

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
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:
«Розробка електротехнічної системи електропостачання та
енергозбереження компресорної станції.
Development of the electrical system of power supply and energy
saving of the compressor station»**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-19ПЗ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ А.Скоринчук
« ____ » _____ 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 центр заочної та дистанційної освіти

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

_____ Скоринчука Артура Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка електротехнічної системи електропостачання та енергозбереження компресорної станції**

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) _____
Коротка характеристика компресорної станції; Розрахунок електричних навантажень; Картограма електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП, трансформаторних підстанцій; Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання компресорної станції; Режими реактивної потужності системи електропостачання; Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів компресорної станції; Струми короткого замикання та вибір електрообладнання; Електрозбереження в компресорних установках.

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>Коротка характеристика компресорної станції</i>	1.05.23	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	5.05.23	
3	<i>Картограма електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП, трансформаторних підстанцій</i>	9.05.23	
4	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання компресорної станції</i>	12.05.23	
5	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	15. 05.23	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів компресорної станції</i>	19. 05.23	
7	<i>Струми короткого замикання та вибір електрообладнання</i>	22. 05.23	
8	<i>Електрозбереження в компресорних установках</i>	25. 05.23	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	29. 05.23	
10	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	31. 05.23	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2023р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 74 с.; 9 рис.; 18 табл.; 11 джерел

Скоринчук А. О. Розробка електротехнічної системи електропостачання та енергозбереження компресорної станції – Рукопис.

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

В рамках кваліфікаційної роботи було проведено розробку електротехнічної системи, що забезпечує електропостачання та енергозбереження компресорної станції. Результати роботи відповідають вимогам економічності та надійності проекту для даного об'єкту. Для досягнення цих цілей були проведені основні техніко-економічні розрахунки, включаючи електричні навантаження, режими реактивної потужності та струми короткого замикання. Також були вибрані оптимальні схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання станції, трансформаторні підстанції, конденсаторні установки, струмопроводи та високовольтне обладнання.

У відповідному розділі кваліфікаційної роботи було проведено дослідження щодо енергозбереження в компресорній станції. В роботі були запропоновані конкретні заходи з метою зменшення споживання енергії, зокрема - розвантаження двигуна під час періоду розгону та зміна частоти обертання вала компресора.

Ключові слова: компресорні установки, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, енергозбереження, прямий пуск, регульований привод.

ABSTRACT

Qualification work: 74 p.; Fig. 9; 18 tables; 11 sources

Skorynychuk A.O. Development of the electrical system of power supply and energy saving of the compressor station - 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.

As part of the qualification work, the development of an electrical system that provides power supply and energy saving of the compressor station was carried out. The results of the work meet the requirements of economy and reliability of the project for this object. To achieve these goals, basic technical and economic calculations were carried out, including electrical loads, reactive power modes and short-circuit currents. Optimal schemes for the external and internal power supply of the station, transformer substations, capacitor units, power lines and high-voltage equipment were also selected.

In the corresponding section of the qualification work, a study was conducted on energy saving in the compressor station. In the work, specific measures were proposed to reduce energy consumption, in particular - unloading the engine during the acceleration period and changing the frequency of rotation of the compressor shaft.

Keywords: compressor units, electrical loads, transformer substation, energy saving, direct start, adjustable drive.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ ..	7
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	9
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.....	9
2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень.....	9
2.3. Розрахунок електричних навантажень силових мережах з напругою вище 1000 В.....	9
2.4. Побудова графіків електричних навантажень компресорної станції.....	19
3. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП, ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ	23
4. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ	25
4.1. Вибір схеми електропостачання	25
4.2. Вибір напруги електроспоживання	33
5. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	34
5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності	35
5.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	38
6. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ	40

					ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Скоринчук А.О.				Розробка електротехнічної системи електропостачання та енергозбереження компресорної станції	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Плешков П.Г.						3	74
Н. контр.	Плешков П.Г.					КНТУ, гр.ЕЕ-19ПЗ		
Затвердив	Плешков П.Г.							

7.	СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	43
7.1.	Розрахунок струмів короткого замикання.....	43
7.2.	Вибір кабелів 10 кВ для високовольтної мережі компресорної....	47
7.3.	Вибір високовольтного обладнання	49
8.	ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВКАХ.	57
8.1.	Загальні відомості про енергозбереження в компресорному господарстві	54
8.2.	Визначення потужності електроприводів компресорів	57
8.3.	Спільна робота двигуна і компресора.....	58
8.4.	Розвантаження компресорів в період розгону	61
8.5.	Зміна частоти обертання вала компресора.....	66
	ВИСНОВКИ.....	72
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Повітряні компресорні станції та установки є необхідною складовою частиною різних галузей, таких як промислове виробництво, транспорт, будівництво, енергетика та інші. Приблизно 80% усіх компресорів складають повітряні компресори. Це широке поширення повітряних компресорів пояснюється необхідністю використання стисненого повітря як ефективного та економічного енергоносія.

В машинобудуванні широко використовуються різні типи компресорів для стиснення повітря, такі як поршневі, відцентрові та гвинтові, які в останні роки все набувають більшу популярність.

З метою зниження собівартості продукції, промислові підприємства широко впроваджують енергозберігаючі технології, спрямовані на зменшення споживання енергоресурсів, зокрема стисненого повітря. В даний час, поршневі компресори є найпоширенішими в індустрії.

На кожному промисловому підприємстві стиснене повітря є необхідним ресурсом, який використовується як сировинний і енергетичний. Існують як невеликі мобільні установки, так і великі стаціонарні компресорні станції, які забезпечують стиснене повітря до споживачів через мережу повітропроводів. Все це утворює систему повітроспоживання промислового підприємства.

Системи повітропостачання призначені для вироблення стисненого повітря з необхідними параметрами та безперебійного забезпечення його технологічних потреб на підприємстві.

Під терміном "система повітропостачання" розуміють комплекс машин і технічних пристроїв, які призначені для вироблення стисненого повітря та його подачі до споживачів.

Основні складові елементи такої системи включають:

- Компресорні машини, які відповідають за стиснення повітря.

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

- Повітропроводи, що використовуються для транспортування стисненого повітря до різних споживачів.
- Пристрої підготовки повітря, які забезпечують необхідну якість та чистоту стисненого повітря перед його використанням.
- Система контролю та керування, яка забезпечує ефективне функціонування системи повітропостачання.

Основними характеристиками системи повітропостачання на підприємстві є:

1. Призначення стисненого повітря, тобто його цільове використання і завдання, які воно виконує.
2. Об'єм споживання стисненого повітря, який вимірюється відповідно до потреб споживачів.
3. Режим споживання, який визначається інтенсивністю та тривалістю використання стисненого повітря.
4. Конфігурація і довжина системи, що описують її структуру та розміри, включаючи розташування компонентів та довжину повітропроводів.
5. Рівень автоматизації та керування, який вказує на ступінь автоматизації процесів управління системою повітропостачання.

У деяких випадках, зручно представити систему повітропостачання як джерело стисненого повітря, яке працює на мережі. Під терміном "мережа" мається на увазі всі споживачі, які підключені до системи за допомогою трубопроводів. Іноді використовуються терміни "пневмосистема" і "пневмомережа". Важливо зазначити, що пневмосистема складається з двох основних компонентів, які функціонально пов'язані, але виконують різні ролі: компресорна станція відповідає за вироблення стисненого повітря, тоді як пневмомережа служить для транспортування цього повітря.

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

1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

Компресорна станція включає компресорний цех, групу компресорів або окремий компресор. Пневмомережа включає систему повітропроводів з необхідною арматурою. Для повної характеристики системи, до основних компонентів додаються допоміжні пристрої для очищення стисненого повітря від твердих і рідких частинок.

Системи повітропостачання також можуть відрізнятися за рівнем регулювання та наявністю системи обліку виробленого та спожитого повітря. Оптимальним рішенням є обладнання компресорної станції та групових споживачів витратомірними пристроями, які підключені до центрального щита для моніторингу та комп'ютерної обробки даних.

Системи виробництва та розподілу стисненого повітря в промисловості споживають до 10% електроенергії. Існує поширена думка, що стиснене повітря є дешевим, хоча фактично лише 5-10% спожитої електроенергії використовується для здійснення корисної механічної роботи. Витрати на вироблення стисненого повітря становлять від 5% до 15% собівартості продукції і можуть досягати 30% або більше для деяких видів виробництва.

Системи повітропостачання забезпечують промислові підприємства стисненим повітрям при тиску від 0,4 до 1,2 МПа. Найбільш поширені системи мають тиск від 0,6 до 0,8 МПа. Температура стисненого повітря, як правило, близька до атмосферної. За рівнем споживання повітря системи можна поділити на: великі - понад 500 м³/год, середні - 200-500 м³/год, малі - 50-200 м³/год, дрібні - до 50 м³/год.

Компресорна станція може бути пристосована до змінюваного режиму споживання шляхом використання двох методів: вмикання-вимикання агрегатів або стравлювання надлишкового повітря в атмосферу. Однак стравлювання надлишкового повітря, що становить 50% або більше

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

від продуктивності компресора, є найменш ефективним способом регулювання. Зазвичай постачання стисненого повітря до підприємств здійснюється з центральної компресорної станції.

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

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Обчислення силового навантаження в мережі до 1000 В проведено по рекомендаціям [2] та наведені в таблиці 2.1.

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Обчислення освітлювальних навантажень проведено по рекомендаціям [2] та представлено в таблиці 2.2.

2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі з напругою вище 1000 В.

При обчисленні навантажень в мережі напругою вище 1000 В використано рекомендації [2], результати обчислень навантаження зведені до таблиці 2.3.

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

Таблиця 2.1-Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В компресорної станції.

№	Найменування	п	Потужність ЕП, кВт		m	K _B	cosφ /tgφ	Середнє навантаження кВт		N _{ef}	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			одного	всього				P _{CM}	Q _{CM}			P _p ,кВт	Q _p ,кВар	S _p ,кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16
1.	Компресорна №1													
	Компресорний агрегат №1	1	132	132		0,8	0.8/0.75	105,16	79,2					
	Компресорний агрегат №2	1	132	132		0,8	0.8/0.75	105,61	79,2					
	Засувки	7	0,18	1,26		0,55	0.8/0.75	0,69	0,519					
	Кран-балка	1	40,2	40,2		0,1	0.8/0.75	4,02	6,96					
	Вентилятори	2	5	10		0,65	0.8/0.75	6,51	4,88					
	Дренажний насос	1	9,5	9,5		0,6	0.8/0.75	5,7	4,276					
	Всього	13	0,18-132	324,96	>3	0,702	0.8/0.75	228,113	175,032	5	1,08	246,363	192,54	312,674
2	Машизал №2													
	Компресорний агрегат №3	1	75	75		0,8	0.8/0.75	60	45					
	Компресорний агрегат №4	1	75	75		0,8	0.8/0.75	60	45					
	Компресорний агрегат №5	1	75	75		0,8	0.8/0.75	60	45					
	Засувки	15	0,18	2,7		0,55	0.8/0.75	1,485	1,11					
	Електроталь	1	30,8	30,8		0,1	0.8/0.75	3,1	5,33					
	Вентилятори	4	3,2	12,8		0,65	0.8/0.75	8,32	6,25					
	Дренажний насос	2	8,4	16,8		0,6	0.8/0.75	10,1	7,561					
	Всього	25	0,18-75	288,1	>3	0,704	0.8/0.75	202,965	155,248	10	1,31	265,884	170,773	316,003

1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16
3	<i>Агрегатна</i>													
	Вакуумні насоси	5	5	25		0,6	0.8/0.75	15	11,25					
	Щит сигналізації	2	1,1	2,2		0,6	0.8/0.75	1,32	0,99					
	Всього	7	1,1-5	27,2	>3	0,6	0.8/0.75	16,32	12,24	7	1,31	21,3879	13,46	25,27
4	<i>Зварювальний цех</i>													
	Зварювальний тр-р	2	12	24		0,6	0.8/0.75	14,4	10,8					
	Вентилятори	2	2,2	4,42		0,6	0.8/0.75	2,64	1,98					
	Всього	4	2,2-12	28,48	>3	0,6	0.8/0.75	17,04	12,77	4	1,31	22,32	14,06	26,370
5	<i>Ремонтний цех</i>													
	Горизонтально-фрезерний верстат	1	5,5	5,5		0,12	0,4/2,29	0,66	1,512					
	Широкофрезерний	1	7	7		0,12	0,65/1,17	0,84	0,982					
	Універсальнофрезер.	1	7	7		0,14	0,5/1,73	0,98	1,697					
	Фрезерний верстат	1	8,51	8,51		0,17	0,65/1,17	1,445	1,689					
	Вертикально-фрезерний верстат	2	3,7	7,4		0,12	0,5/1,73	0,888	1,538					
	Токарний верстат	1	4	4		0,12	0,65/1,17	0,48	0,561					
	Зубофрезерний	1	4,5	4,5		0,17	0,65/1,17	0,765	0,894					
	Всього	8	3,7-8,5	43,9	2,3	0,14	0.8/0.75	6,058	8,875	8	2,31	13,995	8,876	16,572
6	<i>Фільтратна</i>													
	Фільтри очищення	2	5	10		0,35	0,55/1,52	3,5	5,31					

		Продовження таблиці 2.1													
№ док.м. /	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16
		Насоси	7	10-50	260		0,7	0,8/0,75	182	136,5					
		Вентилятори	3	5,5	16,5		0,64	0,8/0,75	10,67	7,92					
		Маслонасоси	2	4,5	9		0,65	0,8/0,75	5,85	4,39					
		Підживлюючи насоси	2	5	10		0,7	0,8/0,75	7	5,25					
		Всього	16	4,5-50	405,7	>3	0,71	0,79/0,76	286,03	217,21	5	1,16	331,795	238,93	408,871
	7	Лабораторія													
		Всього по лабораторії	8	1,5-15	26,3	>3	0,35	0,75/0,88	9,205	6,9	4	1,17	10,8	7,59	13,175
	8	Прохідна													
		Вентилятор	2	0,5-1,5	2	3	0,6	0.69/1,02	1,2	1,44	2	1	1,17	1,2	1,675
9	Бокс														
	Вулканізатор	2	85	170		0.7	0.5/1.73	119	206.121						
	Зварювальний апарат	2	10	20		0.35	0.6/1.33	7	9.33						
	Компресор	4	11	44		0.7	0.8/0.75	30.8	23.10						
	Свердильний верстат	2	5	10		0.12	0.5/1.73	1.2	2.08						
	Токарний верстат	2	10	20		0.12	0.4/2.29	2.4	5.50						
	Всього	12	5--85	264	>3	0.65	0.65/1.15	160.4	246.12	5	1.33	213,332	270.73	344,7	
10	Корпус змішувачів														
	Всього по корпусу	28	0.25-30	215	>3	0.26	0,76/0,83	55.08	46.14	14	1.69	92,53	46,15	103.41	
11	Корпус реагентів														
	Насоси	4	2.8	11.2		0.7	0,8/0,75	7.84	5.88						
	Вентилятори	4	0.75-5.5	15.6		0.64	0,8/0,75	9.984	7.49						

Продовження таблиці 2.1														
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16
	Калорифер	2	1.2	2.4		0.7	1/0	1.68	0					
	Компресор	3	11-30	71		0.6	0,8/0,75	42.6	31.95					
	Свердильний верстат	2	5.5	11		0.12	0,5/1,73	1.32	2.287					
	Деревообробний верстат	2	15	30		0.14	0,6/1,33	4.2	5.6					
	Бойлер	1	2.2	2.2		0.6	1/0	1.32	0					
	Всього по корпусу	18	1,5-22	143.4	>3	0.75	0,7/1,02	68.944	53.205	6	1.16	79,985	58.53	99.102
12	Адмінкорпус													
	Електронагрівачі	4	1,5	6,0		0,6	0,8/0,75	3,6	2,7					
	Комп'ютери	6	0,4	2,4		0,5	0,8/0,75	1,2	2,7					
	Кондиціонери	6	3,5-5,5	29		0,3	0,75/0,88	8,7	7,66					
	Вентиляція	6	0,5-3	10,5		0,65	0,8/0,75	13,02	11,27					
	Всього по конторі	22	0,4-5,5	47,9	>3	0,55	0,76/0,85	26,52	22,52	17	1,21	32,09	22,5	39,201
	Всього по компресорній станції													
	Силове навантаження	157	0,18-132	1882,3	>3	0,586	0,75/0,87	1102,99	966,95	29	1,13	1246,38	966,95	1577,5
	Освітлювальне											20,873	33,647	
	Всього на шинах 0,4 кВ											1267,24	1000,61	1614,651

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювального навантаження.											
№ п/п		Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВт	K _C	P _p , кВт	Q _p , кВт	S _p , кВт
1	1	Компресорна 1	65	10	0,65	0,328684	0,213645	0,95	0,6175	0,202962	0,65
2	2	Компресорна 2	82	22	1,804	0,328684	0,592946	0,7	1,2628	0,415062	1,33
3	3	Агрегатна	44	7	0,308	0,328684	0,101235	0,9	0,2772	0,091111	0,29
4	4	Зварювальний цех	26	4	0,104	0,328684	0,034183	0,9	0,0936	0,030765	0,10
5	5	Ремонтний цех	43	8	0,344	0,328684	0,113067	0,9	0,3096	0,101761	0,33
6	6	Адмінкорпус	102	22	2,244	0,328684	0,737567	0,7	1,5708	0,516297	1,65
7	7	Бокс	336	12	4,032	0,328684	1,325254	0,7	2,8224	0,927678	2,97
8	8	Прохідна	24	2	0,048	0,328684	0,015777	0,7	0,0336	0,011044	0,04
9	9	Корпус реагентів	175	18	3,15	0,328684	1,035355	0,6	1,89	0,621213	1,99
10	10	Корпус змішувачів	56	28	1,568	0,328684	0,515377	0,95	1,4896	0,489608	1,57
	11	Лабораторія	111	8	0,888	0,328684	0,291871	0,95	0,8436	0,277278	0,89
	12	Фільтратна	80	16	1,28	0,328684	0,420716	0,95	1,216	0,39968	1,28
Всього по заводу			1144		16,42		5,396993				

Таблиця 2.3 - Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В компресорної станції

№	Найменування	п	Потужність ЕП, кВт		m	K _B	cosφ /tgφ	Середнє навантаження кВт		N _{еф}	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			одного	всього				P _{сМ}	Q _{сМ}			P _p , кВт	Q _p ,кВар	S _p ,кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-1													
1	Компресорна №1													
	силове	13,0	0,18-132	325,0	>3	0,7	0,8/0,75	228,1	175,0	5,0	1,1	246,45	192,5	312,70
	освітлювальне											1,2	2,0	
	Всього по 0,4 кВ											247,51	194,50	314,91
2	Компресорна №2													
	силове	25	0,18-75	288,1	>3	0,704	0.8/0.75	202,965	155,248	10	1,31	265,884	170,773	316,003
	освітлювальне											1,487	2,573	
	Всього по 0,4 кВ											267,371	173,346	318,648
3	Зварювальний цех													
	силове	4	2,2-12	28,4	>3	0,6	0.8/0.75	17,04	12,78	10	1,31	22,322	14,06	26,380
	освітлювальне											0,372	0,644	
	Всього на шинах 0,4 кВ											22,694	14,702	27,0421
4	Ремонтний цех													
	силове	8	3,7-8,5	43,9	>3	0,138	0.8/0.75	6,058	8,8747	8	2,31	13,993	8,875	16,570
	освітлювальне											0,616	1,067	
	Всього по 0,4 кВ											14,610	9,941	17,672
	Ітого													
5	Адмінкорпус													
	силове	22	0,4-16,25	114,4	>3	0,384	0,75	43,96	32,97	23	1,23	53,851	32,97	63,1423

№ док.ум. /	Продовження таблиці 2.3.														
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16
		Втрати в трансформаторах (2х630)											10,29	59,16	
		З урахуванням втрат											883,4827	781,53	
		КУ 0,4 кВ												-500	
		Всього на шинах 10кВ											883,4827	281,53	927,26
		ТП-2													
	1	Фільтратна													
		силове	16	4,5-50	405,7	>3	0,71	0,79/0,76	286,03	217,21	5	1,16	331,795	238,93	408,871
		освітлювальне											3,62	6,26	
		Всього на шинах 0,4 кВ											335,425	245,19	415,471
	2	Корпус змішувачів													
		силове	28	0.25-30	215	>3	0,256	0,76/0,83	55,08	46,14	14	1,52	83,7216	46,14	95,59
		освітлювальне											41,75	72,23	
		Всього на шинах 0,4 кВ											125,4716	118,37	172,49
		Ітого													
		силове	44	0,25-50	620,7	>3	0,55	0,79/0,77	341,11	263,35	56	1,04	354,7544	263,35	441,81
		освітлювальне											45,37	78,49	
		освітлення території											6,731	11,645	
		Всього на шинах 0,4 кВ											406,85	353,48	538,96
	Втрати в трансформаторах (1х630)											5,13	29,8		
	З урахуванням втрат											411,985	383,28	562,70	
	КУ 0,4 кВ												-200		
	Всього на шинах 10кВ											411,985	183,28	450,91	
	Всього по компресорній станції														
	силове	157	0,18-132	1882,28	>3	0,586	0.5/1.73	1102,99	966,95	29	1,13	1246,38	966,95	1577,5	

2.4. Побудова графіків електричних навантажень компресорної станції

В бакалаврській роботі будуються графіки електричних навантажень згідно рекомендаціям [2].

Графіки побудовані та зображені на рисунках 2.1-2.4.

Розраховуємо споживання активної та реактивної енергії:

$$W_p = \Sigma (P_i \cdot t_i) = 25378,4 \cdot 147 + 21571,7 \cdot 105 + 8388,63 \cdot 65 + 7130,3 \cdot 48 = 6883175,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$V_p = \Sigma (Q_i \cdot t_i) = 3792,9 \cdot 147 + 3223,9 \cdot 105 + 1338,27 \cdot 65 + 1137,532 \cdot 48 = 1037653,2 \text{ кВАр} \cdot \text{ч}$$

Час використання максимуму енергосистеми:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{(6883174,2^2 + 1037653,2^2)}}{1296,6} = 5368,617 \text{ ч}$$

Час найбільших втрат:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5368,617}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 3825,827 \text{ ч}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	19

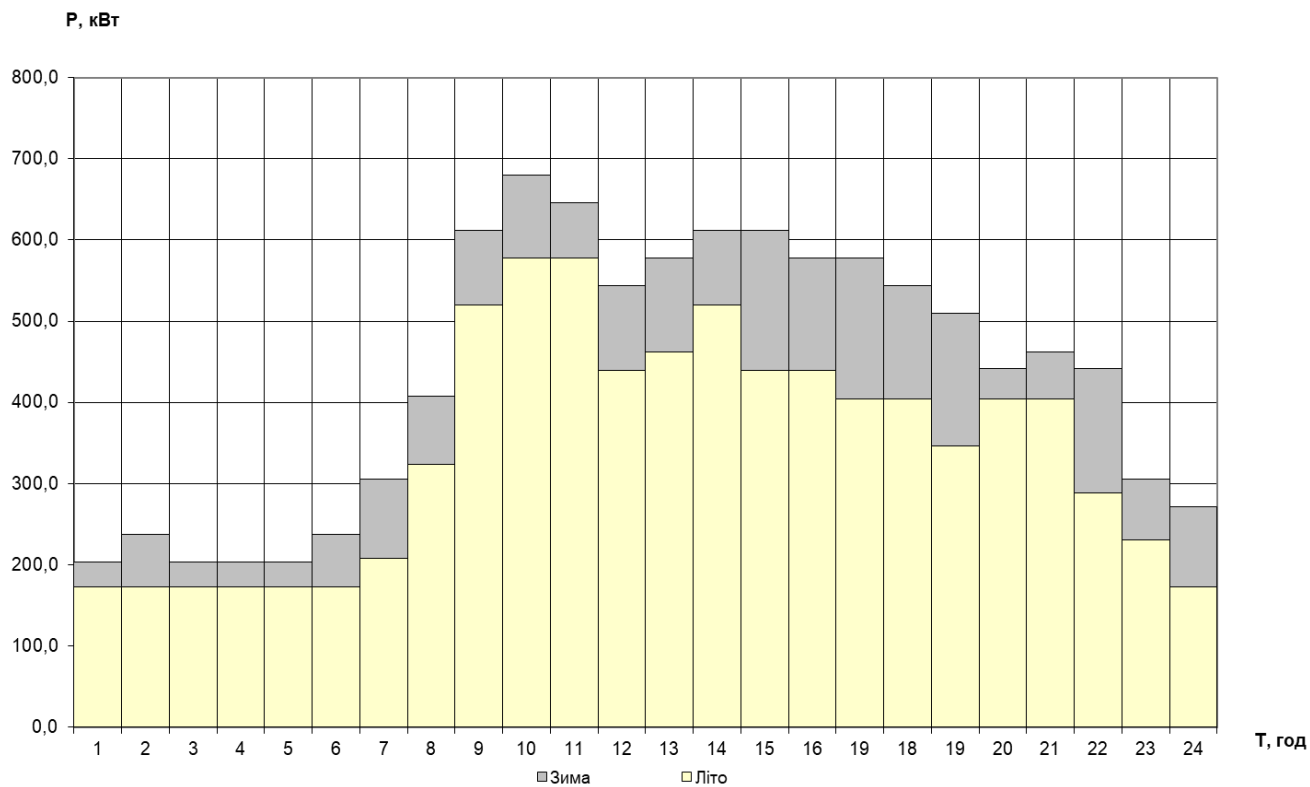


Рис. 2.1 Споживання активної потужності в робочий день

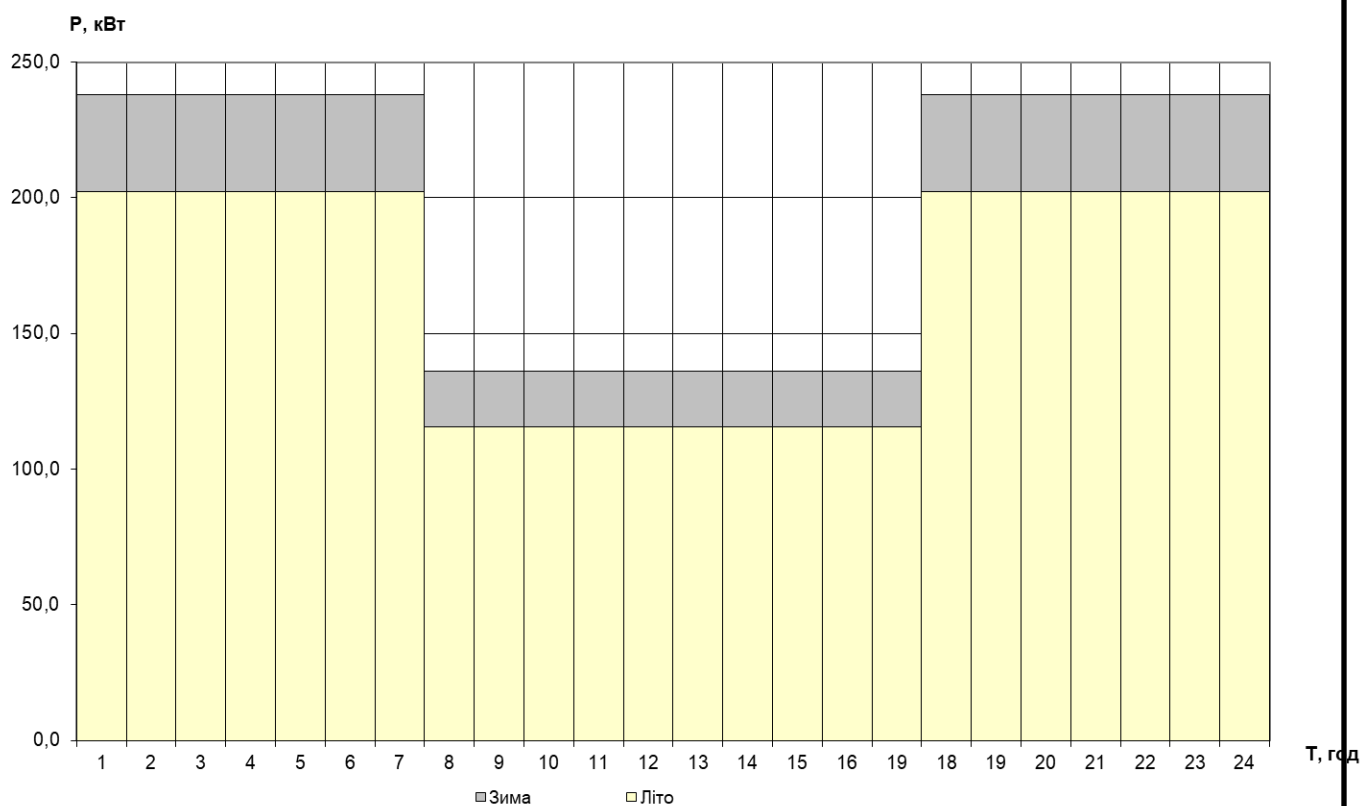


Рис. 2.2 Споживання активної потужності у вихідний день

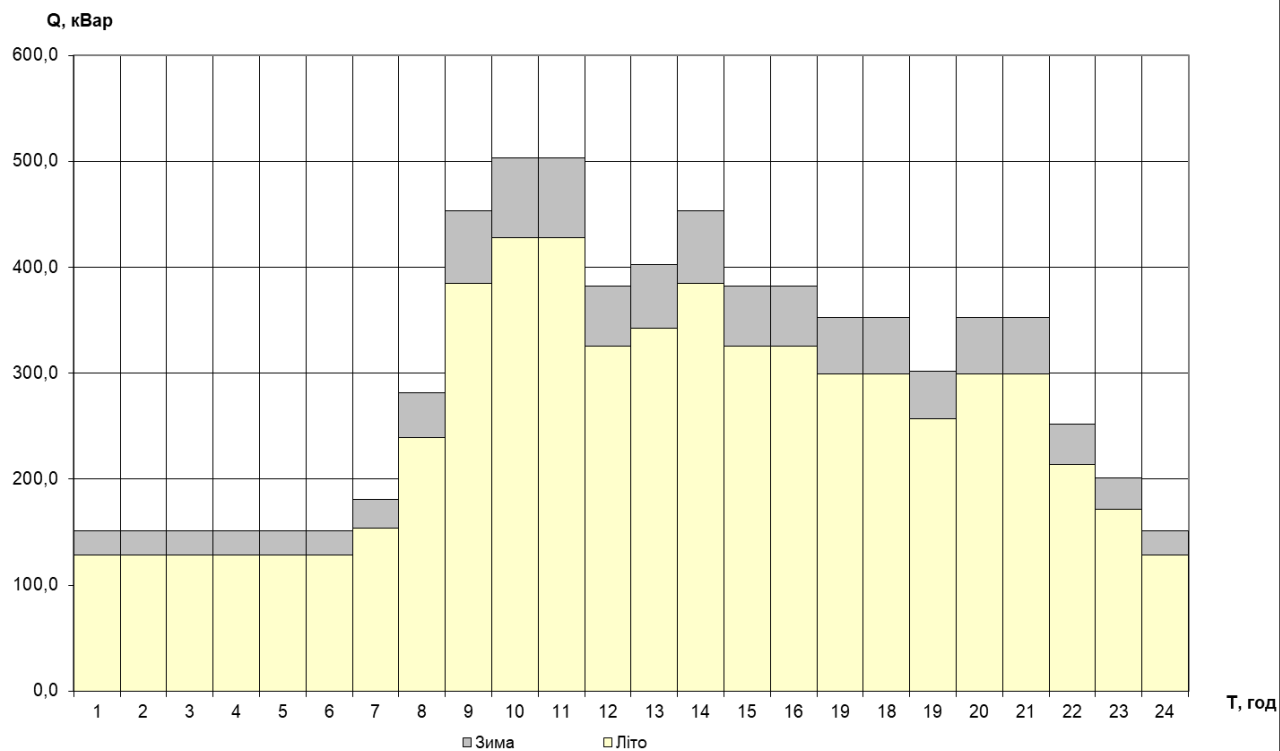


Рис. 2.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

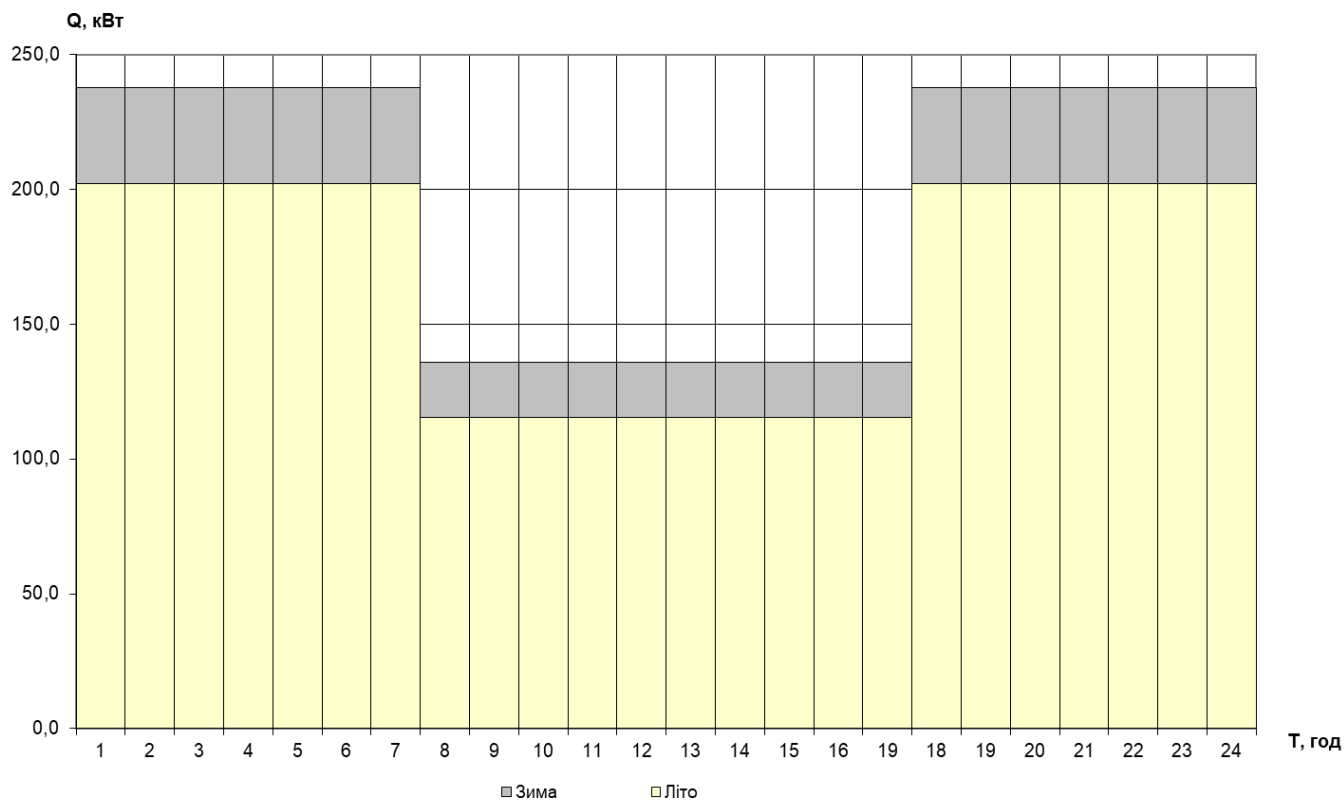


Рис. 2.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	21

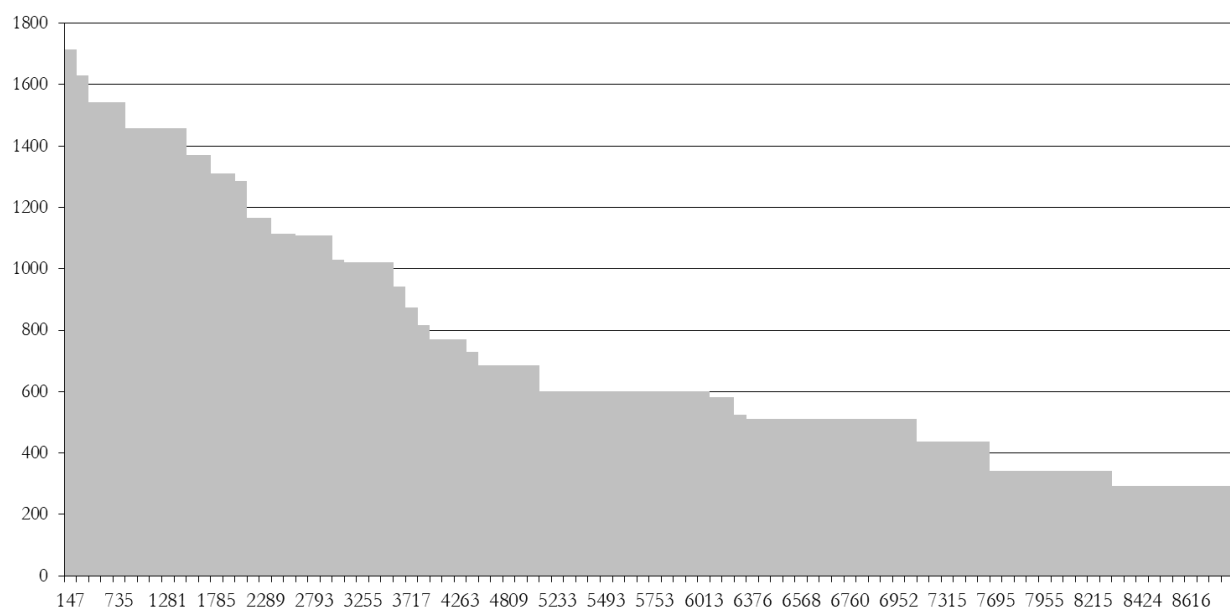


Рис. 2.5 Річний графік навантаження за тривалістю

T, год

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

З КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП, ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Визначення місця розташування ЦРП та цехових ТП на генеральний план підприємства наноситься за допомогою картограми електричних навантажень. При побудові картограми використовуються рекомендації [2].

Приймаємо масштаб $m = 20 \text{ кВт/см}^2$.

Знаходимо радіус кола:

$$R = \sqrt{\frac{\sum P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{281,283}{\pi \cdot 20}} = 2,11 \text{ см}$$

Визначимо кут α , який демонструє частку освітлювального навантаження від повного:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{осв}}{P_p} = \frac{360 \cdot 1,179}{281,283} = 1,5^\circ.$$

Для інших цехів розрахунок виконуємо аналогічно. Дані для побудови картограми електричних навантажень по компресорній станції приведені в таблиці 4.1.

Обчислюємо координати центру електричних навантажень:

$$x_0 = \frac{134520,022}{1414,403} = 95,107 \text{ м.} \quad y_0 = \frac{73308,945}{1414,403} = 51,83 \text{ м.}$$

Із розрахунків обчислено координати $x_0 = 95,107 \text{ м}$, $y_0 = 51,83 \text{ м}$. Для уникнення зворотних перетоків потужності, зміщуємо ЦРП в бік джерела живлення.

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

Таблиця 3.1 – Допоміжна таблиця для побудови картограми навантажень

№п/п	Назва підрозділу	<i>m</i>	<i>Pp осв і</i>	<i>Pp сил і</i>	<i>Pp сил + Pp осв</i>	<i>Pp вис</i>	<i>R</i>	<i>α</i>	<i>Xi</i>	<i>Yi</i>	<i>Pi*Xi</i>	<i>Pi*Yi</i>
1	Компресорна 1	0,5	1,2	246,4	247,6		12,6	0,9	27,2	11,4	6734,7	2822,6
2	Компресорна 2	0,5	1,5	265,8	267,3		13,0	1,0	4,2	23,5	1122,6	6281,1
3	Агрегатна	0,5	0,7	21,4	22,1		3,8	5,7	27,2	2,7	601,1	59,7
4	Зварювальний цех	0,5	0,4	22,3	22,7		3,8	3,0	15,2	3,2	344,6	72,6
5	Ремонтний цех	0,5	0,6	13,9	14,5		3,0	7,6	60,1	3,2	872,4	46,5
6	Адмінкорпус	0,5	1,9	53,8	55,7	3200,0	6,0	6,1	3,2	17,4	178,2	969,2
7	Бокс	0,5	3,6	210,1	213,7		11,7	3,0	5,0	9,5	1068,6	2030,3
8	Прохідна	0,5	0,2	1,2	1,4		0,9	25,1	4,8	15,1	6,5	20,5
9	Корпус реагентів	0,5	0,9	92,4	93,3		7,7	1,8	6,0	13,9	560,0	1297,4
10	Корпус змішувачів	0,5	41,8	83,7	125,5		8,9	59,9	12,3	31,8	1543,0	3989,3
11	Лабораторія	0,5	1,2	10,8	12,0		2,8	18,0	18,2	22,3	218,4	267,6
12	Фільтратна	0,5	3,6	331,8	335,4		14,6	1,9	29,2	26,3	9794,3	8821,5
					1411						23045	26678

4 ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

Схема електропостачання визначає спосіб підключення споживачів до електричної мережі. Вибір конкретної схеми електропостачання залежить від різних факторів, таких як тип будівлі, вимоги щодо безпеки, навантаження, доступність джерел живлення та інші.

Однофазні схеми електропостачання використовуються для невеликих споживачів, таких як будинки, магазини тощо.. Трифазна система застосовується для більших споживачів, таких як промислові підприємства, великі торгові центри, житлові комплекси тощо. Вона складається з трьох фаз і одного нульового провідника. Трифазна система надає більшу потужність, стабільнішу роботу та менші втрати енергії. В таких схемах застосовується трансформаторна підстанція, яка служить для перетворення напруги. Зазвичай, великі споживачі підключаються до високовольтних ліній, а трансформатори знижують напругу до прийняттого рівня для внутрішнього використання.

4.1. Вибір схеми електропостачання.

На вибір схеми електропостачання та напруги впливає декілька факторів:

1. Тип будівлі або споживача. Різні типи будівель (житлові, комерційні, промислові) мають різні вимоги до електропостачання. Наприклад, промислові підприємства вимагають великого обсягу потужності та стабільного постачання електроенергії.

2. Навантаження та потужність. Більші навантаження можуть вимагати використання трьохфазного живлення замість однофазного.

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

3. Вимоги до безпеки можуть впливати на вибір схеми електропостачання. Наприклад, у вибухонебезпечних середовищах може знадобитись спеціальне захищене живлення.

4. Ефективність та енергоефективність. Деякі схеми електропостачання можуть бути енергоефективнішими за рахунок зниження втрат енергії в процесі трансмісії.

5. Вартість і доступність. Фінансові аспекти, такі як вартість обладнання, установка та експлуатація, можуть впливати на вибір схеми електропостачання.

Остаточне проектне рішення вибирається шляхом порівняння загальних витрат за різними варіантами.

Вибір схеми проводимо, орієнтуючись на рекомендації, викладені в [2].

Доцільні до розгляду варіанти електропостачання підприємства приведені на рисунку 4.1.

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

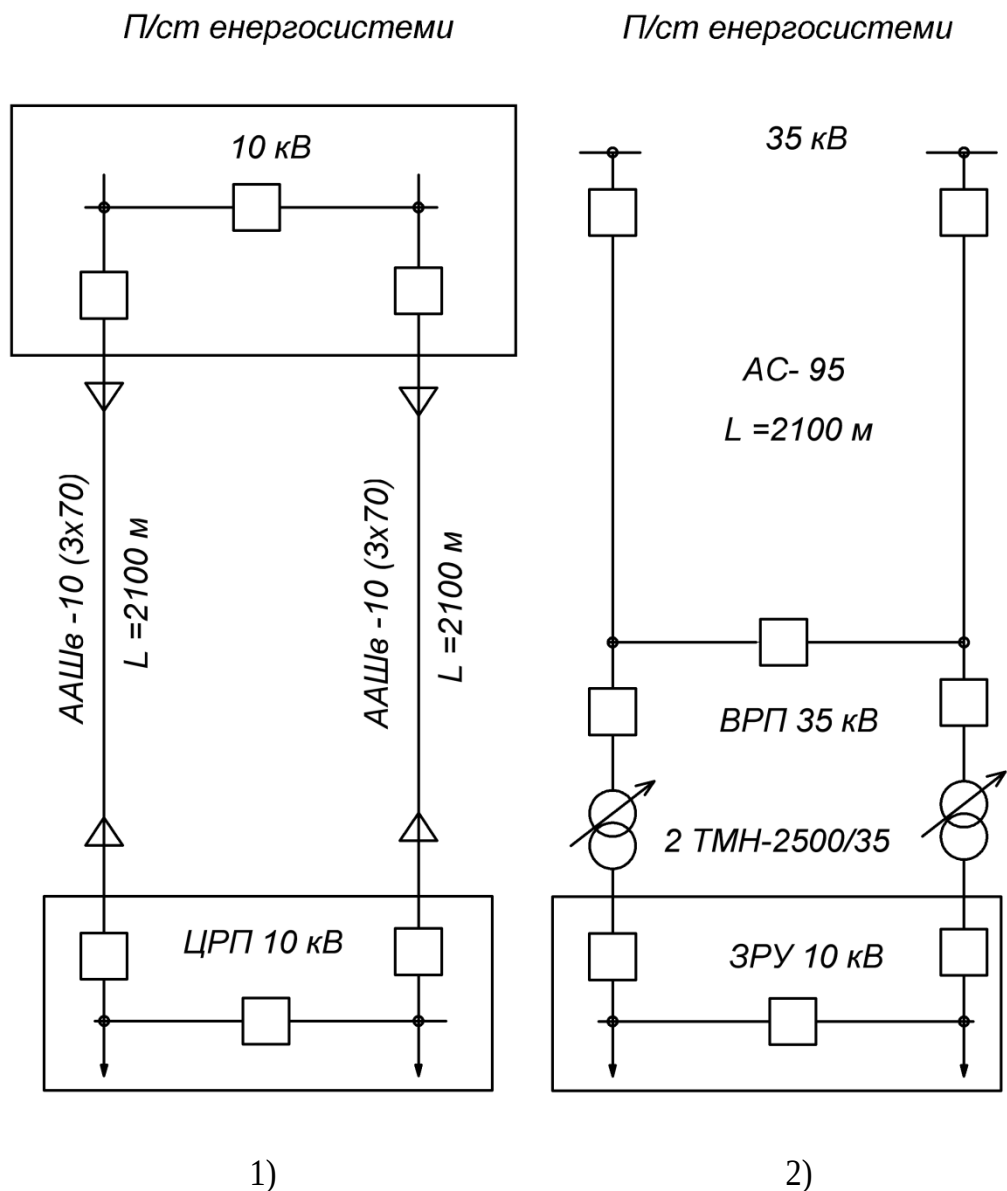


Рис. 4.1 – Варіанти схем зовнішнього електропостачання компресорної станції

I варіант.

Електропостачання компресорної станції та підприємства здійснюється кабельними лініями напругою 10 кВ від підстанції енергосистеми на відстані 2,1 км. Передбачається установка ЦРП - 10 кВ з комплектними шафами 10 кВ.

II варіант.

Електропостачання компресорної станції та підприємства здійснюється дволанцюговою лінією 35 кВ від підстанції енергосистеми на відстані 2,1 км. В цьому варіанті потрібно встановлювати ГЗП - 35/10 кВ.

Ці два варіанти схем приймаємо до розрахунків.

Варіант I

Розрахунок струму у лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2708.96}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 148,95 \text{ А}$$

де S_p – розрахункова потужність компресорної, кВА;

U_H - номінальна напруга для даного варіанту.

Переріз кабельної лінії вибирається по економічній щільності струму:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{148,95}{1.2} = 124,128 \text{ мм}^2,$$

де $j_{\text{э}}$ – значення економічної щільності струму, А/мм².

Приймаємо до проектування 2 кабельні лінії марки ААШВ(3х70),

$I_d = 165 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $\Delta P_{1 \text{ км}} = 44 \text{ кВт}$.

Завантаження кабелю для нормального режиму:

$$K_3 = \frac{I_p}{2 \cdot I_d} = \frac{148,95}{2 \cdot 165} = 0,451$$

Коли одна лінія виходе з ладу, друга, яка буде працювати з допустимим аварійним перевантаженням, зможе забезпечити живлення

$$I = I_d \cdot K_{\text{АП}} = 0,9 \cdot 165 \cdot 1,25 = 184.6 \text{ А}$$

де $K_{\text{АП}}$ – допустимий коефіцієнт при аварійному перевантаженні, $K_{\text{АП}} = 1,25$

$$I_{\text{max}} = 148,95 \text{ А} < I = 185,6 \text{ А}. \text{ Умова виконана.}$$

Розрахунок показав, що в аварійному режимі живлення підприємства зберігається.

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

Втрати потужності та енергії обчислюються відповідно за формулами:

$$\Delta P_{\Pi} = \Delta P_{1KM} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 44 \cdot 2 \cdot 2,1 \cdot 0,451^2 = 37,651 \text{ кВт}$$

де l_{Σ} - довжина кабельної лінії.

$$\Delta E = \Delta P_{\Pi} \cdot \tau_M = 37,651 \cdot 3825,827 = 144047,175 \text{ кВт·год.}$$

Вартість втрат енергії

$$C_{\text{вт}} = \Delta E \cdot C_o = 144047,175 \cdot 2,57 \cdot 10^{-3} = 371,17 \text{ тис. грн.}$$

де C_o - вартість електроенергії, грн./кВт·год.

Варіант II

Розрахунковий струм в повітряній лінії визначається:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2708,96}{\sqrt{3} \cdot 35} = 44,686 \text{ А}$$

Площу перерізу проводів повітряної лінії, яку обираємо по економічній щільності струму:

$$F_{\vartheta} = \frac{I_p}{j_{\vartheta}} = \frac{44,686}{1,0} = 44,686 \text{ мм}^2$$

Застосовуємо дволанцюгову ЛЕП з проводами марки АС-95, з площею перерізу 70 мм² та параметрами: $I_d = 330 \text{ А}$, $\Delta P_{1\text{км}} = 134 \text{ кВт/км}$.

Завантаження лінії при нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{2 \cdot I_d} = \frac{44,686}{2 \cdot 330} = 0,068$$

Встановлюємо два трансформатори з потужністю $S_H = 2,5 \text{ МВА}$.
Приймаємо трансформатори типу ТМН-2500/35, параметри якого $\Delta P_{\text{хх}} = 5,1 \text{ кВт}$,

$$\Delta P_{\text{кз}} = 26 \text{ кВт}, I_{\text{хх}} = 1,1 \%, U_k = 6,5 \%$$

Завантаження трансформаторів при нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{2708,96}{2 \cdot 2500} = 0,542.$$

При відмиканні одного з трансформаторів інший, який буде працювати з допустимим аварійним перевантаженням, зможе забезпечити живлення навантаження:

					Арк.
					29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

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

Втрати енергії в повітряній лінії:

$$\Delta P_{\Pi} = \Delta P_{1KM} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 134 \cdot 2 \cdot 2,1 \cdot 0,068^2 = 2,58 \text{ кВт.}$$

$$\Delta E = \Delta P_{\Pi} \cdot \tau_M = 2,58 \cdot 3825,827 = 9870,51 \text{ кВт·год.}$$

Знаходимо втрати енергії в трансформаторах

$$\Delta E_{tr} = 2 \cdot (\Delta P_x \cdot t_{вкл} + \Delta P_{\kappa} \cdot \tau \cdot K_3^2) = 2 \cdot (5,1 \cdot 8760 + 26 \cdot 3825,827 \cdot 0,542^2) = 147794,29$$

Обчислюємо загальні втрати:

$$\Delta E = \Delta E_{\Pi} + \Delta E_{tr} = 9870,51 + 147794,29 = 157619,95 \text{ кВт·год}$$

Вартість втрат:

$$C_{вт} = \Delta E \cdot C_o = 157619,95 \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} = 279,1 \text{ тис грн.}$$

Розрахуємо можливий збиток від перерви в електропостачанні.

Варіант I

Розрахункова схема однієї ланки має: вимикач 10 кВ та кабельну лінію

$$2,1 \text{ км. Обираємо } \lambda_{a1} = 0,02 \text{ 1/рік ; } \lambda_{a2} = \frac{2,51 \cdot 2,1}{100} = 0,053 \text{ 1/рік}$$

$$\lambda_a = \sum_1^n \lambda_{ai} = 0,02 + 0,053 = 0,073 \text{ 1/рік}$$

Середній час на відновлення одного ланцюга:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{ai} \cdot T_{ei}}{\lambda_a} = \frac{0,02 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,053 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,073} = 5,384 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт планового простою для одного ланцюга:

$$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{mm} = 1,2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} = 3,24 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою у випадку, коли один ланцюг відключений на плановий ремонт, і водночас інший відключається по причині пошкодження:

$$K_{ап} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot K_{\Pi}^2 = 0,5 \cdot 0,073 \cdot (3,24 \cdot 10^{-3})^2 = 0,383 \cdot 10^{-6} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою для одного ланцюга:

$$K_a = \lambda_a \cdot T_B = 0,073 \cdot 5,384 \cdot 10^{-3} = 0,393 \cdot 10^{-3} \text{ в.о}$$

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

Коефіцієнт аварійного простою для двох ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{ап} = (0,393 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,383 \cdot 10^{-6} = 0,92 \cdot 10^{-6} \text{ в.о.}$$

Обчислюємо середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,92 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,00806$$

Середньорічне активне навантаження компресорної:

$$P_{сг} = \frac{P_p \cdot T_n}{8760} = \frac{2679.465 \cdot 5368.617}{8760} = 1642.13 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовідпуску 1 кВт·год електроенергії при питомих збитках $Y_o = 21 \text{ грн/кВт·год}$:

$$Y = Y_o \cdot P_{сг} \cdot T_a \cdot 10^{-3} = 21 \cdot 1642,126 \cdot 0,00806 \cdot 10^{-3} = 0,278 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунки другого варіанту здійснюються аналогічно і зведені до таблиці 4.3.

Обчислюємо капітальні вкладення варіантів схем електропостачання та зводим в табл.4.1.

Таблиця 4.1. Капітальні вкладення в схеми електропостачання

Варіант	Елемент схеми	Одиниця вимірюванн	Кількість	Вартість одного, т. грн.	Вартість всього, т. грн.
I	Шафи 10 кВ з вакуумними вимикачами	шт.	2	162,1	324,2
	Кабель ААШВ-(3х70) в траншеї	км	4,2	194,53	817,03
	Всього				1141,23
II	ЛЕП-35 кВ 2хАС-70	км	2,1	232,5	488,25
	ОРУ-35 кВ з трима вимикачами	шт.	1	833,39	833,4
	Трансформатори ТМН-2500/35	шт.	2	894,6	1789,2
	Всього				3110,8

Розрахунок поточних витрат проводиться укрупнено по амортизаційних відрахуваннях та експлуатаційних витратах.

Результати розрахунків поточних витрат наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок поточних витрат

Варіант	Найменування елементів схеми	K_j , т.грн.	H_{aj} , %	H_{ej} , %	$H_{a.e.j}$, %	C_j , т.грн.
I	Кабельна лінія в траншеї	324,2	5	5	10	32,42
	Шафа 10 кВ з вимикачем	817,026	15	5	20	163,40
	Всього	1141,226				195,83
II	ПЛ-35 кВ	488,25	5	5	10	48,86
	ОРУ-35 кВ	833,39	15	5	20	166,68
	Трансформатори	1789,2	15	5	20	357,84
	Всього	3110,84				573,34

Приведені витрати:

$$Z_I = E_H \cdot K_1 + C_1 + C_{BTP1} + Y_1 = 0,12 \cdot 1141,23 + 195,823 + 371,167 + 0,28 = 704,22 \text{ тис. грн.}$$

$$Z_{II} = E_H \cdot K_2 + C_2 + C_{BTP2} + Y_2 = 0,12 \cdot 3110,84 + 573,34 + 279,098 + 2,76 = 1228,498 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 4.3. Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення, тис.грн	1141,23	3110,8
Поточні витрати, тис.грн	195,83	573,343
Вартість втрат електроенергії, тис.грн	371,17	279,1
Збитки, тис.грн	0,28	2,76
Приведені витрати, тис.грн	704,22	1228,5

Таким чином, для подальших розрахунків приймаємо I варіант, з встановленням ЦРП-10 кВ.

4.2. Вибір напруги електроспоживання.

При виборі напруги для схем електропостачання слід враховувати кілька факторів. Враховується потужність споживання, яку вимагають споживачі або електрообладнання. Це може бути сумарна потужність всіх підключених приладів або споживачів. Це допоможе визначити, яка напруга буде найбільш оптимальною для забезпечення потреб в енергії.

Враховується тип споживача. В залежності від типу споживача (житловий, комерційний, промисловий), можуть вимагатись різні рівні напруги. Промислові підприємства працюють з високими рівнями напруги, щоб задовольнити високі потужності та ефективності.

Враховуються витрати та ефективність - вартість встановлення, обслуговування та експлуатації обладнання для різних рівнів напруги. Обирається такий рівень напруги, який забезпечує оптимальну ефективність передачі енергії і зменшує втрати.

Для виконання внутрішньої мережі компресорної станції обираємо напругу 10 кВ та 380/220 В.

Розподіл електроенергії на компресорній станції виконують по радіальній, магістральній або змішаній схемі. При проектуванні схем електропостачання споживачів I або II категорії треба проводити секціонування шин по всіх ланцюгах.

Радіальна схема розподілу енергії застосовується на підприємствах з крупними навантаженнями (насосне, компресорне, перетворювальне обладнання).

Приймаємо радіальну схему живлення.

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

5 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Компенсація реактивної потужності в компресорних станціях є важливим аспектом оптимізації електропостачання та підвищення енергоефективності. Реактивна потужність є результатом реактивних компонентів (індуктивних або ємнісних) у системі електропостачання та може спричиняти недосягнення оптимальної потужності та втрати електричної енергії.

Компенсація реактивної потужності в компресорних станціях зазвичай досягається за допомогою установки компенсуючих пристроїв, таких як батареї конденсаторів. Основною метою компенсації є зниження загальної реактивної потужності, що в результаті покращує фактор потужності (power factor) та забезпечує більш ефективне використання електричної енергії.

Компенсація реактивної потужності дозволяє зменшити втрати електричної енергії, що відбуваються в системі електропостачання. Покращується коефіцієнт потужності до близького до одиниці значення. Це дозволяє зменшити навантаження на мережу та підвищити ефективність системи.

Завдяки компенсації реактивної потужності можна уникнути платежів за використання реактивної потужності, що застосовується деякими енергопостачальними компаніями.

Компенсація реактивної потужності дозволяє звільнити потужність системи для використання активних навантажень, таких як компресори, що сприяє покращенню роботи компресорної станції.

Необхідною передумовою для впровадження компенсації реактивної потужності є проведення відповідного аналізу електричної мережі та конкретних потреб компресорної станції.

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

Для компенсації реактивної потужності можуть використовуватись синхронні двигуни та конденсаторні установки.

Для розрахунку компенсації реактивної потужності використовуємо методичні рекомендації, наведені в [2].

5.1 Розрахунок балансу реактивної потужності.

Проведемо розрахунок для визначення економічно доцільної потужності, що може бути передана від системи:

Щоб знайти Q_c , використаємо формулу: $Q_c = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{св}}$ Застосуємо значення: $Q_c = 128,665 \cdot 0.15 = 192.39$ квар

Далі, для визначення мінімально необхідної кількості трансформаторів, використаємо формулу:

$$N_{T_{\min}} = P_p / (K_3 \cdot S_T)$$

$$\text{Застосуємо значення: } N_{T_{\min}} = 1267,25 / (0,7 \cdot 630) = 2,87 \text{ шт}$$

На основі цього розрахунку ми визначаємо, що мінімально необхідною кількістю трансформаторів є 2.87. Оскільки неможливо мати частковий трансформатор, ми приймаємо рішення про використання 3 трансформаторів.

Варіант I: $N = N_0$

Визначаємо реактивну потужність, яку можна передати з 10 кВ мережі до 0,4 кВ мережі через цехові трансформатори. Результат виражається в кВАрах:

$$Q_{n1} = \sqrt{(n \cdot S_{T1} \cdot K_3)^2 - P_{n1}^2} = \sqrt{(3 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 1267,25^2} = 380.02 \text{ квар.}$$

Для визначення потужності компенсуючих пристроїв, які потрібно встановити в 0,4 кВ мережі, ми використовуємо умову балансу реактивної потужності:

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

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 1000,59 - 380,02 = 620,57 \text{ квар}$$

Приймаємо до проектування $Q_{\text{кн}} = 700$ квар (2х250 квар та 1х200 квар)

$$\text{Уточнюємо значення реактивної потужності: } Q_{\text{п}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 1000,59 - 700 = 300,59 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв, які потребують встановлення в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{с}} = 1089,56 - 700 - 192,39 = 197,2 \text{ квар}$$

Приймаємо до використання 2х КС2-10,5-100Л 2У3 . Загальна їх потужність 200 квар.

Активні втрати потужності шляхом передачі реактивної енергії через трансформатори цехових ТП :

$$\Delta P_{\text{тп}} = Q_{\text{п}}^2 \cdot R_{\text{ск}} / U_{\text{н}}^2 = 300,59^2 \cdot 638,28 \cdot 10^{-6} / 10^2 = 0,58 \text{ кВт};$$

$$\text{де } R_{\text{ск}} = (\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н тр}}^2) = (7,6 \cdot 10^2) / (3 \cdot 630^2) = 638,28 \cdot 10^{-6} \text{ кОм};$$

Втрати активної потужності в низьковольтних конденсаторних батареях:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 700 = 3,15 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{\text{пит}} = 0,0045$ кВт/квар – питомі втрати потужності в низьковольтних БК.

Обчислимо втрати активної потужності у високовольтних КУ:

$$\Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,003 \cdot 200 = 0,6 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{\text{пит}} = 0,003$ кВт/квар – питомі втрати потужності у високовольтних БК.

Обчислимо вартість низьковольтних КУ:

$$K_{\text{кн}} = \sum N_{\text{бк}0,4\text{i}} \cdot K_{\text{кк}0,4\text{i}} = 2 \cdot 53,838 + 1 \cdot 47,608 = 155,28 \text{ тис. грн.}$$

Обчислимо вартість високовольтних КУ:

$$K_{\text{кв}} = \sum N_{\text{бк}10\text{i}} \cdot K_{\text{кк}10\text{i}} = 2 \cdot 36,88 = 73,8 \text{ тис. грн.}$$

Загальна вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{кпп}} = N_{\text{тп}(1)} \cdot K_{\text{тп}(1)} + N_{\text{тп}(2)} \cdot K_{\text{тп}(2)} = 1 \cdot 172,0 + 1 \cdot 388,79 = 560,8 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{\text{тп}(1)}$, $N_{\text{тп}(2)}$ – число одно- та дво- трансформаторних підстанцій;

$K_{\text{тп}(1)}$, $K_{\text{тп}(2)}$ – вартість відповідно одно- та дво- трансформаторних підстанцій.

Розраховуємо витрати на компенсацію реактивної потужності:

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_1 = E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{TP}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (155,28 + 73,8 + 560,8) + (3,15 + 0,6 + 0,58) \cdot 2,5767 \cdot 10^{-3} \cdot 3825,83 = 137,47 \text{ тис. грн.}$$

Варіант II: $N = N_0 + 1$

Обчислюємо реактивну потужність, яку планується передавати з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ повз цехові трансформатори :

$$Q_{П1} = \sqrt{(n \cdot S_{T1} \cdot K_3)^2 - P_{H1}^2} = \sqrt{(4 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 12627,25^2} = 1227,104 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв які необхідно встановити в мережі 0,4 кВ вираховуєм, виходячі з умови балансу РП:

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{П} = 1000,596 - 1227,104 = -226,51 \text{ квар}$$

Оскільки отримане значення реактивної потужності від'ємне, тонизьковольтні БСК не встановлюємо.

$$\text{Уточнимо значення } Q_{П} = Q_H - Q_{KH} = 1000,596 - 0 = 1000,6 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих установок, які необхідно потрібно в мережі 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_P - Q_{KH} - Q_c = 1089,56 - 0 - 192,39 = 897,2 \text{ квар}$$

Приймаємо до установки 900 квар: 2х УКЛ(П)56-10,5-450УЗ .

Активні втрати потужності, які передаються при проходженні реактивної енергії через трансформатори ТП :

$$\Delta P_{TP} = Q_{П}^2 \cdot R_{ЕК} / U_H^2 = 1000,6^2 \cdot 478,71 \cdot 10^{-6} / 10^2 = 4,8 \text{ кВт};$$

$$\text{де } R_{ЕК} = (\Delta P_{K3} \cdot U_H^2) / (N_{TP} \cdot S_{H TP}^2) = (7,6 \cdot 10^2) / (4 \cdot 630^2) = 478,7 \cdot 10^{-6} \text{ кОм};$$

Втрати активної потужності в низьковольтних КУ:

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПIT} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних КУ:

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПIT} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт}$$

Обрахуємо вартість низьковольтних КУ:

$$K_{KH} = \sum N_{БК0,4i} \cdot K_{ККУ0,4i} = 0 \text{ тис. грн.}$$

Обрахуємо вартість високовольтних КУ:

$$K_{KB} = \sum N_{БК10i} \cdot K_{ККУ10i} = 2 \cdot 73,332 = 146,664 \text{ тис. грн.}$$

Загальна вартість комплектних ТП:

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

$$K_{\text{ТП}} = N_{\text{ТП}(1)} \cdot K_{\text{ТП}(1)} + N_{\text{ТП}(2)} \cdot K_{\text{ТП}(2)} = 0 \cdot 172,0 + 2 \cdot 388,79 = 777,6 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати при компенсації реактивної потужності:

$$Z_2 = E_n \cdot (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{ТП}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{ТП}}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (0 + 146,7 + 777,6) + (0 + 2,7 + 4,5) \cdot 2,577 \cdot 10^{-3} \cdot 3825,827 = 184,75 \text{ тис. грн.}$$

Оскільки другий варіант не передбачає встановлення низьковольтних БК, то можна третій варіант зі збільшенням кількості трансформаторів не розглядається.

Таблиця 5.1. Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	700	0
Потужність КП в мережі 10 кВ	200	900
Реактивна потужність, що генерується СД	0	0
Споживання реактивної потужності	192,4	192,4
Всього за умовою балансу	1092,4	1092,4

Приведені витрати першого варіанта нижчі, ніж в другому, тому для подальшого проектування приймаємо I варіант.

5.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Проведемо розрахунок реактивної потужності, яку можна передати через трансформатори ТП до цехових мереж, а також потужності компенсуючих пристроїв, які будуть встановлені в цехових мережах.

Обчислюємо реактивну потужність, яку потрібно компенсувати в мережі низької напруги для ТП 1:

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

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_z)^2 - P_n^2} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 873.193^2} = 124,33 \text{ квар}$$

$$Q_{кп} = Q_n - Q_{п} = 722,371 - 124,33 = 598,04 \text{ квар}$$

Приймаємо до установки $Q_{кп}=500$ квар 2шт КРМ– 0,4 – 250-5 УЗ.

Аналогічно проводимо розрахунки для інших КУ. Результати розрахунків приводяться в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2- Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих установок.

№ ТП	N _{тр}	P _p , кВт	Q _p , квар	Q _п , квар	Q _{кп} , квар	N _{бк}	Тип БК
1	2	883,48	781,53	0	781,531	2	2x КРМ– 0,4 – 250-5 УЗ
2	1	411,98	383,28	157,3 3	225,963	1	1x КРМ– 0,4 – 200-4 УЗ

Продовження таблиці 5.2.

№ ТП	Q _{бк} , квар	Q _{рд} , квар	K _з	S _p , кВА
1	500	281,531	0,736	927,2548
2	200	183,285	0,716	450,9167

6 ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

На промислових підприємствах використовуються цехові підстанції, які можуть бути одно- або двотрансформаторними. Двотрансформаторні цехові підстанції застосовуються у випадках, коли електроприймачі відносяться до I та II категорій, і вимагається безперебійне електропостачання з метою забезпечення технологічного процесу виробництва або для забезпечення безпеки людей. Також двотрансформаторні цехові підстанції використовуються у енергомістких цехах, де маємо велику питому густину навантаження.

Кількість та потужність трансформаторів залежать від розподілення навантажень по площі цеху, наявності вільного місця для розташування цехових підстанцій, а також від характеру та режиму роботи електроприймачів. При виборі цехової підстанції зазвичай враховуються також питання компенсації реактивної потужності цехових споживачів електроенергії.

Потужність трансформаторної підстанції визначається на основі декількох факторів і вимог. Потужність трансформаторної підстанції залежить від сумарної потужності всіх електроприймачів, які будуть підключені до неї. Це включає основні електричні прилади, машини, освітлення та інші споживачі електроенергії. Часто трансформаторні підстанції проектуються з резервом потужності для майбутнього зростання навантаження. Резерв може бути встановлений у вигляді додаткових трансформаторів або додаткових місць для трансформаторів.

Потужність трансформаторної підстанції також залежить від напруги системи, до якої вона підключена. Вища напруга дозволяє передавати більше потужності при однаковому струмі.

При виборі потужності трансформаторної підстанції важливо враховувати її ефективність. Ефективність трансформаторів зазвичай

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

зменшується зі збільшенням їх потужності, тому необхідно знайти баланс між потужністю та ефективністю.

Додаткові технічні вимоги, такі як стабільність напруги, короткі замикання, перенапруга і т. д., також можуть вплинути на визначення потужності трансформаторної підстанції.

Враховуючи ці фактори, здійснюються розрахунки та аналізуються потреби підприємства, щоб визначити оптимальну потужність трансформаторної підстанції.

Кількість та потужність трансформаторів визначаємо згідно рекомендаціям, приведеним в [2].

На території компресорної станції приймаємо до застосування трансформатори з номінальною потужністю $S_{\text{ном}} = 630$ кВА.

Проведемо розрахунок потужності трансформаторів цехових ТП.

Для ТП № 1 обираємо потужність силових трансформаторів (передбачається встановлення двох трансформаторів).

Номінальна потужність трансформатора при умові систематичного перевантаження:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_1} = \frac{927,255}{2 \cdot 1,08} = 429,285 \text{ кВА}$$

Відсоток споживачів 1-2 категорії складає 75%.

Номінальна потужність трансформатора при умові аварійного перевантаження:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{K_{I,II} \cdot S_p}{(n-1) \cdot K_2} = \frac{0,75 \cdot 927,255}{(2-1) \cdot 1,4} = 496,744 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Приймаємо до встановлення 2 трансформатори типу 2х ТМ - 630-10/0,4. Технічні дані трансформатора наступні: потужність $S_{\text{ном}}=630$ кВА; $U_{\text{нн}}=0,4$ кВ; $U_{\text{вн}}=10$ кВ; $\Delta P_{\text{хх}}=1,42$ кВт; $\Delta P_{\text{кз}}=7,6$ кВт; $I_{\text{хх}}=2,0$ %; $U_{\text{кз}}=5,5$ %.

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

Коефіцієнт завантаження при нормальному режимі роботи:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{тр}} = \frac{927,255}{2 \cdot 630} = 0,736 \quad - \quad \text{в аварійному режимі потрібне}$$

вимикання 5% споживачів III-ї категорії.

Коефіцієнт завантаження при аварійному режимі:

$$K_3 = \frac{K_{I,II} \cdot S_p}{S_{ном}} = \frac{0,75 \cdot 927,255}{630} = 1,1 < 1,4$$

Аналогічно здійснюємо розрахунки для ТП-2. Результати розрахунків приводяться в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Вибір потужності та місця розташування цехових ТП

№ ТП	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	N _{тр} × S _{тр} , кВА	K ₃	Вид ТП
1	883,4827	281,531	927,25	2 × ТМ 630	0,736	КТП
2	411,9856	183,285	450,92	1 × ТМ 630	0,716	КТП

Продовження таблиці 6.1.

Місце розташування ТП	Категорія за пожежною безпекою	Категорії споживачів	% відключаємих спожив. 3 категорії
Прибудована до машзалу №2	Д	II, III	5,1
Фільтратна	Д	II, III	2,2

7 СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Розрахунок струмів короткого замикання включає визначення максимальних струмів, які протікають через систему при короткому замиканні на різних точках. Цей розрахунок є важливим для визначення захисних пристроїв і розрахунку стійкості системи електропостачання.

Визначення короткого замикання. Встановлюється місце, де відбувається коротке замикання. Це може бути в будь-якій точці системи, включаючи генератори, трансформатори, розподільчі пункти, лінії передачі тощо.

Далі проводиться побудова електричної схеми системи, включаючи генератори, трансформатори, лінії передачі, розподільчі пункти та інші компоненти.

Після встановлення параметрів короткого замикання, а саме опору, індуктивності і ємності компонентів системи, проводиться розрахунок струмів. Застосовуються методи короткого замикання, такі як метод симетричних складових або метод комплексних потужностей, для розрахунку струмів короткого замикання на різних точках системи.

Оцінка отриманих результатів розрахунку струмів короткого замикання та їх впливу на компоненти системи включає перевірку захисних пристроїв, оцінку навантаження на обладнання та визначення потреби в удосконаленні системи.

7.1 Розрахунок струмів короткого замикання.

Перед розрахунком струмів КЗ розробимо розрахункову схему (рис. 7.1) на якій помічаємо точки, в яких треба обчислити струми короткого замикання. По розрахунковій схемі будемо схему заміщення, на якій всі елементи системи показані у вигляді опорів.

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

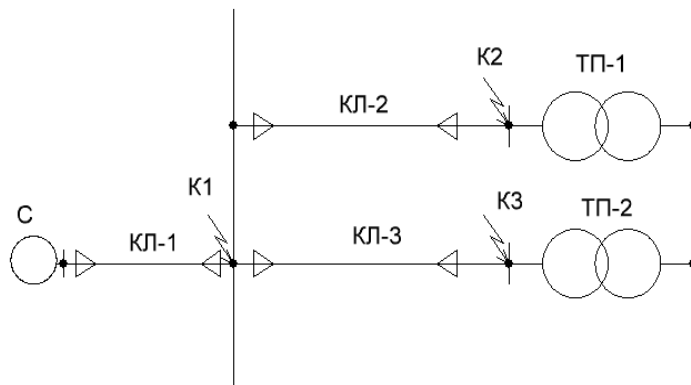


Рис.8.1-Розрахункова схема для визначення струмів КЗ.

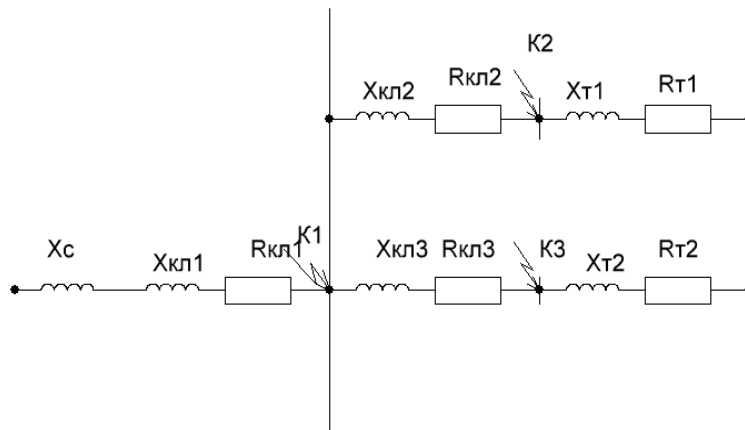


Рис. 7.1. Схема заміщення для розрахунків струмів КЗ.

Розрахунок струмів КЗ проводиться у відносних одиницях, які приводяться до базисних умов.

Приймаємо $S_6=100$ МВА. Обчислюємо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,49 \text{ кА}$$

Опір системи у відносних одиницях, який приведений до базисних умов:

$$x_c = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I''} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 8,2} = 0,67$$

Обчислюємо опір кабельних ліній у відносних одиницях, який приводиться до базисних умов:

$$x_{\text{кл-1}} = x_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,086 \cdot 2,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,164$$

$$x_{\text{кл-2}} = x_o \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,099 \cdot 0,02 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0018$$

$$x_{\text{кл-3}} = x_o \cdot \ell_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,099 \cdot 0,18 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,016$$

$$r_{\text{кл-1}} = r_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,46 \cdot 2,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,876$$

$$r_{\text{кл-2}} = r_o \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 1,28 \cdot 0,02 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0232$$

$$r_{\text{кл-3}} = r_o \cdot \ell_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 1,28 \cdot 0,18 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,2030$$

Розрахунок опорів кабельних ліній приводиться у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1- Розрахунок опорів кабельних ліній.

№ КЛ	Позначення	l,км	Ro,Ом/км	Xo,Ом/км	R, Ом	X, Ом	R*6	X*6
1	С-ЦРП	2,1	0,46	0,086	0,966	0,131	0,877	0,165
2	ЦПР-ТП-1	0,02	1,28	0,099	0,0256	0,0020	0,0232	0,0018
3	ЦПР-ТП-2	0,18	1,28	0,099	0,230	0,019	0,2030	0,017

Результуючий опір, розрахований до точок К1, К2 та К3:

$$x_{\text{к1}} = x_c + x_{\text{кл-1}} = 0,67 + 0,164 = 0,834$$

$$r_{\text{к1}} = r_{\text{кл-1}} = 0,876$$

$$z_{\text{к1}} = \sqrt{(x_{\text{к1}}^2 + r_{\text{к1}}^2)} = \sqrt{0,834^2 + 0,876^2} = 1.21$$

$$x_{\text{к2}} = x_{\text{к1}} + x_{\text{кл-2}} = 0,834 + 0,0018 = 0,836$$

$$r_{\text{к2}} = r_{\text{к1}} + r_{\text{кл-2}} = 0,876 + 0,023 = 0,899$$

									Арк.
									45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$z_{k2} = \sqrt{(x_{k2}^2 + r_{k2}^2)} = \sqrt{0,836^2 + 0,899^2} = 1,228$$

$$x_{k3} = x_{k1} + x_{k\ell-3} = 0,834 + 0,016 = 0,850$$

$$r_{k3} = r_{k1} + r_{k\ell-3} = 0,876 + 0,203 = 1,079$$

$$z_{k3} = \sqrt{(x_{k3}^2 + r_{k3}^2)} = \sqrt{0,850^2 + 1,079^2} = 1,374$$

Обчислюємо надперехідні струми в точках К1, К2 та К3:

$$I''_{k1} = \frac{I_6}{z_{k1}} = \frac{5,49}{1,21} = 4,537 \text{ кА}$$

$$I''_{k2} = \frac{I_6}{z_{k2}} = \frac{5,49}{1,228} = 4,471 \text{ кА}$$

$$I''_{k3} = \frac{I_6}{z_{k3}} = \frac{5,49}{1,374} = 3,936 \text{ кА}$$

$$T_a = x_{\text{рез}} / \omega r_{\text{рез}} = 0,834 / (314 \cdot 0,876) = 0,03$$

Ударні струми в точках К1, К2 та К3 визначаються:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot I''_{k1} \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{T_{a1}}}\right) = \sqrt{2} \cdot 4,537 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}}\right) = 11,015 \text{ кА}$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot I''_{k2} \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{T_{a1}}}\right) = \sqrt{2} \cdot 4,471 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}}\right) = 10,855 \text{ кА}$$

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot I''_{k3} \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{T_{a1}}}\right) = \sqrt{2} \cdot 3,936 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}}\right) = 9,557 \text{ кА}$$

Результати розрахунків надперехідних та ударних струмів зведені до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Результати розрахунку надперехідних та ударних струмів К3 .

№ точки КЗ	x_{Σ}	r_{Σ}	z_{Σ}	I'' , кА	i_y , кА
К1	0,834	0,876	1,21	4,537	11,015
К2	0,836	0,899	1,228	4,471	10,855
К3	0,853	1,079	1,374	3,936	9,557

7.2. Вибір кабелів 10 кВ для високовольтної мережі компресорної.

Оберемо кабель від підстанції енергосистеми до ЦРП.

Розрахунковий струму у лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2708.96}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 148,95 \text{ А}$$

де S_p – розрахункова потужність компресорної, кВА;

U_H - номінальна напруга в даному варіанті.

Перетин кабельної лінії обирається відповідно до економічної щільності струму:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{148,95}{1.2} = 124,125 \text{ мм}^2,$$

де j_e - економічна щільність струму, А/мм².

Приймаємо до прокладки 2 кабельні лінії типу ААШВ(3х70),

$I_d = 165 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $\Delta P_{1 \text{ км}} = 44 \text{ кВт}$.

Завантаження кабелю при нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{2 \cdot I_d} = \frac{148,95}{2 \cdot 165} = 0,451$$

У випадку, якщо одна лінія вийде з ладу, інша, працюючи з допустимим аварійним перевантаженням, забезпечуватиме живлення навантаження:

$$I = I_d \cdot K_{АП} = 0,9 \cdot 165 \cdot 1,25 = 185.6 \text{ А}$$

де $K_{АП}$ – допустимий коефіцієнт при аварійному перевантаженні, $K_{АП} = 1,25$

$$I_{\max} = 148,95 \text{ А} < I = 185,6 \text{ А}, \text{ тобто умова виконується.}$$

Розрахунок показв, що при аварійному режимі живлення підприємства зберігається.

Мінімальна площа перерізу кабеля при умові термічної стійкості:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{20,811}}{94} = 49 \text{ мм}^2,$$

					Арк.
					47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де K - термічний коефіцієнт; для алюмінієвих проводів $K=94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k - тепловий імпульс:

$$B_k = I''^2 (t_{\text{отк}} + T_a) = 4,537^2 (1 + 0,011) = 20,81 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де I'' – значення надперехідного струму;

t_b - повний час роботи вимикача при вимиканні;

Тому обираємо кабель ААШв (3х70). Обраний кабель задовільняє умовам термічної стійкості.

Вибір кабелів для ТП проводиться аналогічно. Результати вибору кабелів приведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Вибір кабельних ліній 10 кВ

Призначення кабеля	Навантаження				N	K _{ав}	K _п
	Норм. реж.		Авар. реж				
	I _p , A	S _p , кВА	I _p , A	S _p , кВА			
1	2	3	4	5	6	7	8
С-ЦРП	74,47709	1354,5	148,95	2708,96	2	1,25	0,9
ЦРП-ТП1	25,49289	463,63	50,986	927,255	2	1,25	0,9
ГЗП-ТП2	24,79397	450,92	24,794	450,916	1	1,25	0,9

Продовження таблиці 7.3.

Переріз, мм^2			Марка	Доп. струм, А	$I_{\text{ав}} = K_{\text{п}} K_{\text{ав}} I_{\text{доп}}$	L, км
Фек.розр.	Фек.станд.	Ф _{ту}				
9	10	11	12	13	14	15
62,06	70	50	ААШв (3х70)	480	165	2,1
21,24	25	50	ААШв (3х50)	205	115	0,02
20,66	25	50	ААШв (3х50)	205	115	0,18

7.3 Вибір високовольтного обладнання

Електричні апарати і струмоведучі пристрої повинні відповідати певним вимогам. Серед цих вимог варто враховувати їх здатність до тривалої роботи в нормальному режимі, здатність витримувати короточасні перенапруги і перевантаження, а також допустимий рівень нагріву в аварійному режимі. Крім того, вони повинні бути стійкими в режимі короткого замикання та відповідати техніко-економічним вимогам.

У нормальному режимі роботи надійна функціонування апаратів і струмоведучих пристроїв забезпечується правильним вибором їх за номінальною напругою та тривалістю підвищення напруги або струму. Цей вибір має здійснюватися таким чином, щоб ще забезпечувалася нормальна робота електричних установок за рахунок наявного запасу міцності. У режимі короткого замикання вимоги стосуються відповідності обраних параметрів умовам термічної та електродинамічної стійкості.

Вибір вимикачів.

Вибір вимикачів, які мають напругу вище 1000 В, здійснюється на основі їх номінальних параметрів, типу установки, струму та комутаційної здатності. Обрані вимикачі перевіряються на стійкість при короткого замикання та відповідності параметрам відновлюючої напруги.

На всіх ділянках схеми електропостачання приймаємо до установки вимикачі типу ВР1-10-20/630У2.

Вибір ввідних та секційних вимикачів приведено в таблиці 7.4.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.4 - Вибір ввідних та секційних вимикачів.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
148,95 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
4,537 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	12,5 кА
18,37 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 12,5 (1 + 0,4) = 27,75$ кА
4,537 кА	$I'' \leq I_{дин}$	12,5 кА
11,015 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	32 кА
20,811 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$12,5^2 \cdot 3 = 468,75$ кА ² · с

Розрахунковий струм ввідного вимикача:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2708,96}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 148,95 \text{ А}$$

Розрахунковий струм секційного вимикача:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2708,96}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 74,48 \text{ А}$$

В якості вимикачів для відхідних ліній обираємо вимикачі типу ВР1-10-20/630У2.

Вибір параметрів вимикачів приведено в таблиці 7.5.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,64 \text{ А}$$

Таблиця 7.5 - Вибір вимикачів 10 кВ відхідних ліній.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
148,95 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
4,537 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	12,5 кА
18,37 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1+\beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 12,5(1+0,4)=27,75$ кА
4,537 кА	$I'' \leq I_{дин}$	12,5 кА
11,015 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	32 кА
$18,14 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Всі вимикачі 10 кВ встановлені в типових шафах КРП внутрішнього встановлення КУ - 10.

Технічні характеристики КРП приведені в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 - Технічні характеристики КРП КУ-10.

Параметри	Каталожні дані
Номинальна напруга	10 кВ
Номинальний струм, А: Збірних шин Шафи	1000 А 630А
Кількість і переріз силових кабелів, мм ²	4 (3х240)
Номинальний струм відключення, кА	31,5
Електродинамічна стійкість, кА	81
Тип привода до вимикача	Електромагнітний
Тип вимикача	ВР1-10-20/630У2

Вибір трансформаторів власних потреб.

При виборі потужності трансформаторів для власних потреб, враховуються навантаження та коефіцієнти завантаження, а також одночасність використання.

Розрахункове навантаження обчислюється по формулі:

$$S_{розр} = \kappa_c \cdot \sqrt{(P^2 + Q^2)},$$

де K_c – коефіцієнт спросу, який враховує коефіцієнти одночасності та завантаження, ($K_c = 0,8$).

Потужність трансформатора обирається при умові:

$$S_{тр} \geq S_{розр}$$

Для визначення потужності трансформаторів для внутрішніх потреб проводиться розрахунок навантаження власних споживачів. Отримані результати розрахунків узагальнюються та представляються у таблиці 7.7.

Таблиця 7.7- Розрахунок потужності споживачів власних потреб.

№ п/п	Споживач	Встановлена потужність, кВт
1	Підігрів шаф КУ-10	1 x 10
2	Опалення і освітлення приміщення	6
3	Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2
Всього		18

Розрахункова потужність для споживачів власних потреб:

$$S_{розр} = K_c * \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)} = 0,8 * \sqrt{18^2 + 0^2} = 14,4 \text{ кВт} \cdot A$$

Обираємо трансформатор ТМ – 25/10 з наступними параметрами:

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

$$\Delta P_k = 0,69 \text{ кВт}, U_k = 4,7\%, I_{xx} = 3,2\%.$$

Коефіцієнт завантаження:

$$K_z = \frac{S_{роз}}{S_{ном}} = \frac{14,4}{1 \cdot 25} = 0,576.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Вибір запобіжників.

У шафах керованої розподільної панелі (КРП) встановлюються захисні пристрої - перетинкові контактні трансформатори (ПКТ), що призначені для захисту трансформаторів власних потреб від перевантажень та коротких замикань. Також встановлюються перетинкові контактні трансформатори напруги (ПКТН), які служать для захисту трансформаторів від виникнення небезпечних напруг.

Вибір обмежувачів перенапруги.

Застосовуються обмежувачі перенапруги для захисту електрообладнання від небезпечних перенапруг, що можуть пошкодити його ізоляцію. На стороні 10 кВ використовують обмежувачі перенапруги ОПНп-10/12/1 УХЛ1 перед їх встановленням. Умовне позначення обмежувачів перенапруги складається з наступних компонентів: ОПН - нелінійний обмежувач перенапруги, п - позначення матеріалу покриття (полімер), 10 - клас напруги мережі в кВ, 12 - максимальна допустима напруга в кВ, 1 - номінальний розрядний струм в кА.

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

8 ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВКАХ

8.1. Загальні відомості про енергозбереження в компресорному господарстві.

Компресори – це механізми, які призначені для отримання і транспортування стиснутого повітря або іншого газу. По принципу роботи і конструкції компресори бувають: центробіжні і осьові (турбокомпресори); поршньові, ротаційні, гвинтові. Найбільшого поширення отримали механізми центробіжного і поршньового типів.

Призначення компресорів полягає у стисканні газів і переміщенні їх до споживача по трубопровідним системам. Компресори, які застосовуються для відсмоктування газу із ємності з вакуумом, стискаючи газ до атмосферного тиску називають вакуум-насосами.

Засоби електрозбереження в компресорних установках використовуються для зменшення споживання електроенергії і підвищення ефективності роботи системи. Основна мета використання таких засобів полягає в економії електричної потужності і зниженні енергетичних витрат без втрати продуктивності.

Засоби електрозбереження, які можуть бути використані в компресорних установках:

1. Використання ефективних компресорів. Вибір ефективних моделей компресорів із високим ККД (коефіцієнт корисної дії) допомагає зменшити енергетичні витрати і споживання електроенергії.

2. Регулювання режимів роботи компресорів. Використання систем автоматичного регулювання тиску і обсягу повітря дозволяє налаштувати компресори на оптимальні режими роботи залежно від потреб у повітрі, що забезпечує економію електроенергії.

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

3. Утеплення і ізоляція системи. Застосування утеплення і ізоляції на трубопроводах, резервуарах і обладнанні допомагає знизити втрати тепла і покращити ефективність теплообміну, що сприяє зменшенню споживання електроенергії.

4. Використання систем рекуперації тепла. Встановлення систем рекуперації тепла дозволяє використовувати відходяче тепло від компресорів для нагрівання повітря або води, що знижує споживання електроенергії для інших процесів.

5. Використання енергоефективного освітлення. Заміна старих світильників на енергоефективні LED-лампи допомагає знизити споживання електроенергії для освітлення приміщень.

Ці заходи спрямовані на оптимізацію енергоефективності компресорних установок і зниження споживання електроенергії, що призводить до економії ресурсів і зниження витрат.

У балансі електроспоживання підприємства, компресорні станції становлять приблизно 25-30% частку, тому енергозберігаючі заходи в цій області набувають великого значення. Згідно з досвідом, ефективність систем виробництва та розподілу стисненого повітря на більшості підприємств є низькою. Це пояснюється зношеністю мереж розподілу повітря, недостатньою відповідністю існуючих мереж поставленим перед ними завданням та неоптимальною експлуатацією компресорів.

Важливість правильного вибору схеми постачання стисненого повітря часто недооцінюється, але це є напрасним, оскільки часто саме тут можуть бути причини підвищених витрат електроенергії та частоти поломок компресорного обладнання. Помилки в цій сфері можуть призвести до необхідності додаткових витрат у майбутньому.

Існують два основних типи схем постачання повітря: централізована і децентралізована схеми.

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

У **централізованій** схемі живлення цехів стисненим повітрям здійснюється через загальний компресорний цех. Зазвичай в такій системі експлуатують кілька компресорних установок з продуктивністю від 10 до 250 м³/год, іноді навіть більше. Зазвичай використовують поршневі або відцентрові компресори, а іноді потужні гвинтові компресори. Ця схема має свої переваги, особливо на великих підприємствах з герметичною пневмомережею, де всі споживачі знаходяться на відносно невеликій площі і віддалені точки споживання відсутні. Робочий тиск більшості споживачів в мережі є приблизно однаковим, а у решти споживачів він нижче даного значення.

У **децентралізованій системі** живлення споживачів стисненим повітрям здійснюється за допомогою окремих невеликих компресорів, які встановлюються безпосередньо біля споживача. Варто зазначити, що в децентралізованих схемах, коли локальна потреба в повітрі перевищує 1 м³/год, рекомендується використання надійних гвинтових компресорів, які мають численні переваги. Це дозволяє вирішити проблеми, які властиві поршневим компресорам, такі як потреба в фундаменті під компресор, високий рівень шуму і вібрацій, потреба в регулярному обслуговуванні (заміна кілець, клапанів). Крім того, дешеві малопродуктивні поршневі компресори, як правило, не підходять для промислових цілей з високою ступенем стиснення, близькою до 100%, і мають обмежений ресурс.

У загальному, вибір оптимальної схеми подачі повітря залежить від конкретних умов на підприємстві і повинен передувати повному аналізу ситуації, існуючих пневматичних мереж, енергоаудиту всього процесу виробництва і постачання стисненого повітря, з урахуванням необхідних капітальних вкладень і постійних витрат. Децентралізована схема не є універсальним рішенням, і використання її має бути економічно обґрунтовано. При проектуванні пневматичних систем необхідно

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

враховувати не тільки поточних споживачів, але й можливі зміни у потребі в стисненому повітрі та розташуванні точок споживання.

8.2. Визначення потужності електроприводів компресорів.

Вибір потужності приводних електродвигунів полягає в визначенні основного критерію, яким є статичне навантаження на валу механізму. Величина і характер цього статичного навантаження у компресорів визначаються силами, що діють на їх робочий орган. Утворення цих сил є складним і залежить від конструкції механізму. Потрібну потужність двигунів, зазвичай, визначають за допомогою приблизних формул.

Потужність на валу двигуна компресора обчислюється за формулою, (кВт):

$$P = \frac{Q(A_n + A_a)}{2\eta_k \eta_n} \cdot 10^{-3} R_3,$$

де Q – значення подачі компресора, $\text{м}^3/\text{с}$; A_n – величина питомої роботи ізотермічного стискання до тиску p_2 ($\text{Дж}/\text{м}^3$); A_a – величина питомої роботи адіабатичного стискання ($\text{Дж}/\text{м}^3$) до тиску p_2 ; p_2 – остаточний збиточний тиск стискання, Па; η_k – коефіцієнт корисної дії компресора ($\eta_k = 0,6 \dots 0,8$); η_n – коефіцієнт корисної дії передачі; $R_3 = 1,05 \dots 1,3$ – коефіцієнт запасу (більші значення R_3 відносяться до меншої потужності та навпаки).

Якщо маємо дійсну індикаторну діаграму стискання повітря або газу, то можна знайти більш точну потужність на валу двигуна компресора:

$$P = \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3} R_3$$

де A – величина питомої роботи стискання повітря або газу ($\text{Дж}/\text{м}^3$), яка визначається за допомогою індикаторної діаграми.

Якщо відома потужність P , то можна обчислити момент на валу двигуна (Н.м.).

$$M = 9500 \cdot P / n$$

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

де n – частота обертання двигуна, об/хв.

Потужність на валу електродвигуна компресора (кВт):

$$P = \frac{Q(A_n + A_a)}{2\eta_k \eta_n} \cdot 10^{-3} R = \frac{0.5(411000 + 427200)}{2 \cdot 0.7 \cdot 0.6} \cdot 10^{-3} \cdot 1.2 = 598,714 \text{ кВт}$$

Обираємо двигун з потужністю $P_n = 630$ кВт Типу СДК2-17-26-12 КУХЛ4

$P=630$ кВт ; $U_{ном}=10$ кВ ;

Струм статора дорівнює 43,1 А ; ККД = 93,8 % ;

$$\frac{I_n}{I_{ном}} = 4,4; \quad \frac{M_n}{M_{ном}} = 0,6; \quad \frac{M_{S=0,05}}{M_{ном}} = 1,0; \quad \frac{M_{max}}{M_{ном}} = 1,87;$$

Тип тиристорного збуджувача ТЕ8-320/4ВТ-544

Момент інерції ротора $10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 = 0,51$

$\cos \varphi = 0.9$

частота обертання дорівнює 500 об/хв.

8.3. Спільна робота двигуна і компресора.

Застосування систем наддуву в двигунах внутрішнього згоряння дозволяє стиснути повітря, яке поступає до камери згоряння, та збільшити його масу. Це призводить до підвищення потужності двигуна при заданому робочому об'ємі та частоті обертання колінчастого валу. Для цієї цілі використовують компресори, також відомі як нагнітачі.

Лопаткові компресори, зокрема відцентрові, є найпоширенішими системами наддуву. Відцентровий компресор, що належить до категорії лопаткових машин, працює на основі динамічної взаємодії між високошвидкісним потоком газу та лопатками робочого колеса та нерухомими лопатками машини. У порівнянні з іншими типами компресорів

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

(наприклад, об'ємними), лопаткові компресори відрізняються більшою компактністю та відносно простою конструкцією.

В структурі відцентрового компресора ми можемо виділити кілька основних компонентів. Він складається з вхідного пристрою 6, робочого колеса 2, крильчастої частини, дифузора 3 (який може містити безлопаточну і лопаткову секції) та повітряозбірника 5, який виконується у формі равлика.

Повітря потрапляє в вхідний пристрій, який звужується у напрямку руху повітря, це сприяє стабільності потоку. Важливо, щоб вхідний пристрій забезпечував рівномірне постачання повітря до робочого колеса з мінімальними втратами.

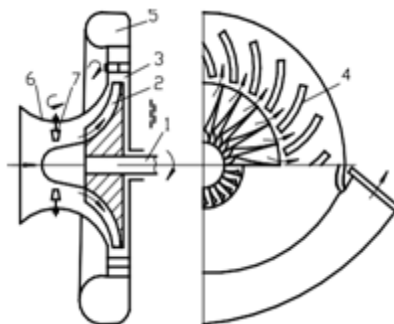


Рис 8.1. Схема елементів відцентрового компресора:

1 – основний вал; 2 – робоче колесо; 3 – дифузор; 4 – лопатки; 5 – повітряозбірник; 6 – вхідний пристрій; 7 – обертаючий напрямний апарат..

Повітря, перебуваючи в робочому колесі, поєднує кінетичну та потенційну енергію (виражену у вигляді тиску). Кінетична енергія на виході з колеса становить приблизно половину загальної енергії потоку. Однак, на виході з компресора необхідно мати певний тиск. Тому для перетворення кінетичної енергії в енергію тиску за допомогою робочого колеса використовується дифузор. Дифузор представляє собою канал з площею поперечного перерізу, яка збільшується. Під час руху повітря через дифузор його швидкість зменшується, а тиск зростає. Проте, при цьому виникають втрати енергії, які складають значну частку загальних втрат у компресорі.

Втрати енергії можуть бути зменшені за допомогою лопаткової частини в дифузорі (лопатковий дифузор). Після дифузора повітря направляється в повітрозбірник, а з нього - у впускний трубопровід двигуна. Залежно від конструкції повітрозбірника, він може мати один або кілька вихідних патрубків.

Основними характеристиками, які визначають роботу відцентрового компресора, є об'єм повітря, що проходить через компресор (позначається як G_K), ступінь підвищення тиску і ККД компресора.

На рисунку 8.2а показана нормальна витратна характеристика відцентрового компресора $\pi_K = f(G_B)$ при різних швидкостях обертання ротора. Штриховою лінією позначена межа помпажу. На цій характеристиці також відображені криві постійного ККД компресора. Універсальна характеристика компресора $\pi_K = f(G_B \sqrt{\frac{T_0}{p_0}})$ для різних значень параметра швидкості обертання ротора $n_K / \sqrt{T_0}$ представлена на рисунку 8.2б.

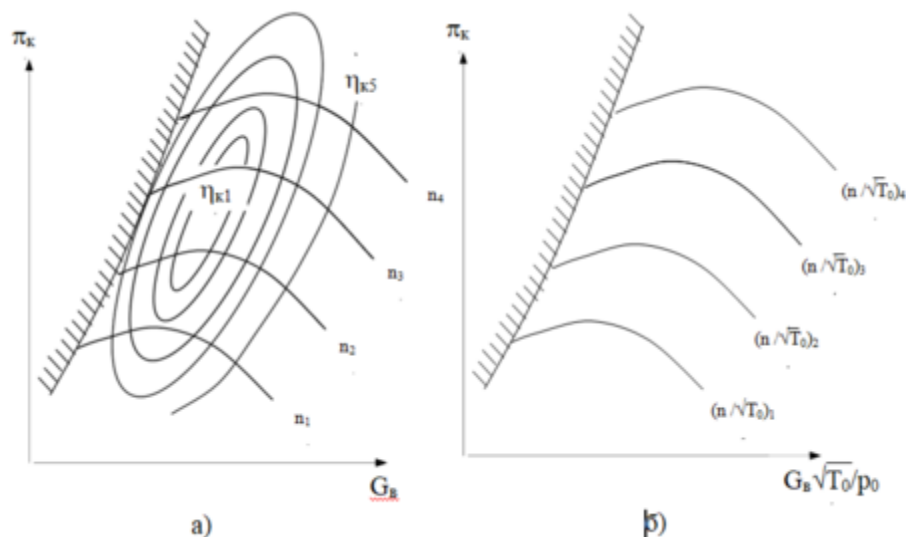


Рис. 8.2. Основні характеристики для відцентрового компресора

а) - графік нормальної витратної характеристики;

б) - графік універсальної характеристики.

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

За допомогою універсальної характеристики можна оцінити робочі характеристики компресора при будь-яких вхідних параметрах (p_0 , T_0). Графік показує, що коефіцієнт підвищення тиску π_k спочатку зростає, досягаючи максимального значення, а потім починає знижуватися.

–Збільшення частоти обертання ротора компресора призводить до збільшення значення π_k

–Проте, існує лише обмежена область, де коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора досягає прийнятно високих значень.

З наведених характеристик видно, що при постійній частоті обертання ротора, зменшення витрати повітря може призвести до нестійкої роботи компресора при дуже низьких значеннях витрати. Нестабільність роботи проявляється у вібраціях лопаток і всього компресора, збільшенні шуму та появі пульсацій повітря. У деяких випадках може спостерігатись викид повітря вхідним пристроєм. Ці явища, що вказують на нестійку роботу компресора, називаються помпажем.

У відцентрових компресорах зазвичай використовують напівзакрите колесо разом з обертовим направляючим апаратом, які можуть бути виготовлені як єдине ціле з колесом або окремо. Для запобігання виникненню осьової сили при роботі компресора, ремені лабіринтного ущільнення розташовані на тильній стороні диска колеса, що дозволяє керувати потоком повітря між каналами міжлопаткової системи та зменшує тертя повітря про нерухомий корпус. Такий тип колеса широко застосовується в компресорах, які працюють з високим ступенем підвищення тиску, наприклад, у суднових та стаціонарних двигунах.

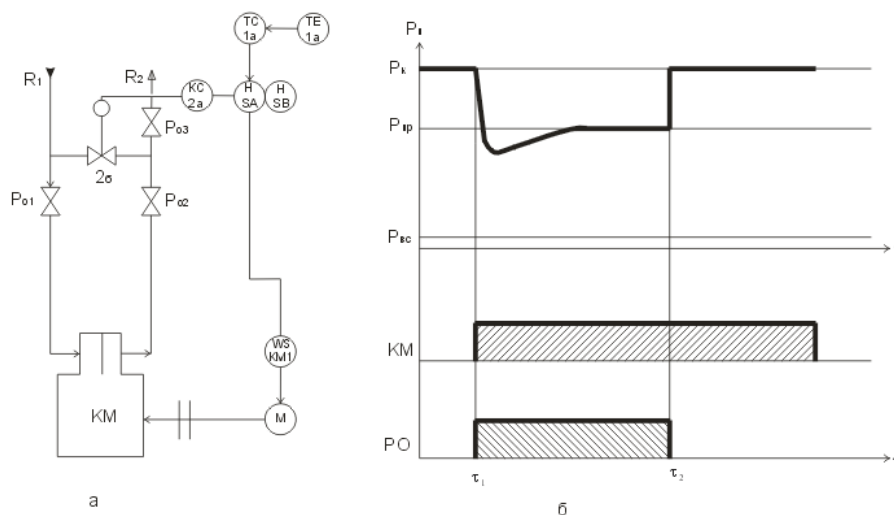
8.4. Розвантаження компресорів в період розгону.

Це досягається за допомогою одного з наступних методів:

1. Байпасування - це попереднє вирівнювання тиску на вході та виході шляхом перенаправлення частини пари.

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

- Байпасування може бути здійснене декількома способами, але основним є перенаправлення пари зі сторони нагнітання на сторону всмоктування. Це дозволяє зменшити навантаження на компресор шляхом зниження різниці тиску між всмоктуванням і нагнітанням. Для байпасування часто використовується електромагнітний клапан 26 (зображений на рисунку 8.3), який являється двопозиційним запірним пристроєм (РЗ).



а – схема управління;
б – графік запуску в часі.

Вентиль 26 відкривається при подачі струму і закривається при відключенні струму. Під час запуску компресора, вентиль 26 використовується для з'єднання ліній всмоктування R1 і нагнітання R2. Додатково до вентилля 26 застосовується зворотний вентиль РОЗ, який розміщується на лінії нагнітання. Цей вентиль перериває потік пари від компресора до конденсатора та інших пристроїв.

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

Додатково до прямої схеми використовується реле часу 2а, яке налаштовує тривалість роботи байпаса. Залежно від типу установки, режиму роботи, розташування елементів і т.д., можуть виникати різні співвідношення між тисками P_{bc} і P_n . При тривалій зупинці тиск може зближуватися і навіть вирівнюватися. В той же час, при нормальному циклічному режимі роботи, ці тиски протягом неробочої частини циклу (τ_n) не зазнають суттєвих змін.

Проаналізуємо процес розвантаження компресора (рис. 8.3, б). Припустимо, що на момент запуску компресора тиск нагнітання дорівнює тиску конденсації ($P_n = P_k$). В момент запуску (τ_1) електричний двигун М та електромагнітний клапан 2б (РО) включаються одночасно. Тиск P_n швидко зменшується, оскільки 2б з'єднує обидві лінії, а РОЗ відсікає тиск P_k від компресора. Зі зростанням швидкості обертання вала компресора тиск P_n поступово збільшується до проміжного значення $P_{пр}$, яке залежить від гідравлічного опору байпасної петлі. Чим менший цей опір, тим менше буде $P_{пр}$, момент опору компресора $M_{км}$ і потужність, необхідна для роботи. Процес запуску завершується в момент τ_2 , коли реле часу 2а відключає електромагнітний клапан 2б. Тоді тиск нагнітання майже миттєво підвищується до значення P_k (точніше, вище на падіння тиску в зворотному клапані). Зворотний клапан РОЗ відкривається, і компресор нагнітає пару в конденсатор. Приблизний час відкриття байпасного клапана складає 10...20 секунд.

Розрахунок клапана позиції 2б полягає у визначенні його розмірів, щоб забезпечити припустимий перепад тисків на клапані. Важливо, щоб в закритому положенні він міцно закривався для уникнення втрат холодопродуктивності, а в відкритому положенні витримував значні підвищення температури (іноді до 80...110 °С).

Часто для вирівнювання тиску всмоктування і нагнітання до запуску компресора використовують схему з попереднім відкриттям електромагнітного клапана. Для цього в схему управління додається додаткове реле часу, яке встановлює необхідний інтервал часу. Також

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

існують схеми, де клапан позиції 2б відкривається при зупинці компресора і залишається відкритим протягом усього періоду стоянки. У такій схемі додаткове реле часу не потрібне.

Застосування методу дроселювання всмоктувальної пари використовується, коли під час зупинки компресора тиск у випарнику може зрости до значень, які при запуску створюють недопустимий момент опору для компресора. Основне завдання полягає у тому, щоб витяг пари з В відбувався поступово, не перевищуючи допустимий тиск всмоктування.

На рисунку 8.4, а показана схема, де застосовується такий метод. Усе інше виконується так само, як і при прямому включенні.

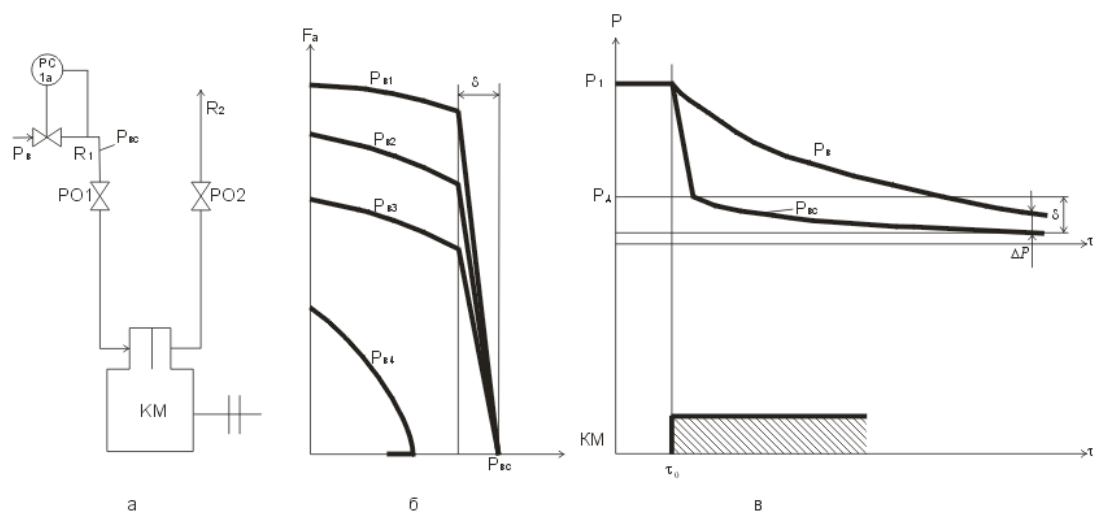


Рис. 8.4. Схема пуску компресора з розвантаженням за допомогою методу дроселювання

а – схема пуску; б – статичні характеристики регулятора; в – графіки процесу пуску;

Регулятор позиції 1а виконує функцію регулювання тиску "після себе". Він сприймає тиск на своєму виході і здійснює пропорційне П-регулювання залежно від його зміни. Статичні характеристики цього регулятора представлені на рисунку 8.4, б, і представляють функціональну залежність між витратою холодоагенту F_a та тиском всмоктування P_{vc} , тобто

$F_a = f(P_{bc})$. Кожна з кривих відповідає певному тиску кипіння P_b , тобто тиску на вході регулятора. В діапазоні зони пропорційності (нерівномірності) δ витрата холодоагенту F_a приблизно залежить від P_{bc} за умови, що P_b залишається постійним. За межами цього діапазону залежність має характер параболи.

Запуск компресора відбувається при відкритих вентилях PO1 і PO2. Припустимо, що на момент запуску тиск у випарнику і перед компресором однаковий, тобто $P_b = P_{bc} = P_d$, і регулятор позиції 1а налаштований на підтримання тиску після себе не вище допустимого значення P_d (рисунок 8.4, в). З графіків видно, що настройка регулятора знаходиться нижче початкового тиску P_1 . Тому в цей час клапан регулятора повністю закритий.

У момент τ_0 двигун компресора вмикається, і він швидко висмоктує частину всмоктувальної лінії після регулятора, що призводить до зниження тиску P_{bc} до значення P_d . Далі компресор поступово зменшує тиск у випарнику P_b , тоді як тиск P_{bc} незначно змінюватиметься в межах нерівномірності. Це забезпечує роботу компресора під час запуску при тиску $P_{bc} \approx P_d$. Зі зменшенням P_b , клапан регулятора відкривається, поки не досягне повного відкритого положення. На цьому процес запуску завершується. У відкритому положенні клапана регулятора залишається падіння тиску ΔP , яке характеризує гідравлічний опір регулятора.

Комбінована схема. Застосовується у випадках, коли при запуску виникають значні різниці тисків і великі значення тиску у випарнику. Робота цієї схеми аналогічна роботі, описаній раніше.

Уповільнений запуск. Застосовується на електродвигунах, які можуть плавно змінювати оберти. У випадку, коли швидкість двигуна не регулюється, між двигуном і компресором встановлюється гідравлічна або інша муфта, що сповільнює процес розгону.

Зниження продуктивності компресора. Його можна здійснити під час розгону шляхом відтиснення всмоктуючого клапана або байпас, як було описано раніше.

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

8.5. Зміна частоти обертання вала компресора

Цей метод передбачає наявність регульованого приводу у компресора, тобто приводу, який обладнаний пристроєм для зміни частоти обертання вала. У більшості випадків поршневі компресори приводяться в рух асинхронними електричними двигунами змінного струму. Використовуються методи позиційного і плавного регулювання частоти обертання.

Позиційна зміна частоти обертання. Для заданої частоти струму f , частота обертання вала залежить від числа пар полюсів p електричного двигуна за формулою $n=60f/p$. Можна легко розрахувати синхронну частоту обертання для різної кількості пар полюсів при $f=50$ Гц.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_c	3000	1500	1000	750	600	500	429	375	333	300

Якщо припустити, що холодопродуктивність компресора в лінійній залежності від частоти обертання n_c , то вибір рівнів регулювання здійснюється вибором електричного двигуна з потрібною кількістю пар полюсів. Наприклад, чотирьохшвидкісний електричний двигун зі швидкостями обертання $n_c = 1500, 1000, 750$ і 500 об/хв забезпечить рівні продуктивності відповідно $1, 2/3, 1/2$ і $1/3$.

Принципова схема управління трьохшвидкісними електроприводом показана на рис. 8.5.

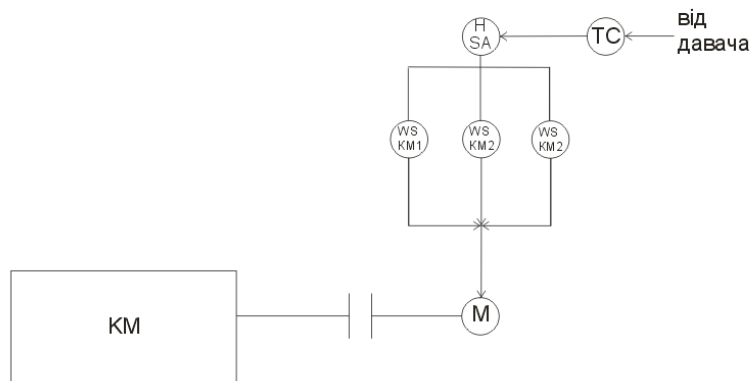


Рис. 8.5. Схема управління трьохшвидкісним електроприводом

Перехід від однієї частоти до іншої здійснюється зміною з'єднання між різними частинами обмотки статора електродвигуна М, а комутація здійснюється пусками KM1, KM2 і KM3, кількість яких відповідає кількості рівнів регулювання. Якщо перемикач управління SA встановлений в положення "Автоматично", то робота пускачів здійснюється за сигналами від регулятора ТС, який регулює параметр $t_{об}$. Цей пристрій повинен відповідати трьохпозиційній релейній характеристиці або використовувати декілька двопозиційних пристроїв.

Варто зазначити, що зі збільшенням кількості рівнів регулювання значно ускладнюється конструкція електричного двигуна. Зростає кількість обмоток статора, які потребують комутації, а також збільшується кількість пускачів. Це призводить до збільшення ваги та розмірів електричного двигуна, ускладнює схему управління і негативно впливає на енергетичні характеристики. На практиці зазвичай обмежуються чотирма рівнями регулювання.

Плавна зміна частоти обертання. Для досягнення плавної зміни частоти обертання можна використовувати різні методи. Один з таких методів полягає в введенні додаткового опору в ланку живлення електричного двигуна М. За допомогою зміни частоти струму живлення або вводом управляємої електрорушійної сили (е.р.с.) в ланцюг живлення можна

контролювати частоту обертання. У першому і третьому випадках використовується асинхронний двигун з контактними кільцями (фазним ротором), а в другому - можна використати електричний двигун з короткозамкненим ротором.

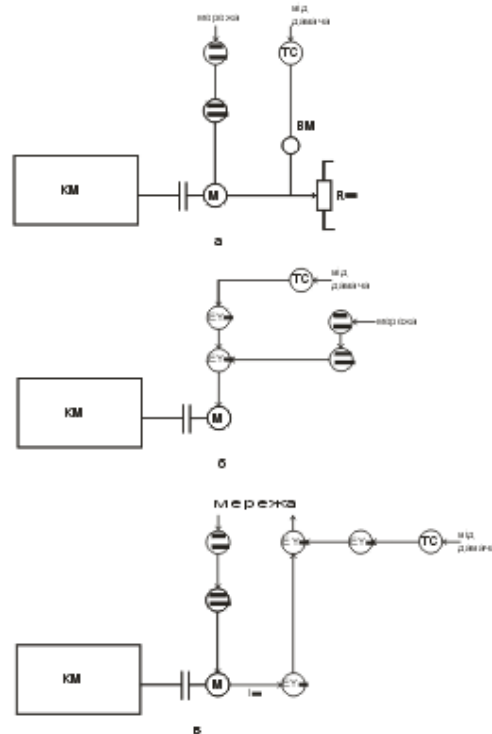


Рис. 8.6. Схеми для плавної частоти обертання вала:

а) включенням опору в ланцюг ротора; б) зміною частоти струму живлення; в) введенням управляємої електрорушійної сили в ланцюг ротора.

На рисунку 8.6, в схемі зображено включення реостата R_p в ланцюг ротора, при цьому положення повзунка реостата може змінюватися. Проте, цей метод має обмежене застосування через його високі енергетичні втрати.

Головним компонентом є перетворювач частоти ЕУ2, який отримує живлення від промислової частоти і змінює вихідну частоту залежно від управляючого сигналу в заданих межах. Цей струм подається на обмотку статора електричного двигуна М. Згідно зі залежністю $n_c = 60f/p$, при зміні частоти f пропорційно змінюється число обертів вала.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	68

Сигнал управління від ТС проходить через підсилювач ЕУ2, який забезпечує контроль частоти. Застосування цього методу пов'язане з високими витратами, тому воно повинно бути економічно обґрунтованим.

На рисунку 8.6, в схемі, протиставляється електрорушійна сила (е.р.с.) в роторі, яка компенсується протилежною опорною електрорушійною силою, що еквівалентна введенню додаткового опору.

Особливістю цієї схеми є те, що частина енергії, відведена з ротора, частково повертається назад до живильної мережі. Спочатку струм ротора змінюється на постійний струм за допомогою випрямляча ЕУ3, а потім цей струм подається на інвертор ЕУ2, який керується управляючим пристроєм (підсилювачем) ЕУ1. Останній працює від сигналів, що надходять від пристрою ТС.

Інвертор здійснює перетворення постійного струму на трьохфазний промислової частоти, який потім повертається в електричну мережу. Цей процес повернення енергії до мережі називається рекуперацією енергії. Якщо більша частка енергії успішно рекуперується в мережу, то швидкість обертання електричного двигуна буде меншою.

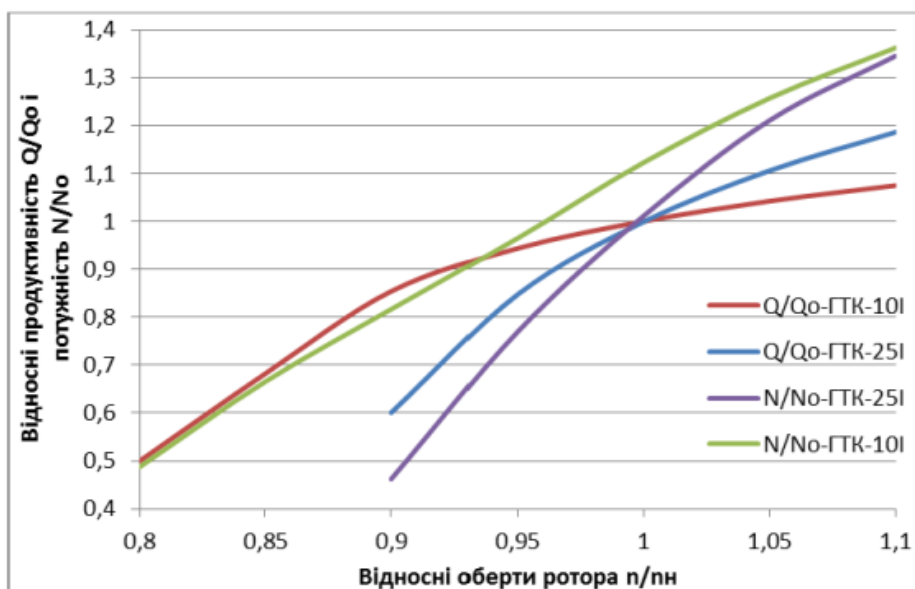


Рис. 8.7. Залежність між продуктивністю і потужністю компресорного агрегату та швидкістю обертання його роторів

Ця схема має високі енергетичні характеристики, але її реалізація є складною. Використання такої схеми доцільне, коли основним вимогам є плавна зміна холодопродуктивності.

Один з ефективних методів енергозбереження пов'язаний з використанням компресорів, які мають регульовану частоту обертання вала електродвигуна. Цей підхід набуває все більшої популярності серед споживачів. Головна перевага полягає в тому, що продуктивність компресора змінюється відповідно до потреби в повітрі. Це дозволяє споживати енергію пропорційно, зазвичай в діапазоні від 10% до 100%. У порівнянні з компресорами з фіксованою продуктивністю, які працюють з робочим тиском мережі до тиску відключення або переходу на холостий хід (зазвичай на 2 атм вище робочого тиску), компресори з регульованою частотою обертання завжди працюють на тиску, що незначно перевищує робочий тиск, що допомагає зменшити втрати енергії.

При використанні частотного регулювання, тиск у компресорі підтримується на стабільному рівні, що дозволяє уникнути непотрібного витрати енергії. Хоча такий компресор коштує близько 50-80% дорожче, ніж звичайний, ця різниця у вартості компенсується шляхом зниження експлуатаційних витрат. Розглянемо це на конкретному прикладі.

Річне споживання компресора потужністю 75 кВт при двозмінній роботі складає близько 380 000 кВт * год (за 6000 годин роботи, при ПВ 80% це 4800 годин під навантаженням і 800 годин на холостому ходу). З урахуванням вартості електроенергії в розмірі 1,7 грн / кВт·год, це призводить до витрат у розмірі 646 000 грн за рік. Застосування частотного регулювання, згідно з досвідом, дозволяє здійснити реальну економію електроенергії від 15 до 38%. У грошовому вираженні це означає зниження витрат на суму від 96 900 до 245 480 грн (від 2 768 до 7 013 євро).

Компресор ЕКО 75 (75 кВт, 12,6 м³ / куб при 8 атм) продається за ціною 16 590 євро. Однак, компресор з регулюванням частоти обертання, ЕКО 75-VST, коштує 29 037 євро, що становить різницю у 12 447 євро.

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

Таким чином, застосування частотного регулювання буде відбито протягом 1,5 - 3,5 років, після чого розпочнеться справжня економія коштів. У випадку трьозмінної роботи, цей термін скоротиться приблизно на третину. Отже, з навантаженням, який досягне або перевищить 60 000 годин (10 - 12 років при двозмінній роботі) до капітального ремонту, застосування частотного регулювання буде економічно обґрунтованим в будь-якому випадку. Основне питання полягає в готовності підприємства здійснити додаткові капіталовкладення, які забезпечать значну економію в майбутньому.

Також не слід забувати, що при використанні частотного регулювання компресорна установка працює в набагато більш сприятливих умовах. Це включає плавний пуск і зупинку, відсутність різких перепадів струму та інші переваги. Все це сприяє збільшенню міжремонтних інтервалів та забезпечує додаткову економію.

Компресори з частотним регулюванням можуть бути використані як у децентралізованій системі подачі повітря, де потреба в повітрі на різних ділянках може значно змінюватися, так і в централізованій системі. У цьому випадку рекомендується встановити кілька компресорів з фіксованою продуктивністю, а також один компресор з частотним регулюванням, який може компенсувати коливання потреби в повітрі.

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

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі виконано розробку системи електропостачання та електрозбереження компресорної станції.

В проекті розраховані електричні навантаження компресорної на стороні 0,4 кВ та 10 кВ, освітлювальне навантаження.

В результаті техніко-економічного порівняння варіантів схем зовнішнього електропостачання, було вирішено встановити на території компресорної станції ЦРП напругою 10 кВ, від якого отримують живлення трансформаторні підстанції ТП-1 та ТП-2.

В роботі були проведені розрахунки по вибору потужності ТП, їх кількості та розташування з врахуванням особливостей навантаження.

При розрахунках компенсації реактивної потужності були розглянуті декілька варіантів з різною кількістю трансформаторів ТМ-630/10. Найбільш економічним прийнято варіант з кількістю трансформаторів 3.

Розраховані струми короткого замикання в схемі електропостачання і здійснено вибір високовольтного обладнання та високовольтних електричних кабелів.

У спеціальному розділі БКР було розглянуто питання електрозбереження при роботі компресорної станції. Основна увага приділена дослідженню таких режимів роботи, як спільна робота двигуна і компресора, та розробці заходів, а саме розвантаження компресорів у період розгону, зміна частоти обертання валу компресора.

В цілому, розроблена система електропостачання задовольняє вимогам економічності та надійності, відповідає критеріям оптимальності електропостачання.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок., видання третє, перероблене і доповнене. Мінпаливенерго 2010 р. -736 с.
2. Плєшков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навч. посібник для курсового та дипломного проектування, Кіровоград, КНТУ, 2007 – 380с.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів / Державний нормативний акт про охорону праці, Київ 1998.
4. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плєшков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В] ; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плєшкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 242с
5. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода:Навчальний посібник.-К:Кондор, - 408 с.2005
6. Плєшков С.П., Серебренніков С.В. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 161 с.
7. Електричні машини. Трансформатори : метод. рекомендації 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.
8. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плєшков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

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

9. 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, 2018. – 125 с.

10. 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.

11. 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.

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