

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 ПЛЕСКОВ
“__” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Розроблення системи електропостачання заводу з
виробництва молокопродуктів**

Development of a power supply for a dairy plant

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ21-Зск
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____О. Гордієнко
«__» _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук

_____Р Телюта
«__» _____ 2024 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2024 р.

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

Гордієнку Олександру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва молокопродуктів
Development of a power supply system for a dairy plant

2. Керівник роботи

Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 12.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання заводу з виготовлення техніки сільськогосподарського призначення. Завдання: дати коротку характеристику електротехнологічного процесу заводу. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень заводу з переробки насіннєвого продукту. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Режими реактивної потужності системи електропостачання. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	<i>8.05.24</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>9.05.24</i>	
3	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>10.05.24</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>15.05.24</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>	<i>18.05.24</i>	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i>	<i>22.05.24</i>	
7	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>25.05.24</i>	
8	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>29.05.24</i>	
9	<i>Вибір обладнання електропостачання</i>	<i>31.05.24</i>	
10	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>5.06.24</i>	
11	<i>Висновки</i>	<i>10.06.24</i>	
12	<i>Список літератури</i>	<i>10.06.24</i>	
13	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>11.06.24</i>	
14	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>12.06.24</i>	

Дата видачі завдання «___» _____ 20__ р.

Підпис керівника _____ Р. Телюта

Завдання прийнято до виконання «___» _____ 20__ р.

Підпис здобувача _____ О. Гордієнко

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 76 с.; 16 рис.; 30 табл.; 12 джерел

Гордієнко О.М. Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва молокопродуктів. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Бакалаврська робота спрямована на розробку сучасної системи електропостачання заводу з виробництва молокопродуктів, що відповідає вимогам економічності та надійності. Для цього виконані техніко-економічні розрахунки: електричних навантажень, режимів реактивної потужності та струмів коротких замикань. Проведено вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання станції, а також трансформаторних підстанцій, конденсаторних установок, струмопроводів і високовольтного обладнання. Зокрема, було враховано використання енергоефективних технологій і сучасних методів управління енергоспоживанням, що допомагають знизити енергетичні втрати і підвищити загальну ефективність системи.

Застосування спільної роботи теплового та електричного двигунів на загальному валу дозволяє зменшити витрати дизельного палива у мобільному агрегаті. Батарея іоністорів забезпечує електроживлення для дизель-електричного пристрою збереження палива. Аналіз залежностей моменту, який розвиває електродвигун при різних напругах живлення у функції кутової швидкості, показує, що енергію, накопичену в іоністорах, можна майже повністю використовувати залежно від кутової швидкості обертання валу.

Ключові слова: електричні навантаження, реактивна потужність, електричне обладнання, тепловий та електричний двигун, блок іоністорів, дизель-електричний пристрій збереження палива.

ABSTRACT

Qualification work: 65 p.; 20 Fig.; 12 tables; 19 sources

Gordienko O.M.. Development of the power supply system for the milk products production plant. – Manuscript.

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

The bachelor's work is aimed at the development of a modern power supply system for a dairy plant that meets the requirements of economy and reliability. For this, technical and economic calculations were made: electrical loads, reactive power modes and short-circuit currents. The selection of external and internal power supply schemes of the station, as well as transformer substations, capacitor units, power lines and high-voltage equipment was made. In particular, the use of energy-efficient technologies and modern methods of energy consumption management were taken into account, which help to reduce energy losses and increase the overall efficiency of the system.

The use of joint work of thermal and electric engines on the common shaft allows to reduce the consumption of diesel fuel in the mobile unit. The ionistor battery provides power for the diesel-electric fuel storage device. Analysis of the dependences of the torque developed by the electric motor at different supply voltages as a function of the angular speed shows that the energy stored in the ionistors can be almost completely used depending on the angular speed of the shaft rotation.

Key words: electrical loads, reactive power, electrical equipment, heat and electric engine, block of ionistors, diesel-electric fuel saving device.

Зміст

	Стор.
Вступ.....	8
1. Електричні навантаження молокопродуктового заводу	9
1.1 Визначення електронавантажень молокопродуктового заводу в електромережах до 1000 В	9
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень молокопродуктового заводу.....	12
1.3 Розрахунок електронавантажень молокопродуктового заводу в електромережах вище 1000 В	13
1.4 Графіки електричних навантажень молокопродуктового заводу	20
2. Побудова картограми електричних навантажень молокопродуктового заводу.....	25
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання молокопродуктового заводу.....	27
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання молокопродуктового заводу.....	27
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання молокопродуктового заводу.....	32
4. Режими реактивної потужності системи електропостачання молокопродуктового заводу	33
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності на молокопродуктовому заводі.....	33
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на молокопродуктовому заводі.....	32
5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на молокопродуктовому заводі.....	39

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розроблення системи електропостачання заводу з виробництва молокопродуктів					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розробив		Гордієнко О.М.											6	76
Перевірів		Телюта Р.В.												
Н. Контр.														
Затвердив		Плєшков П.Г.								ЦНТУ гр. ЕЕ21-Зск				

6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання молокопродуктового заводу та силових електромереж системи постачання.....	40
6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в електросистемі живлення заводу.....	41
6.2. Вибір високовольтних кабелів для молокопродуктового заводу	47
6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги для молоко- продуктового заводу	49
6.4. Вибір трансформаторів струму і напруги для молокопродуктового заводу.....	55
7. Спеціальний розділ. Дизель-електричний пристрій збереження палива у мобільних агрегатах.	59
7.1. Загальні положення, актуальність, задачі.....	59
7.2 Теоретичні розрахунки	61
7.3 Впровадження і розрахунок електричних схем керування.....	67
7.4. Економічні показники.....	71
7.5 Висновки	73
Висновки	74
Список використаних джерел	75

Вступ

Молочні заводи розташовані по всій Україні завдяки наявності відповідної сировинної бази (молочно-товарні ферми та комплекси). Протягом десятиріч вживання молочних продуктів в країні було традиційно високим. Особливості цих продуктів потребують стабільного розвитку виробництва і збуту, безперебійного функціонування переробних підприємств молочної та молочно-м'ясної промисловості.

Сучасна стратегія соціально-економічного розвитку України передбачає розширення агропромислового потенціалу країни, особливо в області м'ясної і молочної продукції та кормової бази. Молочна галузь, яка включає маслوبيйні, сиробийні, консервні підгалузі та виробництво продуктів з незбираного молока, на сучасному етапі є однією з ключових у структурі харчової індустрії України.

Для молочної промисловості характерним є одночасне використання електричної та теплової енергії. Електроенергію отримують від мережі енергопостачальних компаній, а теплову енергію виробляють власними котельнями. Наразі відсутня конкуренція між генеруючими та розподільними компаніями, що призводить до відсутності стимулу до зниження витрат на виробництво, транспортування та постачання електроенергії кінцевому споживачеві.

У 2021-22 році споживачами електричної енергії України було використано в межах 15000-16000 млн.кВт·год, з них - потреба харчової промисловості склала в межах 5000 млн. кВт·год.

Споживання електроенергії різниться серед різних підприємств і залежить від асортименту продукції, завантаженості виробництва, ефективності обладнання та його технічного рівня. У виробничих витратах молочних заводів в Україні витрати на енергоресурси становлять 10-12%, в країнах-членах Європейського союзу - лише 2-3%.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. Електричні навантаження молокопродуктового заводу

Для аналізу електричних навантажень на обладнання молокопродуктового заводу можна використовувати навчальні ресурси, які використовувалися під час виконання кваліфікаційного проекту [1]. Цей підхід дозволяє враховувати різноманітні об'єкти, умови та потреби споживачів цього заводу.

1.1 Визначення електронавантажень молокопродуктового заводу в електромережах до 1000 В

Середнє навантаження споживачів молокопродуктового заводу та їх потужність становить:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_{\text{и}} = 304 \cdot 0,693 = 210,79 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi = 210,79 \cdot 0,55 = 115,49 \text{ кВар}.$$

Ефективне кількість ел.приймачів по цукровому заводу

$$n_{\text{е}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 304}{12} = 51$$

Знаходимо коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{\text{н. max}}}{P_{\text{н. min}}} = \frac{12}{0,3} = 40$$

Коефіцієнт $K_{\text{м}}$ знаходимо за даними [1] і буде становити $K_{\text{м}} = 1,08$.

Розрахункове навантаження (активне та реактивне) $P_{\text{р}}$ і $Q_{\text{р}}$

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} K_{\text{м}} = 210,79 \cdot 1,08 = 227,65 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 115,49 \text{ кВар}.$$

Розрахункове значення максимум навантаження по об'єкту

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{227,65^2 + 115,49^2} = 255,94 \text{ кВА}$$

Розрахунок існуючих навантажень до 1000 В приведені в таблиці 1.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Таблиця 1.1. - Розрахунок ел навантажень до 1 кВ цеху молока

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		P _{сум} кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		n _{еф}	K _м	Розрахункова потужність,кВт		
			мін	мах.						P _{ср}	Q _{ср}			P _p	Q _p	S _p
1.	Цех молока. Насос	36	0,6	10,0	127,5	16,7	0,6	0,8	0,75	76,5	57,37	26	1,16	89,06	57,37	105,94
2.	Охолоджувач молока	4	1,5	1,5	6	1,0	0,6	0,7	1,02	3,6	3,67	4	1,53	5,5	4,04	6,82
3.	Сепаратор для молока	5	4,5	7,5	25,5	1,7	0,6	0,8	0,75	15,3	11,48	5	1,45	22,18	12,63	25,52
4.	Перемішувач молока	17	0,6	1,5	17,5	2,5	0,6	0,7	1,02	10,5	10,71	17	1,21	12,7	10,71	16,61
5.	Повітряна завіса	4	2,2	2,2	8,8	1,0	0,8	0,8	0,75	7,04	5,28	4	1	7,04	5,81	9,13
6.	Рециркуляційний агрегат	2	0,4	0,4	0,8	1,0	0,8	0,8	0,75	0,64	0,48	2	1	0,64	0,53	0,83
7.	Привод воріт	2	0,4	0,4	0,8	1,0	0,1	0,5	1,73	0,08	0,14	2	5,38	0,43	0,15	0,46
8.	Витяжна шафа	1	2,4	2,4	2,4	1,0	0,8	0,8	0,75	1,92	1,44	1	1	1,92	1,58	2,49
9.	Холодильник молока	4	0,6	0,6	2,4	1,0	0,6	0,8	0,75	1,44	1,08	4	1,53	2,2	1,19	2,5
10.	Центрифуга	4	0,6	0,6	2,4	1,0	0,6	0,8	0,75	1,44	1,08	4	1,53	2,2	1,19	2,5
11.	Автоклав температурний	1	12,0	12,0	12	1,0	0,9	1,0	0,0	10,8	0,0	1	1	10,8	0	10,8
12.	Термостат електричний	2	0,75	0,75	1,5	1,0	0,9	1,0	0,0	1,35	0,0	2	1	1,35	0	1,35
13.	Нагрівач електричний	9	0,75	12,0	55,35	16,0	0,9	1,0	0,0	49,82	0,0	9	1	49,82	0	49,82
14.	Формувальний апарат	2	1,0	1,0	2	1,0	0,1	0,5	1,73	0,2	0,35	2	5,38	1,08	0,39	1,15
15.	Вентилятор осьовий	19	1,1	4	36,4	3,6	0,8	0,8	0,75	29,12	21,84	18	1	29,12	21,84	36,4
16.	Парафінер	1	0,3	0,3	0,3	1,0	0,9	1,0	0,0	0,27	0,0	1	1	0,27	0	0,27
17.	Таль електрична	2	1,25	1,25	1,25	1,0	0,1	0,5	1,73	0,12	0,21	2	5,38	0,65	0,23	0,69
18.	Мийка обладнання	2	1,1	1,1	1,1	1,0	0,6	0,8	0,75	0,66	0,49	2	1,96	1,3	0,54	1,41
	Всього	117	0,3	12,0	304	40	0,693	0,877	0,55	210,8	115,62	51	1,08	227,81	115,62	255,47

Таблиця 1.1. - Розрахунок ел.навантажень до 1 кВ молокопродуктового заводу

№	Назва об'єктів та електроприймачів	Кільк. ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		Р _{сум} кВт	m	К _в	cosφ	tgφ	Середнє змінне навантаження, кВт		η _{еф}	К _м	Розрахункова встановлена потужність, кВт		
			мін	мах.						Р _{ср}	Q _{ср}			Р _p	Q _p	S _p
			1.	Масляний цех	167	0,3	16,01	649,2	53,3	0,69	0,827	0,68	447,95	304,52	81	1,06
2.	Молочний цех	117	0,3	12,01	304	40	0,693	0,877	0,55	210,79	115,49	51	1,08	227,8	115,49	255,4
3.	Йогуртний цех	113	1,1	7,5	683,2	6,8	0,618	0,75	0,88	422,22	372,36	113	1,07	450,98	372,36	584,84
4.	Сирний цех	146	0,3	16 ,01	578,4	53,3	0,681	0,91	0,46	393,89	179,46	72	1,07	421,49	179,46	458,1
5.	Майстерня обладнання	19	3	7,5	112	2,5	0,34	0,55	1,52	38,08	57,82	19	1,38	52,65	57,82	78,2
6.	Цех молочних сумішей	104	1	25,01	505,4	25	0,75	0,684	1,07	379,05	404,25	40	1,07	405,06	404,25	572,27
7.	Гараж автотракторний	25	1,5	10,01	145	6,7	0,35	0,687	1,06	50,75	53,61	25	1,32	66,91	53,61	85,74
8.	Склад обладнання	10	0,5	10,01	24,5	20	0,1	0,8	0,75	2,45	1,84	5	3,04	7,45	2,02	7,72
9.	Котельня опалювальна	25	2,2	250	1297	113,6	0,78	0,73	0,94	1011,66	947,15	10	1,12	1133,61	1041,86	1539,66
10.	Ремонтна діляниця	51	0,3	100	459,3	333,3	0,24	0,667	1,12	110,23	123,13	9	1,78	196,75	135,44	238,86
11.	Цех плавлених сирків	113	1,1	7,5	683,2	6,8	0,618	0,75	0,88	422,22	372,36	113	1,07	450,98	372,36	584,84
12.	Насосна станція	9	10	100	472	10	0,8	0,8	0,75	377,6	283,2	9	1	377,6	311,52	489,52
.	Всього	899	0,3	250	5913,2	833,3	0,653	0,769	0,83	3866,89	3215,19	47	1,1	4247,99	3215,19	5327,56

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу

Розрахунок освітлювальних навантажень по молокопродуктового заводу виконується згідно методики [1].

Результати розрахунків освітлювальних навантажень зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2-Розрахунок освітлювальних навантажень по приміщеннях.

№ п/ п	Найменування приміщення заводу	F , m^2	P_o , $Вт/m^2$	P_v , $кВт$	$\cos \varphi$	K_1	K_c	$tg\varphi$	Розрахункове навантаження приміщення		
									P_p , $кВт$	Q_p , $квар$	S_p , $кВА$
1.	Масляний цех	1670	16,0	26,72	0,95	1,2	0,9	0,484	30,46	14,74	33,84
2.	Молочний цех	3650	16 ,0	58,4	0,95	1,2	0,9	0,484	66,58	32,22	73,97
3.	Йогуртний цех	6720	16,0	107,5	0,95	1,2	0,9	0,484	122,5	59,32	136,1
4.	Сирний цех	4570	16 ,0	73,12	0,95	1,2	0,9	0,484	83,36	40,35	92,61
5.	Майстерня обладнання	650,0	15,0	9,75	0,95	1,2	0,9	0,484	11,11	5,38	12,34
6.	Цех молочних сумішей	4040	16 ,0	64,64	0,95	1,2	0,9	0,484	73,69	35,67	81,87
7.	Гараж автотракт	670,0	14,0	9,38	0,95	1,2	0,9	0,484	10,69	5,17	11,87
8.	Склад обладнання	2720	6 ,0	16,32	0,6	1,2	0,9	0,484	11,75	5,69	13,06
9.	Котельня	1540	12,0	18,48	0,95	1,2	0,9	0,484	21,07	10,2	23,41
10.	Ремонтна дільниця	1160	15,0	17,4	0,95	1,2	0,9	0,484	19,84	9,6	22,04
11.	Адміністративна будівля	940,0	18,0	16,92	0,8	1,2	0,9	0,484	16,24	7,86	18,04
12.	Цех плавлених сирків	6810	16,0	108,9	0,95	1,2	0,9	0,484	124,2	60,12	137,9
13.	Насосна станція	195,0	12,0	2,34	0,95	1,2	0,9	0,484	2,67	1,29	2,97
14.	Територія всього заводу	48750	0,1	4,87	0,6	1,12	0,5	1,732	3,27	5,66	6,54
.	Всього			534,8					597,5	293,2	665,6

1.3 Розрахунок електронавантажень молокопродуктового заводу в електромережах вище 1000 В

Розрахунок електричного навантаження молокопродуктового заводу в електромережах з напругою вище 1000 В вимагає особливої уваги. Для цього використовується методика, описана у відповідній літературі [1], що базується на використанні коефіцієнта розрахункової потужності.

Важливо зауважити, що цей підхід є стандартним у галузі електротехніки, і його ефективність була підтверджена численними дослідженнями. Такий підхід дозволяє точно визначити необхідні потужності та забезпечити надійну роботу електромереж.

Результати розрахунку електричного навантаження молокопродуктового заводу в електромережах з напругою вище 1000 В зведено в таблицю 1.3.

						Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3-Розрахунок електричних навантажень, по цукровому заводу, вище 1000 В

Найменування	Кіль-сть ел.спож	Встановлена потужність, кВт			m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Одного		Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		мін	мак												
ТП 1															
Цех масла															
силове:	167	0,3	16 ,01	649,2	53,3	0,69	0,83	0,68	447,95	304,52	81,0	1,06	476,27	304,52	565,3
освітлювальне:									26,27				30,46	14,74	
Всього:									474,22	304,52			506,73	319,26	598,92
Цех молока															
силове:	117	0,3	12 ,0	304	40,0	0,69	0,88	0,55	210,79	115,49	51,0	1,08	227,8	115,49	255,4
освітлювальне:									58,4				66,58	32,22	
Всього:									269,19	115,49			294,38	147,71	329,36
Цех йогурту															
силове:	113	1,1	7,5	683,2	6,8	0,62	0,75	0,88	422,22	372,36	113,0	1,07	450,98	372,36	584,84
освітлювальне:									107,52				122,57	59,32	
Всього:									529,74	372,36			573,55	431,68	717,85
Всього по ТП 1:															
силове:	397	0,3	16,01	1636,4	53,3	0,66	0,81	0,73	1080,96	792,37	205,0	1,0	1080,96	792,37	1340,27
освітлювальне:									192,19				219,61	106,28	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1:									1273,15	792,37			1300,57	898,65	1580,84
Втрати в трансформаторах:													18,64	96,72	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,79															

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

продовження таблиці 1.3

Найменування споживачів	Кіль-сть ел.спож	Встановлена потужність, кВт			m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Одного		Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , МВА
		мін	мак												
Всього на шинах 10 кВ ТП 1:													1319,21	995,37	1652,6
ТП 3															
Цех сиру															
силове:	146	0,3	16	578,4	53,3	0,68	0,91	0,46	393,89	179,46	72	1,07	421,49	179,46	458,1
освітлювальне:									73,12				83,36	40,35	
Всього:									467,01	179,46			504,85	219,81	550,63
Майстерня															
силове:	19	3	7,5	112	2,5	0,34	0,55	1,52	38,08	57,82	19	1,38	52,65	57,82	78,2
освітлювальне:									9,75				11,11	5,38	
Всього:									47,83	57,82			63,76	63,2	89,78
Територія заводу															
освітлювальне:									4,87				3,27	5,66	
Всього:									4,87	0			3,27	5,66	6,54
Всього по ТП 3:															
силове:	165	0,3	16	690,4	53,3	0,63	0,88	0,55	431,97	237,28	86	1,08	465,39	237,28	522,39
освітлювальне:									87,74				97,74	51,39	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 3:									519,71	237,28			563,13	288,67	632,81
Втрати в трансформаторах:													6,85	36,02	
Кількість трансформаторів: 1															
Номін. потужність, кВА: 1000															

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

15

Арк.

продовження таблиці 1.3

Найменування споживачів	Кіль- сть ел.спож	Встановлена потужність, кВт			m	K _В	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Одного		Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		мін	мак												
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,63													569,98	324,69	655,98
Всього на шинах 10 кВ ТП 3:															
ТП 2															
Котельня															
силове:	25	2,2	250	1297	113,6	0,78	0,73	0,94	1011,66	947,15	10	1,12	1133,61	1041,86	1539,66
освітлювальне:									18,48				21,07	10,2	
Всього:															
Всього по ТП 2:															
силове:	25	2,2	250	1297	113,6	0,78	0,73	0,94	1011,66	947,15	10	1,12	1133,61	1041,86	1539,66
освітлювальне:									18,48				21,07	10,2	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 2:									1030,14	947,15			1154,68	1052,06	1562,09
Втрати в трансформаторах:													18,32	95,1	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,78															
Всього на шинах 10 кВ ТП 2:													1173	1147,16	1640,71
ТП 4															

[illegible]

продовження таблиці 1.3

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Одного		Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 4:													593,66	411,93	722,58
ТП 5															
Ремонтна майстерня															
силове:	51	0,6	29,5	459,5	49,2	0,24	0,67	1,12	110,28	123,19	31	1,38	152,12	123,19	195,75
освітлювальне:									17,4				19,84	9,6	
Всього:									127,68	123,19			171,96	132,79	217,26
Цех плавлених сирків															
силове:	113	1,1	7,5	683,2	6,8	0,75	0,88	0,53	512,4	273,91	113	1,04	532,08	273,91	598,44
освітлювальне:									108,96				124,21	60,12	
Всього:									621,36	273,91			656,29	334,03	736,41
Насосна станція															
силове:	9	10	100	472	10	0,8	0,8	0,75	377,6	283,2	9	1	377,6	311,52	489,52
освітлювальне:									2,34				2,67	1,29	
Всього:									379,94	283,2			380,27	312,81	492,4
Всього по ТП 5:															
силове:	173	0,6	100	1614,7	166,7	0,62	0,83	0,68	1000,28	680,3	32	1,14	1137,74	680,3	1325,62
освітлювальне:									128,7				146,72	71,01	

продовження таблиці 1.3

Всього на шинах 0.4 кВ ТП 5:									1128,98	680,3			1284,46	751,31	1488,05
Втрати в трансформаторах:													17,08	88,89	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: $K_z = 0,74$															
Всього на шинах 10 кВ ТП 5:													1301,54	840,2	1549,18
Всього по об'єкту															
силове:	899	0,3	250	5913,4	833,3	0,67	0,8	0,75	3957,12	2974,17	47	1,09	4325,85	2974,17	5249,63
освітлювальне:									534,37				597,51	293,27	
Всього:									4491,49	2974,17			4923,36	3267,44	5908,95
Втрати в трансформаторах:													68,64	357,22	
Всього по об'єкту:													4992	3624,66	6169,14
Всього по об'єкту 10 кВ:													4992	3624,66	6169,14
$\text{tg}\phi = 0,73$															
Попереднє значення $Q'_{\text{кп}}$														-2875,9	
Всього з урахуванням попередн. комп.													4992	748,8	5047,85

1.4 Графіки електричних навантажень молокопродуктового заводу

У даному підрозділі було розраховано параметри графіків електр. навант. Розрахунки були виконані згідно методики [1].

Результати розрахунків зведено в табл. 1.4 - 1.6 а також наведені на рис. 1.1 - 1.5.

Таблиця 1.4.-Вихідні дані граф електр. навант. молокопродуктового заводу

Доба, години	Робочий період цукрового заводу		Вихідний період цукрового заводу	
	Р,кВт	Q, квар	Р,кВт	Q, квар
1	45,0	42,0	38,0	60,0
2	45,0	42,0	38,0	60,0
3	45,0	42,0	38,0	60,0
4	45,0	42,0	38,0	60,0
5	50,0	45,0	38,0	60,0
6	50,0	45,0	38,0	60,0
7	80,0	65,0	38,0	60,0
8	90,0	75,0	38,0	60,0
9	100,0	100,0	27,0	50,0
10	100,0	100,0	27,0	50,0
11	90,0	75,0	27,0	50,0
12	80,0	65,0	27,0	50,0
13	90,0	75,0	27,0	50,0
14	90,0	75,0	27,0	50,0
15	100,0	80,0	27,0	50,0
16	100,0	80,0	27,0	50,0
17	90,0	75,0	27,0	50,0
18	80,0	65,0	38,0	60,0
19	60,0	50,0	38,0	60,0
20	60,0	50,0	38,0	60,0
21	50,0	45,0	38,0	60,0
22	50,0	45,0	38,0	60,0
23	50,0	45,0	38,0	60,0
24	45,0	42,0	38,0	60,0

МОЛОКОПРОДУКТОВОМУ ЗАВОДУ

						Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

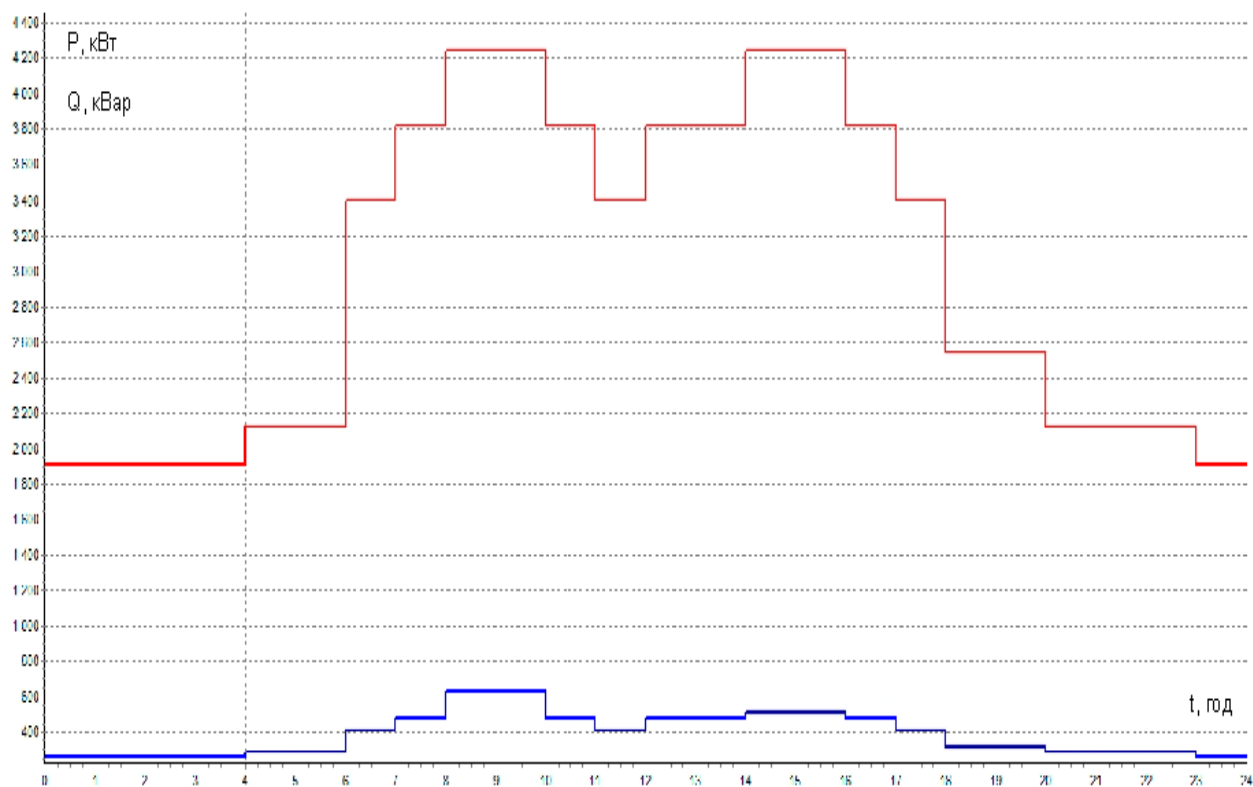


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік молокопродуктового заводу, для літніх робочих днів, активного P та реактивного Q навантажень

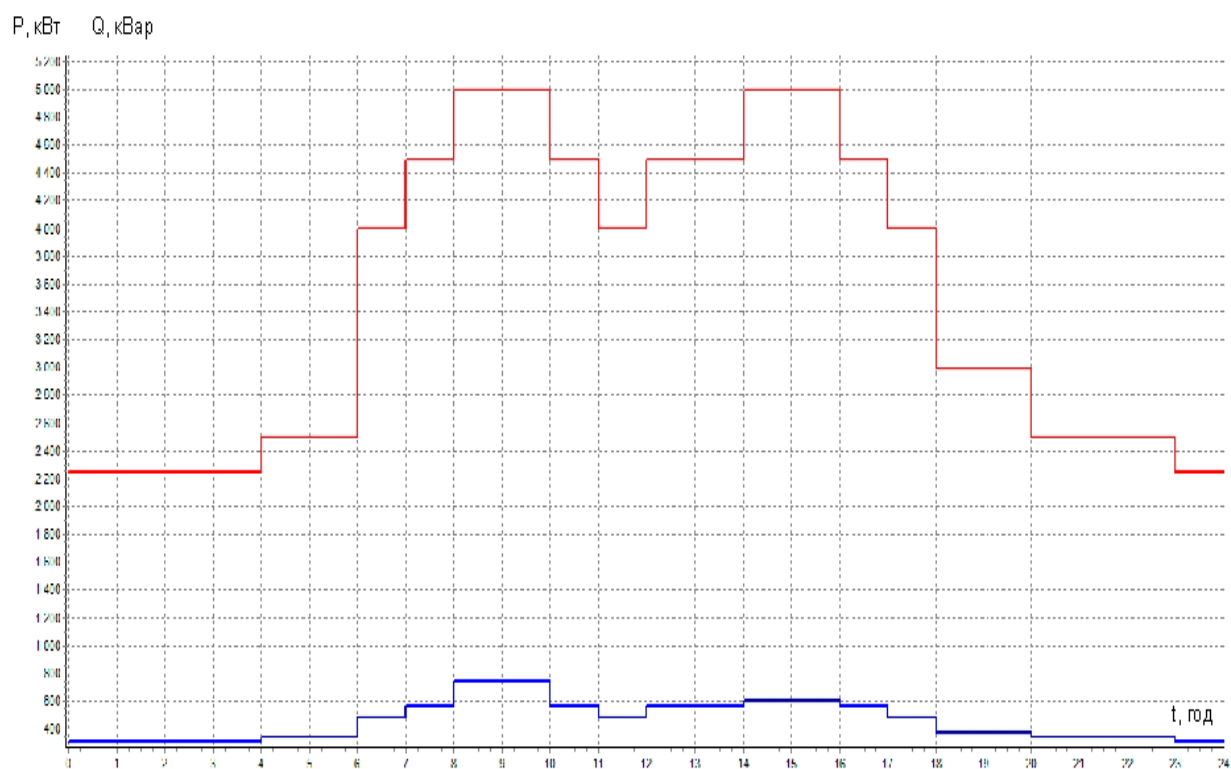


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік молокопродуктового заводу, для зимових робочих днів, активного P та реактивного Q навантажень

P, кВт Q, кВар

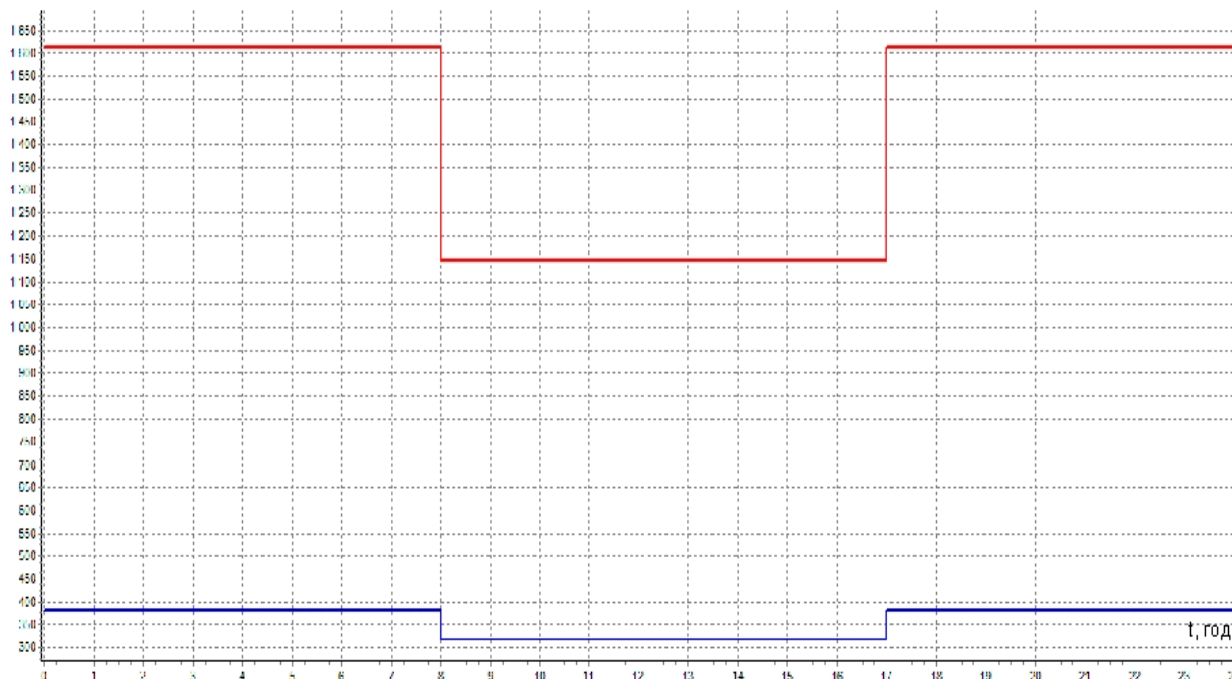


Рисунок 1.4.3. - Добовий графік молокопродуктового заводу, для літніх вихідних днів, активного P та реактивного Q навантажень

P, кВт Q, кВар

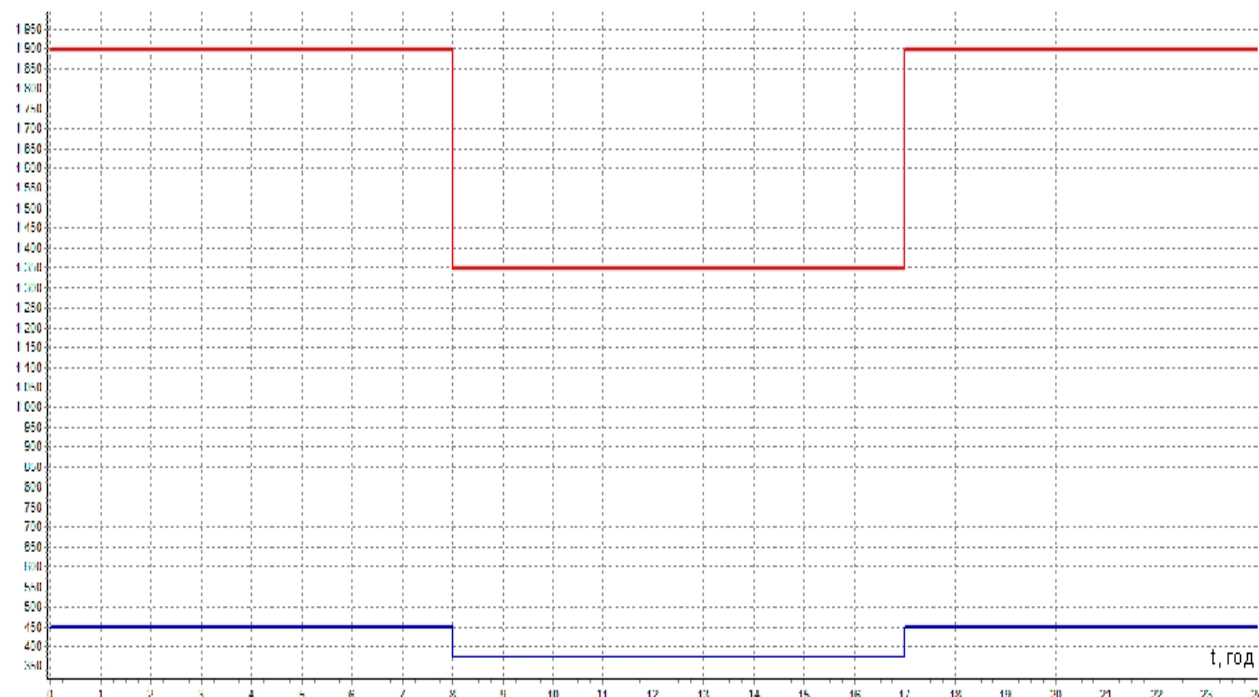


Рисунок 1.4.4. - Добовий графік молокопродуктового заводу, для зимових вихідних днів, активного P та реактивного Q навантажень

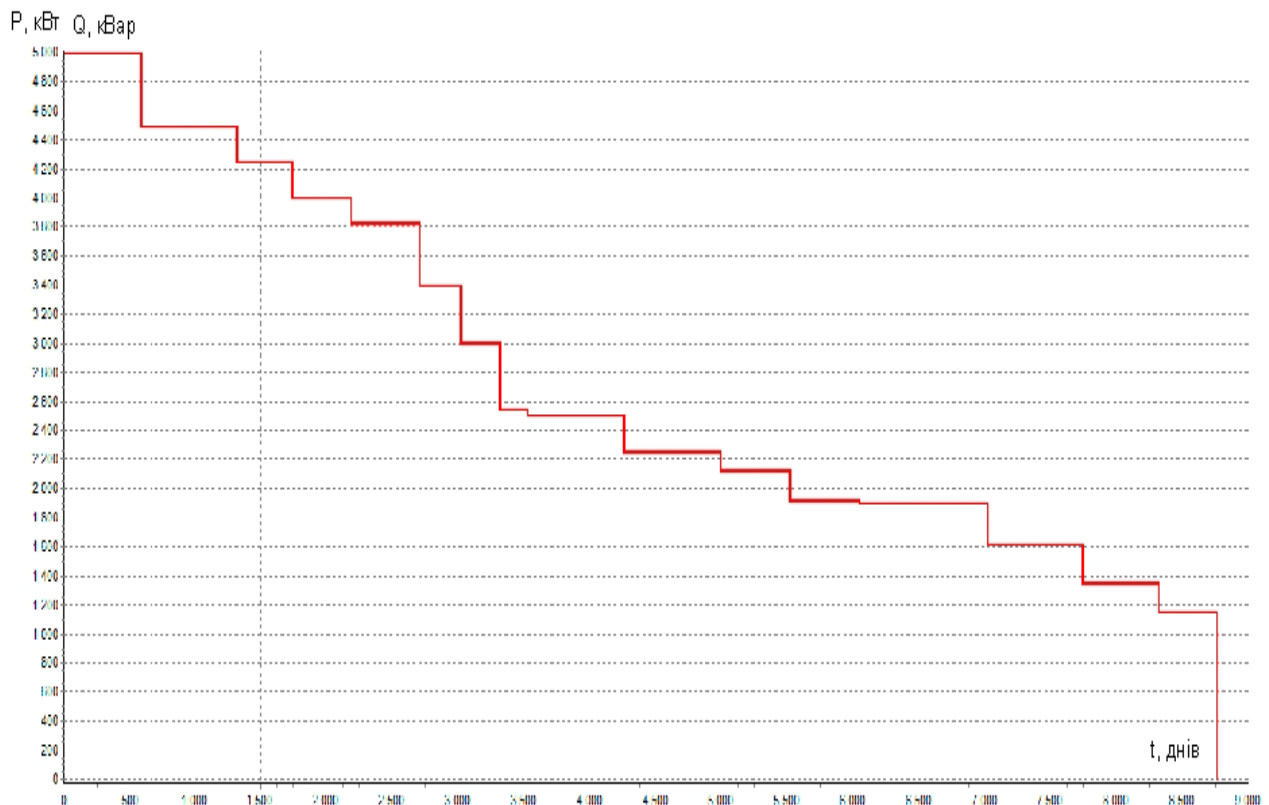


Рисунок 1.4.5. - Річний графік активного Р (по молокопродуктового заводу)

Розрахункові величини графіків електричного навантаження (по молокопродуктового заводу):

$S_p =$	5047,85	МВА
$W_{з.р.} =$	12364905,0	кВт год.
$V_{з.р.} =$	1612590,0	кВар год.
$W_{з.в.} =$	2638155,0	кВт год.
$V_{з.в.} =$	656565,0	кВар год.
$W_{л.р.} =$	7507395,0	кВт год.
$V_{л.р.} =$	978390,0	кВар год.
$W_{л.в.} =$	1655712,0	кВт год.
$V_{л.в.} =$	412416,0	кВар год.
$W_p =$	24166167,0	кВт год.
$V_p =$	3659961,0	кВар год.
$T_{\max} =$	4842,013,0	год.
$\tau =$	3240,402	год

2. Побудова картограми електричних навантажень молокопродуктового заводу

Побудова картограми електричних навантажень молокопродуктового заводу проводиться за методикою, що представлена в літературному джерелі [1].

Наведемо приклад розрахунку картограми для цеху молока:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{227,08 + 66,58}{3,14 \cdot 0,1}} = 30,61 \text{ мм}$$

Освітлювальне навантаження представлено у вигляді сектора з центральним кутом α .

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_i} = \frac{66,58 \cdot 360}{294,58} = 81,42^\circ$$

Розрахунок параметрів для інших об'єктів проводиться аналогічно та зводиться в (табл. 2.1).

Координати центру електр. навант. молокопродуктового заводу:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1464684,88}{4865,06} = 301,06 \text{ м,}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1013218,01}{4865,06} = 208,26 \text{ м}$$

Для інших цехів, корпусів молокопродуктового заводу розрахунок зводимо до (табл. 2.1).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.1.-Дані розрахунку ЦЕН молокопродуктового заводу та побудови КЕН.

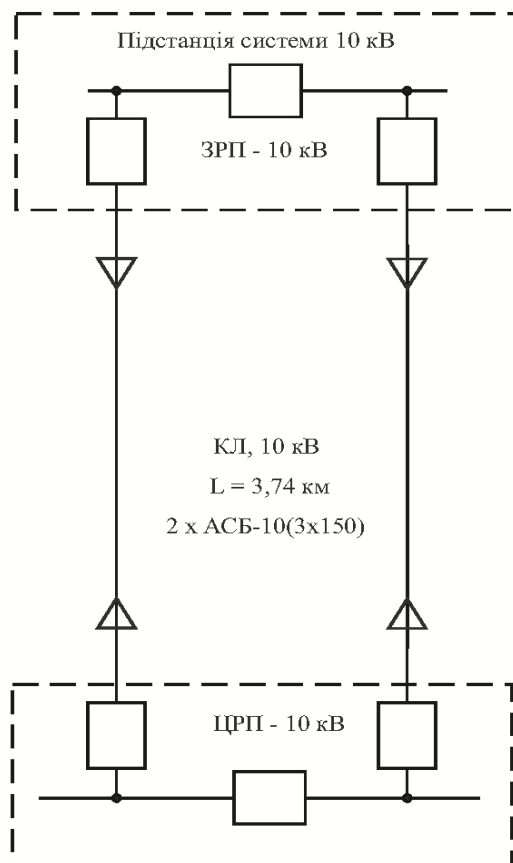
№ п/п	Найменування	$P_{P.сил},$ кВт	$P_{P.осв},$ кВт	$P_P,$ кВт	m	R, мм	α	x, м	y, м	$P \cdot x,$ кВт · м	$P \cdot y,$ кВт · м
1	Цех масла	476,27	30,46	506,73	0,1	40,16	21,64	57,73	481,96	29253,52	244223,59
2	Цех молока	227,8	66,58	294,38	0,1	30,61	81,42	57,73	402,26	16994,56	118417,30
3	Цех йогурту	450,98	122,57	573,55	0,1	42,73	76,93	47,10	229,96	27014,21	131893,56
4	Цех сиру	421,49	83,36	504,85	0,1	40,09	59,44	92,15	47,93	46521,93	24197,46
5	Майстерня	52,65	11,11	63,76	0,1	14,25	62,73	234,47	79,26	14949,81	5053,62
6	Адміністративна будівля	0	16,24	16,24	0,1	7,19	360,00	415,31	496,16	6744,63	8057,64
7	Цех молочних сумішей	405,06	73,69	478,75	0,1	39,04	55,41	174,03	77,19	83316,86	36954,71
8	Гараж	66,91	10,69	77,6	0,1	15,72	49,59	692,72	386,32	53755,07	29978,43
9	Склад	7,45	11,75	19,2	0,1	7,82	220,31	663,33	299,72	12735,94	5754,62
10	Котельня	1133,61	21,07	1154,68	0,1	60,63	6,57	484,39	272,04	559315,45	314119,15
11	Ремонтна діляниця	196,75	19,84	216,59	0,1	26,26	32,98	696,63	174,28	150883,09	37747,31
12	Цех плавлених сирків	450,98	124,21	575,19	0,1	42,79	77,74	397,55	46,47	228666,78	26729,08
13	Насосна станція	377,6	2,67	380,27	0,1	34,79	2,53	613,69	76,96	233367,90	29265,58
14	Територія заводу	0	3,27	3,27	0,1	3,23	360,00	356,31	252,59	1165,13	825,97
	Всього по заводу	4267,55	597,51	4865,06						1464684,88	1013218,01

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання молокопродуктового заводу

Задача даного розділу бакалаврської роботи полягає в обґрунтуванні вибору схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання молокопродуктового заводу.

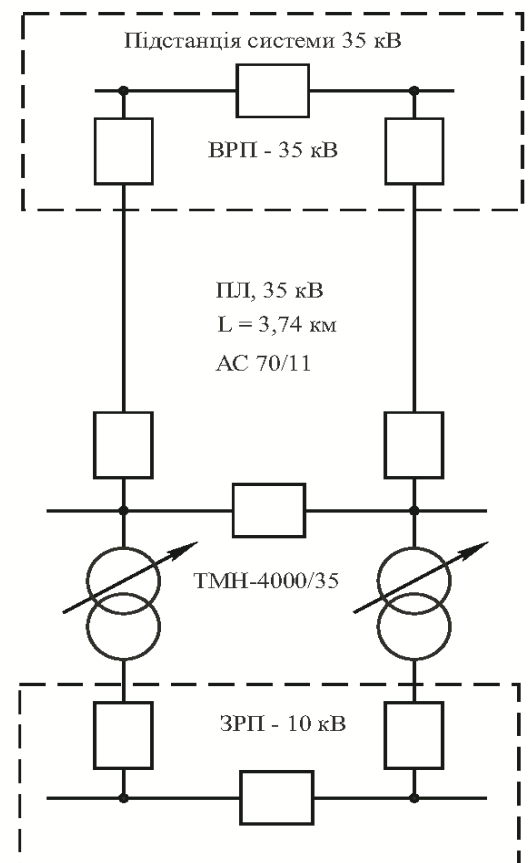
3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання молокопродуктового заводу

Використовуючи теорію [1], проводимо техніко-економічні розрахунки цукрового заводу та порівнюємо варіанти схем зовнішнього електропостачання даного об'єкта молокопродуктового заводу (див. рис. 3.1).



а)

Зовнішнє електропостачання варіант
на 10 кВ



б)

Зовнішнє електропостачання
варіант на 35 кВ

Рисунок 3.1-Схема зовнішнього електропостачання молокопродуктового заводу

Вибір схеми зовнішнього електропостачання молокопродуктового заводу проводиться згідно методики [1].

Згідно з завданням на дану роботу, цукрового заводу може отримувати живлення від КТП 35/10 кВ, що розташовується за 3,74 км від молокопродуктового заводу. Тому порівняння буде здійснюватися на основі 2 варіантів схем електроживлення:

1. Схема електроживлення КЛ напругою 10 кВ.
2. Схема електроживлення ПЛ 35 кВ та ГЗП 35/10 кВ.

Варіант 1. Електропостачання молокопродуктового заводу буде здійснюватися кабельними лініями напругою 10 кВ (рис. 3.1 а).

Розрахункове значення струму, А:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5048}{\sqrt{3} \cdot 10} = 291,44 \text{ А}$$

Обираємо до встановлення 2 КЛ марки АСБ-10 (3х150).

Даний кабель має наступні паспортні дані для обраної КЛ : $I_{доп} = 340 \text{ А}$, $\Delta P_{1км} = 56 \text{ кВт/км}$, $K_{КЛ} = 479,12 \text{ тис. грн./км}$.

Перевірка даної прийнятої КЛ в нормальному режимі за умовою нагріву становить:

$$I_p = 145,72 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 340 = 312,8 \text{ А}$$

Перевірка КЛ АСБ-10 (3х150) в аварійному режимі за умовою нагріву становить:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 145,72 = 291,44 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 340 = 425 \text{ А}$$

Таким чином, обрана КЛ марки АСБ-10(3х150) задовольняють умовам перевірки.

Коеф. завантаження КЛ АСБ-10(3х150) становитиме в нормальному режимі:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{145,7}{340} = 0,43$$

Втрати потужності в обраній КЛ АСБ-10(3х150):

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 56 \cdot 7,48 \cdot 0,1849 = 77,45 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в КЛ АСБ-10(3х150):

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma} \tau = 77,45 \cdot 3240,4 = 250968,98 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії в обраній КЛ АСБ-10(3х150):

$$C_{стр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 250968,98 \cdot 5107,22 \cdot 0,001 = 1281753,79 \text{ тис.грн}$$

Результати про розрахунок капітальних вкладень молокопродуктового заводу в зовнішню схему на 10 кВ електропостачання варіанту № 1 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.- Результати розрахунку капітальних вкладень для варіанту схеми на 10 кВ варіант № 1

Ном	Назва	Од. виміру	Кільк.	Ціна	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	7,48	479,12	3583,8176
2	Траншея	км	3,74	124,5	465,63
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	457,8	915,6
Всього					4965,0476

Озрахунок поточних витрат молокопродуктового заводу для варіанту 1 на 10 кВ наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2.-Результати розрахунку поточних витрат для варіанту схеми № 1

ном	Назва	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	3583,818	5	179,1909	5	179,1909	358,3818
2	Траншея	465,63	5	23,2815	5	23,2815	46,563
3	Шафи КРП серії КУ-10	915,6	15	137,34	5	45,78	183,12
Всього							588,0648

До ланцюга схеми входить вимикач та КЛ. Надійність для даних елементів наступні:

- вимикач на 10 кВ має:

$$T_b = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ рік}, \lambda_a = 4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/рік}, K_n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.};$$

- КЛ 10 кВ має:

$$T_b = 0,02618 \cdot 10^{-4} \text{ рік}, \lambda_a = 0,02992 \text{ 1/рік}, K_n = 0,3366 \cdot 10^{-5}.$$

Параметр потоку відмов 1-го ланцюга ел.схеми:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,2992 = 0,3032 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення 1-го ланцюга становитиме:

$$T_\epsilon = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,2992 \cdot 0,00003366)}{0,3032} = 0,00026428 \text{ рік}$$

Коеф. планового простою 1-го ланцюга ел.схеми становитиме:

$$K_n = 1,2 K_{n \max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

Коеф. аварійного простою 1-го ланцюга ел.схеми становитиме:

$$K_a = \lambda T_\epsilon = 0,3032 \cdot 0,000264282849604222 = 0,00008013056$$

Коеф. планового простою для ситуації: 1-й ланцюг виведений в ремонт (плановий), а 2-й – в результаті пошкодження.

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,3032 \cdot 0,00000576 = 0,000000873216$$

Коефіцієнт аварійного простою для варіанту 2-х ланцюгів:

$$\begin{aligned} K_a^{(2)} &= K_a^2 + 2K_{an} = \\ &= 0,00000000642091 + 2 \cdot 0,000000873216 = 0,0000017529 \end{aligned}$$

Середньорічний час аварійного простою за рік:

						Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000017529 \cdot 8760 = 0,01536$$

Очікуваний збиток заводу від аварійного недовідпуску ел.енергії заводу:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 378 \cdot 2,76 \cdot 0,01536 = 16,02 \text{ тис.грн.}$$

Зведені витрати для варіанту №1 для 10 кВ для молокопродуктового заводу:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{exp.i} + Y_i = \\ &= 0.12 \cdot 4965,0476 + 588,06476 + 1281753,79 + 16,02 = \\ &= 1282953,68 \text{ тис.грн./рік} \end{aligned}$$

Аналогічним виконаємо розрахунки для варіанту №2, на 35 кВ, молокопродуктового заводу. Для порівняння розрахункові дані зводимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3.- Техніко-економічні показники 1 і 2-го варіантів схем електропостачання для молокопродуктового заводу

Техніко-економічні показники варіантів	Обрані варіанти	
	1-й на 10 кВ	2-й на 35 кВ
Капітальні вкладення варіант	4965,05	3543,90
Поточні витрати варіантів	588,06	606,12
Вартість втрат ел.енергії	1281753,79	2117156,00
Збиток по варіантах	16,02	26,12
Зведені витрати по варіантах	1282953,68	2118213,51

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати за варіантом №1 на 10 кВ схеми зовнішнього електропостачання молокопродуктового заводу є меншими в порівнянні з варіантом №2 на 35 кВ.

В-варіант №1 на 10 кВ приймаємо для подальших розрахунків.

3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання молокопродуктового заводу

Аналіз варіантів порівняння виявив, що варіант магістральної схеми за економічними показниками економічно вигідніший, але з боку надійності електропостачання варіант радіальної схеми більш надійніший. Тому, для подальшого проектування для молокопродуктового заводу приймаю радіальну схему розподілення енергії.

Електрична схема внутрішнього живлення молокопродуктового заводу показана на рисунку 3.2.

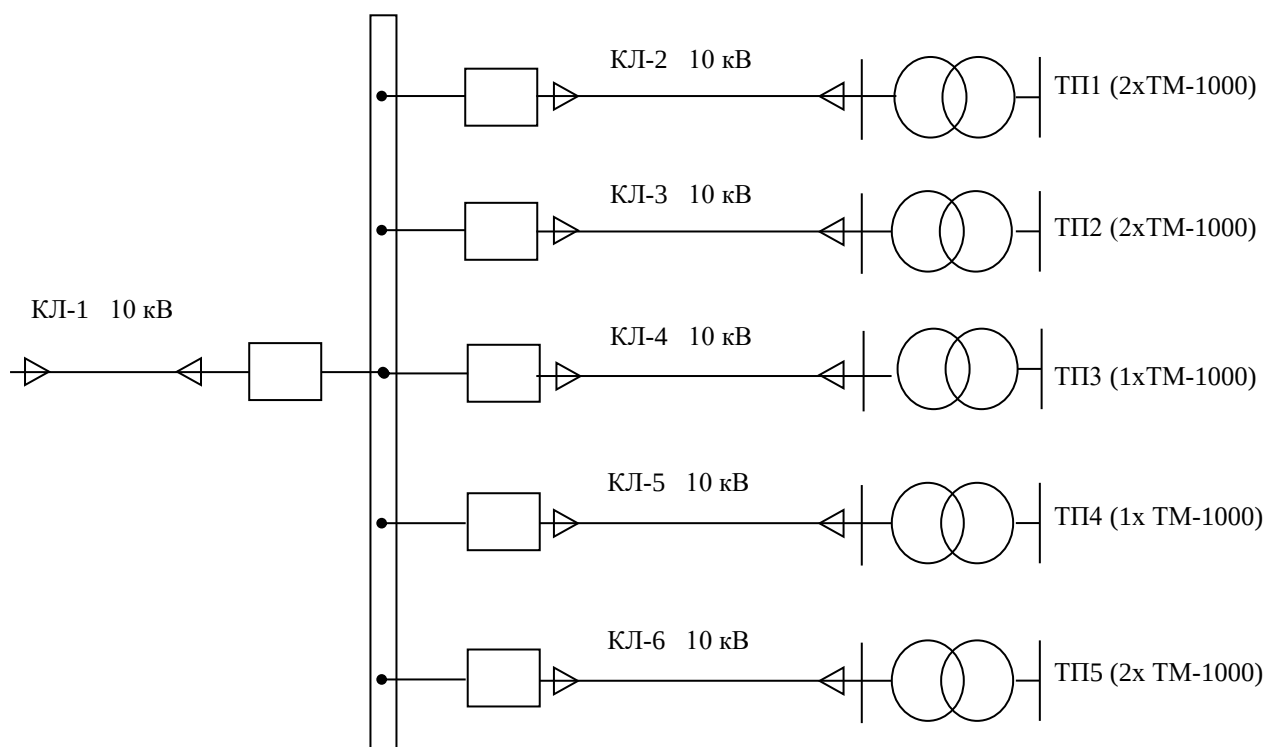


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання
молокопродуктового заводу

4. Режими реактивної потужності системи електропостачання молокопродуктового заводу

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності на молокопродуктовому заводі.

Вихідні дані до розрахунку балансу реактивної потужності у заводській
молокопродуктивній мережі становить:

Сумарне низьковольтне електричне навантаження становить:

$$P_{\text{н}} = \sum P_{\text{III}} = 4923,36 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{н}} = \sum Q_{\text{III}} = 3267,44 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових чи корпусних КТП:

$$\Delta P_{\text{т}} = \sum \Delta P_{\text{III}} = 68,64 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = \sum \Delta Q_{\text{III}} = 357,22 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження приймаємо:

$$\Delta P_{\text{с}} = \sum \Delta P_{\text{ВН}} = 0 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{с}} = \sum \Delta Q_{\text{ВН}} = 0 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної потужності має значення:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{т}} + P_{\text{с}} - P_{\text{сд}} = 4923,36 + 68,64 + 0 = 4992 \text{ кВт},$$

Сумарне споживання реактивної потужності має значення:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{т}} + Q_{\text{с}} - Q_{\text{сд}} = 3267,44 + 357,22 + 0 = 3624,66 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи має значення:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_c = 4992 \cdot 0,15 = 748,8 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв становить:

$$Q_{кп} = Q_p - Q_e = 3624,66 - 748,8 = 2875,86 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів має кількість:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{4923,36}{0,7 \cdot 1000} = 7,03 \approx 8 \text{ шт.}$$

Розглянемо варіанти з різною кількістю заводських комплектних трансформаторів: $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість заводських комплектних трансформаторів $N = N_0 = 8$ шт. Реактивна потужність, що може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \\ &= \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 4992^2} = 2537,7 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

Потужність КП, що встановлюються в заводській мережі до 1 кВ:

$$Q_{кн} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 3624,66 - 2537,7 = 1086,96 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в заводській мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_{кп} - Q_{кн} = 2875,86 - 1086,96 = 1788,9 \text{ кВАр}$$

Розрахунок потужності необхідних КП для варіантів з кількістю заводських трансформаторів $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Таблиця 4.1.-Результати розрахунку потужності заводських компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , квар	$Q_{кн}$, кВАр	$Q_{кв}$, квар
1	8	2537,7	1086,96	1788,9
2	9	3843,17	0	2875,86
3	10	4907,13	0	2875,86

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на молокопродуктовому заводі

Розрахунок потужн. ком пенс. пристроїв, що будуть впроваджені на цукровому заводі, 0,4 кВ та 10 кВ для 3-х вар. приведено в табл. 3.2.2 – 3.4.4.

Таблиця 4.2.1-Вибір БК при кількості КТП $N_T = N_0 = 8$

№ КТП	К- сть т- рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$Q_{пр}$, кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп-}$ $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
ТП 1	2	1319,21	995,37	468,71	526,66	2·268;	536	-9,34	0,7	1396,902
ТП 2	2	1173	1147,16	764,25	382,91	2·200;	400	-17,09	0,7	1390,747
ТП 3	1	569,98	324,69	406,35	0		0	0	0,66	655,9732
ТП 4	1	593,66	411,83	370,9	40,93	1·50;	50	-9,07	0,7	695,236
ТП 5	2	1301,54	840,2	515,75	324,45	2·166;	332	-7,55	0,7	1397,238
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133;	133	22,44	0,71	711,681

БК на низькій стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 1318$ кВАр.

БК на високій стороні 10 кВ $Q_{кв} = 1500$ квар.

Таблиця 3.2.3- Вибір БК при кількості КТП $N_T = N_0 + 1 = 9$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}-Q_{ок}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
ТП 1	3	1319,21	995,37	1633,92	0		0	0	0,55	1652,597
ТП 2	2	1173	1147,16	764,25	382,91	1·166; 1·200;	366	16,91	0,7	1409,305
ТП 3	1	569,98	324,69	406,35	0		0	0	0,66	655,9732
ТП 4	1	593,66	411,83	370,9	40,93	1·50;	50	-9,07	0,7	695,236
ТП 5	2	1301,54	840,2	515,75	324,45	1·150; 1·166;	316	8,45	0,7	1403,136
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133;	133	22,44	0,71	711,6817

БК на низькій стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 732$ кВАр.

БК на високій стороні 10 кВ $Q_{кв} = 2100$ квар.

Таблиця 3.2.4.-Вибір БК при кількості КТП $N_T = N_0 + 2 = 10$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}-Q_{ок}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
ТП 1	3	1319,21	995,37	1633,92	0		0	0	0,55	1652,597
ТП 2	2	1173	1147,16	764,25	382,91	1·166; 1·200;	366	16,91	0,7	1409,305
ТП 3	1	569,98	324,69	406,35	0		0	0	0,66	655,9732
ТП 4	1	593,66	411,83	370,9	40,93	1·50;	50	-9,07	0,7	695,236
ТП 5	3	1301,54	840,2	1648,03	0		0	0	0,52	1549,175
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133;	133	22,44	0,71	711,681

БК на низькій стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 416$ кВАр.

БК на високій стороні 10 кВ $Q_{кв} = 2400$ квар.

Розрахунок приведених витрат на компенсацію для варіанту з кількістю заводських комплектних трансформаторів $N_T = N_0$ наведено нижче.

Втрати активної потужності в низьковольтних заводських КП:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$\Delta P_{KH} = P_{ПІТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 1318 = 5,93 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних заводських КП:

$$\Delta P_{KB} = P_{ПІТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 1500 = 4,5 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в комплектних ТП, що викликані передачею реактивної потужності становить:

$$\begin{aligned} \Delta P_{ТП} &= \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \\ &= \frac{4923,36^2 + 2537,74^2}{10^2} \cdot 0,11 \cdot 0,001 = 33,75 \text{ кВт} \end{aligned}$$

звідки

$$R_{екб} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{N \cdot S_{НОМ}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{8 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,11 \text{ Ом}$$

Вартість заводських КП на стороні 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} K_{KH} &= \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = \\ &= 1 \cdot 22,94032 + 2 \cdot 46,28052 + 2 \cdot 55,31448 + 2 \cdot 67,96767 = 362,07 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Вартість заводських КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 93,2568 + 2 \cdot 106,2984 = 399,11 \text{ тис.грн.}$$

Вартість заводських КТП, тис. грн.:

$$\begin{aligned} K_{КТП} &= N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = \\ &= 3 \cdot 1348,424 + 2 \cdot 787,08 = 5619,43 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Приведені витрати по заводу на компенсацію реактивної потужності:

						Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{TP}) = \\
&= 0,12 \cdot (362,07 + 399,11 + 5619,43) + 5107,22 \cdot 3240,4 \cdot (5,93 + 4,5 + 33,75) \cdot 10^{-3} = \\
&= 731919,74 \text{ тис.грн.}
\end{aligned}$$

Розрахунок приведених витрат по заводу на компенсацію реактивної потужності для варіантів з кількістю комплектних трансформаторів $N_T = N_0 + 1 = 11$ шт., $N_T = N_0 + 2 = 12$ шт. проводиться аналогічно. Результати проведених розрахунків наведено до табл. 5.2.4.

Таблиця 3.2.4.-Результати розрахунків загальних приведених витрат на компенсацію реактивної потужності по заводу

№ вар.	Q_{KH} , квар	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , квар	ΔP_{KB} , кВт	N_{TP} , шт.	$R_{екв}$, Ом	$S_{пр}$, кВА	ΔP_{TP} , кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	K_{TP} , тис. грн.	Z , тис. грн.
1	1318	5,93	1500	4,5	8	0,11	5538,9	33,75	362,07	399,11	5619,4	731919,74
2	732	3,29	2100	6,3	9	0,1	6245,75	39,01	215,43	327,76	6406,5	805136,54
3	416	1,87	2400	7,2	10	0,09	6951,22	43,49	124,54	230,32	7193,6	870744,15

З розрахунків видно, що витрати 1-й варіант є мінімальними. Тому його і приймаємо для подальших розрахунків

5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на молокопродуктовому заводі

Визначаємо реальний коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{NS_{\text{ном}}} = \frac{1396,90}{2 \cdot 1000} = 0,69$$

Вибір трансформатора ТП-1 на молокопродуктовому заводі:

$$S_{\text{ном.тр}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1396,50}{1,08} = 1293,43 \text{кВА}$$

$$S_{\text{ном.тр}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1396,50}{1,4} = 997,79 \text{кВА}$$

Приймаємо ТМ-1000/10/0,4 який задовольняє умовам вибору.

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 4.

Таблиця 5.-Вибір цехових ТП молокопродуктового заводу

№ ТП	К-сть	Марка	$S_{\text{роз, кВА}}$	K_3	$S_{\text{ном}} > S_p/K_1$	$S_{\text{ном}} > S_p/K_2$
ТП-1	2	ТМ-1000-10/0,4	1396,90	0,69	1293,43	997,79
ТП-2	2	ТМ-1000-10/0,4	1390,75	0,70	1287,73	993,39
ТП-3	1	ТМ-1000-10/0,4	655,97	0,66	607,38	468,55
ТП-4	1	ТМ-1000-10/0,4	695,24	0,70	643,74	496,60
ТП-5	2	ТМ-1000-10/0,4	1397,24	0,70	1293,74	998,03

6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання молокопродуктового заводу та силових електромереж системи постачання

Шостий розділ роботи присвячений задачам визначення струмів к.з. та вибору типів ліній і високовольного обладнання. Для вирішення цих задач застосовувалась методика, описана в [1]

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу

По розрахунковій схемі складають схему заміщення, на якій всі елементи представлені у вигляді опорів (рис. 6.1.1). Проведемо розрахунок активних та реактивних опорів елементів системи електропостачання.

Активний та індуктивний опори системи електропостачання:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з}} = \frac{10,5^2}{49,7} = 2,218 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{2,218^2}{25} = 0,089 \text{ Ом}$$

Активний та індуктивний опори заводської ПЛ 10 кВ (Кабельна лінія 1 х АСБ (3 х 150) довжиною 3,74 км):

$$R_{кт} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кт}} = \frac{0,206 \cdot 3,74}{1} = 0,7704 \text{ Ом}$$

$$X_{кт} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кт}} = \frac{0,079 \cdot 3,74}{1} = 0,3 \text{ Ом}$$

Опори K₁:

$$X_{K1} = X_c + X_{кт} = 2,218 + 0,3 = 2,518 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кт} = 0,089 + 0,7704 = 0,859 \text{ Ом}$$

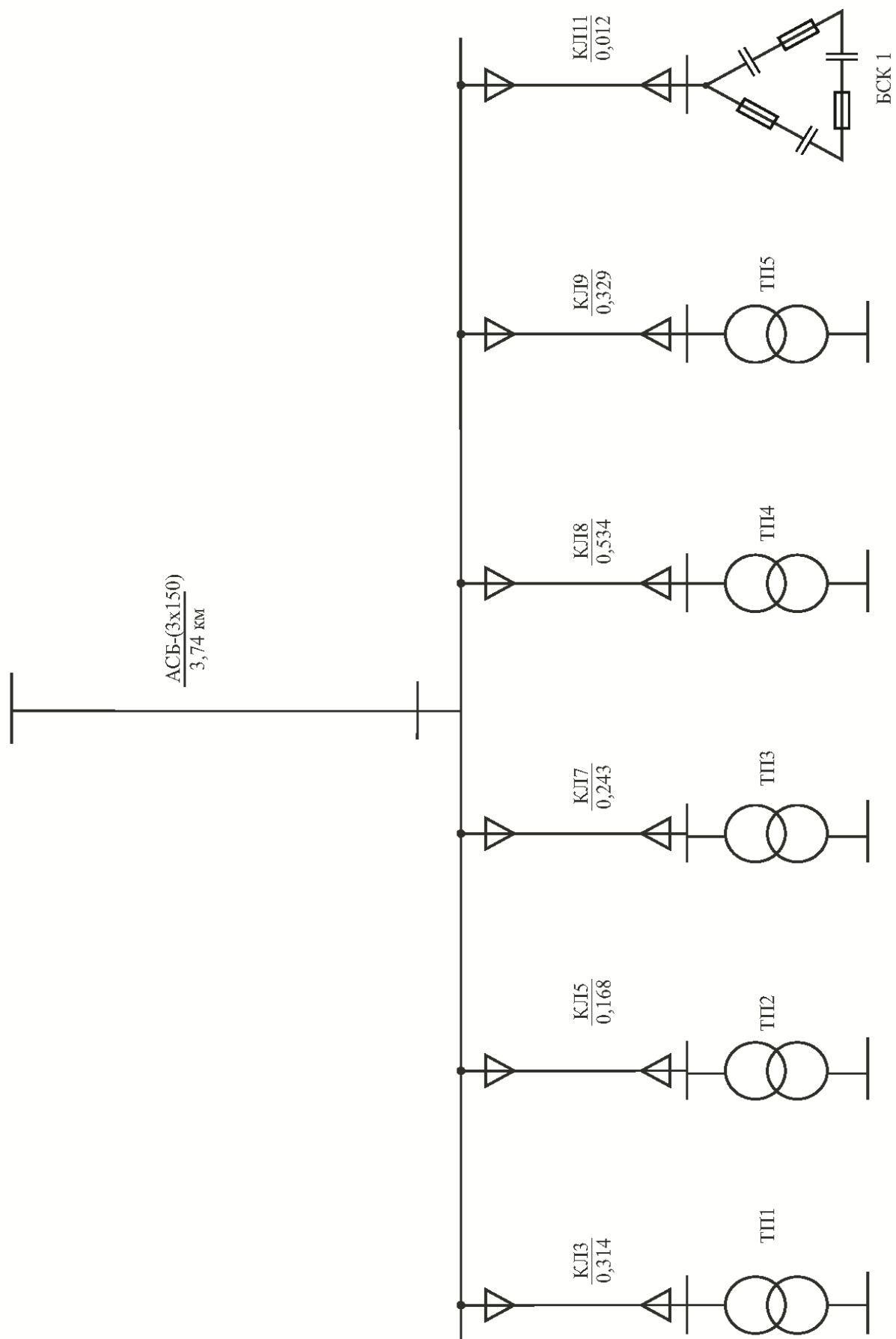


Рисунок 6.1.1-Схема заміщення для розрахунку струмів к. з. молокозаводу

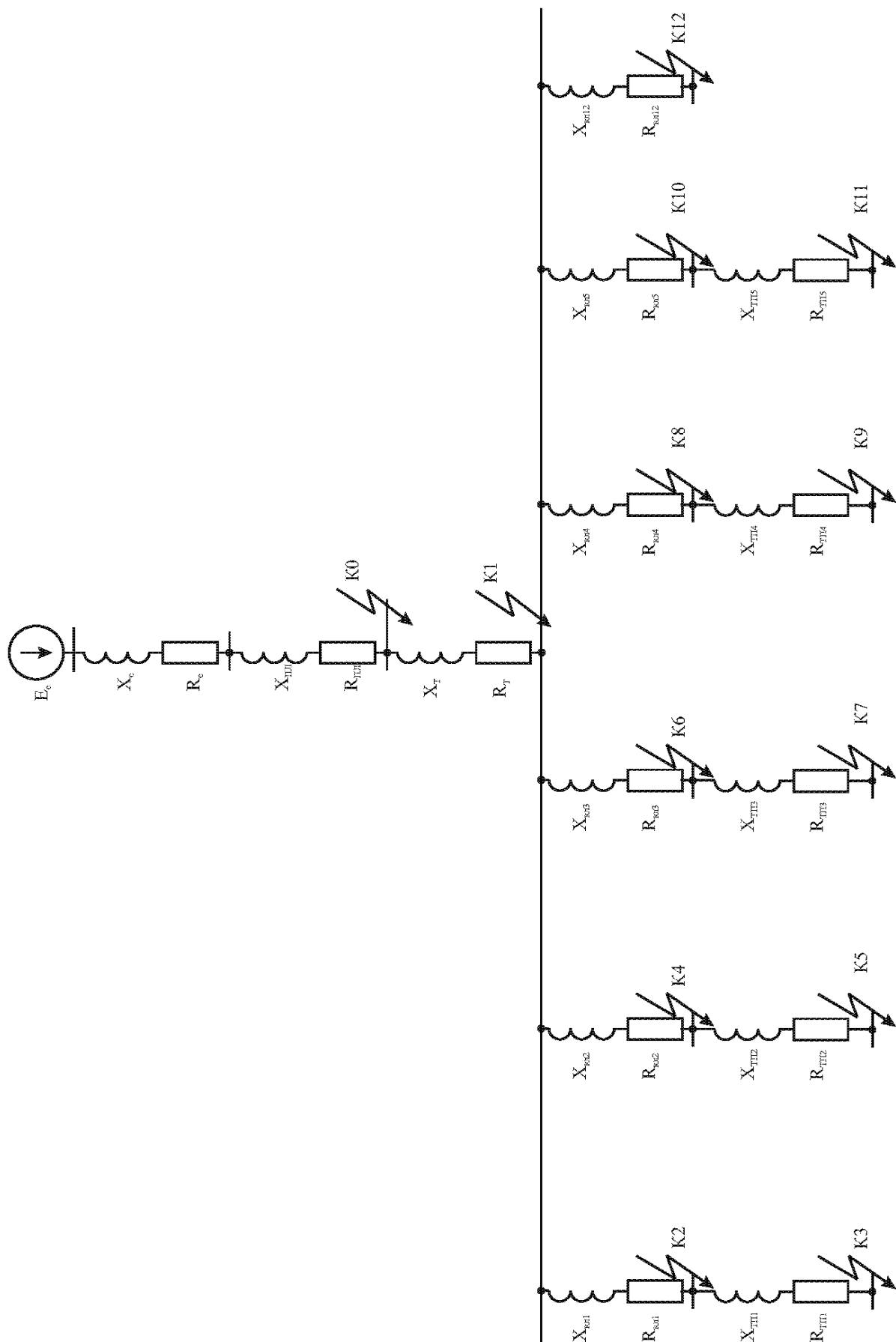


Рисунок 6.1.2.-Схема заміщення мережі для розрахунку струмів к. з. молокозаводу

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{0,859^2 + 2,518^2} = 2,66 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці K₁ від енергосистеми матиме:

$$I_{K1(c)}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,66} = 2,28 \text{ кА}$$

Стала часу в точці K₁ становитиме:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,518}{314 \cdot 0,859} = 0,0093 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці K₀ матиме значення:

$$k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0093}} = 1,341$$

Ударний струм в точці K₀ від с енергосистеми становитиме:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K1(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,341 \cdot 2,28 = 4,32 \text{ кА}$$

Для подальшого розрахунку струмів к.з. необхідно вибрати кабелі до цехових підстанцій та високовольтного навантаження. Виконаємо вибір кабеля від шин 10 кВ ЦРП до ТП-1. Інші кабелі вибираються аналогічно. Результати вибору кабельних ліній 10 кВ заводської мережі приведені в таблиці 6.3.

Розрахунковий струм кабельної лінії: заводу

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ф.ном}}} = \frac{1396,9}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,4 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу молокозаводської кабельної лінії (при T_{max} = 4842,01 год. j_{ек} = 1,4 А/мм²) становитиме наступне:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{38,4}{1,4} = 27,43 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс від струму к. з. знаходимо:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 2,28^2 (1,365 + 0,0093) = 7,14 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз обраної КЛ при умові термічної стійкості становитиме:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{7,14 \cdot 10^3} = 28,43 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель марки ААШв - (3 х 35).

Технічні дані кабелю:

$$r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$$

$$x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$$

$$I_{\text{дон}} = 115 \text{ А}$$

Опори обраної КЛ активний та індуктивний становлять:

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,89 \cdot 0,374 = 0,279 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,095 \cdot 0,314 = 0,03 \text{ Ом}$$

Параметри інших заводських КЛ напругою $U=10$ кВ зведено в табл. 6.1.1.

Таблиця 6.1.1.-Параметри молокозаводських КЛ 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	3,580	0,443	0,086	1,586	0,308
2,3	0,037	0,890	0,095	0,033	0,004
4,5	0,028	0,890	0,095	0,025	0,003
6,7	0,023	0,620	0,090	0,014	0,002
8	0,092	0,890	0,095	0,082	0,009
9, 10	0,006	0,620	0,090	0,004	0,001

Результуючі повний, індуктивний та активний опори до точки K_2 :

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{\text{кл}} = 2,518 + 0,03 = 2,548 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{\text{кл}} = 0,859 + 0,279 = 1,138 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{1,138^2 + 2,548^2} = 2,791 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₂ становитиме:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,791} = 2,17 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К₂ матиме значення:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,548}{314 \cdot 1,138} = 0,0071 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К₂ визначається за виразом:

$$k_{y\phi 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0071}} = 1,245$$

Ударний струм в точці К₂ матиме значення:

$$i_{y\phi 2} = \sqrt{2} k_{y\phi} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,245 \cdot 2,17 = 3,82 \text{ кА}$$

Активний та індуктивний опори заводського комплектного ТП1 (ТМ-1000/10):

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном.}}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном.}}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

Результуючі активний, індуктивний та повний опори становитимуть до точки К₃:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{\text{тр}}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{ен}}} \right)^2 = (2,548 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0125 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{\text{тр}}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{ен}}} \right)^2 = (1,138 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,003 \text{ Ом}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,003^2 + 0,0125^2} = 0,0129 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₃ матиме значення:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0129} = 17,9 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К₃ становитиме:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0121}{314 \cdot 0,0019} = 0,0203 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К₃ визначається за виразом:

$$k_{y\phi 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0133}} = 1,471 \text{ с}$$

Ударний струм в точці К₃ становитиме:

$$i_{y\phi 3} = \sqrt{2}k_{y\phi}I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,471 \cdot 17,9 = 37,24 \text{ кА}$$

Струми к. з. для інших точок системи електропостачання нашого заводу розраховуються аналогічно. Результати даного розрахунку наведено в табл. 6.1.2.

Таблиця 6.1.2.- Результати значення струмів к. з. заводської системи електропостачання

№ точки к.з.	R, Ом	X, Ом	I _к '', кА	T _а , с	k _{yφ}	i _{yφ} , кА
0	1,2475	2,2100	8,41	0,0056	1,168	13,89
1	0,8590	2,5180	2,28	0,0093	1,341	4,32
2	1,1380	2,5480	2,17	0,0071	1,245	3,82
3	0,0030	0,0125	17,90	0,0133	1,471	37,24
4	1,0090	2,5340	2,22	0,0080	1,287	4,04
5	0,0028	0,0125	18,04	0,0142	1,494	38,12
6	1,0750	0,8820	4,36	0,0026	1,021	6,30
7	0,0029	0,0101	21,99	0,0111	1,406	43,72

8	1,5500	0,9330	3,35	0,0019	1,005	4,76
9	0,0036	0,0102	21,38	0,0090	1,329	40,18
10	1,1520	2,5490	2,17	0,0070	1,240	3,81
11	0,0030	0,0125	17,90	0,0133	1,471	37,24
12	0,8660	2,5190	2,28	0,0093	1,341	4,32

6.2. Вибір високовольтних кабелів для молокопродуктового заводу

Проведемо вибір КЛ 10 кВ від шин НН ГЗП до ТП1.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1401}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 40,44 \text{ кА}$$

Площа перерізу обраної КЛ-1 (при $T_{\text{max}} = 4846$ год., $j_{\text{ек}} = 1,4$ А/мм²).

Обираємо до встановлення для живлення кабель марки

$$\text{АСБ} - 2 \times (3 \times 35) \text{ з } I_{\text{дон кл}} = 115 \text{ А.}$$

Перевірка КЛ за допустимим струмовим навантаженням від споживачів:

$$I_p = 38,4 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{\text{дон}} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ А}$$

Перевірка КЛ при виборі за умови в аварійному режимі становитиме:

$$I_{\text{ас}} = 76,8 \text{ А} \leq K_{\text{ан}} \cdot K'_n \cdot I_{\text{дон}} = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ А}$$

Тепловий імпульс від можливого струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I_{\text{КЛ}}^2 (t_{\text{п.з. min}} + T_a) = 2,28^2 (1,365 + 0,0093) = 7,14 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз заводської КЛ при виборі за умови термічної стійкості:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{7,14 \cdot 10^3} = 28,43 \text{ кА}^2\text{с}$$

Результати розрахунків із вибору інших заводських КЛ молокопродуктового напрямку виробництва наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. - Результати розрахунків із вибору для заводських КЛ напругою 10 кВ

№ КЛ	n, шт	S_p , МВА	I_p , А	$I_{p.ав.}$, А	$F_{ек}$, мм ²	B_k , кА ² с	F_{min} , мм ²	Марка кабеля	$I_{доп}$, А	K_n	$K_n I_{доп}$, А	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{доп}$, А
1,2	2	5047,9	138,78	277,56	99,13	7,14	28,43	2 х АСБ-10(3х150)	275	0,9	247,5	1,35	1	371,25
3,4	2	1396,90	38,4	76,8	27,43	7,14	28,43	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
5,6	2	1390,75	38,24	76,48	27,31	7,14	28,43	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
7	1	655,97	36,07	-	25,76	7,14	28,43	1 х ААШВ-10(3х35)	115	1	115	-	-	-
8	1	695,24	38,23	-	27,31	7,14	28,43	1 х ААШВ-10(3х35)	115	1	115	-	-	-
9,10	2	1397,24	38,41	76,82	27,44	7,14	28,43	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
11,12	2	750	20,62	-	14,73	7,14	28,43	2 х ААШВ-10(3х50)	140	0,9	126	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги для з молокопродуктового заводу

В цьому підрозділі було здійснено розрахунки з вибору високовольтних вимикачів та ОПН згідно з методикою [1].

Вибір і результат ввідного вимикача U 10 кВ молокопродуктового заводу наведено в табл. 6.3.1.

Таблиця 6.3.1.-Вибір вимикача на вводі напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умови апарату вибору	Розрахунок значень вимикача
Параметр обраного апарата	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 11$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$291,44 \leq 1000$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{пт} \leq I_{відкл.ном}$	$2,28 \leq 20$
- аперіодична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм, А	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{номвідкл}(1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,28 + 0 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,32 \leq 39,6$
Динамічна стійкість апарата:		
- симетричний струм, А	$I'' \leq I_{дин.ст.}$	$2,28 \leq 52$
- ударний струм, А	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$4,32 \leq 132,37$
Термічна стійкість апарата	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$5,47 \leq 1200$

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактної групи вимикача становитиме:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.g} = 1 + 0,042 = 1,042 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактної групи становитиме:

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_d}} = 1,41 \cdot 2,28 \cdot e^{\frac{-1,042}{0,0093}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I^2 (t_{c.s.} + t_{pз.max} + T_a) = 2,28^2 \cdot (0,042 + 1 + 0,0093) = 5,47 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/1000 У2.

Вибір секційного вимикача напругою 10 кВ проводимо аналогічно та обираємо необхідний вакуумний вимикач згідно з методикою [1].

Результати вибору вимикача напругою 10 кВ та наведено в табл. 6.3.3

Таблиця 6.3.3.-Умови вибору секційного вимикача на напругу 10 кВ

Параметр обраного апарата	Умови вибору апарату	Розрахунок значень вимикача
Номінальна напруга апарата, В	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 11$
Номінальний довготривалий струм апарата, А	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$145,72 \leq 1000$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{К0}'' \leq I_{дин.ст}$	$2,28 \leq 20$
- асиметрична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_H I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм, А	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{номвідкл} (1 + \beta_H)$	$1,41 \cdot 2,28 + 0 \leq 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,22 \leq 39,6$
Динамічна стійкість апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,28 \leq 52$
- ударний струм, А	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$4,32 \leq 132,37$
Термічна стійкість апарата	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$2,87 \leq 1200$

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактної групи вимикача становитиме:

$$\tau = t_{pз.min} + t_{c.s.} = 0,5 \cdot 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактної групи становитиме:

$$i_{\text{сп}} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,28 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0093}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{\text{с.в.}} + t_{\text{рз.мах}} + T_a) = 2,28^2 \cdot (0,042 + 0,5 + 0,0093) = 2,87 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/1000 У2.

Аналогічно, згідно з методикою [1], проводимо та вибираємо вимикача напругою 10 кВ на відхідних КЛ до ТП.

Вибираємо вакуумний вимикач та зводимо до таблиці 6.3.4.

Таблиця 6.3.4.-Результати вибору вимикача напругою 10 кВ на відхідних КЛ до ТП.

Параметр вимикачів навантаження	Умови вибору апарату	Розрахунок значень вимикачів навантаження
Номінальна напруга вим. навантаження	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$10 \leq 11$
Довготривалий ном. струм вим. навантаження	$I_{\text{роб.форс.}} \leq I_{\text{ном}}$	$80,65 \leq 1000$
Динамічна стійкість вим. навантаження:		
- симетричний струм	$I_{\text{п}} \leq I_{\text{дин.ст.}}$	$2,28 \leq 20$
- ударний струм	$i_{\text{уд}} \leq 1,8\sqrt{2} I_{\text{дин.ст.}}$	$4,32 \leq 132, 37$
Термічна стійкість вим. навантаження	$B_k \leq I_{\text{ТН}}^2 t_{\text{ТН}}$	$0,79 \leq 1200$

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактної групи вимикача становитиме:

$$\tau = t_{\text{рз.мін}} + t_{\text{с.в.}} = 0,1 \cdot 0,042 = 0,142 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактної групи становитиме:

$$i_{\text{от}} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,28 \cdot e^{\frac{-0,142}{0,0093}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{\text{с.с.}} + t_{\text{рз.мах}} + T_a) = 2,28^2 \cdot (0,042 + 0,1 + 0,0093) = 0,79 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення, вимикача напругою 10 кВ на відхідних КЛ до ТП вимикач навантаження типу ВР1-10-20/1000 У2.

Вибираємо вимикачі навантаження та зводимо до таблиці 6.3.4.

Таблиця 6.3.4.-Результати вибору вимикачів навантаження.

Параметр вимикачів навантаження	Умови вибору апарату	Розрахунок значень вимикачів навантаження
Номінальна напруга вим. навантаження	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$10,5 \leq 10,5$
Довготривалий ном. струм вим. навантаження	$I_{\text{роб.форс.}} \leq I_{\text{ном}}$	$0 \leq 400$
Динамічна стійкість вим. навантаження:		
- симетричний струм	$I_{\text{п}} \leq I_{\text{дин.ст.}}$	$2,28 \leq 10$
- ударний струм	$i_{\text{уд}} \leq 1,8\sqrt{2} I_{\text{дин.ст.}}$	$4,32 \leq 25, 46$
Термічна стійкість вим. навантаження	$B_k \leq I_{\text{ТН}}^2 t_{\text{ТН}}$	$0,57 \leq 100$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{\text{рз.мах}} + T_a) = 2,28^2 \cdot (0,1 + 0,0093) = 0,57 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення вимикач навантаження типу ВНР-10/400-10ЗУЗ.

Проведемо вибір плавких запобіжників для захисту ТП від струмів к.з.

Таблиця 6.3.6.-Результати вибору запобіжників 10,5 кВ.

Параметр запобіжника	Умова вибору	Розрахунок апобіжника
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{но.}$	$10,5 \leq 10,5$
Номінальний струм п.в.	$2I_{т.ном} \leq I_{п.в.}$	$134,68 \leq 200$
Чутливість захисту	$K_{\text{ч}} = \frac{I_{к.з.\min}}{I_{п.в.}} \geq 1$	$\frac{2280}{200} = 11,4 \geq 1$
Відключаюча здатність	$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{п.відк}$	$2,28 \leq 12,50$

Обираємо для встановлення запобіжник типу ПКТ104-10-200-1,520 УЗ.

Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) по заводу наведено в табл. 6.3.7.

Таблиця 6.3.7-Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ з/п	Вибрані поживачі	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{\text{сум}},$ кВт	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{уст}},$ кВт	$Q_{\text{уст}},$ квар
1	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	18	10,8	0,97	0,25	10,8	3
2	Опалення та освітлення приміщення оперативного персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
6	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							64,8	18

Сумарне встановлене навантаження для ТВП становить наступне:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{64,8^2 + 18^2} = 67,25 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП матиме наступне значення:

$$S_p = K_{\text{с}} S_{уст} = 0,8 \cdot 67,25 = 53,8 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 трансформатори власних потреб типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження встановленого ТВП:

$$K_s = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{53,8}{2 \cdot 40} = 0,67$$

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для молокопродуктового заводу

В табл. 6.4.1 наведено результати розрахунку параметрів по молокопродуктового заводу з вибору трансформаторів струму, що встановлюються на вводах 10 кВ і призначені для приєднання приладів релейного захисту та комерційного обліку.

Таблиця 6.4.1.-Результати вибору трансформаторів струму на вводах 10 кВ молокопродуктового заводу.

№ з/п	Параметр ТС	Умова вибору	Розрахунок ТС
1	Номінальна напруга ТС	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм ТС	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$291,44 \leq 400$
3	Динамічна стійкість ТС	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ад} I_{1ном}$	$4,32 \leq 52$
4	Термічна стійкість ТС	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$5,47 \leq 768$
5	Вторинне навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,34 \leq 0,4$

Вторинне навантаження трансформатора струму, Ом:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{прое} + R_{конт}$$

Опір приладів, що приєднані послідовно до вторинних кіл ТС, Ом:

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{0,2}{5^2} = 0,01$$

Обираємо до встановлення в комірках трансформатор струму ТЛК-10/400 У1. Його технічні характеристики наведено нище в табл. 6.4.2.

Таблиця 6.4.2. - Технічні характеристики трансформатора струму ТЛК-10/300 У1

Тип апарату ТС	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{0.c.}$	$Z_{2ном}$	$I_{тн}$	t_n
ТЛК-10/300 У1	10	400	52	0,4	16	3

Результати проведених розрахунків вторинного навантаження ТС на вводах 10 кВ заводської мережі наведено в табл. 6.4.3.

Щоб ТС працював надійно в заданому класі точності, необхідно дотримуватися наступних умови:

$$Z_{прил} + R_{пров} + R_{конт} \leq Z_{2ном}$$

Опір проводів, необхідний для того щоб ТС працював в заданому класі точності становитиме значення:

$$R_{пров} = Z_{2ном} - Z_{прил} - R_k = 0,4 - 0,01 - 0,1 = 0,29 \text{ Ом}$$

Переріз проводів становитиме значення:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{R_{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{0,29} = 1,95 \text{ мм}^2$$

Обираємо до встановлення в комірки контрольний кабель типу АКРВГ-2,5.

Опір даного контрольного кабелю становитиме значення:

$$R_{пров.ст.} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{F_{пр.ст.}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{2,5} = 0,23 \text{ мм}^2$$

Вторинне навантаження трансформатора струму складається та матиме значення:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{пров.ст.} + R_{конт} = 0,01 + 0,23 + 0,1 = 0,34 \text{ Ом}$$

Результати розрахунку параметрів вибраних трансформаторів струму наведено табл. 6.4.4. і 6.4.5, що встановлюються на відгалуженнях 10 кВ. ТС призначені для комерційного обліку та приєднання приладів релейного захисту.

Таблиця 6.4.4.-Вибір трансформаторів струму на відхідних КЛ 10 кВ.

№ з/п	Параметр значень ТС	Умова вибору ТС	Розрахунок ТС
1	Номінальна напруга ТС	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм ТС	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$80,65 \leq 150$
3	Динамічна стійкість ТС	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ад} I_{1ном}$	$4,32 \leq 52$
4	Термічна стійкість ТС	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$5,47 \leq 300$
5	Вторинне навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,3 \leq 0,4$

Таблиця 6.4.5.-Вторинне навантаження ТС на відхідних КЛ 10кВ

Назва вимірювального обладнання	Тип обладнання	S _{прил} , ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Ватметр	Д335	0,5	-	0,5
Варметр	Д304	0,5	-	0,5
Амперметр	Е 377	0,1	-	0,1
Лічильник активної енергії	Меркурій 230ART2	1,5	-	1,5
Лічильник реактивн. енергії	Меркурій 230AR	1,5	-	1,5
Всього		4,1		4,1

Вторинне навантаження вимір. трансформатора струму становитиме:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{пров} + R_{конт}$$

Опір встановлених вимірювальних приладів послідовно приєднаних до вторинних кіл вимірювального ТС становить:

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,16$$

Обираємо для монтажу наступний трансформатор струму ТЛК-10/150 У1.

Його технічні характеристики наведено в табл. 6.4.6.

Таблиця 6.4.6.-Технічні характеристики трансформатора струму ТЛК-10/150 У1

Тип	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{д.с.}$	$Z_{2ном}$	$I_{тн}$	t_n
ТЛК-10/150 У1	10	150	52	0,4	10	3

Опір проводів, при яких необхідний для вимірювального ТС і буде працювати в заданому класі точності, Ом:

$$R_{пров} = Z_{2ном} - Z_{прил} - R_k = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Переріз проводів матиме наступне значення, мм²:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{R_{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{0,14} = 2,43$$

Обираємо до встановлення в комірку кабель АКРВГ-2,5.

Опір даного контрольного кабелю матиме значення:

$$R_{пров.ст.} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{F_{пр.ст.}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{2,5} = 0,135 \text{ Ом}$$

Вторинне навантаження трансформатора струму матиме значення, Ом:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{пров} + R_{конт} = 0,16 + 0,14 + 0,1 = 0,4 \text{ Ом}$$

Вибираємо необхідний трансформатори напруги по умовам зазначеним в [1].

Трансформатори напруги вибираються за наступними умовами.

1. По номінальній напрузі:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}$$

2. По класу точності: 0,5

3. По вторинному навантаженню:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2\text{ном}}$$

Таблиця 6.4.7.- Результати вибору вторинного навантаження для трансформатора напруги

Прилад вимірювальний	Тип вимірювального приладу	S, ВА	К-сть обмоток	К-сть прил.	$S_{2\Sigma}$, ВА
Вольтметр	Е 377	2	1	1	2
Лічильник «Альфа»	AIR-3-OL-C2-T	1,8	2	1	3,6
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230ART2	3	2	8	48
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230AR	3	2	8	48
Всього					105,1

Приймаємо до встановлення в комірку два необхідний трансформатори напруги типу НАМИ-10-66-У3 з наступними його технічними характеристиками:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, S_{\text{ном}} = 200 \text{ ВА}, \text{ клас точності} - 0,5.$$

7. Спеціальний розділ. Дизель-електричний пристрій збереження палива у мобільних агрегатах

7. 1. Загальні положення, актуальність, задачі.

Проблема енергетики є важливою для всіх країн, і Україна не є винятком. Країна може забезпечити лише 35-40% своїх потреб у паливно-енергетичних ресурсах. Ця ситуація особливо актуальна в рослинництві, де існує серйозна проблема енергоефективності при виробництві продукції. Для вирішення цих проблем необхідно активно розвивати відновлювальні джерела енергії та впроваджувати енергозберігаючі технології. Крім того, розвиток альтернативних джерел енергії може сприяти зменшенню залежності від імпорту енергоресурсів і зниженню негативного впливу на довкілля.

Суть проблеми полягає у великих витратах енергії для виробництва різних видів продукції, що становить значну частину витрат. У середньому, нафтопродукти складають близько 25% у матеріальних витратах на виробництво [1]. Наприклад, для роботи мобільного агрегату на базі трактора ХТЗ-2511 (із потужністю двигуна 19,5 кВт) за годину потрібно 5 літрів дизельного пального [2]. Це становить приблизно 550 гривень за літр пального (за середньою вартістю в країні). З урахуванням середнього часу роботи такого агрегату в господарствах (близько 2000 годин) [3], витрати на дизельне пальне складають близько 1 100 000 гривень. Ці великі витрати значно підвищують собівартість продукції в рослинництві.

Проблема виникає з того, що мобільні агрегати, як правило, використовують теплові двигуни, чий коефіцієнт корисної дії не перевищує 50%. Отже, близько половини використаного палива втрачається на нагрівання навколишнього середовища, що призводить не лише до зростання собівартості рослинницької продукції, але й завдає шкоди екологічній ситуації. На це додається постійне зростання вартості нафтопродуктів у світі.

У той самий час, якщо б привід мобільного агрегату на базі трактора ХТЗ-2511 працював від електричного двигуна постійного струму з аналогічною

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

потужністю (потужність двигуна має становити 23 кВт з урахуванням коефіцієнта корисної дії 0,85), то за годину роботи було б витрачено 23 кВт·год електроенергії. У грошовому еквіваленті це складало б близько 117,46 гривень, враховуючи вартість електроенергії для промислових споживачів у розмірі 5 107,22 копійок за кіловат-годину [3].

Отже, застосування електричного двигуна замість теплового у мобільному агрегаті призведе до економії у розмірі 432,54 гривень за годину роботи. На річному рівні це становитиме приблизно 865078 гривень. Таким чином, повна заміна теплового двигуна електричним дозволить зменшити витрати на паливе майже у 2,5 рази.

Метою цієї роботи була розробка комбінованого дизель-електричного приводу для мобільного агрегату на базі трактора ХТЗ-2511 з метою зменшення витрат дизельного пального. Зовнішній вигляд трактора ХТЗ-2511 представлено на рисунку 1.



Рисунок 7.1.-Зовнішній вигляд трактору ХТЗ-2511

Методика була використана із джерела [4].

Відповідно до поставлених цілей, були визначені наступні завдання:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Аргументувати оптимальний режим роботи теплового та електричного двигунів, які працюють одночасно на спільний вал.

Створити детальну структурну схему для з'єднання електродвигуна постійного струму з тепловим двигуном.

Вибрати відповідний електродвигун постійного струму та джерело для його живлення.

Розробити принципову схему керування електродвигуном постійного струму.

Провести аналіз оптимального режиму роботи теплового та електричного двигунів, які працюють паралельно на спільний вал.

Визначити термін окупності дизель-електричного пристрою для збереження пального в мобільному агрегаті.

Тому робота ставить перед собою завдання інноваційно використовувати режим спільної роботи теплового та електричного двигунів, які функціонують на одному валу. Це спрямовано на зниження витрат дизельного пального мобільного агрегату, що має важливе значення для підвищення ефективності й економічної вигоди в агропромисловому та промисловому секторі. Такий підхід може мати потенціал для широкого впровадження у сучасній агротехніці, сприяючи зменшенню викидів та збільшенню стійкості сільськогосподарських та промислових виробників до змін в цінах на паливо. Крім того, ця ініціатива може сприяти подальшій модернізації та удосконаленню технологічного процесу в сільському господарстві та промисловості.

7.2 Теоретичні розрахунки

Розглядаючи можливість повної заміни теплового двигуна мобільного агрегату на електричний, варто врахувати наступні труднощі:

При використанні електродвигуна змінного струму для приводу мобільного агрегату потрібно будувати лінії електропостачання,

трансформаторну підстанцію та пристрій електроживлення двигуна, наприклад, застосовуючи гнучкі кабелі.

При використанні електродвигуна постійного струму для приводу мобільного агрегату необхідно мати наявність акумуляторних батарей, які будуть мати значну вагу та об'єм, що ускладнює конструкцію і вимагає додаткової енергії для транспортування та зарядження.

На сьогодні для електрифікації автотранспортних засобів широко використовують літій-іонні акумулятори, які мають свої переваги та недоліки [5].

Серед переваг цих акумуляторів слід відзначити наступне:

Висока густина енергії як за вагою, так і за об'ємом;

Напруга на одному елементі акумуляторної батареї досягає 3,6 В, що втричі перевищує значення інших видів акумуляторів;

Швидке зарядження акумуляторної батареї до 90-95% за інтервалом часу 30-40 хвилин;

Високий ресурс, більше 1000 циклів розрядження-зарядження АКБ.

Однак, до недоліків таких акумуляторів належать наступні:

Імовірність вибуху під час зарядження АКБ або механічного пошкодження;

Обмежений строк служби АКБ, не більше 5 років;

Висока вартість АКБ.

Отже, була сформульована ідея про те, що для зменшення витрат дизельного пального у мобільному агрегаті на базі трактора ХТЗ-2511 необхідно створити комбінований дизель-електричний привід. Цей привід має використовувати новітні елементи для акумуляції електричної енергії - іоністори.

Іоністори - це електрохімічні пристрої, створені для зберігання електричної енергії. Вони відрізняються великою кількістю циклів заряджання-розряджання (кілька десятків тисяч разів), мають тривалий термін служби (у порівнянні з іншими джерелами живлення, такими як акумуляторні батареї або

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

гальванічні елементи), мінімальний струм витoku та, головне, високу ємність при компактних розмірах. За останніми промисловими досягненнями їх ємність може досягати 6500 Ф при напрузі 2,7 В [6]. Іоністор виробництва корейської фірми SAMWHA представлений на рис. 2.



Рисунок 7.2.-Іоністор виробництва корейської фірми SAMWHA

До головних переваг іоністорів можна віднести наступне:

Велика кількість циклів заряджання-розряджання іоністорів;

Значні струми віддачі іоністорів;

Швидке заряджання, практично миттєве, залежно від можливостей зарядного пристрою;

Відсутність необхідності контролю процесу заряджання іоністорів;

Компактні розміри порівняно зі звичайними конденсаторами, при цьому маючи велику ємність;

Широкий робочий діапазон температур в межах від -50 до +60 °C;

Висока довговічність, більше 10 років або 100 000 циклів заряджання-розряджання, що говорить про значну надійність ;

Пожежобезпечність іоністорів;

Не потребують спеціальної та витратної утилізації іоністорів, оскільки не містять токсичних речовин.

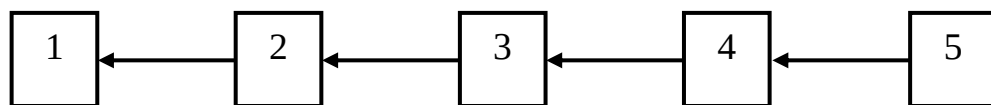
Водночас іоністори мають деякі недоліки, серед яких основні з них наступні:

Зниження напруги на затискачах протягом всього циклу розряджання іоністорів.

Значна вартість іоністорів.

Отже, для досягнення поставленої мети дослідження запропоновано використовувати іоністори при паралельній роботі теплового та електричного двигунів на спільний вал приводу мобільного агрегату. Ця система дозволяє ефективно використовувати накопичену енергію в іоністорах незалежно від рівня їхньої напруги. У такій системі швидкість обертання спільного валу визначається тепловим двигуном, а електричний двигун, живлений енергією від іоністорів, допомагає тепловому двигуну виконувати роботу в залежності від швидкості обертання та напруги на затискачах іоністорів. Це призводить до зменшення споживання дизельного палива тепловим двигуном мобільного агрегату на базі трактору ХТЗ-2511.

Структурна схема підключення зазначеного електродвигуна постійного струму до теплового двигуна матиме наступний структурний вигляд:



1 – тепловий двигун; 2 – вал відбору потужності двигуна; 3 – передавальний пристрій між силовими двигунами; 4 – електричний двигун постійного струму; 5 – цифровий пристрій керування та живлення електродвигуна.

Рисунок 7.3. - Структурна схему підключення електродвигуна постійного струму до теплового двигуна.

У зв'язку з великими розмірами та вагою електродвигуна постійного струму потужністю 19,5 кВт, необхідного для повної компенсації роботи теплового двигуна, було вирішено використовувати електродвигун потужністю 8,5 кВт для часткової компенсації. Це дозволить зменшити витрати дизельного пального, хоча і не на таку велику кількість, як при повній компенсації. Таким

чином, для цієї задачі пропонується використовувати електродвигун серії 2П, зокрема модель 2ПН200М, яка має незалежне збудження, можливість реверсивного обертання валу, захищене виконання із самовентиляцією та монтаж за стандартом ІМ1001. Ця модель має орієнтовну вартість 8000 грн. Це рішення дозволить підвищити ефективність мобільного агрегату та зменшити його вплив на довкілля, забезпечуючи економічні та екологічні переваги в процесі експлуатації.

Зовнішній вигляд електродвигуна серії 2ПН200М представлено на рисунку 4.



Рисунок 7.4. - Електродвигун серії 2ПН200М

Електродвигун використовується в тривалому режимі S1 та має наступні номінальні характеристики [7]:

- номінальна потужність $P_{2н}$ ЕД становить 8,5 кВт;
- напруга на обмотці якоря U_n ЕД становить 440 В;
- номінальна швидкість обертання n_n ЕД складає 800 обертів за хвилину;
- номінальний коефіцієнт корисної дії η_n (ККД) ЕД становить 82%;
- маса m ЕД становить близько 282 кілограми;
- опір обмотки якоря $R_{я(15)}$ ЕД при 15°C має близько 0,796 Ом;
- індуктивність обмотки якоря $L_{я}$ ЕД складає 25,5 мілігенрі;
- опір обмотки збудження $R_{з(15)}$ ЕД при 15°C становить 17,1 Ом.

Для забезпечення роботи даного електродвигуна протягом встановленого періоду часу необхідно мати певний обсяг електричної енергії, який

визначається за допомогою виразу:

$$W_{\text{н}} = \frac{P_{2\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot t, \quad (1)$$

де $W_{\text{н}}$ – кількість електричної енергії, яка необхідна для продуктивної роботи ЕД, $\text{кВт} \cdot \text{год}$;

$P_{2\text{н}}$ – номінальна потужність встановленого ЕД, кВт ;

$\eta_{\text{н}}$ – номінальний коефіцієнт корисної дії встановленого ЕД;

t – час роботи встановленого ЕД, год .

Якщо прийняти, що $t = 2 \text{ год.}$, то отримаємо:

$$W_{\text{н}} = \frac{8,5}{0,82} \cdot 2 = 20,7 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для живлення електродвигуна ЕД ми обираємо іоністори від світової корейської компанії SAMWHA з напругою $U = 2,7 \text{ В}$ [8]. Кількість необхідних іоністорів розраховано наступним чином:

$$a = \frac{U_{\text{н}}}{U}, \quad (2)$$

де a – кількість іоністорів SAMWHA, шт. .

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга встановленого ЕД, В ;

U – напруга іоністора SAMWHA, В .

Після підстановки значень у зазначену формулу(2) отримаємо:

$$a = \frac{440}{2,7} = 163 \text{ шт.}$$

Необхідну ємність іоністорів визначаємо за допомогою формули для енергії, яка накопичується в них протягом встановленого часу роботи встановленого ЕД:

$$W_{\text{н}} = \frac{C \cdot U_{\text{н}}^2}{7200000}, \quad (3)$$

звідки виражаємо ємність за допомогою виразу:

$$C = \frac{W_{\text{н}} \cdot 7200000}{U_{\text{н}}^2} . \quad (4)$$

Після підстановки значень у вираз (4) отримаємо наступне:

$$C = \frac{20,7 \cdot 7200000}{440^2} = 770 \text{ Ф} .$$

Обираємо іоністори з серії DP, які мають ємність 700 Ф. Оптова вартість одного іоністора складає 29,9 у.о., тому загальна вартість обраних іоністорів складає 4873,7 у.о. (або приблизно 39 720 грн.).

Виконаємо перерахунок кількості електричної енергії за виразом (3):

$$W_{\text{н}} = \frac{700 \cdot 440^2}{7200000} = 18,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} .$$

Перераховуємо час роботи електродвигуна на підставі приведенного (1):

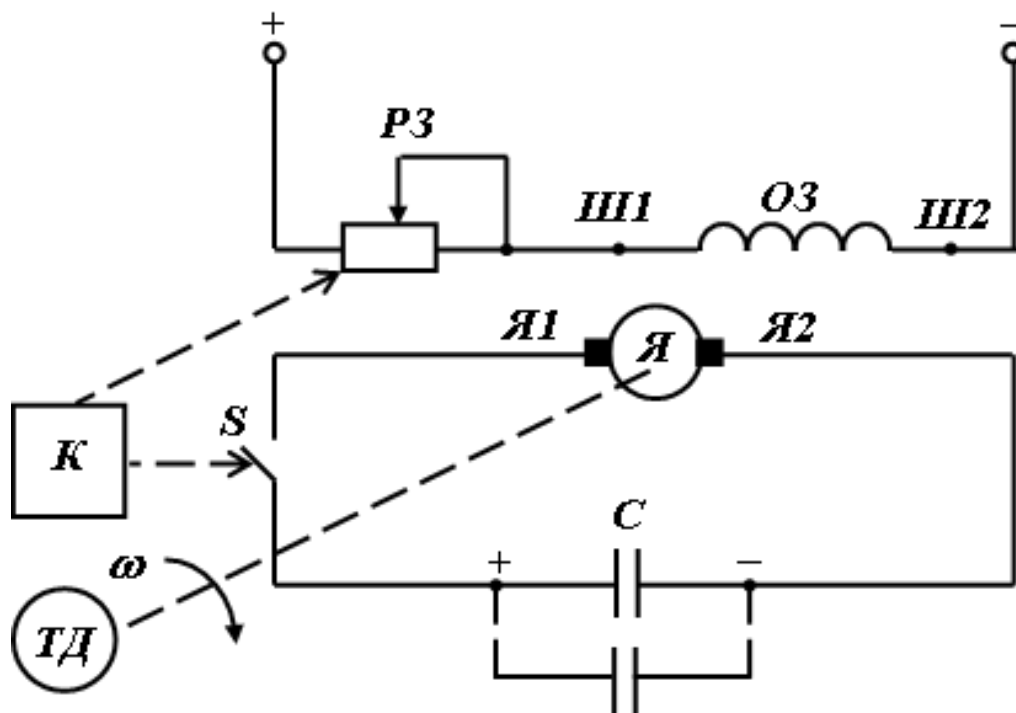
$$t = \frac{W_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}{P_{2\text{н}}} . \quad (5)$$

Після підстановки значень формул у (5), отримаємо наступне:

$$t = \frac{18,8 \cdot 0,82}{8,5} = 1,8 \text{ год} .$$

7.3 Впровадження і розрахунок електричних схем керування

Принципова електрична схема керування обраного нами електродвигуном постійного струму має вигляд, що наведений на рис.4.



P3 – реостат збудження; O3 – обмотка збудження електродвигуна; К – блок керуючого пристрою; S – комутаційний однополюсний електричний апарат; Я – якір електродвигуна; C – блок іоністорів; ТД – тепловий двигун.

Рисунок 7.5.- Принципова електрична схема керування використаного електродвигуном постійного струму.

Давайте проведемо аналіз режиму паралельної роботи теплового та електричного двигунів, які діють на спільний вал. Для цього підготуємо розрахункову схему якірного кола (див. рис. 7.6).

Момент, що розвиває електродвигун, знайдемо за виразом:

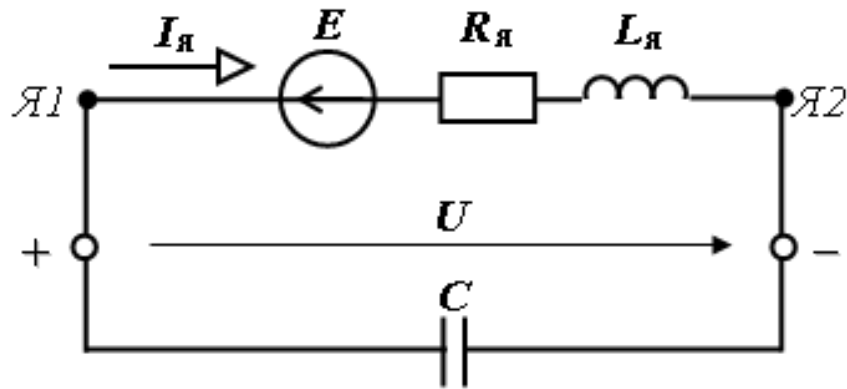
$$M_{\text{ед}} = k\Phi \cdot I_{\text{я}}, \quad (6)$$

Рівняння швидкісної характеристики даного електродвигуна знайдемо за виразом:

$$\omega = \frac{U - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}}{k\Phi}, \quad (7)$$

Застосуємо рівняння (2), щоб визначити силу струму у якірному колі електродвигуна:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - k\Phi \cdot \omega}{R_{\text{я}}} \quad (8)$$



$I_{\text{я}}$ – сила струму у якірному колі; E – е.р.с., яка виникає в обмотці якоря при обертанні електродвигуна; $R_{\text{я}}$ – опір якірного кола; $L_{\text{я}}$ – індуктивність обмотки якоря; C – ємність батареї іоністорів; U – напруга на затискачах якірного кола.

Рисунок 7.6. - Розрахункову схему якірного кола використаного електродвигуна.

Підставив вираз (8) у (6), та отримаємо:

$$M_{\text{ед}} = k\Phi \cdot \frac{U - k\Phi \cdot \omega}{R_{\text{я}}} \quad (9)$$

Запишемо вираз для визначення необхідної величини $k\Phi$ обраного нами електродвигуна, користуючись (7):

$$k\Phi = \frac{U_{\text{н}} - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я.н}}}{\omega_{\text{н}}} \quad (10)$$

Номінальний струм якірного кола електродвигуна визначається:

$$I_{\text{я.н}} = \frac{P_{2\text{н}}}{\eta_{\text{н}} \cdot U_{\text{н}}} \quad (11)$$

Номінальна кутова швидкість дорівнює електродвигуна становить:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{н}}}{60} \quad (12)$$

Підставивши значення виразів до (12), (11) та (10) отримуємо наступне:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 750}{60} = 78,5 \frac{\text{рад.}}{\text{с}} ;$$

$$I_{\text{я.н}} = \frac{8500}{0,82 \cdot 440} = 23,56 \text{ А} ;$$

$$k\Phi = \frac{440 - 0,796 \cdot 23,56}{78,5} = 5,37 \text{ Вб}$$

Проведемо задавшись значеннями напруги $U = 55 \text{ В}, 110 \text{ В}, 220 \text{ В}, 330 \text{ В}, 440 \text{ В}$.

Проведемо та розраховуємо залежності $M_{\text{ед}} = f(\omega)$, користуючись приведеним рівнянням (9).

Результати проведених розрахунків наведено наведеному рисунку 7.7.

Отримані залежності говорять про те, що при номінальній швидкості обертання (78,5 рад/с) електричний двигун переходить у режим генератора при напрузі 55 В. Це означає, що при цій напрузі електричний двигун не тільки не зменшує споживання дизельного пального, але й збільшує його. Отже, для оптимізації роботи системи потрібно вимкнути живлення електродвигуна при напрузі на затискачах 55 В, що означає відключення батареї іоністорів. Такий підхід допоможе забезпечити ефективну роботу системи і зменшити споживання дизельного пального.

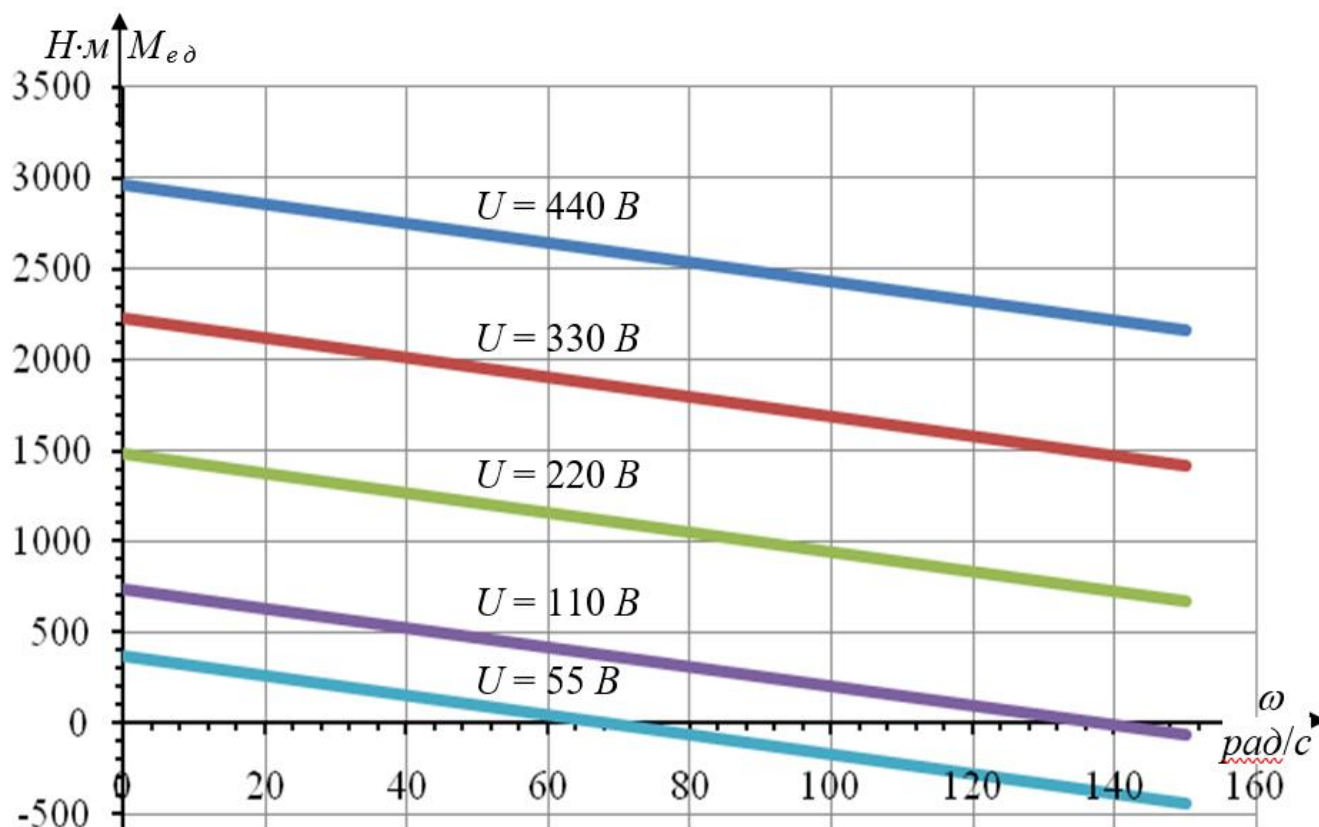


Рисунок 7.7.- Графік залежності $M_{ед} = f(\omega)$ при різних значеннях U живлення електродвигуна.

7.4 Економічні показники

Для визначення терміну окупності дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті на базі трактора ХТЗ-2511 потрібно спочатку оцінити його орієнтовну вартість. Вартість пристрою можна визначити за допомогою спеціальної формули, яка враховує витрати на придбання всіх необхідних компонентів та матеріалів. Після цього можна буде порівняти цю вартість з очікуваними економіями від зменшення витрат на пальне та розрахувати термін окупності.

Таким чином для визначення терміну окупності матиме вираз:

$$C = C_{ед} + C_{Б} + C_{доп}, \quad (13)$$

де C – вартість обраного дизель-електричного пристрою для економії

палива у мобільному агрегаті, *грн.*;

C_{ED} – вартість обраного для встановлення електродвигуна, *грн.*;

$C_{БІ}$ – вартість обраної батареї іоністорів SAMWHA, *грн.*;

$C_{ДОД}$ – додаткові витрати пов'язані з транспортуванням дизель-електричного пристрою, його монтажем та налагодженням, *грн.*

Після підстановки відомих значень у виразі (13) отримуємо наступне:

$$C = 8000 + 39720 + 3000 = 50720 \text{ грн.}$$

Для знаходження річного прибутку від використання дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті використовується формула, що враховує економію на витратах пального, а також інші фактори, такі як зниження витрат на обслуговування та можливість ефективнішого використання пристрою.

Річний прибуток знайдемо за формулою:

$$\Pi = \frac{P_{ED}}{P_{TD}} \cdot \Gamma, \quad (14)$$

де Π – річний прибуток від експлуатації дизель-електричного пристрою економії з та збереження палива у мобільному агрегаті, *грн.*;

P_{ED} – номінальна потужність встановленого ЕД, *кВт*;

P_{TD} – номінальна потужність теплового встановленого двигуна, *кВт*;

Γ – економія у грошовому еквіваленті витрат на дизельне пальне, *грн.*

Після підстановки відомих значень у виразі (14) отримуємо наступне:

$$\Pi = \frac{8,5}{19,5} \cdot 50720 = 22108,72 \text{ грн.}$$

Термін окупності дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті можна знайти, поділивши вартість пристрою на річний прибуток від його використання. Цей термін вказує на той період часу, за який інвестиція в пристрій повернеться від економії на пальному.

Термін окупності знайдемо за формулою:

						Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T = \frac{C}{\Pi}, \quad (15)$$

де T – термін окупності використовуваного дизель-електричного пристрою збереження палива у нашому мобільному агрегаті, *рік*.

Після підстановки відомих значень у виразі (15) отримуємо наступне:

$$T = \frac{50720}{22108,7} \approx 2,3 \text{ роки.}$$

7.5. Висновки

Отримано наступні висновки в результаті проведених досліджень:

Використання режиму спільної роботи теплового та електричного двигунів, що працюють на загальний вал, є одним із способів зменшення витрат дизельного палива у мобільного агрегату.

Батарея іоністорів виступає джерелом електричного живлення для дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті.

Аналіз залежностей моменту, який розвивається електродвигуном при різних значеннях напруги живлення у функції кутової швидкості, показує, що електричну енергію, накопичену в іоністорах, можна практично повністю використовувати в залежності від кутової швидкості обертання валу.

Орієнтовна вартість дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті становить 50720 грн., а термін окупності цієї інвестиції складає 2,3 роки.

Висновки

1. Спроектована система електропостачання промислового споживача цукрового заводу задовольняє вимогам економічності, надійності та безпеки обслуговування.

2. Розроблена система електропостачання промислового підприємства забезпечує споживання електричної енергії у необхідній кількості та якості.

3. Використання режиму спільної роботи теплового та електричного двигунів, що працюють на загальний вал, є одним із способів зменшення витрат дизельного палива у мобільного агрегату.

Батарея іоністорів виступає джерелом електричного живлення для дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті.

Аналіз залежностей моменту, який розвивається електродвигуном при різних значеннях напруги живлення у функції кутової швидкості, показує, що електричну енергію, накопичену в іоністорах, можна практично повністю використовувати в залежності від кутової швидкості обертання валу.

Орієнтовна вартість дизель-електричного пристрою збереження палива у мобільному агрегаті становить 50720 грн., а термін окупності цієї інвестиції складає 2,3 роки.

						Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П.Г.Плешков, В.В.Зінзура, Н.Ю.Гарасьова, А.І. Котиш. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021 - 196 с.
2. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомєнд. 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.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. Бражевська Г.М. Економіко-енергетична оцінка виробничих процесів у тваринництві / Г.М. Бражевська // Економіка АПК. – 2011. – № 1. – С.65–70.
5. Тракторы ХТЗ-2511 и ХТЗ-3510: руководство по эксплуатации // Открытое акционерное общество «Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе». – 2005. – 178с.
6. <https://kiroe.com.ua/tarifi>
7. <http://www.tsatu.edu.ua/etem/wp-content/uploads/sites/60/zvit-ndr-tze-2015-r.pdf>
8. Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей : навчальний посібник / М. Б. Шелест, П. І. Гайда. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 210 с.
9. Іоністори – режим доступа / <https://car-led.org/ua/p17313744-700-27v-edlc.html>.
10. Електронний ресурс. <https://fairway.com.ua/elektrodivigateli/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-serii->

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

2p/elektrodivigatel-postoyannogo-toka-2pn90m

11. Електронний ресурс. <https://car-led.org/ua/p56998567-1700-27v-edlc.html>
12. Електронний ресурс. Електродвигун серії 2ПН200М
[https://fairway.com.ua/elektrodivigateli/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-
/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-serii-2p/page/4](https://fairway.com.ua/elektrodivigateli/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-serii-2p/page/4)

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76