

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛІШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи електропостачання м'ясопереробного комплексу»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-20-Зск,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____Ростислав ЧОРНОЩОКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук

_____Наталія ГАРАСЬОВА

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2023 р.

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

Чорнощокова Ростислава Костянтинівна

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання м'ясопереробного комплексу

Development of the power supply system of the meat processing complex

2. Керівник роботи Гарасьова Наталія Юріївна, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи розрахунок електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж; розрахунок спеціального розділу кваліфікаційної роботи

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>13.04-23.04</i>	
3	<i>Побудова графіків ел. навантажень</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05-13.05</i>	
8	<i>Розрахунок струмів КЗ , вибір обладнання та силових мереж системи ел.постачання</i>	<i>14.05-16.05</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>17.05-28.05</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>31.05-1.06</i>	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис керівника

Наталія ГАРАСЬОВА

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис здобувача

Ростислав ЧОРНОЩОКОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 73 с.; 18 рис.; 23 табл.; 15 джерел

Чорнощоків Р.К. Розробка системи електропостачання м'ясопереробного комплексу. – Рукопис.

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

В бакалаврській роботі виконана розробка система електропостачання м'ясопереробного комплексу. Основні розрахунки роботи: силові та освітлювальні навантаження комплексу, режими реактивної потужності, розрахунок струмів коротких замикань. Здійснено вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання комплексу, ЦРП та цехових підстанцій, конденсаторних пристроїв та високовольтного обладнання.

Спеціальний розділ присвячений заощадженню електроенергії при пуску асинхронних двигунів. Детально розглянуті та проаналізовані пускові схеми та характеристики двигунів. Проведено аналіз доцільності використання певних схем та надано рекомендації по їх застосуванню. Виконана оцінка економічного ефекту від використання плавного пуску асинхронного двигуна від тиристорного перетворювача напруги.

Ключові слова: активне та реактивне навантаження, пуск асинхронних двигунів, схеми електропостачання, електричне обладнання, керований пуск, заощадження електроенергії

ABSTRACT

Qualification work: 73 p.; Fig. 18; 23 tables; 15 sources

Chornoshchokov R.K. Development of the power supply system of the meat processing complex. – Manuscript.

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

The bachelor's work developed the power supply system of the meat processing complex. Basic work calculations: power and lighting loads of the complex, reactive power modes, calculation of short-circuit currents. The selection of schemes for external and internal power supply of the complex, CRP and workshop substations, capacitor devices and high-voltage equipment was made.

A special section is dedicated to saving electricity when starting asynchronous motors. Starting schemes and characteristics of engines are considered and analyzed in detail. An analysis of the expediency of using certain schemes was carried out and recommendations for their application were provided. An assessment of the economic effect of using a smooth start of an asynchronous motor from a thyristor voltage converter was carried out.

Keywords: active and reactive load, start of asynchronous motors, power supply schemes, electrical equipment, controlled start, energy saving

З М І С Т

	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
	ВСТУП. ХАРАКТЕРИСТИКА МПК.....	9
1	ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРО-ПОСТАЧАННЯ МПК.....	10
	1.1 Визначення силових електричних навантажень МПК у мережах до 1000 В	10
	1.2 Визначення освітлювальних навантажень МПК.....	16
	1.3 Визначення електричних навантажень МПК у силових мережах вище 1000 В	16
	1.4 Побудова графіків електричних навантажень МПК.....	19
2	ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ МПК ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП.....	30
3	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРО-ПОСТАЧАННЯ МПК.....	32
4	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА МПК.....	41
	4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності МПК та вибір пристроїв для її компенсації.....	41
	4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на МПК	44
5	ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ МПК.....	45
	5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій комплексу.....	45
	5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій МПК.....	46

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив		Чорнощоків Р.			Розробка системи електропостачання м'ясопереробного комплексу Development of the power supply system of the meat processing complex	Літ.	Арк.
Перевірів		Гарасьова Н.					6
						ЦНТУ, гр.ЕЕ-20-Зск	
Н. контр.		Гарасьова Н.					
Затвердив		Плещков П.					73

6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ В СЕП МПК, ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ	48
6.1	Розрахунок струмів коротких замикань МПК.....	48
6.2	Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж комплексу...	51
6.3	Вибір високовольтного обладнання МПК.....	52
7	ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ПУСКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ КОМПЛЕКСУ.....	55
7.1	Показники пуску АД.....	55
7.2	Аналіз способів пуску та пускових характеристик АД.....	56
7.3	Плавний пуск у системах ПЧ-АД.....	59
7.4	Плавний пуск у системах ТПН-АД.....	64
	ВИСНОВКИ.....	70
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МПК – м'ясопереробний комплекс

СЕП – система електропостачання

ЦРП – центральна розподільча підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

БСК – батарея статичних конденсаторів

ТП - трансформаторна підстанція

КУ – конденсаторна установка

КЛ – кабельна лінія

СП – силовий пункт

РП – реактивна потужність

АД - асинхронний двигун

КРП – компенсація реактивної потужності

КЗ – коротке замикання

АЕП - асинхронний електропривод

ШПП - широтно-імпульсний перетворювач

ТПН - тиристорний перетворювач напруги

ПЧ - перетворювач частоти

ПП – перехідний процес

РНПЕ - регульований напівпровідниковий електропривод

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

ВСТУП. ХАРАКТЕРИСТИКА МПК

М'ясопереробний комплекс спеціалізується на виготовленні різноманітних видів ковбаси, зокрема варених, варено-копчених та сирокопчених. Продукція підприємства відповідає вимогам міжнародної системи контролю якості та безпеки ISO 9001:2000.

Для виготовлення продукції використовується високоякісне охолодження м'ясо найкращих сортів, яке перед використанням проходить сувору хіміко-бактеріологічну перевірку. Більшість продукції упакована в надійну багатошарову плівку, що забезпечує гігієнічну безпеку та зберігає свіжість продукту.

Основними цехами комплексу є: виробничий корпус, ковбасний цех, цех субпродуктів, м'ясожировий цех, шкірозасолювальний цех, обвалочне відділення. Для забезпечення роботи цих цехів встановлено компресорну, насосну та котельню.

Для зберігання основних і допоміжних матеріалів та приймання сировини побудовані «верхній» та «нижній» холодильники, склад зберігання овочів, матеріальний склад, накопичувач тварин, вагова. Контроль якості продукції здійснюється в лабораторії підприємства. Передбачено виконання капітальних і поточних ремонтів та вирішення господарських питань. З цією метою на підприємстві працюють ремонтна та столярна майстерні, гараж, механічні майстерні та адміністрація.

Графік роботи підприємства двозмінний. Дві трансформаторні підстанції комплексу отримують живлення від ЦРП, що живиться від енергосистеми кабельними лініями напругою 10 кВ на відстані 2,8 км. За вимогами до безперебійності електропостачання електроспоживачі комплексу відносяться до другої та третьої категорій.

В бакалаврській роботі ставиться задача проектування системи електропостачання м'ясопереробного комплексу.

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

1 ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МПК

1.1 Визначення силових електричних навантажень МПК у мережах до 1000 В

Розрахунковий метод – упорядкованих діаграм [2,3,5]. Для окремих споживачів (для групи конвеєрів відділення обвалки ковбасного цеху):

$$n_{\text{ел}}=3; P_{\text{н.мах}}=2,2 \text{ кВт}; P_{\text{н.мін}}=0,55 \text{ кВт}; P_{\text{н}\Sigma} = 3,3 \text{ кВт};$$

$$K_{\text{в}}=0,2; \cos\varphi=0,6; \operatorname{tg}\varphi=1,333;$$

$$P_{\text{зм}}=K_{\text{в}} \cdot P_{\text{н}\Sigma}=0,2 \cdot 3,3=0,66 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{зм}}=P_{\text{зм}} \cdot \operatorname{tg}\varphi=0,66 \cdot 1,333=0,88 \text{ квар.}$$

Для ковбасного цеху:

$$n_{\text{ел}}=95; P_{\text{н.мах}}=132 \text{ кВт}; P_{\text{н.мін}}=0,1 \text{ кВт}; P_{\text{н}\Sigma}=698,73 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{зм}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{зми}} = 249,34 \text{ кВт}; Q_{\text{зм}\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{зми}} = 144,1 \text{ квар};$$

$$K_{\text{в}} = \frac{P_{\text{зм}\Sigma}}{P_{\text{н}\Sigma}} = \frac{249,34}{698,73} = 0,36;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{зм}\Sigma}}{P_{\text{зм}\Sigma}} = \frac{144,1}{249,34} = 0,578; \cos \varphi = 0,866;$$

$$m = \frac{P_{\text{н.мах}}}{P_{\text{н.мін}}} = \frac{132}{0,1} = 1320;$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2P_{\text{н}\Sigma}}{P_{\text{н.мах}}} = \frac{2 \cdot 698,73}{132} = 10,6; \text{ приймаємо } n_{\text{эф}}=11; K_{\text{р}}=1,16;$$

$$P_{\text{р}}=K_{\text{р}} \cdot P_{\text{зм}\Sigma}=1,41 \cdot 249,34=351,57 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р}}=Q_{\text{зм}\Sigma}=144,1 \text{ квар};$$

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{351,57^2 + 144,1^2} = 379,96 \text{ кВА.}$$

Розрахунки для інших груп споживачів, підрозділів та МПК в цілому виконуються подібно. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.1.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1-Розрахунок електричних навантажень МПК в мережі до 1000 В.

№	Найменування	п	Потужність ЕП, кВт		m	K _B	cos φ / tg φ	Середнє навантаження кВт		n _{еф}	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	9	10	11	12	13	14	15
1	Виробничий корпус													
	Піч ротаційна	1	43,63	43,63		0,5	1/0	21,815	0					
	Кондіціонери	2	29,1-38,1	67,18		0,7	0,86/0,59	47,026	27,904					
	Кутер	3	25,8-100,2	151,83		0,2	0,8/0,75	30,366	22,775					
	Вовчок	4	12,5-39,9	116,8		0,4	0,75/0,88	46,72	41,203					
	Підйомник	2	1,5-2,2	3,7		0,4	0,88/0,54	1,48	0,799					
	Шприц шнековий	1	3	3		0,2	0,6/1,33	0,6	0,8					
	Витяжний вентилятор	11	0,55-1,5	9,12		0,64	0,75/0,88	5,8368	5,148					
	Термокамера	6	8,58-33	124,74		0,6	0,95/0,33	74,844	24,6					
	Компресор	1	5,5	5,5		0,65	0,8/0,75	3,575	2,681					
	Аварійний вентилятор	1	0,72	0,72		0,3	0,75/0,88	0,216	0,191					
	ВПК	2	2,7-17	19,7		0,2	0,8/0,75	3,94	2,955					
	Морозильний апарат	1	3	3		0,65	0,83/0,67	1,95	1,3104					
	Маркувальник	2	0,13-0,6	0,73		0,12	0,8/0,75	0,0876	0,066					
	ВПК для сосисок	2	14,5-17	31,5		0,2	0,8/0,75	6,3	4,725					
	Ковбасний шприц	2	6,05	12,1		0,2	0,82/0,69	2,42	1,689					
	Охолоджувач	4	0,2	0,8		0,4	0,8/0,75	0,32	0,24					
	Міксер	2	22,2	44,4		0,4	0,75/0,88	17,76	15,663					
	Мішалка	2	1,9	3,8		0,4	0,75/0,88	1,52	1,341					
	Притяжний вентилятор	1	0,72	0,72		0,7	0,75/0,88	0,504	0,445					
	Льодогенератор	2	1,5-22	23,5		0,2	0,8/0,75	4,7	3,525					
	Конвеєр обваловки	1	6,2	6,2		0,6	0,75/0,88	3,72	3,281					
	Ліфт вантажний	2	22	44		0,2	0,75/0,88	8,8	7,7609					
	Пила стрічкова	2	2,2-3,0	5,2		0,2	0,85/0,62	1,04	0,645					
	Транспортер стрічковий	1	3	3		0,6	0,75/0,88	1,8	1,588					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Сепаратор	1	17,8	17,8		0,4	0,8/0,75	7,12	5,34					
	Всього по виробничому корпусу	61	0,13-100,2	743,47	>3	0,39	0,84/0,64	294,528	189,53	15	1,29	379,941	189,53	424,59
2	Ковбасний цех													
	Вовчок	1	36	36		0,4	0,75/0,88	14,4	12,7					
	Стерилізатор ножів	1	2	2		0,12	0,8/0,75	0,24	0,18					
	Вентилятор	1	4,5	4,5		0,64	0,75/0,88	2,88	2,539					
	Тельфер	1	2	2		0,2	0,75/0,88	0,4	0,359					
	Шприць	2	5,5-21	26,5		0,2	0,76/0,85	5,3	4,532					
	Кліпсатор	1	2,5	2,5		0,12	0,85/0,62	0,3	0,186					
	Салорізка	1	2,5	2,5		0,2	0,85/0,62	0,5	0,309					
	Сосисочна лінія	1	5,5	5,5		0,4	0,8/0,75	2,2	1,65					
	Миюча машина	1	0,3	0,3		0,4	0,8/0,75	0,12	0,09					
	Вентилятор	4	0,2	0,8		0,64	0,75/0,88	0,512	0,452					
	Міксер	1	22,5	22,5		0,4	0,75/0,88	9	7,937					
	Кутер	1	132	132		0,2	0,8/0,75	26,4	19,8					
	Вовчок	1	55	55		0,4	0,75/0,88	22	19,402					
	Охолоджувачі	8	0,2	1,6		0,4	0,8/0,75	0,64	0,48					
	Льодогенератор	1	18	18		0,2	0,8/0,75	3,6	2,7					
	Повітряохолоджувач	2	6,5	13		0,6	0,85/0,62	7,8	4,834					
	Варочна термокамера	3	3,5	10,5		0,6	0,95/0,33	6,3	2,071					
	Термокамера	3	10,5	31,5		0,6	0,95/0,33	18,9	6,212					
	Опалення	2	3	6		0,6	1/0	3,6	0					
	Жарочна шафа	1	67	67		0,6	1/0	40,2	0					
	Вентилятор	1	2,2	2,2		0,64	0,75/0,88	1,408	1,242					
	Калорифери	2	0,55	1,1		0,4	1/0	0,44	0					
	Станція ВТ	2	11	22		0,4	0,9/0,48	8,8	4,262					
	насос ГВП	2	2,2	4,4		0,7	0,8/0,75	3,08	2,31					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	М'ясокістковий сепарат	2	17,8	35,6		0,4	0,8/0,75	14,24	10,68					
	Радіатор	1	2	2		0,6	1/0	1,2	0					
	ВПК з газацією	1	2,7	2,7		0,2	0,8/0,75	0,54	0,405					
	насос ХВП	1	5,5	5,5		0,7	0,8/0,75	3,85	2,8875					
	Компресор	1	5,5	5,5		0,65	0,8/0,75	3,575	2,6813					
	ВПК	2	4,8-12,2	17		0,2	0,8/0,75	3,4	2,55					
	Конвеєр	3	0,55-2,2	3,3		0,2	0,6/1,33	0,66	0,88					
	ВПК для сосисок	2	14,5-17	31,5		0,2		6,3	4,725					
	Електрорушник	2	1,2	2,4		0,2	0,95/0,33	0,48	0,1578					
	Сушарки	5	4	20		0,2	0,95/0,33	4	1,3147					
	Маркувальник	2	0,13-0,6	0,73		0,12	0,8/0,75	0,0876	0,0657					
	Охолоджувачі	2	11,7	23,4		0,4	0,8/0,75	9,36	7,02					
	Морозильний агрегат	2	4	8		0,65	0,83/0,67	5,2	3,4944					
	Вентилятор	8	0,1-0,55	4		0,64	0,75/0,88	2,56	2,2577					
	Мішалка	2	0,37-1,55	1,9		0,4	0,75/0,88	0,76	0,6703					
	Ін'єктор	1	1,6	1,6		0,2	0,65/1,17	0,32	0,3741					
	Стерилізатор	1	6	6		0,12	0,75/0,88	0,72	0,635					
	Сан.пропускник	3	0,2-1,1	2,4		0,12	0,75/0,88	0,288	0,254					
	Калорифер	1	12	12		0,2	0,95/0,33	2,4	0,7888					
	ВПК	2	11,5-20,5	32		0,2	0,8/0,75	6,4	4,8					
	Приточний вентилятор	1	1	1		0,64	0,75/0,88	0,64	0,5644					
	Стрічкова пила	1	1,8	1,8		0,2	0,85/0,62	0,36	0,2231					
	Стрічкова пила	1	3	3		0,2	0,85/0,62	0,6	0,3718					
	Вентилятор	3	0,75-1,5	3,2		0,64	0,75/0,88	2,048	1,8062					
	Всього по ковб. цеху	95	0,1-132	698,73	>3	0,36	0,86/0,58	249,34	144,1	11	1,41	351,57	144,101	379,96
3	«Нижній» холодильник	10	0,75-4	23,75	>3	0,81	0,82/0,69	19,188	13,32	10	1,07	20,53	14,65	25,22
4	«Верхній» холодильник	2	0,75-4	4,75	>3	0,7	0,82/0,69	3,325	2,302	2	1	3,325	2,302	4,0441
5	Компресорний цех	14	0,17-200	569,91	>3	0,53	0,76/0,84	301,964	255,76	25,3	1,24	374,435	281,340	468,3526
6	Цех субпродуктів													
	Сепаратор	1	4	4		0,65	0,85/0,62	2,6	1,6113					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Лебідка	1	7	7		0,32	0,5/1,73	2,24	3,8798					
	Підйомний майданчик	3	1,1	3,3		0,35	0,6/1,33	1,155	1,54					
	Електроталь	1	5,97	5,97		0,25	0,65/1,17	1,4925	1,7449					
	Електротельфер	2	0,16-1,5	1,66		0,4	0,7/1,02	0,664	0,6774					
	Насос	1	3	3		0,6	0,8/0,75	1,8	1,35					
	Транспортер	1	4	4		0,6	0,8/0,75	2,4	1,8					
	Пила	3	2,2	6,6		0,32	0,73/0,93	2,112	1,9773					
	Вовчок	2	2,2-30	32,2		0,4	0,5/1,73	12,88	22,309					
	Електротельфер	2	0,16-1,5	1,66		0,4	0,7/1,02	0,664	0,6774					
	Насос	1	4	4		0,6	0,8/0,75	2,4	1,8					
	Центрифуга	2	5,5	11		0,54	0,8/0,75	5,94	4,455					
	Шкірозйомка	1	2,2	2,2		0,3	0,6/1,33	0,66	0,88					
	Підйом розпиловки туш	1	2,2	2,2		0,35	0,7/1,02	0,77	0,7856					
	Електроталь	2	0,4-5,5	5,9		0,35	0,6/1,33	2,065	2,7533					
	Конвейер	2	7	14		0,56	0,6/1,33	7,84	10,453					
	Всього по цеху	27	0,16-30	154,49	>3	0,52	0,6/1,33	81,142	108,694	10	1,31	106.296	119.563	159.9825
7	Лабораторія ОПВК	6	0,55-11	23.14	>3	0.4	0,8/0,75	9.256	6.942	4	1,87	17,308	7,6362	18,918
8	Бухгалтерія	7	0,4-2,2	12.5	>3	0.32	0.62/1,28	4	5,112	7	1,74	6,96	5,6232	8,947736
9	Столова	19	0,35-5,5	61,9	>3	0,58	0,72/0,97	35,688	34,594	23	1,15	41,0412	38,053	55,968
10	Зберігання овочів	5	0,5-2,1	4,5	>3	0,36	0.79/0,77	1,63	1,26	4	1,82	2,9666	1,386	3,274
11	Адміністрація	7	0,4-2,2	10	>3	0.59	0.75/0,87	5.88	5.11	7	1,36	7,996	5,621	9,774
12	Прохідна	2	0,5-1,5	2	3	0.6	0.69/1,02	1.17	1.2	2	1	1,17	1,2	1,675
13	Насосна	15	2,2-30	110	>3	0,7	0,8/0,75	77	57,75	7,33	1,13	87,01	57,75	104,4309
14	Ремонтна майстерня	22	1,1-18	150.6	>3	0.25	0.51/1,66	37.994	63.159	22	1,42	53,951	63,159	83,065
15	Гараж	3	0,55-5,5	11,55	>3	0,34	0,56/1,34	3,927	5,2537	3	1	3,927	5,779	6,987
16	Вагова	4	0,5-3	2,2		0,25	0,5/1,73	0,55	0,9515	2	1	0,55	1,046	1,18
17	Матеріальний склад	1	2,2	2,2	1	0,8	0,83/0,67	1,76	1,18	1	1	1,76	1,298	2,186
18	Столярна майстерня	10	1,1-15	74,7	>3	0,34	0,44/2,03	25,26	51,392	6	1,82	45,973	56,531	72,865
19	Накопичувач тварин	21	1,5-11,0	92,6	>3	0,56	0,83/0,67	51,485	34,77	17	1,21	62,29	38,247	73,101

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20	Обвалочне відділення													
	Транспортер	2	3	6		0,5	0,78/0,80	3	2,407					
	Пила	2	0,55	1,1		0,4	0,86/0,59	0,44	0,26					
	Підйомний майданчик	1	2,2	2,2		0,35	0,83/0,67	0,77	0,52					
	Холодильна камера	7	0,75-4	15		0,8	0,84/0,65	12	7,75					
	Приточний вентилятор	1	17	17		0,7	0,9/0,48	11,9	5,76					
	Витяжний вентилятор	1	11	11		0,7	0,87/0,57	7,7	4,36					
	Тран-тер фасовки м'яса	1	1,1	1,1		0,6	0,8/0,75	0,66	0,495					
	Насос обвалки	1	2,2	2,2		0,62	0,87/0,57	1,364	0,773					
	Всього по відділенню	16	0,75-17	55,6	>3	0,68	0,86/0,59	37,834	22,331	7	1,24	46,914	24,56	52,955
21	Пельменне відділення	29	0,55-37	189,2	>3	0,42	0,69/1,06	80,165	84,992	17	1,36	109,024	93,491	143,621
22	Загін для скота	5	0,6-3,5	8,4		0,2	0,8/0,75	1,68	1,26	5	2,42	4,066	1,386	4,295
23	Механічна майстерня	12	1,5-7,5	58,7	>3	0,22	0,55/1,53	12,794	19,561	12	1,94	24,82	19,561	31,602
24	ЦТФ	15	1,5-15	58,6		0,4	0,8/0,75	23,44	17,58	8	1,52	35,629	19,338	40,538
25	Шкіропосолочний цех	9	1,1-30	73,2	>3	0,61	0,44/2,05	44,58	91,24	6	1,46	65,086	100,367	119,621
26	Котельня													
	Димосос	4	22-55	95		0,9	0,6/1,33	85,5	114					
	Насос	4	4,5-30	45		0,8	0,6/1,33	36	48					
	Насос для підживлення	4	2,2	8,8		0,8	0,7/1,02	7,04	7,1822					
	Насос перекачки	6	2,2	13,2		0,7	0,7/1,02	9,24	9,4267					
	Вентилятор	6	7,5	45		0,7	0,6/1,33	31,5	42					
	Агрегат дозувальний плунжерний	4	2,2	8,8		0,6	0,5/1,73	5,28	9,1452					
	Всього по котельні	28	2,2-55	215,8	>3	0,81	0,6/1,32	174,56	229,75	19	1,06	185,033	229,754	294,999
	Всього по підприємству													
	силове	445	0,1-200	2822,34	>3	0,48	0,76/0,86	1364,46	1173,7	30	1,14	1555,48	1173,72	1948,6
	освітлювальне											122,636	203,443	
	Всього на шинах 0,4 кВ											1678,12	1377,17	2170,9

1.2 Визначення освітлювальних навантажень МПК

Розраховуємо освітлювальні навантаження за методом питомої потужності [2, 3].

М'ясопереробний комплекс. Ковбасний цех.

$$F=1575 \text{ м}^2; p_0=18 \text{ Вт/м}^2; K_c=0,9;$$

$$P_{\text{вст}} = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 18 \cdot 1575 \cdot 10^{-3} = 28,35 \text{ кВт.}$$

Визначення розрахункового активного навантаження:

$$P_{p.\text{осв}} = K_1 \cdot K_c \cdot P_{\text{вст}} = 1,12 \cdot 0,9 \cdot 28,35 = 28,58 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_{P.\text{осв}} = P_{P.\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 28,58 \cdot 1,73 = 49,44 \text{ квар.}$$

Повне розрахункове навантаження:

$$S_{p.\text{осв.}} = \sqrt{P_{p.\text{осв.}}^2 + Q_{p.\text{осв.}}^2} = \sqrt{28,58^2 + 49,44^2} = 57,11 \text{ кВА.}$$

Інші підрозділи комплексу розраховуємо аналогічно та зводимо результати до таблиці 1.2.

1.3 Визначення електричних навантажень МПК у силових мережах вище 1000 В

Попередньо визначена кількість ТП:

$$N_0 = P_{p.\text{н}} / (K_3 \cdot S_{\text{н}}) = 1614,402 / (0,7 \cdot 630) = 3,66 \text{ шт.}$$

Приймаємо дві комплектні двотрансформаторні підстанції з трансформаторами потужністю 630 кВА.

Визначення навантаження вище 1000 В для КТП1.

$$n_{\text{ел}}=280; P_{\text{н.мах}}=200 \text{ кВт}; P_{\text{н.мін}}=0,1 \text{ кВт}; P_{\text{н}\Sigma}=1443,03 \text{ кВт};$$

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\Sigma i} = 650,09 \text{ кВт}; Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{\Sigma i} = 478,72 \text{ квар};$$

$$K_B = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\text{н}\Sigma}} = \frac{650,09}{1443,03} = 0,45;$$

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

Таблиця 1.2 - Розрахунок освітлення МПК

№	Найменування	$F, \text{м}^2$	$p_0, \text{Вт/м}^2$	$P_{\text{в}}, \text{кВт}$	K_1	K_c	$\cos\varphi / \text{tg}\varphi$	$P_{\text{р}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р}}, \text{квар}$	$S_{\text{р}}, \text{кВА}$
1	Виробничий корпус	2592	18	46,656	1,12	0,9	0,5/1,73	47,03	81,36	93,97
2	Ковбасний цех	1575	18	28,35	1,12	0,9	0,5/1,73	28,58	49,44	57,11
3	Пельменне відділення	120	18	2,16	1,12	0,8	0,5/1,73	1,935	3,35	3,87
4	Цех субпродуктів	280	18	5,04	1,12	0,9	0,5/1,73	5,08	8,79	10,15
5	Компресорний цех	318	16	5,088	1,12	0,8	0,5/1,73	4,559	7,89	9,11
6	"Верхній" холодильник	190	18	3,42	1,12	0,6	0,5/1,73	2,298	3,98	4,60
7	"Нижній" холодильник	310	18	5,58	1,12	0,6	0,5/1,73	3,75	6,49	7,50
8	Обвалочне відділення	680	12	8,16	1,12	0,6	0,5/1,73	5,484	9,49	10,96
9	Лабораторія	98	8	0,784	1,2	0,6	0,9/0,48	0,564	0,27	0,63
10	Бухгалтерія	120	16	1,92	1,2	0,6	0,9/0,48	1,382	0,66	1,53
11	Столова	560	16	8,96	1,12	0,9	0,5/1,73	9,032	15,62	18,04
12	Зберігання овочів	96	12	1,152	1,12	0,9	0,5/1,73	1,161	2,01	2,32
13	Ремонтна майстерня	230	20	4,6	1,2	0,8	0,9/0,48	4,416	2,12	4,90
14	Прохідна	56	10	0,56	1,2	0,9	0,9/0,48	0,605	0,29	0,67
15	Насосна	110	16	1,76	1,2	0,9	0,9/0,48	1,901	0,912	2,11
16	Матеріальний склад	420	10	4,2	1,12	0,8	0,5/1,73	3,763	6,51	7,52
17	Шкіропосолочний цех	240	18	4,32	1,12	0,8	0,5/1,73	3,871	6,70	7,74
18	Накопичувач тварин	126	10	1,26	1,12	0,6	0,5/1,73	0,847	1,46	1,69
19	Столярна майстерня	154	16	2,464	1,12	0,8	0,5/1,73	2,208	3,82	4,41
20	Загін для скота	210	6	1,26	1,12	0,6	0,5/1,73	0,847	1,46	1,69
21	Гараж	380	10	3,8	1,12	0,6	0,5/1,73	2,554	4,42	5,10
22	Механічні майстерні	215	16	3,44	1,12	0,8	0,5/1,73	3,082	5,33	6,16
23	Вагова	84	18	1,512	1,12	0,6	0,5/1,73	1,016	1,76	2,03
24	ЦТФ	164	16	2,624	1,12	0,8	0,5/1,73	2,351	4,07	4,70
25	Адміністрація	230	20	4,6	1,2	0,8	0,9/0,48	4,416	2,12	4,90
26	Котельня	160	12	1,92	1,12	0,8	0,5/1,73	1,72	2,98	3,44
27	Освітлення території	48000	0,1	4,8	1,12	1	0,5/1,73	5,376	9,3	10,74
28	Разом							143,82	240,032	279,82

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{3\text{м}\Sigma}}{P_{3\text{м}\Sigma}} = \frac{478,72}{650,09} = 0,736; \cos \varphi = 0,81;$$

$$m = \frac{P_{\text{н. max}}}{P_{\text{н. min}}} = \frac{200}{0,1} = 2000 \triangleright 3;$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2P_{\text{н}\Sigma}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 1443,03}{200} = 14,43; \text{ приймаємо } n_{\text{эф}}=15; K_p=1,16$$

$$P_p = K_p \cdot P_{3\text{м}\Sigma} = 1,16 \cdot 650,09 = 754,11 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{3\text{м}\Sigma} = 478,72 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{754,11^2 + 478,72^2} = 893,22 \text{ кВА};$$

$$P_{\text{р.осв}} = 66,41 \text{ кВт}; Q_{\text{р.осв}} = 106,19 \text{ квар}.$$

Повне активне та реактивне навантаження:

$$P_{\Sigma} = P_p + P_{\text{осв}} = 754,11 + 66,41 = 820,52 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_p + Q_{\text{осв}} = 478,72 + 106,19 = 584,91 \text{ квар}.$$

Повне реактивне навантаження при врахуванні встановлення БСК (вказується після розрахунку 4 розділу):

$$Q_{\Sigma\text{кп}} = Q_{\Sigma} - Q_{\text{кп}} = 584,91 - 300 = 284,91 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma\text{кп}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma\text{кп}}^2} = \sqrt{820,52^2 + 284,91^2} = 868,57 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора КТП1:

$$K_3 = \frac{S_{\Sigma\text{кп}}}{n \cdot S_{\text{н.т.}}} = \frac{868,57}{2 \cdot 630} = 0,69.$$

Втрати активної та реактивної потужності в КТП1:

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,69^2) = 10,97 \text{ кВт};$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$\Delta Q = n \left(\frac{I_X}{100} S_H + \frac{U_K}{100} S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1,7}{100} 630 + \frac{5,5}{100} 630 \cdot 0,69^2 \right) = 63,31 \text{ квар.}$$

Розрахункове навантаження на шинах 10 кВ КТП1:

$$P_{p.КТП1} = P_{\Sigma} + \Delta P = 820,52 + 10,97 = 831,49 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.КТП1} = Q_{\Sigma} + \Delta Q = 284,91 + 63,31 = 348,22 \text{ квар},$$

$$S_{\Sigma.КТП1} = \sqrt{P_{\Sigma.КТП1}^2 + Q_{\Sigma.КТП1}^2} = \sqrt{831,49^2 + 348,22^2} = 901,46 \text{ кВА}$$

Розрахунки навантажень в мережі МПК вище 1000 В для інших підстанцій та по комплексу аналогічні і приведено в таблиці 1.3.

В залежності від кількості приєднань до збірних шин 10 кВ та коефіцієнту використання враховуємо коефіцієнт одночасності, $K_0=0,95$ [5]:

$$P_{p.10ко} = K_0 \cdot P_{p.10} = 0,95 \cdot 1699,37 = 1614,402 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.10ко} = K_0 \cdot Q_{p.10} = 0,95 \cdot 250,61 = 238,08 \text{ квар};$$

$$S_{p.10} = \sqrt{P_{p.10}^2 + Q_{p.10}^2} = \sqrt{1614,402^2 + 238,08^2} = 1631,86 \text{ кВА},$$

Розрахункове навантаження комплексу складає $P_p=1614,402$ кВт, $Q_p=238,08$ квар.

1.4. Побудова графіків електричних навантажень МПК

В бакалаврській роботі будуються графіки електричних навантажень для активної (рис.1.1) та реактивної потужностям зимового і літнього періодів. Графіки реактивної потужності приводяться без врахування встановлення БСК (рис.1.2) та з врахуванням (рис.1.3).

Данні для побудови графіків навантажень наведено в таблицях 1.4-1.6.

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

Таблиця 1.3 - Розрахунок електричних навантажень МПК в мережі вище 1000 В

№	Найменування підрозділу	n	Потужність ЕП, кВт		m	K _B	cos φ / tg φ	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	9	10	11	12	13	14	15
	КТП-1													
1.	Ковбасний цех													
	силове	95	0,1-132	698,73	>3	0,35	0,87/0,59	249,345	144,1	9,84	1,42	354,069	144,101	382,27
	освітлювальне											28,576	49,437	
	Всього по цеху											382,646	193,539	428,81
2.	Компресорний цех													
	силове	14	0,165-200	569,91	>3	0,53	0,76/0,85	301,964	255,76	25,3	1,24	374,435	281,34	468,353
	освітлювальне											4,558	7,88	
	Всього по цеху											378,99	289,22	476,75
3	«Верхній» холодильник													
	силове	2	0,75-4	4,75	>3	0,7	0,82/0,69	3,325	2,302	2	1	3,325	2,302	4,0441
	освітлювальне											3,758	1,804	
	Всього по холодильнику											7,083	4,106	8,1871
4	Обвалочне відділення													
	силове	16	0,75-17	55,6	>3	0,68	0,86/0,59	37,834	22,331	7	1,24	46,909	22,33	51,953
	освітлювальне											5,875	2,82	
	Всього по відділенню											52,784	25,15	58,47
5.	Лабораторія ОПВК													
	силове	6	0,55-11	23,14	>3	0,4	0,8/0,75	9,256	6.942	4	1,87	17,2975	7,634	18,907
	освітлювальне											0,564	0,271	
	Всього по лабораторії											17,8615	7,905	19,533
6	Бухгалтерія													
	силове	7	0,4-2,2	12,5	>3	0,32	0,62/1,28	4	5,112	7	1,74	6,96	5,112	8,6356
	освітлювальне											1,382	0,664	
	Всього по бухгалтерії											8,342	5,776	10,146

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	Адміністрація													
	силове	7	0,4-2,2	10	>3	0,59	0,75/0,87	5.88	5.11	7	1,36	7,996	5,11	9,49
	освітлювальне											2,65	1,272	
	Всього по адміністрації											10,646	6,382	12,413
8	Прохідна													
	силове	2	0,5-1,5	2	3	0,6	0,69/1,02	1.17	1.2	2	1	1,17	1,2	1,676
	освітлювальне											1,486	0,713	
	Всього по прохідній											2,656	1,913	3,2732
9	Столова													
	силове	19	0,35-5,5	61,9	>3	0,57	0,72/0,97	35,688	34,594	23	1,15	41,041	38,053	55,968
	освітлювальне											2,5804	4,464	
	Всього по столовій											43,621	42,51	60,915
10	Зберігання овочів													
	силове	5	0,5-2,1	4,5	>3	0,36	0,79/0,77	1,63	1,26	4,29	1,82	2,967	1,26	3,2231
	освітлювальне											1,161	2,009	
	Всього											4,1276	3,269	5,2653
11	Гараж													
	силове	3	0,55-5,5	11,55	>3	0,34	0,56/1,34	3,927	5,2537	3	1	3,927	5,779	6,987
	освітлювальне											2,553	4,417	
	Всього											6,480	10,196	12,082
12	Вагова													
	силове	4	0,5-3	2,2		0,25	0,5/1,73	0,55	0,9515	2	1	0,55	1,046	1,18
	освітлювальне											1,016	1,759	
	Всього											1,566	2,804	3,2121
13	Матеріальний склад													
	силове	1	2,2	2,2	1	0,8	0,83/67	1,76	1,18	1	1	1,76	1,298	2,186
	освітлювальне											0,577	0,999	
	Всього											2,337	2,297	3,278
14	Столярна майстерня													
	силове	10	1,1-15	74,7	>3	0,34	0,44/2,03	25,26	51,392	6	1,82	45,973	56,531	72,8649

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	освітлювальне											2,207	3,819	
	Всього											48,180	60,35	77,224
15	Накопичувач тварин													
	силове	21	1,5-11,0	92,6	>3	0,56	0,83/0,67	51,485	34,77	17	1,21	62,296	38,247	73,101
	освітлювальне											0,8467	1,464	
	Всього											63,143	39,71	74,593
16	Пельменне відділення													
	силове	29	0,55-37	189,2	>3	0,42	0,69/1,06	80,165	84,992	17	1,36	109,024	93,490	143,621
	освітлювальне											1,935	3,3481	
	Всього											110,956	96,8391	147,27
17	Загін для скота													
	силове	5	0,6-3,5	8,4		0,2	0,8/0,75	1,68	1,26	5	2,42	4,0656	1,386	4,29536
	освітлювальне											0,8467	1,4648	
	Всього											4,9123	2,8508	5,6796
18	Ремонтна майстерня													
	силове	22	1,1-18	150,6	>3	0,25	0,51/1,66	37,994	63,159	22	1,42	53,951	63,159	83,0652
	освітлювальне											1,7203	2,976	
	Всього											55,671	66,135	86,448
19	Механічна майстерня													
	силове	12	1,5-7,5	58,7	>3	0,22	0,55/1,53	12,794	19,561	12	1,94	24,820	19,561	31,6019
	освітлювальне											3,082	5,332	
	Всього											27,902	24,893	37,393
	Разом													
	силове	280	0,1-200	1443,03	>3	0,58	0,81/0,74	650,092	478,72	15	1,16	754,106	478,716	893,22
	освітлювальне											66,413	106,186	
	Всього на шинах 0,4 кВ											820,519	584,901	1007,7
	КУ												-300	
	З урахуванням КУ											820,519	284,901	868,57
	Втрати в трансформаторах											10,97	63,31	
	Всього на шинах 10 кВ ТП1											831,489	348,211	901,46

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

22

Арк.

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ТП-2													
1.	Виробничий корпус													
	силове	61	0,13-100,2	743,47	>3	0,39	0,84/0,64	294,528	189,53	15	1,29	379,941	189,53	424,59
	освітлювальне											47,03	81,36	
	Всього по цеху											426,971	270,89	505,65
2.	«Нижній» холодильник													
	силове	10	0,75-4	23,75	>3	0,81	0,82/0,69	19,188	13,32	10	1,07	20,5312	13,32	24,473
	освітлювальне											4,018	1,928	
	Всього по холодильнику											24,5492	15,248	28,899
3.	Цех субпродуктів													
	силове	26	0,16-30	154,49	>3	0,52	0,6/1,33	81,142	108,694	10	1,31	106,293	119,563	159,98
	освітлювальне											11,28	5,412	
	Всього по цеху											117,573	124,975	171,59
4.	Насосна													
	силове	15	2,2-30	210	>3	0,7	0,84/0,62	15,4	104,66	14	1,13	183,12	104,66	210,92
	освітлювальне											1,9	0,91	
	Всього по насосній											185,02	105,57	213,02
5	ЦТФ													
	силове	15	1,5-15	58,6	>3	0,4	0,8/0,75	23,44	17,58	8	1,52	35,628	19,338	40,538
	освітлювальне											2,351	4,067	
	Всього											37,979	23,405	44,613
6	Шкіропосолочний цех													
	силове	9	1,1-7,5	73,2	>3	0,61	0,44/2,05	44,58	91,24	6	1,46	65,086	100,364	119,621
	освітлювальне											3,870	6,695	
	Всього											68,957	107,06	127,35
7	Котельня													
	силове	28	2,2-55	215,8	>3	0,81	0,61/1,32	174,56	229,75	19	1,06	185,033	229,754	294,999
	освітлювальне											1,7203	2,976	
	Всього											186,753	232,73	298,4
	Освітлення території											5,38	9,3	

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

23

Арк.

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Разом													
	силове	165	0,13-100,2	1379,31	>3	0,52	0,72/0,97	714,371	695,01	28	1,09	778,664	695,009	1043,7
	освітлювальне											56,223	97,257	
	Всього на шинах 0,4 кВ											834,885	792,267	1151
	КУ												-500	
	З урахуванням КУ											834,886	292,267	884,57
	Втрати в трансформаторах (2х630) кВА											10,28	60,13	
	Всього на шинах 10 кВ ТП2											845,166	352,397	915,69
	Всього по комплексу													
	силове	445	0,1-200	2822,34	>3	0,48	0,76/0,86	1364,46	1173,7	30	1,14	1555,487	1173,72	1948,6
	освітлювальне											122,636	203,443	
	Всього на шинах 0,4 кВ											1678,12	1377,17	2170,9
	Втрати в трансформаторах											21,25	123,44	
	З врахуванням втрат											1699,37	1500,61	2267,1
	КУ 0,4 кВ												-800	
	З врахуванням КУ 0,4 кВ											1699,37	700,61	1838,1
	КУ 10 кВ												-450	
	Всього на шинах 10 кВ											1699,37	250,61	1717,8
	Коефіцієнт одночасності											0,95	0,95	
	Всього по комплексу з врахуванням K_0											1614,402	238,08	1631,86

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Таблиця 1.4 – Вихідна інформація для графіків по активній потужності зимового та літнього періодів.

t,год	P _з ,%	P _з ,кВт	P _л ,%	P _л ,кВт	P _з ,%	P _з ,кВт	P _л ,%	P _л ,кВт
	Робочий день				Вихідний день			
0-1	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
1- 2	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
2-3	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
3-4	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
4-5	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
5-6	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
6-7	65	1049,36	55,25	891,96	30	484,32	25,5	411,67
7-8	95	1533,68	80,75	1303,63	30	484,32	25,5	411,67
8-9	100	1614,40	85	1372,24	26	419,74	22,1	356,78
9-10	95	1533,68	80,75	1303,63	26	419,74	22,1	356,78
10-11	76	1226,95	64,6	1042,90	26	419,74	22,1	356,78
11-12	71	1146,23	60,35	974,29	26	419,74	22,1	356,78
12-13	95	1533,68	80,75	1303,63	26	419,74	22,1	356,78
13-14	85	1372,24	72,25	1166,41	26	419,74	22,1	356,78
14-15	80	1291,52	68	1097,79	26	419,74	22,1	356,78
15-16	76	1226,95	64,6	1042,90	26	419,74	22,1	356,78
16-17	84	1356,10	71,4	1152,68	26	419,74	22,1	356,78
17-18	84	1356,10	71,4	1152,68	30	484,32	25,5	411,67
18-19	72	1162,37	61,2	988,01	30	484,32	25,5	411,67
19-20	72	1162,37	61,2	988,01	30	484,32	25,5	411,67
20-21	60	968,64	51	823,35	30	484,32	25,5	411,67
21-22	60	968,64	51	823,35	30	484,32	25,5	411,67
22-23	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
23-24	35	565,04	29,75	480,28	30	484,32	25,5	411,67
		25023,23		21269,75		11042,51		9386,133

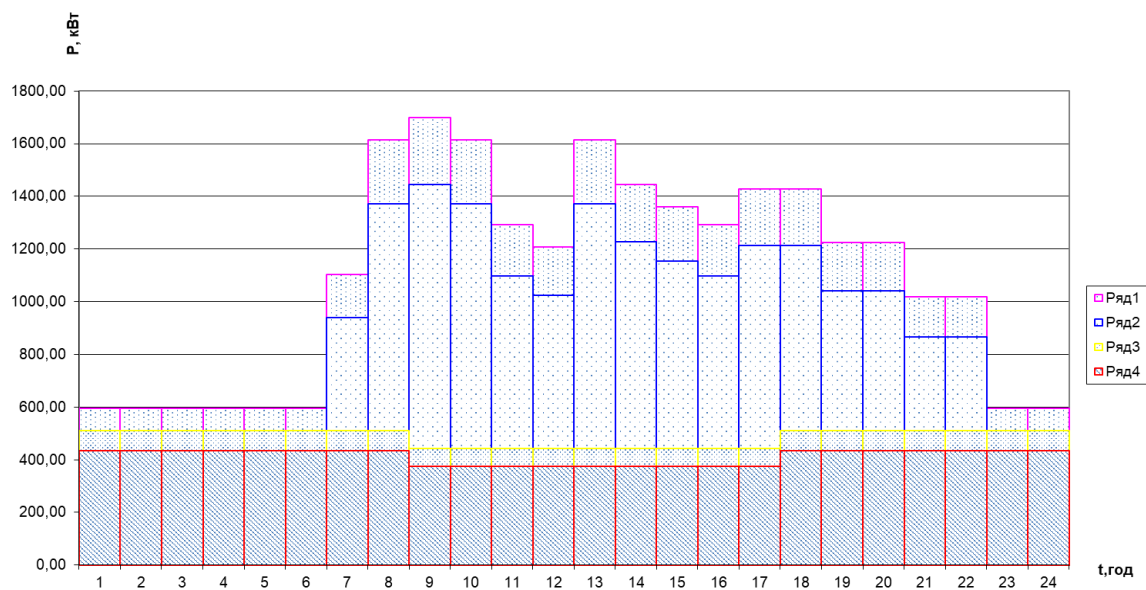


Рис. 1.1 - Добові графіки активного навантаження МПК:1,2- робочі зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні зимового та літнього періодів.

Таблиця 1.5 – Вихідна інформація для добових графіків по реактивній потужності зимового та літнього періодів (без компенсації).

t,год	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар
	Робочий день				Вихідний день			
0-1	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
1- 2	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
2-3	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
3-4	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
4-5	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
5-6	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
6-7	70	1050,43	59,5	892,86	32	480,20	27,2	408,17
7-8	98	1470,60	83,3	1250,01	32	480,20	27,2	408,17
8-9	100	1500,61	85	1275,52	26	390,16	22,1	331,63
9-10	98	1470,60	83,3	1250,01	28	420,17	23,8	357,15
10-11	78	1170,48	66,3	994,90	28	420,17	23,8	357,15
11-12	73	1095,45	62,05	931,13	28	420,17	23,8	357,15
12-13	98	1470,60	83,3	1250,01	28	420,17	23,8	357,15
13-14	90	1350,55	76,5	1147,97	28	420,17	23,8	357,15
14-15	82	1230,50	69,7	1045,93	28	420,17	23,8	357,15
15-16	78	1170,48	66,3	994,90	28	420,17	23,8	357,15
16-17	85	1275,52	72,25	1084,19	28	420,17	23,8	357,15
17-18	85	1275,52	72,25	1084,19	32	480,20	27,2	408,17
18-19	74	1110,45	62,9	943,88	32	480,20	27,2	408,17
19-20	74	1110,45	62,9	943,88	32	480,20	27,2	408,17
20-21	62	930,38	52,7	790,82	32	480,20	27,2	408,17
21-22	62	930,38	52,7	790,82	32	480,20	27,2	408,17
22-23	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
23-24	40	600,24	34	510,21	32	480,20	27,2	408,17
		24414,9247		20752,686		10954,453		9311,28505

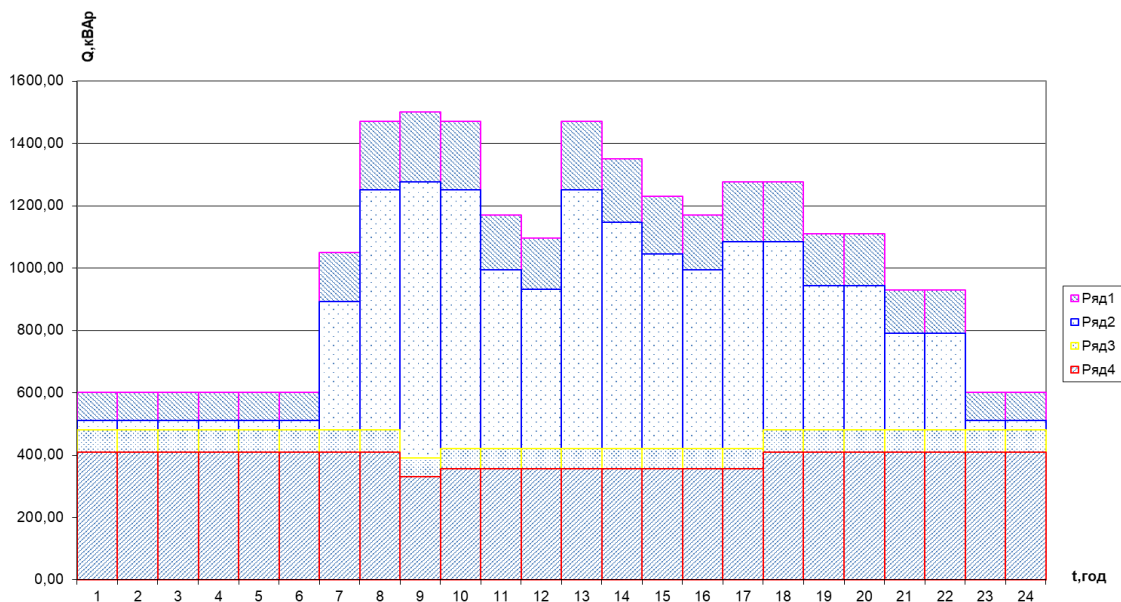


Рис. 1.2 - Добові графіки реактивного навантаження МКП:1,2- робочі зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні зимового та літнього періодів (без компенсації).

Таблиця 1.6 – Вихідна інформація для добових графіків по реактивній потужності зимового та літнього періодів (з компенсацією).

t,год	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар
	Робочий день				Вихідний день			
0-1	40	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
1- 2	40	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
2-3	40	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
3-4	40	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
4-5	52	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
5-6	52	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
6-7	70	166,66	59,5	141,66	32	76,19	27,2	64,76
7-8	98	233,32	83,3	198,32	32	76,19	27,2	64,76
8-9	100	238,08	85	202,37	26	61,90	22,1	52,62
9-10	98	233,32	83,3	198,32	28	66,66	23,8	56,66
10-11	78	185,70	66,3	157,85	28	66,66	23,8	56,66
11-12	73	173,80	62,05	147,73	28	66,66	23,8	56,66
12-13	98	233,32	83,3	198,32	28	66,66	23,8	56,66
13-14	90	214,27	76,5	182,13	28	66,66	23,8	56,66
14-15	82	195,23	69,7	165,94	28	66,66	23,8	56,66
15-16	78	185,70	66,3	157,85	28	66,66	23,8	56,66
16-17	85	202,37	72,25	172,01	28	66,66	23,8	56,66
17-18	85	202,37	72,25	172,01	32	76,19	27,2	64,76
18-19	74	176,18	62,9	149,75	32	76,19	27,2	64,76
19-20	74	176,18	62,9	149,75	32	76,19	27,2	64,76
20-21	62	147,61	52,7	125,47	32	76,19	27,2	64,76
21-22	62	147,61	52,7	125,47	32	76,19	27,2	64,76
22-23	40	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
23-24	40	95,23	34	80,95	32	76,19	27,2	64,76
		3873,562		3292,527		1737,984		1477,286

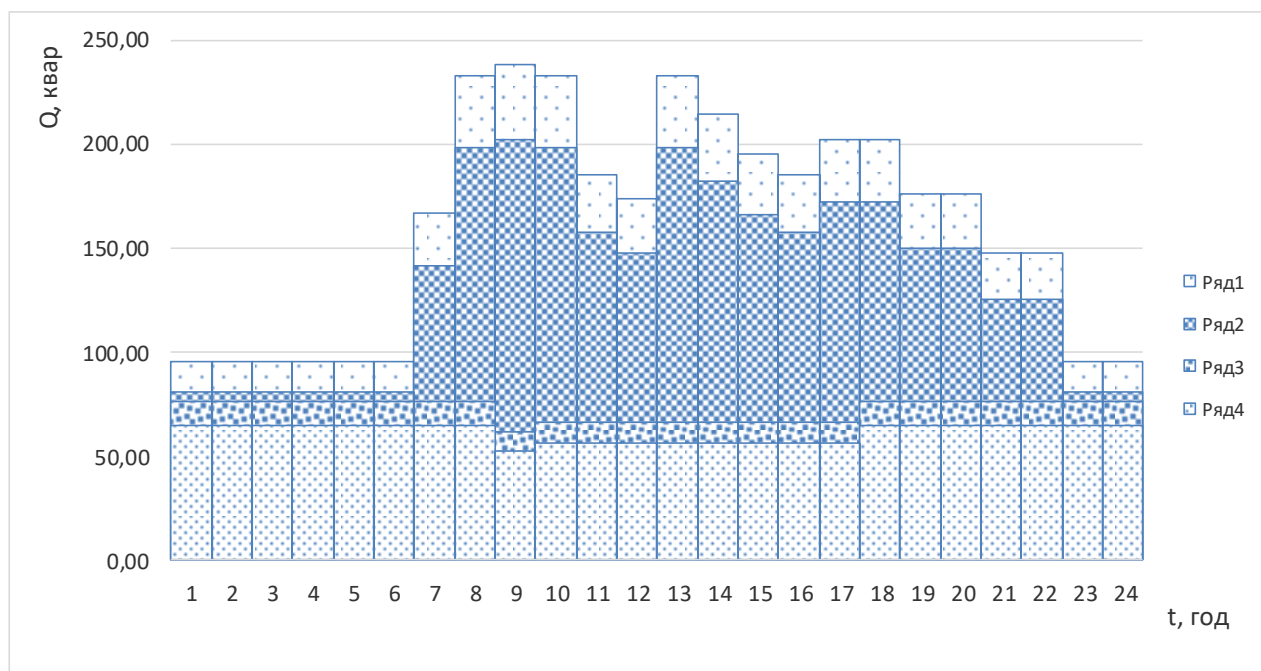


Рис. 1.3 - Добові графіки реактивного навантаження:1,2- робочі зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні зимового та літнього періодів (з компенсацією)

Графік активного навантаження за тривалістю будуюмо, використовуючи значення активної потужності з добових графіків. Приймаємо: зимовий період – 147 діб, літній – 105 діб, кількість вихідних – 65 та 48 діб. Данні для побудови річного графіка за тривалістю по активній потужності P наведено в таблиці 1.7, а сам графік побудовано на рис. 1.4.

Таблиця 1.7 – Вихідна інформація для річного графіка за тривалістю по активній потужності P

№	P , кВт	T , днів	$T \cdot P$	t , год	№	P , кВт	T , днів	$T \cdot P$	t , год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1631,9	147	239883,4	147	49	489,6	65	31821,3	5793
2	1550,3	147	227889,2	294	50	489,6	65	31821,3	5858
3	1550,3	147	227889,2	441	51	489,6	65	31821,3	5923
4	1550,3	147	227889,2	588	52	489,6	65	31821,3	5988
5	1387,1	147	203900,9	735	53	489,6	65	31821,3	6053
6	1387,1	105	145643,5	840	54	489,6	65	31821,3	6118
7	1370,8	147	201502,1	987	55	489,6	65	31821,3	6183
8	1370,8	147	201502,1	1134	56	485,5	105	50975,2	6288
9	1317,7	105	138361,3	1239	57	485,5	105	50975,2	6393
10	1317,7	105	138361,3	1344	58	485,5	105	50975,2	6498
11	1317,7	105	138361,3	1449	59	485,5	105	50975,2	6603
12	1305,5	147	191906,7	1596	60	485,5	105	50975,2	6708
13	1240,2	147	182311,4	1743	61	485,5	105	50975,2	6813
14	1240,2	147	182311,4	1890	62	485,5	105	50975,2	6918
15	1179,0	105	123797,0	1995	63	485,5	105	50975,2	7023
16	1174,9	147	172716,1	2142	64	424,3	65	27578,4	7088
17	1174,9	147	172716,1	2289	65	424,3	65	27578,4	7153
18	1165,1	105	122340,5	2394	66	424,3	65	27578,4	7218
19	1165,1	105	122340,5	2499	67	424,3	65	27578,4	7283
20	1158,6	147	170317,2	2646	68	424,3	65	27578,4	7348
21	1109,7	105	116514,8	2751	69	424,3	65	27578,4	7413
22	1060,7	147	155924,2	2898	70	424,3	65	27578,4	7478
23	1054,2	105	110689,1	3003	71	424,3	65	27578,4	7543
24	1054,2	105	110689,1	3108	72	424,3	65	27578,4	7608
25	998,7	105	104863,3	3213	73	416,1	48	19974,0	7656
26	998,7	105	104863,3	3318	74	416,1	48	19974,0	7704
27	984,8	105	103406,9	3423	75	416,1	48	19974,0	7752
28	979,1	147	143930,1	3570	76	416,1	48	19974,0	7800
29	979,1	147	143930,1	3717	77	416,1	48	19974,0	7848
30	901,6	105	94668,3	3822	78	416,1	48	19974,0	7896
31	832,2	105	87386,1	3927	79	416,1	48	19974,0	7944
32	832,2	105	87386,1	4032	80	416,1	48	19974,0	7992
33	571,2	147	83959,2	4179	81	416,1	48	19974,0	8040
34	571,2	147	83959,2	4326	82	416,1	48	19974,0	8088
35	571,2	147	83959,2	4473	83	416,1	48	19974,0	8136
36	571,2	147	83959,2	4620	84	416,1	48	19974,0	8184
37	571,2	147	83959,2	4767	85	416,1	48	19974,0	8232
38	571,2	147	83959,2	4914	86	416,1	48	19974,0	8280
39	571,2	147	83959,2	5061	87	416,1	48	19974,0	8328
40	571,2	147	83959,2	5208	88	360,6	48	17310,8	8376

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

Продовження таблиці 1.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	489,6	65	31821,3	5273	89	360,6	48	17310,8	8424
42	489,6	65	31821,3	5338	90	360,6	48	17310,8	8472
43	489,6	65	31821,3	5403	91	360,6	48	17310,8	8520
44	489,6	65	31821,3	5468	92	360,6	48	17310,8	8568
45	489,6	65	31821,3	5533	93	360,6	48	17310,8	8616
46	489,6	65	31821,3	5598	94	360,6	48	17310,8	8664
47	489,6	65	31821,3	5663	95	360,6	48	17310,8	8712
48	489,6	65	31821,3	5728	96	360,6	48	17310,8	8760

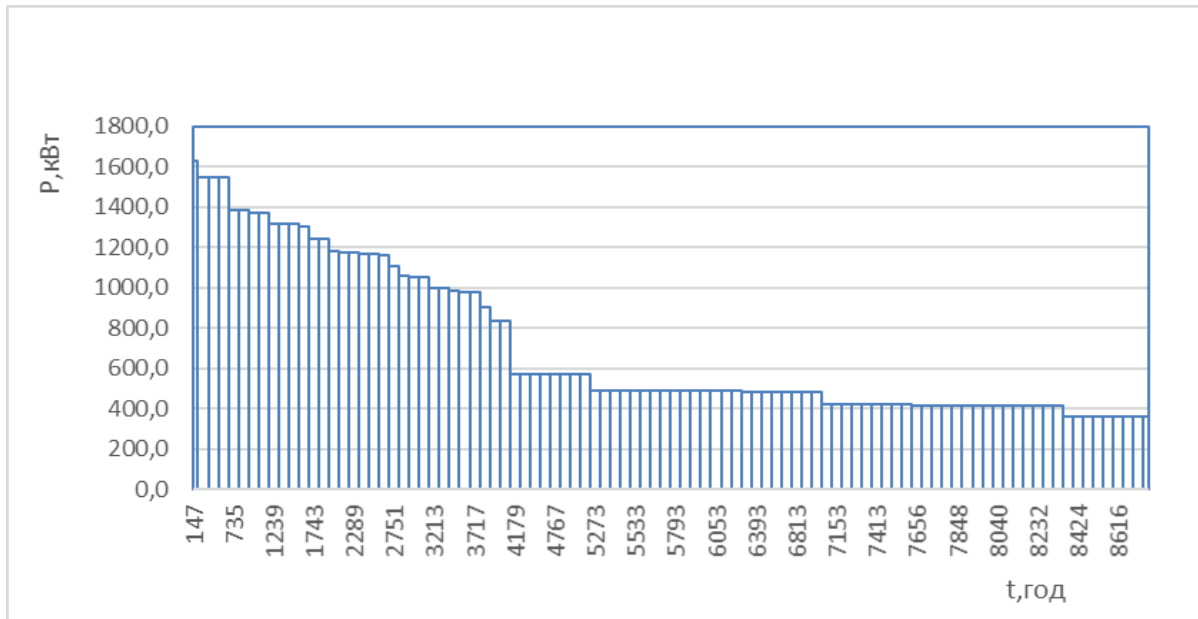


Рис. 1.4 - Річний графік за тривалістю по активній потужності

Розраховуємо споживання активної та реактивної енергії:

$$W_p = \sum (P_i \cdot t_i) = 25023,23 \cdot 147 + 21269,75 \cdot 105 + 11042,51 \cdot 65 + 9386,133 \cdot 48 = 7080035,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$V_p = \sum (Q_i \cdot t_i) = 3873,562 \cdot 147 + 3292,527 \cdot 105 + 1737,984 \cdot 65 + 1477,286 \cdot 48 = 1099007,6 \text{ квар} \cdot \text{год.}$$

Час використання максимуму енергосистеми:

$$T_M = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{(7080035,8^2 + 1099007,6^2)}}{1631,86} = 4390,59 \text{ год.}$$

Час найбільших втрат:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4390,59}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 2777,23 \text{ год.}$$

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

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ МПК ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП

За картограмою електричних навантажень визначаємо місце розміщення ЦРП комплексу, що прийнято в умовному центрі електричних навантажень (ЦЕН). Спочатку розраховуємо радіус кола, площа котрого пропорційна розрахунковому електричному навантаженню цеха. Розглянемо приклад виробничого корпусу.

$$R = \sqrt{\frac{\sum P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{412,24}{\pi \cdot 10}} = 3,62 \text{ см},$$

де $\sum P_p = P_p + P_{осв.} = 379,94 + 32,30 = 412,24 \text{ кВт};$

m - масштаб; $m = 10 \text{ кВт/см}^2$.

Визначимо кут α , що вказує на частку освітлювального навантаження відносно до повного:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{осв}}{P_p} = \frac{360 \cdot 32,30}{412,24} = 28,2^\circ.$$

Для інших підрозділів виконуємо аналогічний розрахунок та зводимо його до таблиці 2.1.

Визначаємо координати ЦЕН:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{208370,21}{2255,43} = 92,39 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{141712,91}{2255,43} = 62,83 \text{ м},$$

де X_i та Y_i – координати центрів електричного навантаження i -го цеху.

За розрахунками отримано такі координати ЦЕН: $x = 92,39 \text{ м}$, $y = 62,83 \text{ м}$. Розрахунки для побудови картограми електричних навантажень МПК приведено в таблиці 2.1.

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

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МПК

Для живлення трансформаторних підстанцій МПК КТП-1 та КТП-2 від ЦРП прокладені в траншеї КЛ на 10 кВ. Живлення здійснюється за радіальною схемою. ЦРП, в свою чергу, теж отримую живлення від шин 10 кВ підстанції енергосистеми, яка знаходиться на відстані 2,8 км, кабельними лініями. Вибір типу та перерізу цих КЛ приведено у 6 розділі. Схему електропостачання наведено в презентаційній частині БР.

Для техніко-економічного обґрунтування в бакалаврській роботі пропонується дослідити схему внутрішнього електропостачання комплексу, а саме, виконати порівняння можливих схем електропостачання виробничого корпусу. Електроспоживачі корпусу отримують живлення від силових пунктів (СП), яких в цеху встановлено 8 штук. Виробничий корпус розміщується на трьох поверхах, план розміщення обладнання представлений на рис 3.1 а) – в). Кількість електроприймачів цеха – 61.

Для живлення розподільчих силових пунктів від шин 0,4 кВ КТП можливо застосування радіальних, магістральних або змішаних схем електропостачання. Найбільш доцільний варіант схеми визначається за допомогою техніко-економічних розрахунків. Для виробничого корпусу приймаємо до порівняння дві доцільні схеми: радіальну та змішану, ці схеми представлено на рис.3.2.

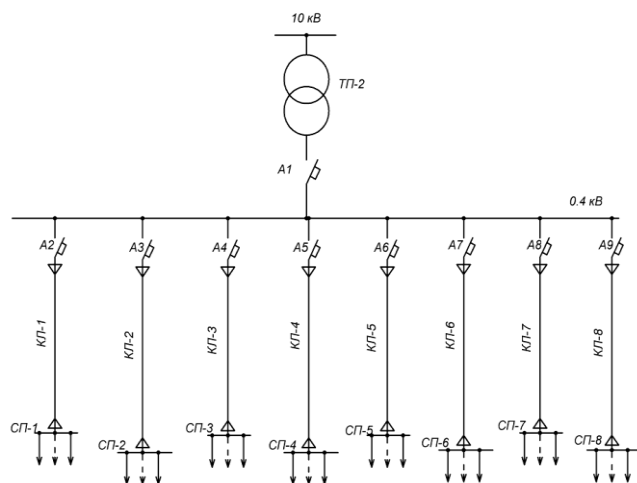
Варіант І.

Живлення всіх СП виробничого корпусу МПК здійснюється радіальними кабельними лініями від КТП2. Схема представлена на рис. 3.2 а).

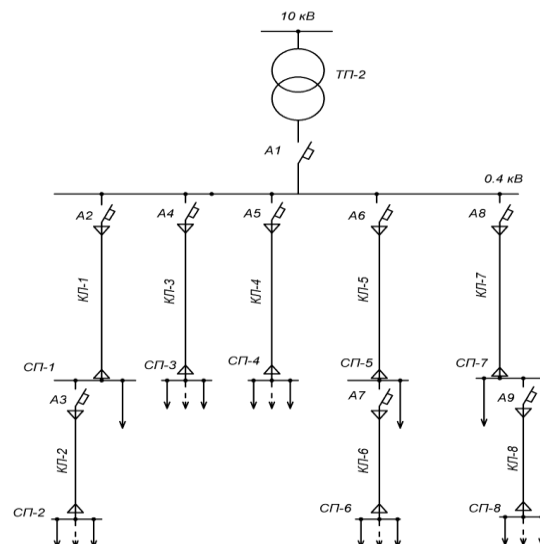
Варіант ІІ.

Живлення СП виробничого корпусу МПК здійснюється по змішаній схемі кабельними лініями від КТП2. Схема представлена на рис. 3.2 б).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



а)



б)

Рис. 3.2 – Варіанти живлення СП виробничого корпусу МПК: а) радіальна схема; б) змішана схема.

Визначимо приведені витрати по варіантам I та II.

Переріз кабельних ліній (КЛ) до СП (Варіант I).

Площа поперечного перерізу кабелів, проводів та шинопроводів цехових мереж вибирається за умови:

$$I_p \leq I_d, \quad (3.1)$$

де I_p – розрахунковий струм навантаження; I_d – допустимий струм навантаження для прийнятої площі поперечного перерізу кабеля, проводу або шинопроводу з врахуванням умов прокладання.

Прийнятий переріз перевіряється на відповідність струму захисного апарату:

$$I_d \geq K_3 \cdot I_3, \quad (3.2)$$

де K_3 – кратність допустимого струмового навантаження по відношенню до струму захисного апарату; I_3 – сила струму захисного апарату.

Вибираємо кабельну лінію для живлення СП-1.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{115,13}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 174,92 \text{ А.}$$

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

Приймаємо кабель марки АПВБГ перерізом 120 мм²; $I_{\text{доп}}=200$ А (при прокладанні на конструкціях).

$$I_{\text{доп}}=200 \text{ А} > I_p=174,92 \text{ А}.$$

Перевіряємо кабель на відповідність струму захисного апарату. КЛ підключається через автомат АЗ720, номінальний струм розчіплювала 200 А.

$$I_d = 200 \text{ А} \geq K_z \cdot I_z = 1 \cdot 200 \text{ А} = 200 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Перевіряємо втрати напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U \% = \frac{P \cdot \ell \cdot 10^5}{U_n^2} (r_0 + x_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi) = \frac{108,49 \cdot 11,5 \cdot 10^5}{380^2} (0,28 \cdot 10^{-3} + 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 0,48) = 0,003 \%$$

Вибір інших кабельних ліній для живлення СП виконується аналогічно і приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Вибір кабелів цехової мережі від ТП до СП для радіальної схеми живлення.

№	Sp, КВА	Ip, А	Iдоп, А	KзIз, А	Fст, мм ²	Тип кабеля	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	L, км	tgφ	ΔU, %
СП-1	115,13	174,92	200	200	120	АПВБГ	0,28	0,06	0,0115	0,48	0,003
СП-2	48,58	73,80	90	80	35	АПВБГ	0,95	0,06	0,014	0,62	0,004
СП-3	26,29	39,94	42	40	10	АПВБГ	3,33	0,07	0,015	0,75	0,009
СП-4	24,82	37,71	42	40	10	АПВБГ	3,33	0,07	0,025	0,36	0,014
СП-5	170,06	258,37	280	260	2x70	АПВБГ	0,24	0,03	0,03	0,92	0,009
СП-6	71,61	108,8	115	110	50	АПВБГ	0,67	0,06	0,0205	0,39	0,007
СП-7	59,08	89,76	115	110	50	АПВБГ	0,67	0,06	0,024	0,88	0,003
СП-8	31,91	48,48	60	50	16	АПВБГ	2,08	0,07	0,04	0,8	0,007

Переріз кабельних ліній до СП (Варіант II).

Вибираємо кабельну лінію для живлення СП-1.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{163,71}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 248,73 \text{ А}$$

Приймаємо 2 кабельні лінії марки АПВБГ перерізом 70 мм²; $I_{\text{доп}}=2 \times 140=280$ А (при прокладці на конструкціях).

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

$$I_{\text{доп}}=280 \text{ А} > I_p=248,73 \text{ А}.$$

Перевіряємо вибраний кабель за умовою відповідності струму захисного апарату. Кабельна лінія підключається через автомат А3730, номінальний струм розчіплювала 260 А.

$$I_d = 280 \text{ А} \geq K_3 \cdot I_3 = 260 \text{ А} = 260 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Перевіряємо втрати напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U \% = \frac{P \cdot \ell \cdot 10^5}{U_n^2} (r_0 + x_0 \cdot \text{tg} \varphi) = \frac{158,49 \cdot 11,5 \cdot 10^5}{380^2} (0,24 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3} \cdot 0,48) = 0,004\%$$

Вибір інших кабельних ліній для живлення СП виконується аналогічно і приведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2- Вибір кабелів цехової мережі від ТП до СП для змішаної схеми живлення.

№	Sp, КВА	Ip, А	Iдоп, А	KзІз, А	Fст, мм ²	Тип кабеля	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	L, км	tgφ	ΔU, %
СП-1	163,71	248,732	280	260	2x70	АПВБГ	0,24	0,03	0,0115	0,48	0,004
СП-2	48,58	73,809	90	80	35	АПВБГ	0,95	0,06	0,008	0,62	0,002
СП-3	26,29	39,944	42	40	10	АПВБГ	3,33	0,07	0,015	0,75	0,009
СП-4	24,82	37,71	42	40	10	АПВБГ	3,33	0,07	0,025	0,36	0,014
СП-5	241,67	367,18	400	400	2x120	АПВБГ	0,14	0,03	0,0205	0,92	0,004
СП-6	71,61	108,8	115	110	50	АПВБГ	0,67	0,06	0,008	0,39	0,003
СП-7	90,99	138,245	170	150	95	АПВБГ	0,35	0,06	0,024	0,88	0,002
СП-8	31,91	48,482	60	50	16	АПВБГ	2,08	0,07	0,016	0,8	0,003

Визначимо вартість втрат електроенергії в кабельних лініях від ТП до СП по першому варіанту:

Втрати потужності в кабельній лінії КЛ1:

$$\Delta P_{\text{кл}} = \Delta P_o \cdot n \cdot l \cdot k_3^2 = 90 \cdot 1 \cdot 0,0115 \cdot 0,875^2 = 0,792 \text{ кВт}.$$

Втрати енергії:

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

$$\Delta W = \Delta P_{\text{кл}} \cdot \tau_{\text{max}} = 0,792 \cdot 2777,23 = 2199,57 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{\text{втр}} = C_0 \cdot \Delta W = 6,56 \cdot 2199,57 \cdot 10^{-3} = 14,43 \text{ тис.грн.},$$

де C_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії, приймаємо для 2-го класу напруги $C_0 = 6,56 \text{ грн./кВт} \cdot \text{год.}$

Для тих кабельних ліній, що залишились, розрахунки проводимо аналогічно і результати зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Розрахунок вартості втрат енергії для радіальної схеми.

№ КЛ	S _p , кВА	I _p , А	F _{ст} , мм ²	Тип кабеля	I _{дл.доп} , А	ΔP, кВт	K _з	ΔP _{кл} , кВт	l, км	ΔE, кВт×год	C _{втр} , тис.грн.
КЛ 1	115,13	174,92	120	АПВБГ	200	90	0,875	0,792	0,0115	2199,57	14,43
КЛ 2	48,58	73,8	35	АПВБГ	90	76	0,820	0,715	0,014	1985,72	13,03
КЛ 3	26,29	39,94	10	АПВБГ	42	67	0,951	0,909	0,015	2524,50	16,56
КЛ 4	24,82	37,71	10	АПВБГ	42	67	0,898	1,35	0,025	3749,26	24,60
КЛ 5	170,06	258,37	2х70	АПВБГ	280	83	0,923	2,12	0,03	5887,73	38,62
КЛ 6	71,61	108,8	50	АПВБГ	115	77	0,946	1,413	0,0205	3924,23	25,74
КЛ 7	59,08	89,76	50	АПВБГ	115	77	0,781	1,126	0,024	3127,16	20,51
КЛ 8	31,91	48,48	16	АПВБГ	60	71	0,808	1,854	0,04	5148,98	33,78
Σ										28547,15	187,27

Визначимо вартість втрат електроенергії в КЛ від ТП-2 до СП по другому варіанту.

$$\Delta P_{\text{кл}} = \Delta P_0 \cdot n \cdot l \cdot k_3^2 = 166 \cdot 1 \cdot 0,0115 \cdot 0,888^2 = 1,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta W = \Delta P_{\text{кл}} \cdot \tau_{\text{max}} = 1,5 \cdot 2777,23 = 4165,845 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_{\text{втр}} = C_0 \cdot \Delta W = 6,56 \cdot 4165,845 \cdot 10^{-3} = 27,327 \text{ тис.грн.}$$

Для інших кабельних ліній розрахунки проводимо аналогічно і результати зводимо в таблицю 3.4.

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

Таблиця 3.4 - Розрахунок вартості втрат енергії для змішаної схеми.

№ КЛ	S _p , кВА	I _p , А	F _{ст} , мм ²	Тип кабеля	I _{дл.доп} , А	ΔP , кВт	K _з	ΔP _{кл} , кВт	l, м	ΔE, кВт×год	В _{пот} , тис.грн.
КЛ 1	163,71	248,732	2х70	АПВБГ	280	83	0,888	1,506	0,0115	4182,51	27,44
КЛ 2	48,58	73,809	35	АПВБГ	90	76	0,820	0,409	0,008	1135,89	7,45
КЛ 3	26,29	39,944	10	АПВБГ	42	67	0,951	0,909	0,015	2524,50	16,56
КЛ 4	24,82	37,71	10	АПВБГ	42	67	0,898	1,35	0,025	3749,26	24,60
КЛ 5	241,67	367,18	2х120	АПВБГ	400	90	0,918	3,109	0,0205	8634,41	56,64
КЛ 6	71,61	108,8	50	АПВБГ	115	77	0,946	0,551	0,008	1530,25	10,04
КЛ 7	90,99	138,25	95	АПВБГ	170	83	0,813	1,317	0,024	3657,61	23,99
КЛ 8	31,91	48,48	16	АПВБГ	60	71	0,808	0,742	0,016	2060,70	13,52
Σ										27475,14	180,24

Розрахунок капітальних вкладень за варіантами зводимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахунок капітальних вкладень

№	Елемент схеми	Одиниця вимірювання	Кількість	Вартість, т. грн.	Всього, т. грн.
Варіант 1	Автоматичні вимикачі А3720	шт.	2	1,980	3,960
	Автоматичні вимикачі А3710	шт.	6	1,620	9,720
	Кабель АПВБГ (3х120)	км	0,0115	136,240	1,567
	Кабель АПВБГ (3х70)	км	0,06	88,340	5,300
	Кабель АПВБГ (3х50)	км	0,0445	60,660	2,699
	Кабель АПВБГ (3х35)	км	0,014	48,320	0,676
	Кабель АПВБГ (3х16)	км	0,04	23,322	0,933
	Кабель АПВБГ (3х10)	км	0,04	16,480	0,659
	Всього	—			25,515
Варіант 2	Автоматичні вимикачі А3740	шт.	1	2,240	2,240
	Автоматичні вимикачі А3730	шт.	2	2,160	4,320
	Автоматичні вимикачі А3710	шт.	5	1,620	8,100
	Кабель АПВБГ (3х120)	км	0,041	136,240	5,586
	Кабель АПВБГ (3х95)	км	0,024	108,340	2,600
	Кабель АПВБГ (3х70)	км	0,023	88,340	2,032
	Кабель АПВБГ (3х35)	км	0,008	48,320	0,387
	Кабель АПВБГ (3х16)	км	0,016	23,322	0,373
	Кабель АПВБГ (3х10)	км	0,04	16,480	0,659
	Всього	—			26,297

Розрахунок поточних витрат C_i проводимо по двох складових амортизаційних відчислень C_a та іншим експлуатаційним витратам $C_{e.o.}$.

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

$$C_i = C_{ai} \cdot C_{eo}; \quad (3.3)$$

$$C_a = \sum_j^n \frac{H_{aj}}{100} \cdot K_j; \quad (3.4)$$

$$C_a = \sum_j^n \frac{H_{eo}}{100} \cdot K_j, \quad (3.5)$$

де $H_{a,j}$ – норми амортизаційних відрахувань,

$H_{e,j}$ – витрати на експлуатацію,

K_j – повна вартість обладнання.

Розрахунок зводимо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 - Розрахунок поточних витрат

№	Елемент схеми	К, т. грн.	Н _а , %	Н _е , %	Н _{а.е.} , %	С, т. грн.
Варіант 1	Автоматичні вимикачі АЗ720	3,960	15	5	20	0,792
	Автоматичні вимикачі АЗ710	9,720	15	5	20	1,944
	Кабель АПВБГ (3х120)	1,567	5	5	10	0,157
	Кабель АПВБГ (3х70)	5,300	5	5	10	0,530
	Кабель АПВБГ (3х50)	2,699	5	5	10	0,270
	Кабель АПВБГ (3х35)	0,676	5	5	10	0,068
	Кабель АПВБГ (3х16)	0,933	5	5	10	0,093
	Кабель АПВБГ (3х10)	0,659	5	5	10	0,066
	Всього	25,515				3,919
Варіант 2	Автоматичні вимикачі АЗ740	2,240	15	5	20	0,448
	Автоматичні вимикачі АЗ730	4,320	15	5	20	0,864
	Автоматичні вимикачі АЗ710	8,100	15	5	20	1,620
	Кабель АПВБГ (3х120)	5,586	5	5	10	0,559
	Кабель АПВБГ (3х95)	2,600	5	5	10	0,260
	Кабель АПВБГ (3х70)	2,032	5	5	10	0,203
	Кабель АПВБГ (3х35)	0,387	5	5	10	0,039
	Кабель АПВБГ (3х16)	0,373	5	5	10	0,037
	Кабель АПВБГ (3х10)	0,659	5	5	10	0,066
	Всього	26,297				4,096

Приведені витрати:

$$З_I = E_H \cdot K_1 + C_1 + C_{ВТР1} + У_1 = 0,12 \cdot 25,515 + 3,919 + 187,27 + 0 = 194,25 \text{ тис. грн.}$$

$$З_{II} = E_H \cdot K_2 + C_2 + C_{ВТР2} + У_2 = 0,12 \cdot 26,297 + 4,096 + 180,24 + 0 = 187,49 \text{ тис. грн.}$$

Загальні результати розрахунків зводимо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Техніко-економічні показники

№	Показники	Одиниця Вимірювання	Варіант схеми	
			1	2
1	Капіталовкладення	т.грн.	25,515	26,297
2	Поточні витрати	т.грн.	3,919	4,096
3	Вартість втрат електроенергії	т.грн.	187,27	180,24
4	Збитки	т.грн.	-	-
5	Приведені витрати	т.грн.	194,25	187,49

Таким чином, отримані затрати по варіантам відрізняються на 3,5 %, що дозволяє вважати їх рівно економічними. Враховуючі те, що радіальні схеми є більш надійними та зручними в експлуатації, остаточно приймаємо варіант радіальної схеми електропостачання виробничого корпусу.

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА МПК

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності МПК та вибір пристроїв для її компенсації

Розраховуємо економічно доцільну реактивну потужність (РП), для передачі від системи:

$$Q_e = P_{p,10} \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 1614,402 \cdot 0,15 = 242,16 \text{ квар.}$$

Мінімально необхідна кількість трансформаторів МПК :

$$N_{Tmin} = P_{p,0,4} / (K_3 \cdot S_T) = 1678,12 / (0,7 \cdot 630) = 3,66 \text{ шт.}$$

Приймаємо 2 двотрансформаторні підстанції, загальна кількість трансформаторів 4.

Перший варіант з 4-ма трансформаторами.

РП, яка передається від мережі 10 кВ до мережі 0,4 кВ:

$$Q_{п1} = \sqrt{(n \cdot S_{т1} \cdot K_3)^2 - P_{н1}^2} = \sqrt{(4 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 1678,12^2} = 543,68 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв (КП), які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ:

$$Q_{кн} = Q_n - Q_{п1} = 1377,17 - 543,68 = 833,47 \text{ квар}$$

Планується встановити:

$$Q_{кн} = 800 \text{ квар: } 2 \times 250 \text{ квар, } 2 \times 150 \text{ квар.}$$

Значення після уточнення:

$$Q_{п1} = Q_n - Q_{кн} = 1377,17 - 800 = 577,17 \text{ квар}$$

Потужність КП, які необхідні в мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_e = 1500,61 - 800 - 251,72 = 448,89 \text{ квар}$$

Планується встановити: 2х УКЛ(П) 56М-10,5-225У3.

Втрати активної потужності в цехових КТП при передачі через них реактивної потужності:

$$\Delta P_{тп} = Q_{п1}^2 \cdot R_{ек} / U_n^2 = 577,17^2 \cdot 478,71 \cdot 10^{-6} / 10^2 = 1,59 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U_n^2) / (N_{тр} \cdot S_{н тр}^2) = (7,6 \cdot 10^2) / (4 \cdot 630^2) = 478,71 \cdot 10^{-6} \text{ кОм.}$$

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

Повні втрати активної потужності у низьковольтних БК, якщо питомі втрати складають $\Delta P_{\text{пит}} = 0,0045$ кВт/квар :

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 800 = 3,6 \text{ кВт.}$$

Повні втрати активної потужності у високовольтних БК, при значенні питомих втрат $\Delta P_{\text{пит}} = 0,003$ кВт/квар :

$$\Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,003 \cdot 450 = 1,35 \text{ кВт.}$$

Вартість низьковольтних БСК:

$$K_{\text{кн}} = \sum N_{\text{БК0,4i}} \cdot K_{\text{БК0,4i}} = 2 \cdot 27,102 + 2 \cdot 21,88 = 97,964 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кв}} = \sum N_{\text{БК10i}} \cdot K_{\text{БК10i}} = 2 \cdot 23,17 = 46,34 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{тп}} = n_{\text{тп(1)}} \cdot K_{\text{тп(1)}} + n_{\text{тп(2)}} \cdot K_{\text{тп(2)}} = 0 \cdot 172,2 + 2 \cdot 298,6 = 597,2 \text{ тис. грн.,}$$

де $n_{\text{тп(1)}}$, $K_{\text{тп(1)}}$, $n_{\text{тп(2)}}$, $K_{\text{тп(2)}}$ – кількість та вартість одно- та двох- трансформаторних підстанцій відповідно;

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$Z_1 = E_{\text{н}} \cdot (K_{\text{тп}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{кн}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{тп}}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (597,2 + 97,964 + 46,34) + (3,6 + 1,35 + 1,59) \cdot 6,56 \cdot 10^{-3} \cdot 2777,23 = 208,13 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для другого варіанту: $N = N_0 + 1 = 5$.

$$Q_{\text{п1}} = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т1}} \cdot K_{\text{з}})^2 - P_{\text{н1}}^2} = \sqrt{(5 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 1678,12^2} = 1430,359 \text{ квар;}$$

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 1377,17 - 1430,359 = -53,19 \text{ квар.}$$

Оскільки $1377,17 \text{ квар} < 1430,359 \text{ квар}$, то встановлення низьковольтних БСК недоцільне.

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

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 1500,61 - 0 - 251,72 = 1248,89 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення 1350 квар.

$$\Delta P_{\text{тп}} = Q_{\text{п}}^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = 1377,17^2 \cdot 382,96 \cdot 10^{-6} / 10^2 = 7,26 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R_{\text{ек}} = (\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н тр}}^2) = (7,6 \cdot 10^2) / (5 \cdot 630^2) = 382,96 \cdot 10^{-6} \text{ кОм;}$$

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

$$\Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,003 \cdot 1350 = 4,05 \text{ кВт;}$$

$$K_{\text{кн}} = \Sigma N_{\text{бк0,4i}} \cdot K_{\text{ккy0,4i}} = 0 \text{ тис. грн.};$$

$$K_{\text{кв}} = \Sigma N_{\text{бк10i}} \cdot K_{\text{ккy10i}} = 3 \cdot 41,49 = 124,47 \text{ тис. грн.};$$

$$K_{\text{кпп}} = N_{\text{тп(1)}} \cdot K_{\text{тп(1)}} + N_{\text{тп(2)}} \cdot K_{\text{тп(2)}} = 1 \cdot 172,2 + 2 \cdot 298,6 = 769,4 \text{ тис. грн.};$$

$$Z_2 = E_{\text{н}} \cdot (K_{\text{кпп}} + K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{тп}}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (769,4 + 124,47 + 0) + (0 + 4,05 + 7,26) \cdot 6,56 \cdot 10^{-3} \cdot 2777,23 = 313,317 \text{ тис. грн.}$$

Затрати для третього варіанту не розраховуємо, оскільки вже в другому варіанті вся РП може бути передана через 5 трансформаторів і додаткове встановлення 6-го трансформатора не потрібне.

В таблицях 4.1 та 4.2 зведено розрахунок КП та приведених витрат.

Таблиця 4.1- Розрахунок варіантів компенсації реактивної потужності

№ варіанту	Кількість трансформаторів	$Q_{\text{п1}}$, квар	$Q_{\text{кн}}$, квар	$Q_{\text{кв}}$, квар
1	4	577,17	800	450
2	5	1377,17	0	1250

Таблиця 4.2 – Втрати потужності та приведені витрати

№ вар.	$\Delta P_{\text{кн}}$, кВт	$\Delta P_{\text{кв}}$, кВт	$N_{\text{тр}}$, шт.	$S_{\text{тр}}$, кВА	$R_{\text{екв}}$, Ом	$\Delta P_{\text{тп}}$, кВт	$K_{\text{кн}}$, тис. грн.	$K_{\text{кв}}$, тис. грн.	$K_{\text{кпп}}$, тис. грн.	Z , тис. грн.
1	3,6	1,35	4	630	0,478	1,59	97,96	46,34	597,2	208,13
2	0	4,05	5	630	0,382	7,26	0	124,47	769,4	313,32

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

Отже, приведені витрати першого варіанту компенсації найменші, його і приймаємо для подальшого розрахунку. В таблиці 4.3 наведено показники балансу РП.

Таблиця 4.3 - Баланс реактивної потужності МПК.

Показники	Варіант I	Варіант II
Потужність БСК в мережі 0,4 кВ	800	0
Потужність БСК в мережі 10 кВ	450	1350
Споживання реактивної потужності	251,72	241,72
Всього за умовою балансу	1501,72	1501,72

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на МПК

Розраховуємо реактивну потужність, яку можна передати через трансформатори ТП в цехові мережі, та потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в цехових мережах.

Знаходимо реактивну потужність, яку потрібно скомпенсувати в мережі НН КТП 1:

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_z)^2 - P_n^2} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 831,48^2} = 294,19 \text{ квар}$$

$$Q_{кп} = Q_n - Q_{п} = 648,21 - 294,19 = 354,019 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{кп}=300$ квар. Аналогічно проводимо інші розрахунки. Результати розрахунків зводимо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Вибір кількості, потужності та місця встановлення КП

№ ТП	$N_{тр}$	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_n , квар	$Q_{кп}$, квар	$N_{бк}$	Тип БК
1	2	831,48	648,21	294,19	354,019	2	2хКРМ-0,4-150-3У3
2	2	845,16	852,39	252,22	600,172	2	2хКРМ-0,4-250-5У3

Продовження таблиці 4.4.

$Q_{бк}$, квар	$Q_{рд}$, квар	K_z	S_p , кВА
300	348,211	0,715	901,457
500	352,396	0,726	915,691

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

5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ МПК

5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій комплексу

Приймаємо до встановлення двотрансформаторні цехові підстанції, оскільки більшість споживачів II категорії за безперебійністю електропостачання.

Виконаємо розрахунок питомого навантаження для виробничого корпусу, для обґрунтування номінальної потужності (типорозміру) цехових трансформаторів.

Так, для виробничого корпусу розрахункове силове навантаження складає згідно таблиці 1.1 $P_{p.c.} = 379,94$ кВт, $Q_{p.c.} = 189,53$ кВар (з врахуванням БСК), розрахункове освітлювальне навантаження складає згідно таблиці 1.2. $P_{p.o.} = 47,03$ кВт, $Q_{p.o.} = 81,36$ кВар. Площа цеху $F = 2592$ м². Визначимо питоме навантаження цеху:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_p}{F} = \frac{\sqrt{(P_{p.c.} + P_{p.o.})^2 + (Q_{p.c.} + Q_{p.o.})^2}}{F} = \frac{\sqrt{(379,94 + 47,03)^2 + (189,53 + 81,36)^2}}{2592} = 0,19 \text{ кВА/м}^2.$$

Можна зробити висновок про доцільність застосування трансформаторів потужністю $S_{\text{ном}} = 630$ кВА, при $s_{\text{пит}} \leq 0,2$ кВ·А/м².

Перевіряємо трансформатори КТП-1.

Мінімальна потужність трансформатора за умови систематичного перевантаження:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_1} = \frac{901,46}{2 \cdot 1,08} = 417,3 \text{ кВА}$$

Мінімальна потужність трансформатора за умовою аварійного перевантаження (відсоток споживачів 2-ї категорії 85%):

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{K_{I,II} \cdot S_p}{(n-1) \cdot K_2} = \frac{0,85 \cdot 901,46}{(2-1) \cdot 1,4} = 547,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

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

Приймаємо до установки два трансформатори типу 2х ТМГФ - 630-10/0,4

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{mp}} = \frac{901,46}{2 \cdot 630} = 0,715.$$

Необхідне відключення 2,2 % споживачів III-ї категорії в аварійному режимі.

Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі:

$$K_3 = \frac{K_{I,II} \cdot S_p}{S_{ном}} = \frac{0,85 \cdot 901,46}{630} = 1,22 < 1,4.$$

Розрахунки повторюємо для КТП-2. Результати зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1- Вибір трансформаторів цехових ТП.

№ ТП	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	$N_{тр} \times S_{тр}$, кВА	K_3
1	831,489	348,211	901,46	2хТМГФ -630	0,715
2	845,166	352,397	915,69	2хТМГФ- 630	0,727

5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій МПК

Приймаємо до встановлення комплектні трансформаторні підстанції ТОВ «УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ» м. Хмельницький. Вибираємо трансформаторні підстанції КТП - 630/10/0,4 з трансформаторами ТМГФ (трансформатор трифазний з масляним охолодженням та природною циркуляцією масла та повітря, герметичний, фланцевого виконання), які призначені для трансформації електроенергії змінного струму, $f=50$ Гц та допускають встановлення як всередині цеху промислового підприємства, так і ззовні у районах з помірним кліматом. Технічні параметри трансформаторів наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 -Технічні характеристики трансформаторів

S , кВ·А	f , Гц	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	u_k , %	$I_{з.ш0,4.}$, кА	$I_{т.с.вн.1с}$, кА	$I_{т.с.нн.1с}$, кА	$I_{ед.с.вн}$, кА	$I_{ед.с.нн}$, кА	$\Delta P_{кТП}$, кВт
630	50	10	0,4	0,105	8,6	5,5	0,91	20	25	51	50	9,8

								Арк.
								46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Регулювання напруги в трансформаторах здійснюється високовольним перемикачем, ступенями $\pm 2 \times 2,5\%$ від його номінального значення. Потрібно відключення від мережі.

Вибраний тип трансформаторів є герметичним та має ряд переваг. Насамперед, трансформаторне масло всередині трансформатору не окислюється, оскільки не стикається з повітрям. Такі трансформатори не потребують профілактичних ремонтів, дозволяють уникнути додаткових витрат при введенні до експлуатації. Не потрібно виконувати аналіз та регенерацію масла.

Вибір місця розташування КТП виконувався з врахуванням розрахункового навантаження цехів, умов зовнішнього середовища, питомої густини навантаження, перевантажувальної здатності трансформаторів та категорії споживачів за безперебійністю електропостачання. Розміщення КТП МПК наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вибір місця розташування трансформаторних підстанцій МПК.

Вид КТП	Місце розташування КТП	Категорія за пожежною безпекою	Категорії споживачів	% відключаємих споживачів 3 категорії
Прибудована	Компресорна	Д	II, III	2,2
Вбудована	Виробничий корпус	Д	II, III	3,8

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ В СЕП МПК, ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ

6.1 Розрахунок струмів коротких замикань МПК

Розраховуємо струм трифазного КЗ для перевірки електричних апаратів та провідників за умовами динамічної та термічної стійкості. КЗ вважаємо віддаленим, оскільки немає місцевих джерел живлення.

Складаємо розрахункову схему та схему заміщення СЕП МПК, які представлено на рис. 6.1 та 6.2.

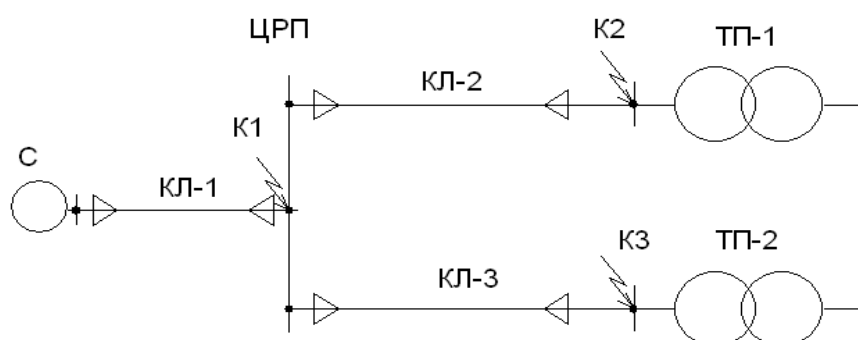


Рис.6.1 – Розрахункова схема СЕП МПК для визначення струмів КЗ.

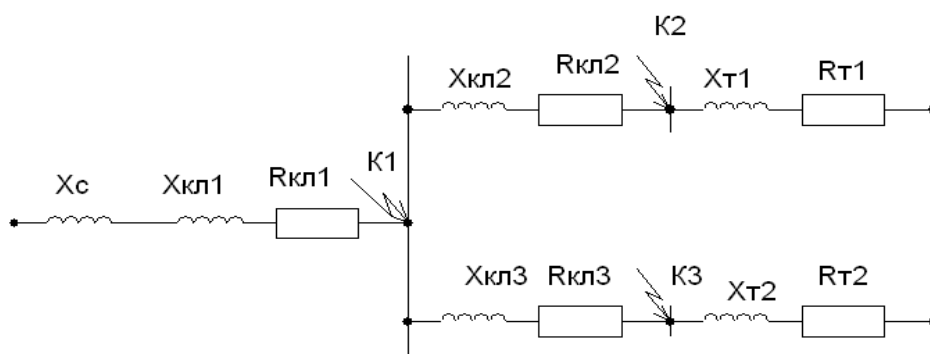


Рис.6.2 – Схема заміщення СЕП МПК для визначення струмів КЗ.

Розрахунок проводимо у відносних одиницях, які приводяться до базисних умов.

Для значення $S_6=100$ МВА, визначаємо 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 (в.од.), що приведений до базисних умов:

$$x_c = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I''} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 8,2} = 0,671$$

Опір КЛ (в.од.), що приведений до базисних умов:

$$x_{\text{КЛ-1}} = x_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,086 \cdot 2,8 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,2184$$

$$x_{\text{КЛ-2}} = x_o \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,099 \cdot 0,048 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0043$$

$$x_{\text{КЛ-3}} = x_o \cdot \ell_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,099 \cdot 0,135 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0121$$

$$r_{\text{КЛ-1}} = r_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,46 \cdot 2,8 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 1,1683$$

$$r_{\text{КЛ-2}} = r_o \cdot \ell_2 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 1,28 \cdot 0,048 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0557$$

$$r_{\text{КЛ-3}} = r_o \cdot \ell_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 1,28 \cdot 0,135 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,1567$$

Результуючий опір до точок К1, К2 та К3:

$$x_{\text{К1}} = x_c + x_{\text{КЛ-1}} = 0,671 + 0,2184 = 0,8894$$

$$r_{\text{К1}} = r_{\text{КЛ-1}} = 1,1683$$

$$z_{\text{К1}} = \sqrt{(x_{\text{К1}}^2 + r_{\text{К1}}^2)} = \sqrt{0,8894^2 + 1,1683^2} = 1,4683$$

$$x_{\text{К2}} = x_{\text{К1}} + x_{\text{КЛ-2}} = 0,8894 + 0,0043 = 0,8937$$

$$r_{\text{К2}} = r_{\text{К1}} + r_{\text{КЛ-2}} = 1,1683 + 0,0557 = 1,224$$

$$z_{\text{К2}} = \sqrt{(x_{\text{К2}}^2 + r_{\text{К2}}^2)} = \sqrt{0,8937^2 + 1,224^2} = 1,5155$$

$$x_{\text{К3}} = x_{\text{К1}} + x_{\text{КЛ-3}} = 0,8894 + 0,0121 = 0,9015$$

$$r_{\text{К3}} = r_{\text{К1}} + r_{\text{КЛ-3}} = 1,1683 + 0,1567 = 1,325$$

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

$$z_{k3} = \sqrt{(x_{k2}^2 + r_{k2}^2)} = \sqrt{0,9015^2 + 1,325^2} = 1,6026$$

Розрахунок опорів КЛ зведено до табл.6.1.

Таблиця 6.1- Розрахунок опорів КЛ.

№ КЛ	Позначення	$l, \text{км}$	$R_0, \text{Ом/км}$	$X_0, \text{Ом/км}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	R^*6	X^*6
1	С-ЦРП	2,8	0,46	0,086	1,288	0,2408	1,1683	0,2184
2	ЦРП-ТП-1	0,048	1,28	0,099	0,06144	0,0048	0,0557	0,0043
3	ЦРП-ТП-2	0,135	1,28	0,099	0,1728	0,0134	0,1567	0,0121

Надперехідні струми в точках $K1, K2, K3$:

$$I_{k1}'' = \frac{I_6}{z_{k1}} = \frac{5,49}{1,1683} = 3,739 \text{ кА};$$

$$I_{k2}'' = \frac{I_6}{z_{k2}} = \frac{5,49}{1,5155} = 3,622 \text{ кА};$$

$$I_{k3}'' = \frac{I_6}{z_{k3}} = \frac{5,49}{1,6026} = 3,426 \text{ кА}.$$

Стала часу:

$$T_{a1} = x_{pez1} / \omega r_{pez1} = 0,8894 / (314 \cdot 1,1683) = 0,0024 \text{ с.};$$

$$T_{a2} = x_{pez2} / \omega r_{pez2} = 0,8937 / (314 \cdot 1,224) = 0,0023 \text{ с.};$$

$$T_{a3} = x_{pez3} / \omega r_{pez3} = 0,9015 / (314 \cdot 1,325) = 0,0022 \text{ с.}$$

Ударні струми в точках $K1, K2$ та $K3$:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot I_{k1}'' \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{Ta1}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,739 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,0024}} \right) = 7,233 \text{ кА};$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot I_{k2}'' \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{Ta2}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,622 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,0023}} \right) = 7,008 \text{ кА};$$

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot I_{k3}'' \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{Ta3}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,426 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,0022}} \right) = 6,627 \text{ кА}.$$

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

Розрахунок струмів КЗ в СЕП МПК зведено до табл. 6.2.

Таблиця 6.2- Розрахунок струмів КЗ.

№ ТКЗ	X _{сум}	R _{сум}	Z _{сум}	I", кА	i _{уд} , кА
K1	0,8894	1,168	1,4683	3,739	7,233
K2	0,8937	1,224	1,5155	3,622	7,008
K3	0,9015	1,325	1,6026	3,426	6,627

6.2 Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж комплексу

Розрахунок струму у КЛ від системи до ЦРП:

$$I_P = \frac{S_P}{2\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1631,86}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 44,86 \text{ А},$$

де S_P – розрахункова потужність комплексу; U_H - номінальна напруга.

Враховуючи економічну щільність струму, $j_e=1,4 \text{ А/мм}^2$, розраховуємо переріз проводу:

$$F_e = \frac{I_P}{J_e} = \frac{44,86}{1,4} = 32,04 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо до прокладення 2 кабельні лінії марки ААШв (3х35), $I_d = 115 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $\Delta P_{1 \text{ км}} = 42 \text{ кВт}$.

Завантаження КЛ у нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_P}{I_d} = \frac{44,86}{115} = 0,39.$$

Перевіряємо на аварійне перевантаження, приймаємо $K_{АП} = 1,25$:

$$I = I_d \cdot K_{АП} = 0,9 \cdot 115 \cdot 1,25 = 129,38 \text{ А}.$$

Розрахунок показує, що в аварійному режимі живлення заводу не порушується.

Перевіряємо за умовою термічної стійкості, для цього визначаємо мінімальну площу поперечного перерізу КЛ:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{94} = \frac{\sqrt{16,322}}{94} = 42,98 \text{ мм}^2,$$

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

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

B_k - тепловий імпульс:

$$B_k = I''^2 (t_{\text{відк.}} + T_a) = 3,739^2 (1,1125 + 0,055) = 16,322 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.};$$

$$t_{\text{відк.}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{в.в.}} + \Delta t = 0,1 + 0,0125 + 1 = 1,1125 \text{ с.},$$

де I'' - надперехідний струм;

t_v - повний час відключення вимикача;

$t_{\text{рз max}}$ - максимальний час спрацювання РЗ.

Таким чином, обираємо кабель ААШв-10 (3х50). Прийнята попередньо КЛ проходить за умовами термічної стійкості.

Повторюємо вибір КЛ до КТП-1 та КТП-2 та зводимо результати до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3-Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№	Призначення кабелю, від-до	Навантаження				N	K _{ав}	K _п
		Нормальний режим		Аварійний режим				
		I _p ,A	S _p , кВА	I _p , A	S _p ,кВА			
1	С-ЦРП	47,23	1717,8	94,455	1717,8	2	1,25	0,9
2	ЦРП-КТП 1	24,91	453,08	49,826	901,46	2	1,25	0,9
3	ЦРП-КТП 2	26,58	483,42	53,163	915,69	2	1,25	0,9

Продовження таблиці 6.3.

Переріз, мм ²			Марка та переріз кабелю	$I_{\text{доп}}, \text{A}$	$I_{\text{ав}} = K_{\text{п}} \cdot K_{\text{ав}} \cdot I_{\text{доп}}, \text{A}$	L, км
$F_{\text{ек.розр}}$	$F_{\text{ек.станд.}}$	$F_{\text{тс}}$				
33,73	35	50	ААШв (3х50)	140	157,5	2,8
20,76	25	35	ААШв (3х35)	115	129,4	0,048
22,15	25	35	ААШв (3х35)	115	129,4	0,135

6.3 Вибір високовольтного обладнання МПК

На всіх ділянках схеми електропостачання МПК встановлюємо вимикачі типу ВР-1.

Розрахунковий струм для ввідного вимикача:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1631,86}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 89,72 \text{ A.}$$

Вибір ввідних та секційних вимикачів зведено до таблиці 6.4.

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

Таблиця 6.4 - Вибір ввідних, секційних вимикачів.

Параметри мережі	Умови перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
89,72 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
3,739 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
7,13 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1+\beta_n)$	39,6 кА
3,739 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
7,233 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
$16,322 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В якості вимикачів для відхідних ліній приймаємо вимикачі типу ВР-1. Вибір параметрів вимикачів зведено до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 - Вибір вимикачів 10 кВ для відхідних ліній.

Параметри мережі	Умови перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
34,64 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
3,739 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
7,13 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1+\beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1+0,4)=39,60 \text{ кА}$
3,739 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
7,008 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
$14,89 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Розрахунковий струм:

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

Вимикачі 10 кВ встановлені в типові шафи КРП внутрішньої установки КР – 10, які мають номінальну напругу – 10 кВ, номінальний струм збірних шин – 1000 А, самої шафи – 630 А, тип привода вимикача – електромагнітний, електродинамічна стійкість – 81 кА, номінальний струм відключення – 31,5 кА, допускається підключення 4-х кабелів перерізом 240 мм².

Обираємо трансформатори для живлення споживачів власних потреб. Встановлену потужність споживачів власних потреб наведено в таблиці 6.6.

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

Таблиця 6.6 - Розрахунок потужності споживачів власних потреб.

№ п/п	Споживач	n, шт	Встановлена потужність, кВт		cosφ/tgφ	P _{вст.}	Q _{вст.}
			P _{ном}	P _Σ			
1	Підігрів шаф КП	14	0,6	8,4	1/0	8,4	0
2	Освітлення та опалення приміщення	1	6	6	0,97/0,25	6	1,5
3	Споживання навантаження оперативними ланцюгами	2	3	6	0,97/0,25	6	1,5
4	Зовнішнє освітлення	2	3	6	0,5/1,73	6	10,38
	Всього					26,4	13,38

Розрахункове навантаження:

$$S_p = k_c \cdot \sqrt{P_{вст}^2 + Q_{вст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{26,4^2 + 13,38^2} = 29,6 \text{ А.}$$

де K_c – коефіцієнт попиту, який враховує коефіцієнти одночасності та завантаження.

Потужність трансформатора обирається за умовою:

$$S_{тр} \geq S_{розр}$$

Приймаємо 2 трансформатори ТМ – 25/10. Технічна характеристика:

S_{ном} = 25 кВА; U_{вн} = 10 кВ; U_{нн} = 0,4 кВ; I_{хх} = 3,2%; ΔP_{хх} = 0,13 кВт; ΔP_к = 0,69 кВт; U_к = 4,7%.

Вибір запобіжників. В шафах КРП встановлюємо запобіжники ПК, які захищають трансформатори власних потреб від короткого замикання та струмів перевантаження. Запобіжники ПКТ призначені для захисту трансформаторів напруги.

Вибір розрядників та обмежувачів перенапруги. Ізоляція електрообладнання захищається від атмосферних перенапруг розрядниками типу РВО – 10 УЗ з параметрами : U_{ном} = 10 кВ, U_{доп} = 12,7 кВ, пробивна напруга 26 кВ ≤ U_{пр} ≤ 30,5 кВ. Для захисту від комутаційних перенапруг в комірках з вакуумними вимикачами встановлені обмежувачі перенапруги ОПН-10.

7 ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ПУСКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ КОМПЛЕКСУ

7.1 Показники пуску АД

Оскільки переважна більшість електроспоживачів комплексу мають асинхронний електропривод (АЕП) розглянемо більш детально пуск асинхронних двигунів.

Запуск АД впливає на весь процес експлуатації, особливо якщо двигун, за умовами технологічного процесу, потребує частих періодичних пусків. Найважливішими характеристиками, що визначають процес пуску двигуна являються пусковий струм та пусковий момент. Також дуже важливо контролювати процес розгону двигуна до номінальної швидкості.

В цілому, можна виділити наступні основні показники для оцінки пускових якостей асинхронного двигуна:

- 1) залежність пускового струму від часу пуску $I_{1n} = f(t)$;
- 2) коефіцієнт кратності пускового струму $\kappa_i = \frac{I_{1n}}{I_{1n}}$;
- 3) коефіцієнт кратності пускового моменту $K_m = \frac{M_n}{M_n}$;
- 4) плавність розгону АД;
- 5) тривалість розгону;
- 6) втрати енергії за час пуску;
- 7) нагрівання АД під час пуску;
- 8) складність пуску двигуна;
- 9) наявність додаткових пускових пристроїв.

Зазвичай, пусковий процес супроводжується поштовхами струму, що призводить до коливань напруги в мережі та викликає додаткові втрати електричної енергії, особливо у разі частих періодичних пусків АД. Саме тому, дуже важливо поєднати технічно грамотний пуск АД з додатковими можливостями заощадження електроенергії при пуску.

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

7.2 Аналіз способів пуску та пускових характеристик АД

Прямий пуск

Цей спосіб використовується, насамперед, для асинхронних двигунів з коротко замкнутим (КЗ) ротором. Такі двигуни, малої та середньої потужності проектують таким чином, щоб при підключенні обмотки статора АД до мережі, пускові струми, що виникають, не викликали великих електродинамічних зусиль і перевищення температури, які небезпечні з точки зору механічної і термічної надійності елементів машини. Схему прямого пуску АД з КЗ ротором та пускові характеристики наведено на рис.7.1.

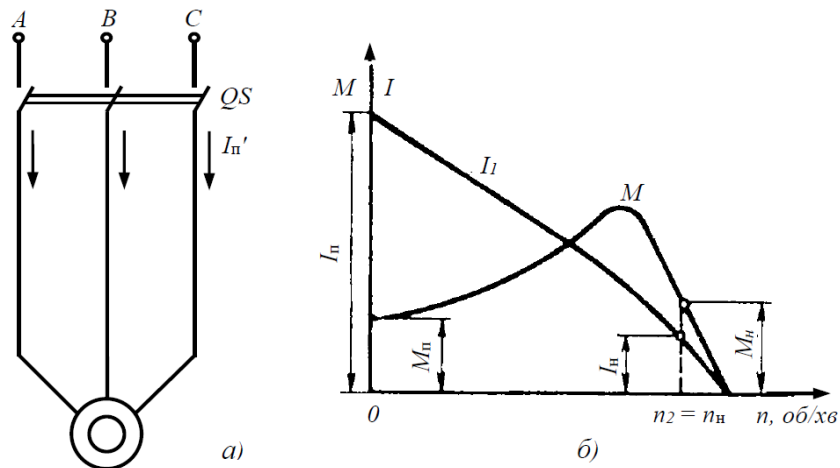


Рис.7.1- Схема прямого пуску а) та пускові характеристики б) АД з КЗ ротором.

Але у цього способу є суттєвий недолік, це великий скачок пускового струму, що в 5-7 разів перевищує номінальне значення. Для усунення цього недоліку застосовують пуск двигунів при зниженій напрузі.

Пуск при зниженій напрузі

Цей вид пуску використовують для АД з КЗ ротором великої потужності, або для двигунів середньої потужності, якщо вони підключені до недостатньо потужних мережах. Здійснити пуск при зниженій напрузі можна наступними способами:

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

1. Підключенням під час пуску до обмотки статора додаткових опорів (активних або реактивних);
2. Застосуванням знижуючого автотрансформатора для підключення двигуна до мережі.

Схеми реакторного та автотрансформаторного способів пуску АД з КЗ ротором приведено на рис.7.2 а) та б).

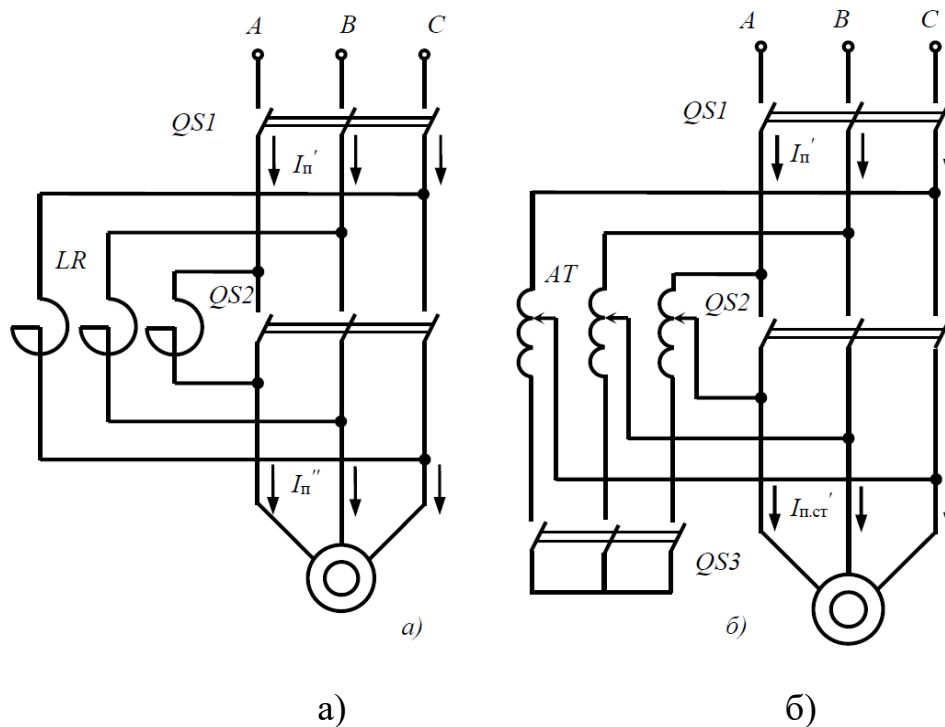


Рис.7.2 - Схеми реакторного а) та автотрансформаторного б) способів пуску АД з КЗ ротором.

3. Зміною схеми з'єднання обмотки статора з робочої схеми «трикутник» на час пуску на схему «зірка»;

Схему пуску перемиканням обмотки статора АД з «зірки» на «трикутник» та графіки зміни струму і моменту представлено на рис. 7.3.

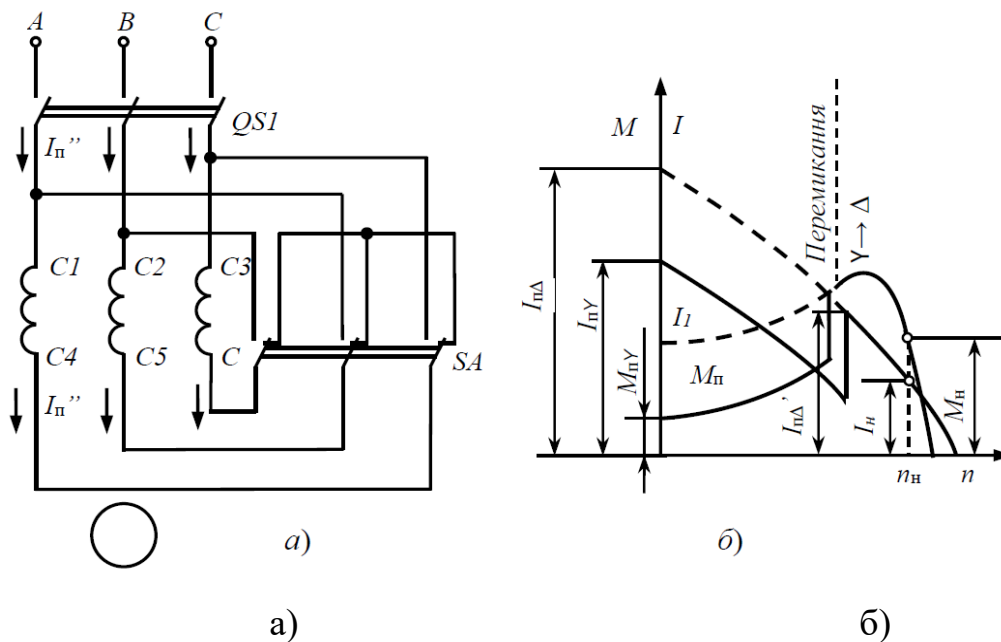


Рис.7.3 - Схема пуску перемиканням обмотки статора АД з «зірки» на «трикутник» а) та графіки зміни струму і моменту б).

4. Реостатний пуск АД з фазним ротором.

Такий пуск може бути здійснений тільки для АД з фазним ротором, коли в процесі розгону змінюється значення додаткового опору $R_{2\text{дод}}$ та повного опору $R_{2\Sigma}$ в роторних колах. Схеми підключення реостатів в силові кола асинхронних двигунів з реостатним керуванням при ступеневій та плавній зміні опору $R_{2\text{дод}}$ наведено на рисунку 7.4.

В схемі реостатного керування (рис.7.4, а)) при ступеневій зміні значення додаткових опорів в колі ротору, розмикання (замикання) контактів $K1, K2, K3$ призводить до введення або виведення ступеней. В такій схемі АД може працювати на природній характеристиці (при замкненому роторі), або на одній з 3-х регульованих характеристик, коли в роторні кола введені опори $R_{2\text{дод}3}$; $R_{2\text{дод}3}+R_{2\text{дод}2}$ та $R_{2\text{дод}2}+R_{2\text{дод}1}$.

В схемі на рис. 7.4, б), зміна додаткового опору в роторному колі виконується плавно. Це досягається за рахунок підключення до контактних кілець ротора некерованого трифазного перетворювача, що періодично шунтує

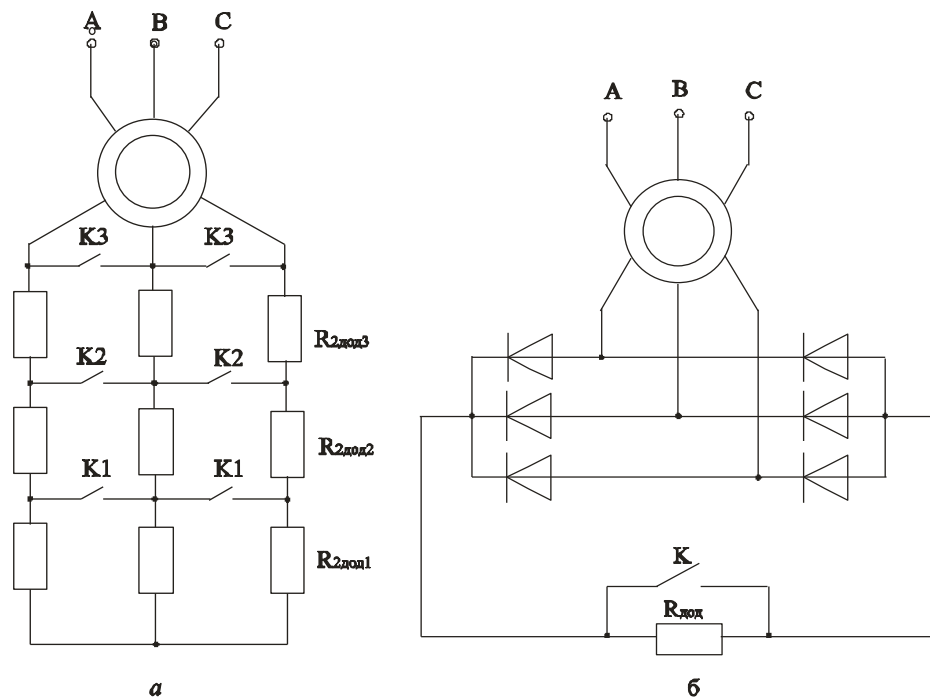


Рис.7.4- Схеми підключення реостатів в силові кола асинхронних двигунів з реостатним керуванням: а) – при ступеневій зміні опору $R_{2\text{доп}}$; б) – при плавній зміні опору $R_{2\text{доп}}$.

силовим напівпровідниковим ключем K постійний додатковий опір $R_{\text{доп}}$. Цей перетворювач виконує функцію широтно-імпульсного перетворювача (ШІП). Частота комутацій ШІП не зв'язана з частотою живлячої мережі та в даній схемі при застосуванні транзисторів досягає 400-600 Гц.

Останнім часом, широко застосовуються пуски АД через тиристорний перетворювач напруги (ТПН) та перетворювач частоти (ПЧ). Розглянемо більш детально ці способи пуску.

7.3 Плавний пуск у системах ПЧ-АД

Важливість заощадження електроенергії поставила завдання використання регульованого напівпровідникового електропривода (РНПЕ) змінного струму. АЕП з частотним регулюванням швидкості надає можливість поряд з економією електроенергії в статичних режимах роботи, здійснювати плавний пуск і гальмування.

При прямому пуску АД з КЗ ротором виникають великі електромагнітні моменти та струми. Кидки електромагнітних моментів викликають небезпечні динамічні навантаження в обмотках двигунів та механічні напруження елементів кінематичного ланцюга електропривода. Тому формування плавних перехідних процесів під час пуску та гальмування дозволяє виключити великі динамічні навантаження, завдяки чому збільшується термін служби електродвигунів та елементів механічних пристроїв. Також, при великій потужності електродвигуна через плавний пуск виключається вплив пікових електричних навантажень на живлячу мережу, що створює більш сприятливий режим роботи інших споживачів електричної енергії.

При плавній зміні частоти напруги статора, ударні моменти, пускові струми, споживання реактивної потужності та втрати потужності можуть бути знижені. Для цього, розглянемо докладніше формування плавного пуску та енергетику АЕП при частотному способі керування пуском. Схему розімкненої системи керування частотнорегульованого асинхронного електропривода наведено на рис. 7.5. В цій схемі прийнято наступні позначення: АД – асинхронний двигун; ПЧ – перетворювач частоти; ЗІ – задавач інтенсивності; ФП – функціональний перетворювач; БВ – блок обчислення відносних значень змінних.

При частотному способі керування дуже важливу роль відіграє вибір закону частотного керування.

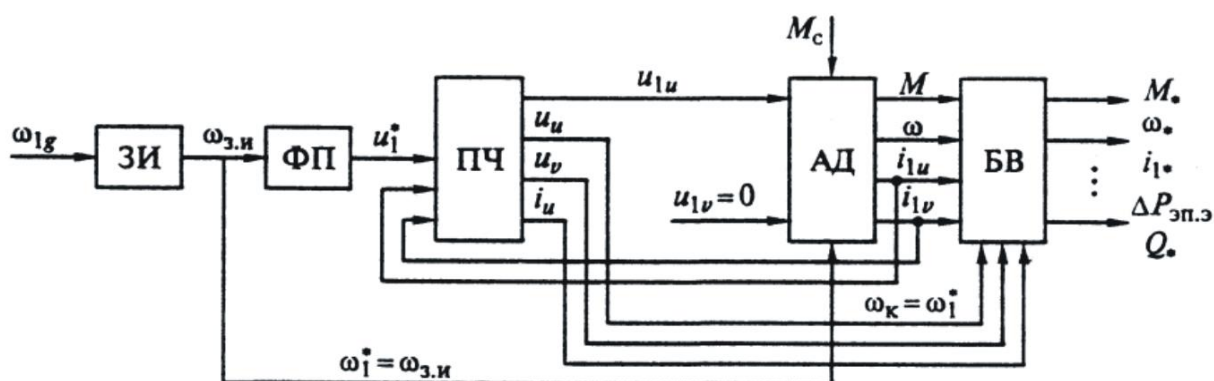


Рис. 7.5 - Схема розімкненої системи керування частотнорегульованого асинхронного електропривода.

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

Дослідимо особливості перехідних процесів (ПП) та енергетичних характеристик при частотному пуску двигуна. Розглянемо електричні втрати у силовій частині та реактивної потужності на вході перетворювача частоти.

При керуванні перехідними процесами частотнорегульованого електропривода з розімкнутою системою керування потрібно вибирати темп зміни частоти ω_1 для одержання плавно протікаючих ПП та зниження енергетичних витрат. У зв'язку із цим становить інтерес дослідження впливу тривалості зміни частоти ω_1 на характер перехідного процесу й енергетичні показники електропривода.

Вираження сумарних електричних втрат у силовій частині привода й споживаної з мережі реактивної потужності мають вид:

$$\Delta P_{EP.E} = \frac{3}{2} u_u i_u - M \omega;$$

$$Q = \frac{3}{2} u_v i_u.$$

На рисунку 7.6 наведено залежності миттєвих значень електромагнітного моменту $M_*(t)$, кутової швидкості $\omega(t)$ та струму статора $i_{1*}(t)$ при прямому пуску двигуна типу 4A112M6, потужністю $P_{ном} = 7,5$ кВт. Для моделювання використовувалися рівняння, що враховують нелінійний характер кривої намагнічування. На рисунку 7.6, а) видно, що залежність $M_*(t)$ має коливальний характер. Значення першого ударного моменту складає $2,74M_{ном}$ при значенні струму статора $5,45I_{ном}$. По мірі розгону двигуна коливання моменту та струму загасають, кутова швидкість ротора АД ω_* наближається до свого сталого значення.

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

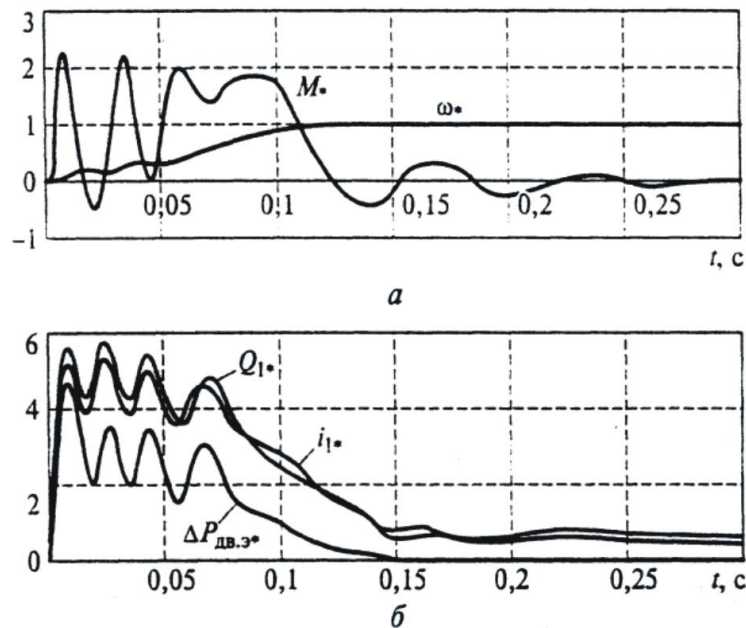


Рис. 7.6 - Перехідні процеси прямого пуску АД з короткозамкненим ротором при $M_{с*}=0,5M_{\text{ном}}$ та $T_{3I}=0,12$ с.

При прямому пуску АД виникають ударні моменти та струми в обмотках статора та ротора, що значно перевищують номінальні. Це викликає додаткові втрати енергії в АД та споживання реактивної потужності при прямому пуску суттєво зростає.

Аналіз процесів, які відбуваються при плавному пуску двигуна, проводився при лінійній зміні частоти $\omega_1 = \omega_{1*}$ у часі, яка задавалася задатчиком інтенсивності. Напруга регулювалася за законом $u_1/\omega_1 = u_{1\text{ном}}/\omega_{1\text{ном}}$, який задавався за допомогою ФП.

На рисунку 7.7 представлено перехідні процеси при плавному пуску двигуна з КЗ ротором для $M_c = 0,5M_{\text{ном}}$ та $T_{3I} = 0,12$ с. Наведено залежності у часі для електромагнітного моменту $M_*(t)$, струму статора $i_{1*}(t)$, кутової швидкості $\omega_*(t)$, реактивної потужності $Q_*(t)$ та електричні втрати у силовій частині $\Delta P_{\text{ЕП.Е}*}(t)$.

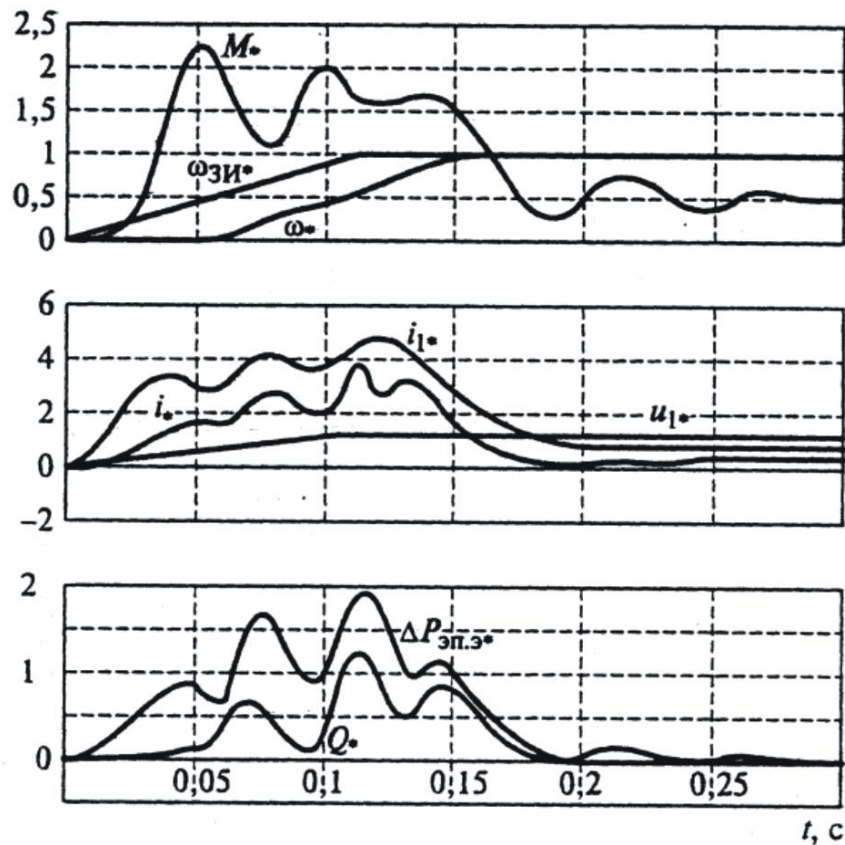


Рис. 7.7 - Перехідні процеси плавного пуску АД з короткозамкненим ротором при $M_{с*}=0,5M_{ном}$ та $T_{ЗІ}=0,12$ с.

Темп задатчика інтенсивності забезпечує певну тривалість перехідного процесу. В даному випадку прийнято $T_{ЗІ} = 0,12$ с, що приблизно дорівнює тривалості прямого пуску.

Порівнюючи основні характеристики перехідних процесів прямого та частотного пусків АД, можна зробити висновок, що при частотному пуску знижується величина ударного моменту та струму статора. Для двигуна типу 4А112М6 максимальне значення дорівнює $2,2M_{ном}$ (проти $2,74 M_{ном}$, при прямому пуску), струм статора склав $4I_{ном}$ (проти $5,45 I_{ном}$ при прямому пуску), число ударних піків зменшилося у 2 рази, таким чином двигун розганяється плавно та досягає усталеної швидкості з меншим перерегулюванням. При плавному пуску зменшуються й енергетичні витрати. Знижуються електричні втрати в двигуні. Максимальне значення миттєвих втрат знизилося в 1,8 рази порівняно з прямим пуском.

Суттєво зменшується споживання з мережі реактивної потужності (в цьому випадку в 11,5 разів) та змінюється характер протікання перехідних процесів по реактивній потужності. Реактивна потужність при прямому пуску збільшується на початковій стадії та спадає тільки по завершенню розгону двигуна, при частотному - наростає повільніше, досягає максимуму у середині перехідного процесу.

З проведеного аналізу слідує, що системи управління електроприводами дозволяють методом підбору темпа задатчика інтенсивності впливати на характеристики перехідних процесів, покращувати енергетичні показники електроприводів.

7.4 Плавний пуск у системах ТПН-АД

Такий пуск здійснюється за допомогою тиристорного перетворювача напруги, який частіше має силову частину, що складається з шести тиристорів, котрі вмикаються попарно зустрічно-паралельно в статорні ланцюги трифазного АД (рис.7.8).

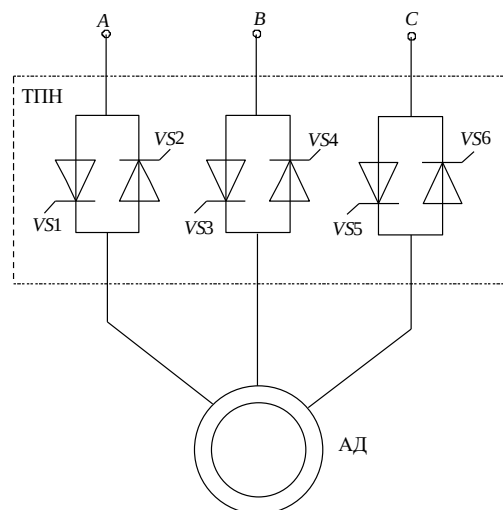


Рис.7.8 - Схема силової структури системи ТПН – АД.

Перетворювач призначений для регулювання 1-ї, або основної, гармоніки живлячої двигун напруги зміною кута відкриття тиристорів α в діапазоні від $\alpha=\varphi$ до $\alpha=180^\circ$. В цьому випадку діюча фазна напруга першої гармоніки змінюється від $U_1=U_{1\text{ном}}$ (де $U_{1\text{ном}}$ – діюча фазна номінальна напруга живлячої

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	64

мережі; φ – кут відставання струму від напруги при синусоїдальному живленні) до $U_1=0$. Частота змінної напруги основної гармоніки залишається незмінною і дорівнює частоті мережі, тобто $f_1=f_{1\text{ном}}$. При такому управлінні синхронна швидкість асинхронного двигуна і граничне ковзання не змінюються, але регулюється момент двигуна $M=f(U_1^2)$.

При прямому пуску АД динамічний чи ударний момент на початку перехідного процесу суттєво перевищує критичний момент на статичній характеристиці і може бути знакозмінним. Це явище негативно впливає на механічну частину електроприводу, може приводити до аварійних ситуацій, зменшує термін експлуатації та надійність виробничих механізмів.

У якості прикладу порівняємо прямий та керований пуск АД 4А 132 М6. Графіки зміни у часі пускових параметрів двигуна наведено на рис. 7.9.

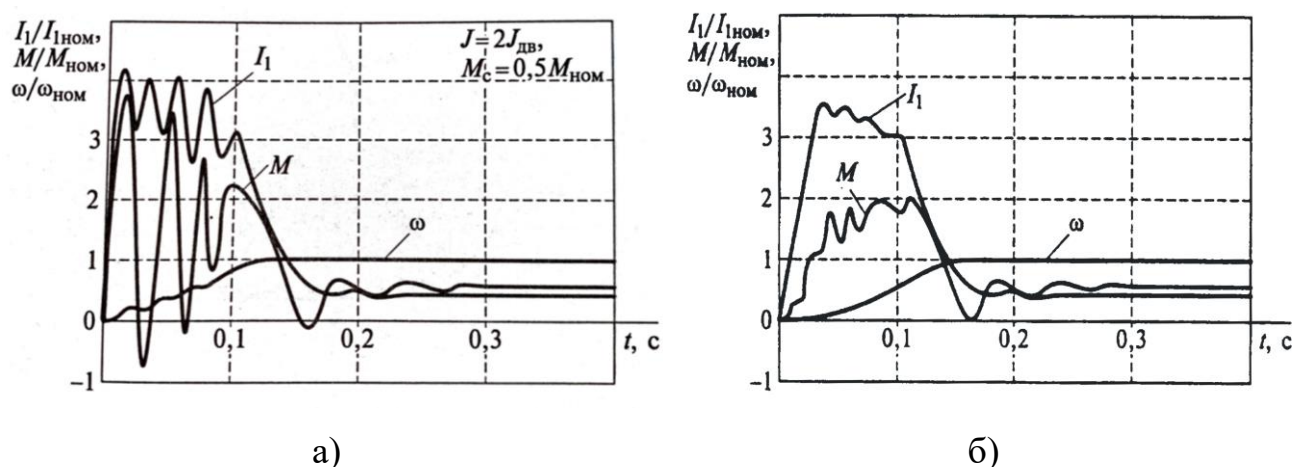


Рис.7.9 - Залежності електромагнітного моменту $M=f(t)$, струму статора $I_1=f(t)$, швидкості $\omega=f(t)$ при $J=2J_{\text{дв}}$, $M_c=0.5M_{\text{ном}}$ АД типу 4А132М6: а) для прямого пуску; б) для плавного пуску з $t_{\text{рег}}=0.05\text{с}$

Спостерігається зниження ударного моменту, він не має від'ємних значень, зменшується пусковий струм. Порівняння графіків на рисунках 7.9 а) та б) підтверджує можливість істотного обмеження ударних моментів і виключення негативних піків моменту при здійсненні управляючого пуску АД з використанням ТПН.

Розглянемо, яким чином змінюються втрати енергії в АД при керованому пуску у порівнянні із втратами енергії при прямому пуску. Для спрощення розрахунків при визначенні $\Delta W_{\text{кер}}$ і $\Delta W_{\text{пп}}$ будемо розглядати головні складові втрат енергії, тобто втрати енергії в міді обмоток ротора та статора.

Відзначимо основні фактори, що впливають на хід електромагнітних перехідних процесів та зумовлюють загасання вільних складових струмів та моментів. До них відносяться:

- час пуску двигуна (час наростання напруги);
- величина моменту інерції;
- момент опору механізму.

Коефіцієнти загасання, які визначають тривалість електромагнітних перехідних процесів, суттєво залежать від швидкості та мають мінімальне значення у зоні низьких швидкостей. Це приводить до затягування тривалості перехідних процесів у цій зоні.

Ударні значення струмів та моментів зв'язані з амплітудним значенням напруги статора двигуна та зменшуються при зниженні U_{a1} . Збільшення статичного та сумарного моментів інерції викликає тривале перебування двигуна у зоні низької швидкості і приводить до значного прояву електромагнітних перехідних процесів, що супроводжується збільшенням коливальності моменту при пуску.

Дуже великий час регулювання напруги під час перехідного процесу викликає затягування пуску, зростання часу перебування АД в зоні більших ковзань та збільшенню втрат у міді статора та ротора, що пропорційні ковзанню. Ці фактори впливають на втрати енергії у випадку керованого пуску та відмінність їх від втрат енергії для прямого пуску.

На рисунку 7.10 наведені втрати енергії для прямого та керованого пусках електродвигуна типу 4A225M4, потужністю $P_{\text{ном}} = 55$ кВт.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

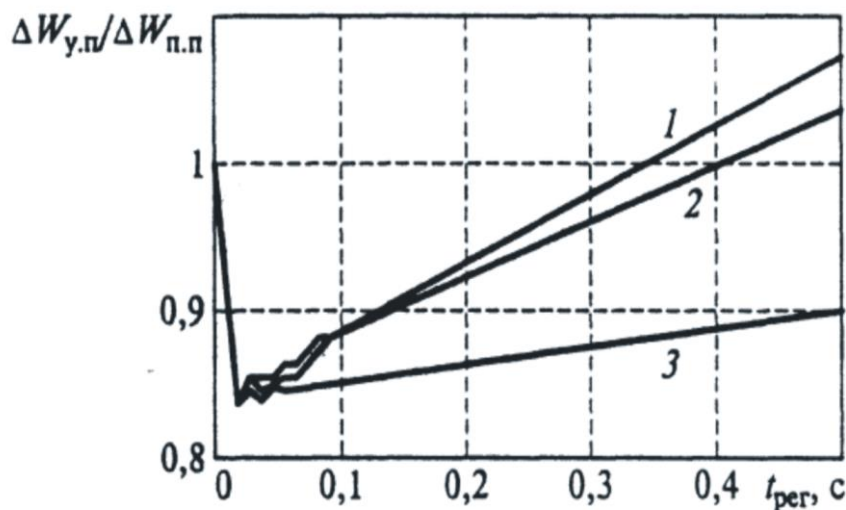


Рис.7.10 - Залежність втрат енергії при керованому пуску $\Delta W_{\text{кер.}}$ по відношенню до втрат енергії при прямому пуску $\Delta W_{\text{п.п.}}$ від часу регулювання $t_{\text{рег}}$ 1-ї гармоніки напруги для АД типу 4A225M4 при $J=J_{\text{дв}}$: 1 – $M_c=M_{\text{ном}}$; 2 – $M_c=0,5 \cdot M_{\text{ном}}$; 3 – $M_c=0,1 \cdot M_{\text{ном}}$

Час пуску визначався, як час першого узгодження швидкості двигуна порівняно зі сталою швидкістю. За час регулювання $t_{\text{рег}}$ напруга, що підводиться до статора АД змінювалася від 0 до $U_{\text{ном1}}$. Розрахунок струмів виконано для повної моделі асинхронного двигуна з урахуванням насичення головного магнітного ланцюга та ефекту витиснення струму ротора.

На рисунку 7.10 чітко спостерігається мінімум втрат енергії при $t_{\text{рег}} = 0,02-0,04$, втрати енергії $\Delta W_{\text{кер}}$ знижуються на 15 % в порівнянні з втратами енергії при прямому пуску $\Delta W_{\text{п.п.}}$. При збільшенні $t_{\text{рег}}$ загальні електричні втрати зростають, що обумовлено збільшенням часу знаходження двигуна при зниженій швидкості. Якщо момент опору збільшується, наростання втрат проходить швидше.

Розглянемо вплив моменту інерції. Його збільшення призводить до зменшення коливань та втрат, які обумовлені коливаннями струму статора. У випадку швидкого темпу зміни напруги, коли повна напруга досягається ще на зниженій швидкості, втрати енергії при керованому пуску, зумовлені ковзанням та практично не змінюються порівняно з втратами енергії при прямому пуску.

Розглянемо втрати енергії при прямому та керованому пусках АД потужністю 55 кВт. Технічну характеристику двигуна представлено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Технічна характеристика двигуна

№	Марка двигуна	$P_{\text{ном,}}$ кВт	p ,	$U_{\text{ном,}}$ В	$\cos \varphi_{\text{ном,}}$ -	$\eta_{\text{ном,}}$ -	$J_{\text{д,}}$ -	$J_{\text{пр.м,}}$ -	R_1 , Ом	R_2' , Ом
1	4A225 M4 У3	55	2	380	0,925	0,9	0,64	2,1	0,027	0,015

Синхронна кутова швидкість:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Сумарний момент інерції для привода:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + J_{\text{пр.м}} = 0,64 + 2,1 = 2,74 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де $J_{\text{д}}$ - момент інерції двигуна;

$J_{\text{пр.м}}$ –приведений момент інерції механізму.

Розраховуємо втрати енергії в статорі та роторі при прямому пуску:

$$\Delta W_{\text{пр}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = \frac{2,74 \cdot 157,08^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{0,027}{0,015}\right) = 94,65 \text{ кВт} \cdot \text{с};$$

при реверсі:

$$\Delta W = 4 \cdot \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 4 \cdot \frac{2,74 \cdot 157,08^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{0,027}{0,015}\right) = 378,599 \text{ кВт} \cdot \text{с.}$$

Розглянемо як впливає тривалість наростання напруги на втрати при керованому пуску АД. З рис.7.10 для двигуна 4A225M4 У3 ($P_{\text{ном}}=55$ кВт) при $J=J_{\text{дв}}$, $M_{\text{с}}=M_{\text{ном}}$ мінімальне відношення втрат енергії при керованому пуску до втрат енергії при прямому пуску $\Delta W_{\text{кер}} / \Delta W_{\text{пр}} = 0,84$ при $t_{\text{рег}} = 0,02$ с.

Зниження втрат енергії при керованому пуску:

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

$$\Delta W_{\text{кер}} = 0,16 \cdot 94,65 = 14,197 \text{ кВт} \cdot \text{с} = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість економії електроенергії (при кількості циклів за годину роботи $z=14$ та кількості годин роботи на рік $T=4500$ год) складе:

$$C = C_0 \cdot \Delta W_{\text{кер}} \cdot z \cdot T = 6,56 \cdot 4,21 \cdot 10^{-3} \cdot 14 \cdot 4500 = 1739,91 \text{ грн.}$$

Економія зовсім незначна, але вона отримується без додаткових вкладень, оскільки ТПН встановлений для регулювання швидкості обертання і надає додаткові можливості при пуску АД.

Якщо тривалість наростання напруги буде збільшена, наприклад $t_{\text{рег}} = 0,13$ с, відношення $\Delta W_{\text{кер}} / \Delta W_{\text{пр}} = 1$ (рис.7.10) і втрати прямого та керованого пуску рівні. При збільшенні часу пуску втрати при керованому пуску будуть перевищувати втрати при прямому пуску.

Ефект зниження пускових втрат енергії проявляється більше при зниженому моменті опору і для більш потужних машин при умові правильного вибору довжини наростання напруги.

Проводячи аналіз можливостей заощадження електроенергії при керованому пуску електродвигуна, можна виділити основні моменти:

- при оптимальній тривалості наростання напруги, пускові втрати можна знизити на (10-15) % у порівнянні з прямим пуском;
- оптимальна тривалість наростання напруги складає 0,02-0,04 с;
- більше заощадження можна отримати для двигунів середньої та великої потужності, при меншому моменті опору;
- якщо тривалість напруги необґрунтовано збільшується, пускові втрати енергії при керованому пуску можуть перевищити втрати прямого пуску.

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

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційної роботі виконана розробка система електропостачання м'ясопереробного комплексу.

Розраховано повне розрахункове навантаження комплексу, яке становить $S_p = 1,632$ МВА. За графіками електричних навантажень визначені показники $T_m = 4390,59$ год., $\tau = 2777,23$ год. По картограмі електричних навантажень визначено ЦЕН з координатами $x = 92,39$ м, $y = 62,83$ м.

Зовнішнє електропостачання комплексу здійснюється на напрузі 10 кВ, кабельними лініями 2хААШв-10(3х50), КТП-1 та КТП-2 живляться від ЦРП КЛ перерізом 35 мм². Вибрана схема живлення СП виробничого корпусу, при техніко-економічному порівнянні різниця між радіальною та змішаною схемами склала 3,5%, остаточно прийнята радіальна схема.

Виконано розрахунок балансу РП комплексу, на напрузі 10 кВ потужність БСК становить 450 квар, на напрузі 0,4 кВ – 800 квар.

В комплексі встановлено дві цехові КТП- 630/10/0,4 з використанням трансформаторів ТМГФ.

Після розрахунку струмів КЗ вибрано високовольтне обладнання: вимикачі ВР1-20, комплектні розподільчі пристрої КУ-10, трансформатори власних потреб ТМ-25/10, обмежувачі перенапруги ОПН-10.

Спеціальний розділ присвячений актуальному питанню заощадження електроенергії, в цьому випадку, при пуску асинхронних двигунів. Проаналізовано основні показники пуску, пускові схеми та характеристики.

Більша увага приділена сучасним керованим способам пуску від тиристорних перетворювачів напруги та перетворювачів частоти.

Показано, що за рахунок плавного пуску АД від ТПН можливо заощадити електроенергію при виконанні певних умов. Факторами, що впливають на споживання електроенергії в процесі пуску є: час пуску двигуна, час наростання напруги, величина моменту інерції, момент опору механізму.

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

Для асинхронного двигуна 4A225M4 У3 потужністю $P_{\text{ном}}=55$ кВт, заощадження електроенергії склало 1,739 тис.грн на рік, при умові: $J=J_{\text{дв}}$, $M_{\text{с}}=M_{\text{ном}}$, $t_{\text{рег}} = 0,02\text{с}$. Кратність пускового струму при прямому пуску – 4,2, при керованому – 3,4.

При збільшенні тривалості наростання напруги вище ніж $t_{\text{рег}} = 0,13$ с, втрати прямого та керованого пуску рівні. Надалі втрати при керованому пуску будуть перевищувати втрати при прямому пуску.

Заощадження електроенергії при пуску отримується без додаткових вкладень, оскільки ТПН встановлений для регулювання швидкості обертання і надає додаткові можливості при пуску АД.

Таким чином, запропонована система електропостачання м'ясопереробного комплексу відповідає вимогам надійності, безпеки обслуговування та економічності.

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

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок., видання третє, перероблене і доповнене. Мінпаливенерго 2010 р. -736 с.
2. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування.- Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2007.
3. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плешков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В.] ;– Харків: ТОВ «Цифра Принт», 2018.– 242с.
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів / Державний нормативний акт про охорону праці, Київ 1998.
5. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А.І., Величко Т.В., Плешков С.П.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т.- Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2021.-209 с.
6. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, В.Ф. Ткаченко, К.Г. Петрова]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
8. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95с.

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

9. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. - К:Кондор, 2005. - 408 с.
10. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Методи та засоби енергозбереження в електротехнічних комплексах» для аспірантів очної форми навчання зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» третього (освітньо-наукового) рівня / [уклад. В.О.Огарь, Ю.О.Алексєєва]. – Кременчук, 2019.- 65 с.
11. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
12. Яцун М.А. Електричні машини: Навч. посібник- Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004.-440с.
13. Загірняк М.В. Електричні машини: підручник / М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К.: Знання, 2009. – 399 с.
14. Електричні машини і трансформатори /підручник за заг. ред. В. І. Мілих. – Х.: ХПІ, 2017. –452 с.
15. Електричні машини: Асинхронні машини: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з навч. дисц. «Електричні машини» для студ. 3 курсу ден. та 4 курсу заочн. форми навч. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / [уклад.: Н. Ю. Гарасьова, О. А. Козловський]. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 46 с.

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