \left(\frac{1,05}{1} \right)^2 + 6,3972 \cdot 2,5 = 22,34 \text{ тис.грн./мВар}$$

$$3_{1n} = 0,32 \cdot 36 \cdot \left(\frac{1}{1} \right)^2 + 6,3972 \cdot 4,5 = 40,3 \text{ тис.грн./мВар}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах ТП визначаємо, як

$$\Delta P_{mn} = \frac{Q_1^2}{U_{ном}^2} R_{тр\Sigma}, \quad (5.7)$$

$$\text{де } R_{тр\Sigma} = \frac{\Delta P_{\kappa z} \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{N \cdot 630^2} = \frac{19,1}{N} \cdot 10^{-4}$$

Визначимо мінімально можливу кількість трансформаторів по (5.2)

$$N_0 = \frac{4012,4}{0,7 \cdot 630} = 9,1 \approx 10 \text{ шт.}$$

ВАРІАНТ I

Передбачається встановлення трансформаторів $S_n = 630$ кВ А із коефіцієнтом завантаження 0,7, тоді по (5.3)

$$Q_1 = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 4012,4^2} = 1830 \text{ мВар}$$

Потужність конденсаторних батарей на 0,4 кВ

$$Q_{\kappa n} = Q_{p,0,4} - Q_1 = 2974,4 - 1830 = 1144,4 \text{ кВар}$$

Потужність компенсації на 10 кВ

$$Q_{\kappa\epsilon} = Q_{\kappa y} - Q_{\kappa n} = 2660,6 - 1144,4 = 1516 \text{ кВар}$$

Відповідно до (5.7) маємо

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{тн} = \frac{1830^2}{10^2} * \frac{19.1}{10} * 10^{-4} = 6,4 \text{ кВт},$$

Тоді відповідно з (5.4)

$$З_1 = 1.1444 \cdot 40,3 + 1,516 \cdot 22,34 + 6,4 \cdot 6,3972 = 121 \text{ тис. грн.}$$

Виконаємо розрахунки для варіанта 2 ($N=11$) і варіанта 3 ($N=12$), дані розрахунків зводимо в Табл.5.1

Таблица 5.1 Порівняння варіантів компенсації реактивної потужності

Кількість тр-рів	Q_1	$Q_{кн}$	$Q_{кв}$	K_m	$\Delta P_{ТП}$	З
шт.	мВар	мВар	мВар	тис.грн.	кВт	тис.грн.
10	1,830	1,144	1,516	-	6,412	121,013
11	2,726	0,248	2,413	96,000	12,939	177,386
12	3,450	0,000	2,661	182,000	18,998	239,213

Обираємо варіант 1: $N = 10$ трансформаторів, $Q_{кн} = 1144$ кВар,
 $Q_{кв} = 1516$ кВар.

5.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

На ЦРП елеваторного комплексу у відповідності з виконаним розрахунком встановлюємо прилади компенсації на 10 кВ 2 х 760 кВар тип

УК-10-760 ЛУ (табл. 2-170 [3]).

Для компенсації на низькій стороні обираємо комплектні конденсаторні прилади тип УК-0,38-110Н - 8 штук, УК-0,38-130Н – 2 штуки (табл. 2-169 [3]).

Потужність КП на 0,4 кВ складає

$$Q_{кн} = 8 \cdot 110 + 2 \cdot 130 = 1140 \text{ кВар}$$

$$Q_{кв.бк.} = 2 \cdot 760 = 1520 \text{ кВар}$$

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 Вибір кількості і місця розташування КП

Номер КТП	Кількість тр-рів	$S_{н.тр.}$, кВ А	$Q_{ку}$, кВ А	Місце встановлення
КТП-1	2	630	2 х 130	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-2	2	630	2 х 110	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-3	2	630	2 х 110	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-4	2	630	2 х 110	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-5	2	630	2 х 110	На шинах 0,4 кВ ТП

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ.

Кількість трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП) визначається вимогами до надійності електропостачання. Оптимальним варіантом є встановлення двох трансформаторів, що забезпечує практично безперебійне електропостачання підрозділу.

Маючи два трансформатори, їх можна використовувати як основний та резервний апарати. У разі відмови основного трансформатора, резервний може негайно включитись та забезпечити потрібне живлення. Це забезпечує надійність і безперебійність електропостачання, оскільки ремонт або заміна одного трансформатора не призводить до перерв у живленні.

Такий підхід також дозволяє проводити плановий ремонт або технічне обслуговування одного трансформатора, не перериваючи постачання електроенергії.

Важливо пам'ятати, що при проектуванні та встановленні подвійної системи з двома трансформаторами необхідно також враховувати автоматику і засоби захисту, які забезпечать автоматичне переключення на резервний трансформатор у випадку відмови основного. Це дозволить забезпечити неперервне електропостачання без втрат продуктивності та забезпечить високу надійність системи електропостачання.

Одиночну потужність трансформаторів ТП приймаємо згідно з питомою щільністю навантаження елеваторного комплексу.

$$S_{\text{yo}} = \frac{S_p}{F} = \frac{4109.3}{123200} = 0.03 \times 0.2$$

При щільності навантаження до 0,2 кВт А/м² приймаються трансформатори потужністю 630 кВА, 1000 кВА.

Цехові КТП встановлюємо по можливості ближче до центру електричних навантажень цеху.

Потужність трансформаторів обирається в залежності від потужності навантаження з урахуванням категорії споживача.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього трансформатори перевіряють на аварійне перевантаження згідно виразу

$$S_{\text{доп}} = 1,4 \cdot S_{\text{н.тр.}} \geq S_{\text{ав}}$$

Вибір потужності, кількості і розміщення трансформаторів виконуємо в табл. 6.1.

Табл.6.1 Вибір потужності, кількості і місця розташування КТП

Номер п/ст	S_p , кВ А	$S_{\text{н.тр.}}$, кВ А	Категорія беспереб.	тип тр-рів	K_3 норм. реж.	K_3 авар. реж.	п, кількість	місце розташування
КТП-1	991,71	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,79	1,57	2	Промисловий корпус №2
КТП-2	948,79	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,75	1,51	2	Компресорна
КТП-3	900,10	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,71	1,43	2	Елеватор
КТП-4	928,48	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,74	1,47	2	Млин сортового помола пшениці
КТП-5	946,17	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,75	1,50	2	Тароремонтна майстерня

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

7.1 Розрахунок струмів коротких замикань

Для вибору високовольтного обладнання і кабелів треба визначити струми короткого замикання (КЗ). Це необхідно для перевірки обраного обладнання на динамічну і термічну стійкість струмам КЗ та для комутаційного обладнання на вимикаючу здатність.

Розрахунок струмів КЗ будемо виконувати для однієї секції шин рис. 7.1.

Попередньо для живлення КТП-1,2,4,5 вибираємо кабель ААШВ-25 мм², враховуючи перевірку на термічну стійкість (орієнтовно $I_{кз}$ на шинах 10 кВ ЦРП-3 кА).

Магістральний кабель від ЦРП до КТП-3

$$I_n = \frac{0,7 \cdot S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{0,7 \cdot 630 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 48,6 \text{ А}$$

$$F = \frac{I_n}{j_{\text{зк}}} = \frac{48,6}{1,4} = 34,6 \text{ мм}^2 \quad \text{приймаємо } 35 \text{ мм}^2$$

Дані по системі: струм к.з. на шинах 10 кВ ПС $I_{к.з.} = 10,4 \text{ кА}$.

Розрахунок струмів КЗ виконуємо на комп'ютері за допомогою пакета TKZ_RS "Програма розрахунку струмів короткого замикання для розподільчих мереж".

Вихідна схема для розрахунку з довжинами кабелю показана на рис. 7.1.

Результати розрахунку приведені в табл. 7.1 – 7.3.

Табл.7.1. Розрахунок струмів кз

Им'я ЦП Режим -	R тр.ЦП НН [Ом]	Опір системи		Rсист (к НН ЦП) [Ом]	Xсист (к НН ЦП) [Ом]	Xсист (к НН ЦП) [Ом]	Xсист (к НН ЦП) [Ом]
		MAX	MIN				
		[Ом]	[Ом]				
01	.039	.460	.484	.000	.097	.115	.263

Табл.7.2. Розрахунок струмів кз

N п/п -	Початок -	Токи КЗ в максимальном режиме		Z траси [Ом]	(к Ун ВН) [Ом]	I кз 3-фазн. [кА]	I кз удар. [кА]
		Кінець -					
1	00	01		.040	.587	10.4281	26.6343
2	01	ЦРП		1.312	.911	3.2409	4.6330
3	ЦРП	КТП-1		1.411	.919	3.0800	4.3908
	НН	КТП-1		.004	.013	14.7981	28.1532
4	ЦРП	КТП-2		1.510	.927	2.9342	4.1745
	НН	КТП-2		.005	.013	14.6744	27.7124
5	ЦРП	КТП-3		1.383	.919	3.1232	4.4559
	НН	КТП-3		.004	.013	14.8329	28.2806
6	КТП-3	КТП-5		1.482	.927	2.9735	4.2328
	НН	КТП-5		.005	.013	14.7087	27.8359
7	ЦРП	КТП-4		1.386	.917	3.1187	4.4487
	НН	КТП-4		.004	.013	14.8294	28.2656

Табл.7.3. Розрахунок струмів кз

N п/п -	Початок -	Токи КЗ в максимальном режиме		Z траси [Ом]	(к Ун ВН) [Ом]	I кз 3-фазн. [кА]	I кз удар. [кА]
		Кінець -					
1	00	01		.135	.735	8.7711	7.5960
2	01	ЦРП		1.406	1.059	3.1851	2.7584
3	ЦРП	КТП-1		1.505	1.067	3.0396	2.6324
	НН	КТП-1		.005	.013	15.5864	13.4983
4	ЦРП	КТП-2		1.605	1.075	2.9066	2.5172
	НН	КТП-2		.005	.013	15.4580	13.3870
5	ЦРП	КТП-3		1.477	1.066	3.0787	2.6663
	НН	КТП-3		.005	.013	15.6225	13.5295
6	КТП-3	КТП-5		1.577	1.075	2.9425	2.5483
	НН	КТП-5		.005	.013	15.4936	13.4178
7	ЦРП	КТП-4		1.481	1.065	3.0747	2.6628
	НН	КТП-4		.005	.013	15.6189	13.5263

7.2. Вибір високовольтних кабелів

При виборі перетину жил кабелів необхідно враховувати декілька факторів, зокрема:

1. Нагрів від довгого виділення тепла розрахунковим струмом: При проходженні електричного струму через кабель відбувається виділення тепла, яке залежить від величини струму та опору кабелю. Враховуючи цей фактор, вибір перетину жил кабелю виконується таким чином, щоб уникнути надмірного нагріву, який може призвести до перевантаження та пошкодження кабелю.
2. Нагрів від створення тепла струмом короткого замикання: У разі короткого замикання в мережі величина струму може значно збільшитись, що призводить до значного виділення тепла в кабелі. При виборі перетину жил

також необхідно враховувати цей фактор, забезпечуючи достатню потужність розриву, щоб запобігти пошкодженню кабелю та можливим пожежам.

3. Економічні міркування: Вибір перетину жил кабелю також здійснюється з урахуванням економічних факторів. Це означає, що вибирається оптимальний перетин, який відповідає вимогам надійності та безпеки, але при цьому мінімізує витрати на матеріали та встановлення кабелю.

Урахування всіх цих факторів допомагає забезпечити відповідну електричну безпеку, ефективність роботи системи електропостачання та економічну доцільність. Професіонали з електротехнічного проектування та інженери зазвичай використовують стандарти, розрахунки та нормативні документи для прийняття розумного рішення.

При виборі перетину жил кабелів по нагріву розрахунковим струмом визначаємо величину розрахункового струму і вибираємо стандартний перетин. При цьому необхідно враховувати перевантажувальну здатність кабелю.

У цьому випадку замість розрахункового необхідно використовувати форсований, або аварійний струм. Високовольтні кабелі до 10 кВ допускають перевантаження на 25% на час загальної добової тривалості не більше 6 на протязі 5 діб [3]. Таким чином, з урахуванням сказаного, вимоги до вибору можна записати:

$$1,25 \cdot I_{\text{дл.доп}} \geq I_{\text{ав(форс)}}, \quad (7.1)$$

де 1,25-перевантажувальна здатність кабелю, при нормальному коефіцієнті завантаження 0,6 [6];

$I_{\text{ав(форс)}}$ - визначається з урахуванням 40% перевантаження трансформатора, який лишився в роботі.

Визначення перетину по термічній стійкості струмам КЗ виконується по формулі:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C} = \frac{\sqrt{5,3 \cdot 10^3}}{91} = 25 \text{ мм}^2$$

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $C = 91$ для алюмінію [4].

Для $t_{відкл} = 0,5$ с

$$B_k = I^2 \cdot (t_{відкл.} + T_a) = 7,1^2 \cdot (0,5 + 0,002) = 5,3 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$$

Вибір економічно вигідного перетину жил кабелю може бути здійснений згідно зі стандартами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) з урахуванням економічної щільності струму. Економічна щільність струму визначається на основі таких факторів:

1. Матеріал провідника: Різні матеріали провідників, такі як мідь, алюміній або їх сплави, мають різні вартості. При виборі перетину жил кабелю враховується вартість матеріалу провідника.
2. Час використання максимальної потужності: Чим більше часу система працює на максимальній потужності, тим більше витрати на енергію. Тому тривалість використання максимального навантаження впливає на вибір економічно вигідного перетину.

Застосування економічної щільності струму дозволяє знайти такий перетин жил кабелю, який забезпечує оптимальну комбінацію надійності, безпеки та економічної ефективності.

Всі результати вибору перетину жил кабелів заносимо в табл. 7.4. В результаті приймаємо найбільше з розрахункових значень.

Табл.7.4. Вибір перетину жил високовольтних кабелів

№	Кабельна лінія	Потужність		$I_{ав},$ А	Перетин, мм ² вибраний по			Пр ийн ято мм ²	Примітки
		S,кВ А	I, А		J _{эк}	I _{доп}	F _{min}		
1	Від системи до ЦРП	4109,3	113,1	226,2	95	70	25	95	2кабеля марки ААШВ
2	Від ЦРП до КТП-1	1034	28,5	56,9	25	16	25	25	2кабеля марки ААШВ
3	Від ЦРП до КТП-2	982,3	27,0	54,1	25	16	25	25	2кабеля марки ААШВ
4	Від ЦРП до КТП-3	1919	52,8	105,6	35	25	25	35	2кабеля марки ААШВ
5	Від КТП-3 до КТП-5	984	27,1	54,2	25	15	25	25	2кабеля марки ААШВ
6	Від ЦРП до КТП-4	964	26,5	53,1	25	16	25	25	2кабеля марки ААШВ

7.3. Вибір високовольного обладнання

Для вибору вимикачів в закритому розподільчому пункті (ЗРУ) 10 кВ використовується нормальний форсований режим. Перевірка вибраних вимикачів здійснюється з урахуванням їх динамічної стійкості до струмів короткого замикання (КЗ), вимикаючої здатності і термічної стійкості.

Для комплектації ЗРУ-10 зазвичай використовують комплектні розподільчі пристрої (КРУ) типу КУ-10, які можуть бути обладнані вакуумними вимикачами типу ВР-1-10 з номінальними струмами 630, 1000, 1250, 1600 та 2500 А. Вибір вимикачів в ЗРУ-10 може бути здійснений згідно з табличною інформацією, представленою в таблиці 7.5, яка містить необхідні дані про вимикачі, такі як їх тип, номінальний струм тощо.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.7.5. Вибір вимикачів в ЗРУ-10 кВ

Параметри вимикача	Умови вибору	Перевірка умов вибору			
		Ввідний	Секційний	Лінійний (КТП- 2х630....)	Лінійний магістраль ний
Номинальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_n$	10=10	10=10	10=10	10=10
Довготривалий номінальний струм, А	$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	$226 \leq 630$	$113 \leq 630$	$48,6 \leq 630$	$97,2 \leq 630$
Ном. струм дин. стійкості, кА симетричний і асиметричний	$I'' \leq I_{дин.с}$ $i_y \leq \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{д.с}$	$3,24 < 20$	$3,24 < 20$	$3,24 < 20$	$3,24 < 20$
		$4,63 < 51$	$4,63 < 51$	$4,63 < 51$	$4,63 < 51$
Ном. струм відключення, кА симетричний асиметричний	$I_{nt} \leq I_{відкл.н}$ $i_{ат} + i_{пг} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.н} \cdot (1 + \beta_n)$	$3,24 \leq 20$	$3,24 \leq 20$	$3,24 \leq 20$	$3,24 \leq 20$
		$3,24 \leq 28$	$3,24 \leq 28$	$3,24 \leq 28$	$3,24 \leq 28$
Тепловий імпульс(кА ²)с	$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	$15,8 \leq 3200$	$10,5 \leq 3200$	$5,3 \leq 3200$	$5,3 \leq 3200$
Тип		ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ

Виконуємо вибір вимикачів на ЦРП. Для цього визначимо необхідні розрахункові величини:

$$I_{роб.форс.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4109.3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 226 \text{ А}$$

Надперехідний струм КЗ

$$I'' = 3.24 \text{ кА (див. розд. 7.1)}$$

Ударний струм КЗ

$$i_{yo} = 4.63 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X}{\omega \cdot R} = \frac{0.911}{3141.312} = 0,002$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3.24 \cdot e^{-\frac{0,11}{0,002}} = 0 \text{ кА}$$

де

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau = t_{\epsilon} + t_{p.з. \min} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ с}$$

t_{ϵ} – власний час відключення вимикача;

$t_{p.з.}$ – мінімальний час спрацювання релейного захисту.

Номінальна відносна частка аперіодичної складової в струмі вимикання

$$\beta_n = 0$$

Тепловий імпульс при умові $t_{відкл.} \gg T_a$ визначаємо по формулі

$$B_{\kappa} = I^2 \cdot (t_{відкл.} + T_a) = 3,24^2 \cdot (1,5 + 0,002) = 15,8 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$$

де $t_{відкл.} = 1,5 \text{ с}$ – час спрацювання ввідного вимикача і захисту.

Вибираємо запобіжник для захисту ТВП. Номінальний струм ТВП типу ТМ-60/10 рівний

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3,3 \text{ А}$$

Таблица 7.5. Запобіжник для захисту ТВП

Умови виробу	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_n \leq I_{н.пл.вс.}$	3,3 А	5 А
$\ddot{I} \leq I_{відкл.}$	3,24 кА	20 кА

Вибираємо для захисту ТВП запобіжник типу ПКН001-10-5-20У1.

8. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ

8.1. Постановка задачі енергозбереження

Промисловий розвиток країни створює проблеми, пов'язані з ефективним використанням обмежених енергоресурсів. Фактори, які сприяють економії електроенергії, можна класифікувати на технічні, технологічні, економічні та організаційні.

До технічних факторів відносяться:

1. Зменшення втрат електроенергії на етапі генерації.
2. Зменшення втрат у лініях передачі, розподільних мережах та пристроях електропостачання шляхом:
 - використання трансформаторів з поліпшеною сталлю;
 - використання трансформаторів з регулюванням напруги при навантаженні;
 - використання компенсуючих пристроїв;
 - використання напівпровідникових перетворювачів тощо.
3. Зменшення втрат електроенергії на етапі її використання включає такі заходи:
 - Налаштування встановленої потужності відповідно до фактичного споживання.
 - Покращення теплової ізоляції та утеплення електропечей.
 - Зменшення втрат в електричних лініях різних установок.
 - Використання рекуперації тепла і електроенергії.
 - Встановлення обмежувачів холостого ходу.
 - Оптимізація конфігурації мереж у цехах.
 - Оптимізація режимів роботи електричних, освітлювальних і електротехнологічних установок.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До технологічних факторів відносяться:

1. Зміна структури виробничого обладнання, включаючи такі заходи:
 - Впровадження більш економічного технічного і електротехнічного обладнання.
 - Виведення з експлуатації і модернізація зношеного обладнання.
 - Збільшення потужності електропечей та інших пристроїв.
2. Вдосконалення технологій споживання електроенергії в процесах, таких як силові, температурні і електрохімічні, включає такі заходи:
 - Впровадження прогресивних, менш енергоємних процесів.
 - Оптимізація електротермічних і електрохімічних процесів.
 - Використання автоматичного регулювання і контролю.
3. Зміна якості і підготовки сировини:
 - Вдосконалення процесів підготовки сировини з метою зменшення втрат електроенергії.
4. Зміна структури виробленої продукції шляхом впровадження менш енергоємних видів:
 - Перехід до виробництва продукції, яка вимагає меншої кількості електроенергії.
5. Інші технологічні фактори включають:
 - Зменшення непланових простоїв виробництва.
 - Зниження втрат через брак.
 - Ефективне використання енергоносіїв, таких як стисле повітря, вода, кисень, пар.
 - Вдосконалення систем охолодження технологічних печей і установок.
 - Зменшення механічних втрат.
 - Перехід від механообробки до штампування.
 - Заміна фрезерування прокаткою.
 - Впровадження індукційного нагріву замість опорних печей.
 - Використання електроерозійної обробки.

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Впровадження багатопостового зварювання.
- Використання систем водообігу та повітрообігу.
- Використання вторинних енергоресурсів.

До економічних факторів відносяться:

- Вдосконалення методів економічного стимулювання для покращення використання електроенергії.
- Введення плати за використання виробничих фондів, включаючи оборотні фонди, які підлягають нормуванню.
- Вдосконалення методів планування електроенергетичних потреб.
- Комбінування та спеціалізація виробництва з метою оптимізації використання електроенергії.

До організаційних факторів відносяться:

- Вдосконалення методів нормування витрат електроенергії та контролю за її раціональним використанням.
- Вдосконалення системи обліку і контролю електроенергії.
- Організація суспільних оглядів, конкурсів і конференцій з питань економії енергоресурсів.
- Пропаганда і реклама кращих світових досягнень та передового досвіду в галузі енергоефективності.
- Використання візуальної агітації для підвищення свідомості про раціональне використання електроенергії.

В даному розділі кваліфікаційної роботи розглядаються можливі заходи щодо зменшення витрат енергії та зниження вартості виробничого процесу шляхом економії використання електроенергії.

Правильна експлуатація трансформаторів забезпечує значну економію енергії. Обмеження втрат в мінімальних режимах роботи досягається шляхом вибору оптимальної кількості активних трансформаторів, які знаходяться в роботі. Крім того, втрати холостого ходу трансформаторів, що залежать від їх

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількості, призводять до збільшення протікання струму через інші елементи системи і призводять до додаткових втрат енергії.

Крім того, раціональний режим компенсації реактивної потужності є одним з основних аспектів економії електроенергії. Реактивна потужність, яка в більшості випадків не має прямого виробничого значення, навантажує елементи електричної схеми, зменшуючи їх пропускну спроможність. Це вимагає збільшення кількості трансформаторів, перерізів ліній та інших матеріальних витрат. Крім того, струми, що виникають внаслідок реактивного навантаження, призводять до додаткових втрат активної енергії. Тому це питання розглядається з метою знайти рішення проблеми та обґрунтувати необхідність впровадження енергозберігаючих технологій на виробництві, базуючись на обчисленні економічного ефекту від цих заходів.

Додатково, для підвищення ефективності використання електроенергії в освітлювальних системах розглядаються наступні напрямки:

1. Вдосконалення засобів освітлення: Застосування прогресивних енергоощадних світлових приладів дозволяє знижувати споживання електроенергії. Використання нових принципів проектування і нормування освітлення також сприяє зменшенню витрат електроенергії.
2. Енергоаудит та модернізація освітлювальних установок: Проведення енергоаудиту дозволяє виявити можливості для енергоефективних покращень. Модернізація освітлювальних установок та мереж, включаючи заміну застарілого обладнання на більш ефективне, може призвести до значної економії електроенергії.
3. Експлуатація та обслуговування: Забезпечення належного рівня експлуатації освітлювальних установок з відповідністю до нормативних вимог допомагає уникнути витрат енергії через неправильну роботу або пошкодження обладнання.
4. Стимулювання споживачів електроенергії: Шляхом впровадження спеціальних заохочень, наприклад, фінансових або податкових стимулів,

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачі електроенергії стимулюються до використання енергоощадних джерел світла та енергоефективних рішень в освітлювальних системах.

Всі ці заходи спрямовані на зменшення витрат електроенергії та здешевлення виробничого процесу шляхом економії використання електроенергії в освітлювальних установках.

8.2. Підвищення навантаження робочих машин

Підвищення середнього навантаження робочих машин може знизити питомі витрати електроенергії. На рисунку 8.1. показано, що при зменшенні навантаження на електродвигун і робочу машину зменшується їх коефіцієнт корисної дії (ККД). Це означає, що чим нижче навантаження, тим менша частка електроенергії перетворюється на корисну роботу, а більша частина витрачається на зайві втрати.

Оптимальне навантаження робочих машин може бути досягнуто шляхом планування та координації робочих процесів, щоб уникнути непотрібних перерв, простою або низьким навантаженням обладнання. Наприклад, розумне розподіл завантаження між робочими машинами або оптимізація робочого графіку можуть забезпечити оптимальне навантаження і підвищити ККД.

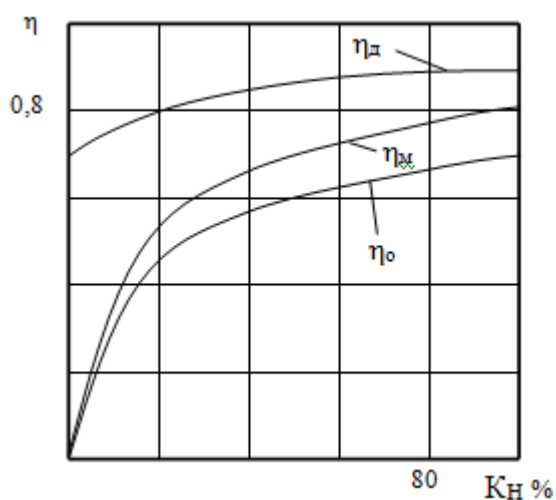


Рис.8.1. Залежність ККД робочої машини η_m двигуна η_d і всього приводу η_o від коефіцієнта навантаження K_H

						Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливо зазначити, що при плануванні навантаження необхідно дотримуватись меж безпеки та ефективності обладнання, щоб уникнути його перевантаження.

Питома витрата енергії на робочій машині визначається як споживана кількість енергії двигуном під час виконання одиниці корисної роботи. Це показник, який відображає енергоефективність конкретної робочої машини при певному технічному режимі.

Для вимірювання питомої витрати енергії необхідно знати кількість електроенергії, споживаної двигуном, і кількість виконаної корисної роботи в одиницях, наприклад, кіловат-годинах. Питома витрата енергії вимірюється у одиницях енергії на одиницю корисної роботи, зазвичай у кіловат-годинах на одиницю корисної роботи.

Ця витрата визначається як кількість енергії, яка споживається двигуном із мережі E_m , віднесенома до кожної кіловат-години корисної роботи в даному технічному режимі

$$E_n = P_m T_m$$

де: P_m – потужність, що споживається робочим органом машини, кВт;
 T_m – машинний час, тобто час корисної роботи, год.

Питома витрата енергії визначається:

$$\Delta E = \frac{1}{\eta_{m,n} \kappa_n} \left(\kappa_n + \frac{\alpha(1 - \eta_{m,n})}{\kappa_T} \right)$$

де $\eta_{m,n}$ – ККД робочої електромашини при повному навантаженні;
 $\kappa_n = P_m / P_{m, ном}$ – коефіцієнт навантаження; $P_{m, ном}$ – номінальна потужність електричного двигуна, кВт; $\kappa_T = T_m / (T_m + T_x)$ – коефіцієнт використання робочої електромашини; T_m – машинний час, год.; T_x – час роботи в холлостому режимі, год.; α – коефіцієнт, що залежить від типу та конструкції робочої машини, який дорівнює 0,7-0,9.

При відсутності режиму холостого ходу ($\kappa_T = 1$) питомі витрати енергії

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta E' = \frac{\kappa_H + \alpha(1 - \eta_{м.н})}{\eta_{м.н} \kappa_H}$$

При максимальному використанні робочої електромашини, тобто при відсутності холостого ходу ($\kappa_T = 1$) і повному навантаженні електромашини ($\kappa_H = 1$), питома витрата енергії стане мінімальна

$$\Delta E_0 = \frac{1 + \alpha(1 - \eta_{м.н})}{\eta_{м.н}}$$

Відношення $\beta = \Delta E / \Delta E_0$ виражає коефіцієнт збільшення питомої витрати енергії від навантаження та тривалості роботи в стані холостого ходу

$$\beta = \frac{\kappa_H \kappa_T + \alpha(1 - \eta_{м.н})}{[1 + \alpha(1 - \eta_{м.н}) \kappa_H \kappa_T]}$$

В майстерні елеваьорного комплексу металообробний верстат постійно працює з навантаженням, що дорівнює 25% номінальної потужності ($\kappa_H = 25\%$), і з періодом холостого обертання, що дорівнює 50% ($\kappa_T = 0,5$). В даному випадку питома витрата енергії порівняно з мінімально можливою витратою електроенергії при повному завантаженні верстату складає 210%.

При зростанні навантаження верстата, якщо $\kappa_H = 80\%$, і зменшення періоду холостого обертання, якщо $\kappa_T = 0,9$, зростання питомої витрати енергії складає лише 106%.

Враховуючи, що $\beta = \Delta E / \Delta E_0$, де $\Delta E_0 = 1,48$ кВт·год, при $\eta_{м.н} = 0,8$ і $\alpha = 0,9$ отримуємо годинну економію електричної енергії

$$\Delta E = (\beta_1 - \beta_2) \Delta E_0 = (2,5 - 1,06) 1,48 = 2,14 \text{ кВт·год.}$$

Економічний ефект становить

$$E = \Delta E \cdot C_0 = 2,14 \cdot 2,7 = 5,8 \text{ грн./год}$$

8.3. Економічний режим роботи трансформаторів

В умовах експлуатації трансформаторів необхідно враховувати економічно доцільний режим роботи. Цей режим передбачає, що при

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наявності кількох трансформаторів, які можуть працювати на спільній шині, кількість включених трансформаторів визначається таким чином, щоб мінімізувати втрати потужності в цих трансформаторах згідно з заданим графіком навантаження. При цьому потрібно враховувати не лише втрати активної потужності в самому трансформаторі, але й втрати активної потужності, що виникають через перетоки реактивної потужності в системі електропостачання від генераторів електростанцій до розглянутих трансформаторів. Ці втрати називають зведеними, що відрізняється від втрат в самих трансформаторах і обчислюються за виразом

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + K_z^2 \Delta P'_k,$$

де $\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{nn} \Delta Q_x$ - зведені втрати потужності холостого ходу трансформатора, які враховують втрати активної потужності в самому трансформаторі, і ті, які створюються ним в елементах системи електропостачання та залежать від реактивної потужності, яку споживає трансформатор; $\Delta P'_k = \Delta P_k + K_n \Delta Q_k$ - зведені втрати короткого замикання; ΔP_x - втрати потужності холостого ходу (в розрахунках приблизно приймають $\Delta P_x = \Delta P_{ст}$); ΔP_k - втрати потужності к.з. (втрати в обмотках тр-ра); $K_{пп}$ - коефіцієнт, що враховує зміни втрат; $K_z = S_{ф.т.} / S_{ном.т.}$ - коефіцієнт завантаження; $S_{ф.т.}$ - фактичне навантаження трансформатора (або розрахункове на протязі проектування); $S_{ном.т.}$ - номінальна потужність тр-ра; $\Delta Q_{xx} = S_{ном.тр.} \cdot \frac{I_{xx}}{100}$ - реактивна потужність х.х. тр-ра; $\Delta Q_k = S_{ном.тр.} \cdot \frac{U_k}{100}$ - реактивна потужність к.з. тр-ра; I_{xx} - струм х.х. тр-ра; U_k - напруга к.з. тр-ра.

Залежність зведених втрат потужності силового трансформатора $\Delta P'_T$ від навантаження $S_{ф.т.}$ представлена на рис. 8.2.

Вираз доцільно представити в іншій формі

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + \frac{\Delta P'_k}{S_{ном.тр.}^2} S_{ф.т.}^2$$

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для спрощення виразу позначимо $\Delta P' = a$; $\frac{\Delta P'_K}{S_{ном.тр}^2} = \epsilon$, в результаті

отримаємо:

$$\Delta P'_T = a + \epsilon \cdot S_{ф.т}^2$$

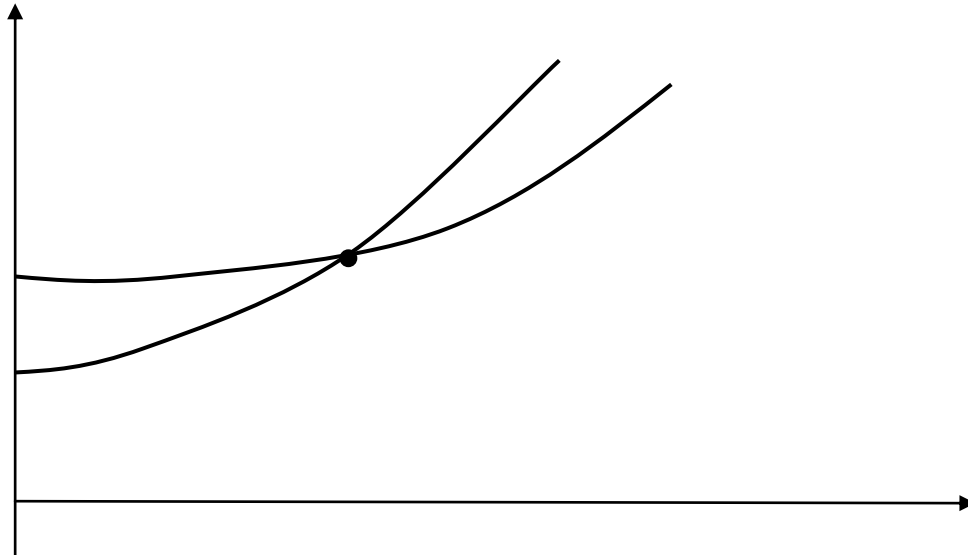


Рис. 8.2. Залежність приведених втрат активної потужності в трансформаторах

Це рівняння параболи. На рис.8.2 точка перетину кривих 1 та 2 виражає навантаження $S_{ф.т.1}$, $S_{ф.т.2}$ та кожна з них одночасно стосується двох парабол. Їх координати, наприклад, для точки А задовольняють сумісному рішення рівнянь $\Delta P'_{T1A} = a_1 + \epsilon_1 \cdot S_{ф.тA}^2$ та $\Delta P'_{T2A} = a_2 + \epsilon_2 \cdot S_{ф.тA}^2$. В даних рівняннях індекси 1,2 відповідають цифровим значенням кривих на рис. 8.2. В загальному випадку, економічно доцільний режим роботи може представляти будь-яку пару подібних кривих, де кожна крива відповідає певній кількості паралельно включених трансформаторів.

Для точки А дійсне рівняння

$$\Delta P'_{T1A} = \Delta P'_{T2A},$$

тобто

$$a_1 + \epsilon_1 \cdot S_{ф.тA}^2 = a_2 + \epsilon_2 \cdot S_{ф.тA}^2,$$

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звідки

$$S_{\phi.mA} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}},$$

або, що одне і те ж

$$S_{\phi.mA} = \sqrt{\frac{a_1 - a_2}{b_{12} - b_1}}$$

З виразу для трансформаторів однієї потужності отримуємо

$$S_{\phi.mA} = S_{ном.тр} \sqrt{n(n-1) \cdot \frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}$$

Вираз застосовується не лише для визначення економічного доцільного режиму роботи двох паралельно працюючих трансформаторів, але й для визначення економічної доцільності долучання до групи ще одного трансформатора.

Здійснимо розрахунок економії електроенергії від впровадження системи автоматичного регулювання роботи силових трансформаторів на ТП2, ТП3 та ТП4.

Сумарні втрати електроенергії в двох трансформаторах ТМ630/10, що працюють паралельно

$$\Delta W_{T2\Sigma} = 280,43 \cdot 147 + 203,96 \cdot 65 + 238,84 \cdot 105 + 183,59 \cdot 48 = 88371,64 \text{ кВт г}$$

Сумарні втрати електроенергії при впровадженні системи автоматичного регулювання роботи силових трансформаторів:

$$\Delta W_{авт.рег\Sigma} = 280,43 \cdot 147 + 198,09 \cdot 65 + 238,7 \cdot 105 + 169,69 \cdot 48 = 87307,85 \text{ кВт г}$$

Скорочення втрат електроенергії складає

$$\Delta \Delta W = 88371,64 - 87307,85 = 1063,8 \text{ кВт г}$$

Економічна ефективність складає по ТП2

$$C = C_o \cdot \Delta \Delta W = 2,7 \cdot 1063,8 = 2872,3 \text{ грн.}$$

В цілому по комплексу зниження втрат становить $\Delta \Delta W = 3187,59 \text{ кВт} \cdot \text{г}$.

Визначимо економічну ефективність від застосування системи автоматичного регулювання роботи силових трансформаторів за рік:

$$C = C_o \cdot \Delta \Delta W \cdot \tau_{нб} = 2,7 \cdot 3187,59 \cdot 4555,3 = 4555,3 \text{ тис.грн.}$$

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.4. Впровадження регульованого електроприводу вентиляторів.

На сьогоднішній день на більшості агрегатів використовується нерегульований асинхронний електропривід з прямим пуском електродвигуна. Прямий пуск призводить до значних перевантажень електродвигунів через великі й тривалі пускові струми. Залежно від вимог технологічного процесу, регулювання витрат повітря виконується шляхом зміни положення заслінок напрямного апарату електродвигуна вручну з ЦПК (центрального пульта керування).

Характеристики ККД вентилятора наведені на рисунках 8.4, 145, 8.6.

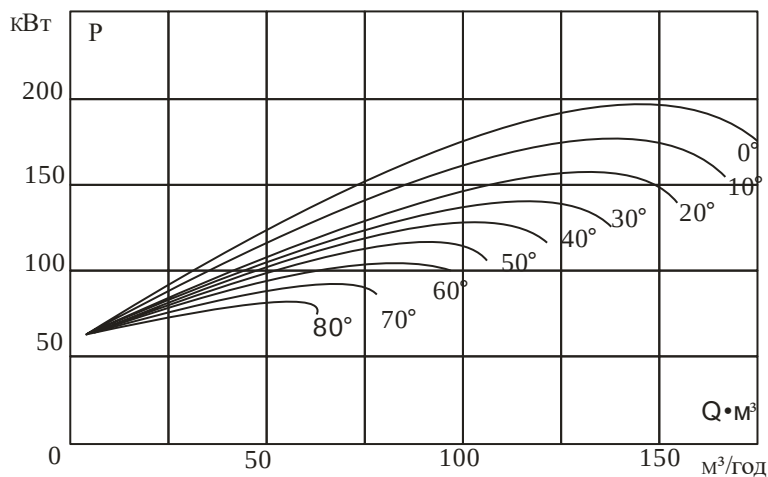


Рис. 8.4 Аеродинамічні характеристики вентилятора при $n_{\text{дв}} = 985$ об/хв

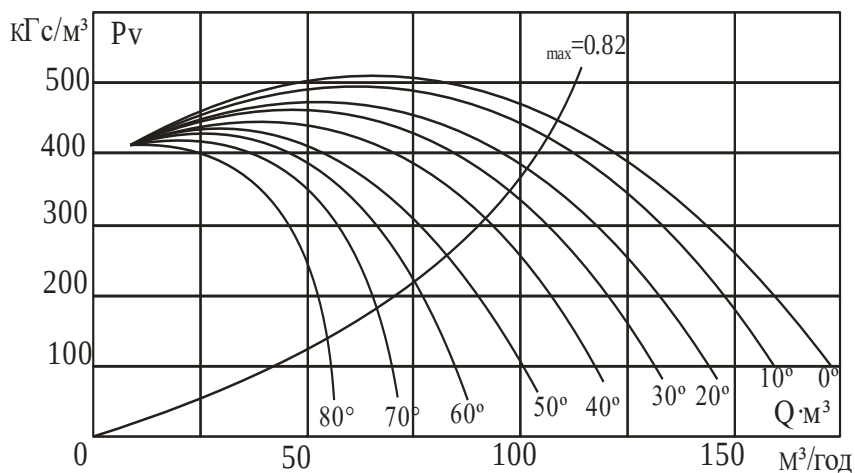


Рис. 8.5 Напірні характеристики вентилятора при $n_{\text{дв}} = 985$ об/хв

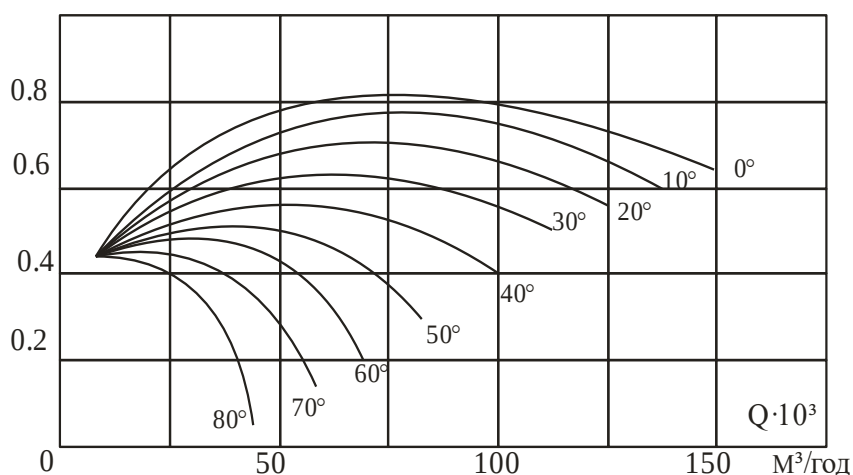


Рис. 8.6 Характеристики ККД вентилятора при $n_{\text{дв}}=985$ об/хв.

Вентилятори є механізмами, які працюють в режимі тривалого навантаження протягом значної кількості годин на рік. Навантаження на валу приводного двигуна є стабільним і не викликає перевантажень у постійному режимі. Частота обертання робочого колеса вентилятора для великих машин не перевищує 730 оборотів на хвилину. Вентилятори мають великий момент інерції, що необхідно враховувати при розрахунку пускових характеристик електроприводів.

Пуск вентилятора може відбуватися як при розвантаженій машині (з закритим напрямним апаратом), так і при нормальній роботі в мережі. У першому випадку максимальний момент при пуску становить приблизно 0,5 номінального значення, у другому - номінального. При пуску потужних вентиляторів з великим діаметром робочого колеса, зазвичай, необхідно обмежувати прискорення, щоб уникнути появи надмірних динамічних напруг на лопатках робочого колеса та різкого зростання пускового струму.

Особливо важливим для деяких вентиляторів є використання регульованого електроприводу.

При використанні регульованого електроприводу ККД вентиляторів повинен бути в середньому на 15-20% вищим, ніж при нерегульованому

електроприводі. Застосування регульованого привода для вентиляторів також дозволяє спростити конструкцію турбомашин у деяких випадках шляхом виключення напрямного апарату. Крім поліпшення енергетичних характеристик, змінюються експлуатаційні показники: збільшується міжремонтний цикл завдяки зниженню механічних навантажень і послабленню пускових режимів, легко вибирається необхідний технологічний режим і забезпечується паралельна робота вентиляторів.

Розрахунок енергетичних характеристик привода

Потужність, яку споживає вентилятор при ігноруванні щільністю повітря, визначається за формулою, аналогічною формулі для відцентрових насосів.:

$$P = k_3 \frac{P_t \cdot Q \cdot 10^{-3}}{\eta_{заг}}, \quad (8.14)$$

де P_t - тиск вентилятора, Па;

Q - подача повітря вентилятора, м³/с.

Загальний ККД вентиляторної установки

$$\eta_{заг} = \eta_v \cdot \eta_n \cdot \eta_{пер}, \quad (8.15)$$

де η_v - ККД вентилятора; η_n - ККД привода; $\eta_{пер}$ - ККД передачі.

Коефіцієнт запасу в осьових вентиляторів $K_3 = 1.05-1.10$; в відцентрових - $K_3 = 1.10-1.15$.

Розрахунок характеристик регульованого привода здійснюється по наступним співвідношенням:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad - \text{співвідношення витрати й швидкості}; \quad (8.16)$$

$$\frac{P_{v2}}{P_{v1}} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad - \text{співвідношення тиску (напору) і швидкості}; \quad (8.17)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad - \text{співвідношення потужності й швидкості}. \quad (8.18)$$

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок споживання потужності вентилятором

Таблиця 8.1 Розрахункові дані споживаної потужності вентиляторної установки при $n = \text{const} = 985$ об/хв, регулювання витрат повітря напрямним апаратом (дроселюванням) та при положенні лопастей 0 град

Найменування	Позначення	1	2	3	4	5	6	7
Витрата, тис м ³ /рік	Q	0,1	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0
Напір, кгс/м ²	P _t	400,0	455,0	490,0	500,0	470,0	385,0	270,0
Швидкість дв,об/хв	n ₁	985,0	985,0	985,0	985,0	985,0	985,0	985,0
ККД вентилятора	η _в	0,42	0,65	0,75	0,81	0,81	0,75	0,62
ККД дв	η _д	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
ККД перетворювача	η _{пер}							
Споживана потужність ,кВт	P ₁	0,3	55,7	102,7	144,0	178,4	195,2	196,6
Економія ел.ен,кВт		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблиця 8.2 Розрахункові дані споживаної потужності вентилятора при $n = \text{const} = 985$ об/хв, регулювання витрати повітря напрямним апаратом (дроселювання) і при положенні лопастей 50 град

Найменування	Позначення	1	2	3	4	5	6	7
Витрата, тис м ³ /рік	Q	0,1	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0
Напір, кгс/м ²	P _t	400,0	405,0	375,0	295,0	110,0		
Швидкість дв,об/хв	n ₂	985,0	985,0	985,0	985,0	985,0	985,0	985,0
ККД вентилятора	η _в	0,42	0,58	0,60	0,50	0,20		
ККД ел.дв	η _д	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
ККД перетворювача	η _{пер}	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Споживана потужність ,кВт	P ₂	0,3	55,5	98,3	147,6	169,1		
Економія ел.ен.,кВт	P ₁ -P ₂	0,0	0,1	4,5	6,4	9,3		

Таблиця 8.3 Розрахункові дані споживаної потужності вентиляторної установки при $n = \text{var}$, регулювання витрат повітря шляхом зміни швидкості двигуна (частотне регулювання)

Найменування	Позначення	1	2	3	4	5	6	7
Витрата, тис м ³ /рік	Q	0,1	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0
Напір, кгс/м ²	P _t	60,0	95,0	140,0	170,0	200,0	240	270,0
Швидкість дв,об/хв	n ₂	275,8	404,8	490,1	576,6	645,1	785,6	987,1
ККД вентилятора	η _в	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,75	0,63
ККД ел.дв	η _д	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
ККД перетвор.	η _{пер}	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Споживана потужність, кВт	P ₂	0,02	9,40	25,43	49,34	76,54	124,16	197,40
Економія ел.ен.,кВт	P ₁ -P ₂	0,3	46,3	77,3	94,6	101,9	71,0	-0,8

Напірна характеристика

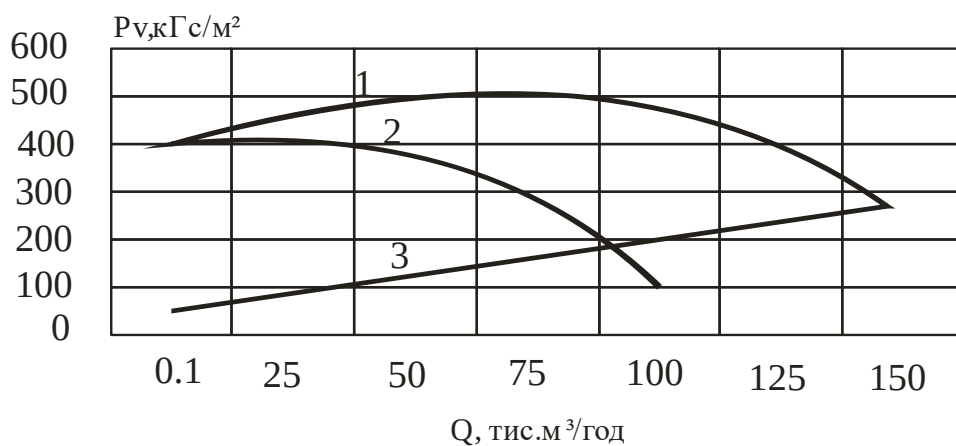


Рис. 8.8- Напірна характеристика вентиляторної установки:

1 - нерегульований привод (положення лопастей напрямного апарата 0 град); 2 - нерегульований привод (положення лопастей напрямного апарата 50 град); 3 - привод з перетворювачем частоти (регулювання швидкості вентиляторної установки).

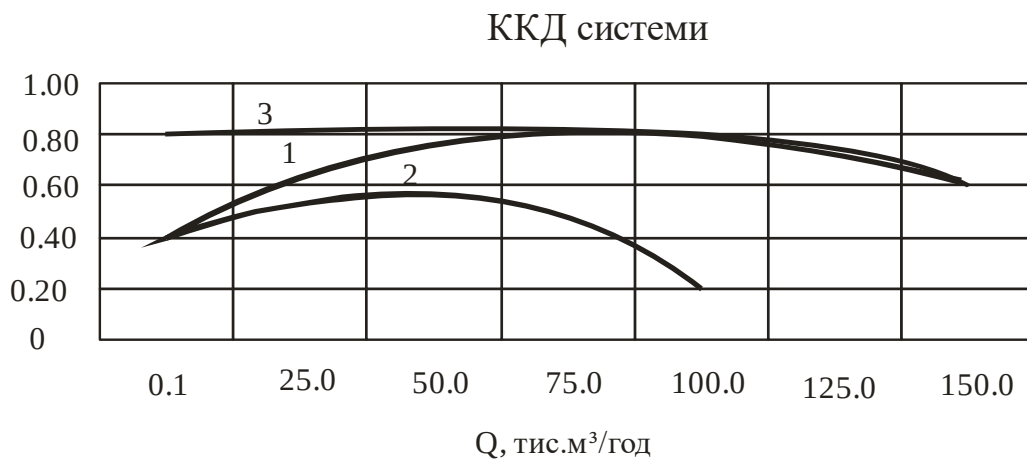


Рис. 8.9- ККД системи вентилятора:

1 - нерегульований привод (положення лопастей напрямного апарата 0 град); 2 - нерегульований привод (положення лопастей напрямного апарата 50 град); 3 - привод з перетворювачем частоти (регулювання швидкості вентиляторної установки).

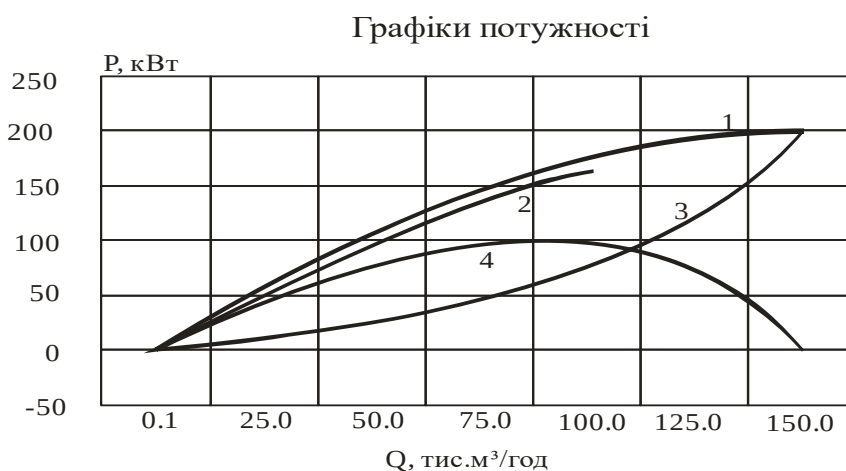


Рис. 8.10- Графіки потужності вентиляторної установки:

1 - нерегульований привод (положення лопастей напрямного апарата 0 град); 2 - нерегульований привод (положення лопастей напрямного апарата 50 град); 3 - привод з перетворювачем частоти (регулювання швидкості вентилятора); 4 - графік годинної економії потужності при відповідній витраті

8.5. Нормування електроенергії та електробаланс

Для виявлення потенційних можливостей зекономії енергоресурсів необхідно створити енергетичний баланс. Електричний баланс, також відомий як електробаланс, складається з двох частин: прихідної та витратної.

Прихідна частина електробалансу містить детальний перелік енергоносіїв, які надходять до системи.

Витратна частина електробалансу визначає витрату енергії в різних сферах її використання, а також втрати, що виникають під час перетворення енергії з одного виду на інший та під час її транспортування.

В умовах існуючих підприємств електробаланси складаються для окремих агрегатів або груп, цехів і підприємств в цілому. Електробаланси надають об'єктивну інформацію щодо якості електроспоживання на підприємстві, виробничих підрозділах або енергоємних агрегатах. Це дозволяє виявити можливості зниження невиробничих витрат електроенергії та втрат. На основі цих даних визначаються заходи для поліпшення використання електроенергії.

Розрізняють три основних типи електробалансів:

1. Фактичні електробаланси відображають реальні умови електроспоживання в цехах або на підприємстві.
2. Нормалізовані електробаланси враховують можливості раціоналізації та оптимізації процесів електроспоживання, а також зниження втрат в механізмах та електричних мережах.
3. Перспективні електробаланси складаються з урахуванням прогнозованого розвитку підприємства та його якісних змін на найближчий період (до 5 років) або на більш тривалий термін.

Результатом складання нормалізованих електробалансів є можливість нормування електроспоживання на основі основних технологічних процесів та виготовлення готової продукції. Основною метою електробалансу є

						Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення ефективного використання електроенергії та пошук шляхів зниження втрат і раціоналізації електроспоживання. Тому основним типом балансу вважається баланс активної енергії, який визначає реальний режим електроспоживання та рівень використання електроенергії.

Баланс реактивної потужності складається аналогічно, враховуючи вироблення реактивної потужності компенсуючими пристроями, і використовується для вирішення питань компенсації реактивної потужності і регулювання напруги. Прихідна і витратна частини враховуються на підставі показань лічильників активної енергії та розрахункової потужності.

Витратна частина електробалансу активної електроенергії поділяється на наступні складові:

1. Прямі витрати електроенергії на основний технологічний процес, які включають корисну витрату електроенергії для виробництва продукції без врахування втрат у різних енергоємних системах технологічного обладнання.
2. Непрямі витрати електроенергії на основний технологічний процес, які виникають внаслідок недосконалості процесу або порушень технологічних норм (наприклад, зволоження зерна).
3. Витрати електроенергії на допоміжні потреби, такі як вентиляція приміщень, освітлення і т.д.
4. Втрати електроенергії в елементах системи електропостачання, таких як лінії передачі, трансформатори, реактори, компенсуючі пристрої і електродвигуни.

Метою складання електробалансу є:

- Виявлення і визначення витрат електроенергії.
- Визначення фактичних питомих норм витрати електроенергії на одиницю виробленої продукції на підприємстві.
- Виявлення можливостей зниження як невиробничих витрат електроенергії, так і витрат на виробництво основної продукції шляхом впровадження заходів, що поліпшують технологічний процес. Також проводиться

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порівняння фактичних питомих норм витрати електроенергії на основну продукцію підприємства з місяця на місяць та з року на рік.

Розрахуємо фактичний (розрахунковий) баланс для спроектованої СЕПП:

Поточні резерви економії електроенергії:

$$\Delta W_T = \sum(\Delta W_{\text{фі}} - \Delta W_{\text{ні}}) = 6092,24 + 7601,06 + 489,65 + 32000 + 198800 = 244982,95 \text{ кВт·год/рік}$$

де $\Delta W_{\text{фі}}$ і $\Delta W_{\text{ні}}$ - втрати електроенергії в кожному і- тому об'єкті перед та після проведення заходів.

Грошова економія за рік:

$$\Delta E = C_o \cdot \Delta W_T = 2,7 \cdot 244982,95 = 66145396,04 \text{ грн.}$$

Перспективні резерви можна визначити порівнянням двох нормалізованих електробалансів – технічно обгрунтованого і економічно обгрунтованого (перспективного) $W_{\text{ек}}$:

$$\Delta W_{\text{п}} = \sum \Delta W_{\text{ні}} - \sum \Delta W_{\text{ек і}}.$$

Успішна реалізація заходів з економії електроенергії залежить від належної організації та обгрунтування норм витрат енергії.

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В наданій кваліфікаційній роботі розглядались питання електропостачання елеваторного комплексу.

Детально були розраховані навантаження всіх підрозділів, а також загальне розрахункове навантаження комплексу.

Виходячи з техніко-економічного порівняння варіантів електропостачання елеваторного комплексу був обраний варіант його живлення по кабельним лініям 10 кВ із спорудженням ЦРП.

По результатам розрахунків режимів реактивної потужності були встановлені батареї конденсаторів для компенсації реактивної потужності.

На основі розрахунків струмів короткого замикання було обрано все високовольтне обладнання, кабелі, які забезпечують електропостачання елеваторного комплексу.

В спеціальному розділі розглядались питання енергозбереження на елеваторному комплексі. Було проаналізовано та запропоновано заходи з енергозбереження, а саме - підвищення навантаження робочих машин, економічний режим роботи трансформаторів та впровадження регульованого електроприводу вентиляторів. Розрахунки показали, що запропоновані заходи дають значний економічний ефект.

Всі розділи кваліфікаційної роботи виконувались згідно ПУЕ.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електропостачання промислових підприємств: навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. П.Г. Плешков, А.Ю Орлович, А.І. Котиш.

2. 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.

3. 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.

4. Електричні машини. Трансформатори : метод. рекоменд. до виконання лаб. роб. : для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня / [уклад. : Н. Ю. Гарасьова, О. А. Козловський, В. П. Солдатенко] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. - 98 с.

5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

6. Електричні машини. Проектування асинхронних машин: метод. вказ. до виконання курс. проекту з навч. дисц. «Електричні машини» для студ. 3 курсу ден. та заочн. форм навч. спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / [уклад.: П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, О. А. Козловський] ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ,

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2018. – 125 с.

7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		