

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

Розробка системи електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання **Development of a the power supply system for a plant for the production automotive equipment**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ21-Зск
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Шульга М. С.
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Р. Телюта
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

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

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2024 р.

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

Шульзі Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розробка системи електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

Development of a the power supply system for a plant for the production automotive equipment

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 використаних джерел</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 _____ М. Шульга

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 80 с.; 19 рис.; 26 табл.; 8 джерел

Шульга М.С. Розробка системи електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання. – Рукопис.

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

Розроблена система електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання відповідає сучасним вимогам щодо ефективності, надійності та безпеки експлуатації, що є ключовими факторами для забезпечення стабільної роботи підприємства.

Створена система електропостачання забезпечує необхідний обсяг та належну якість електричної енергії для задоволення потреб виробничих процесів на заводі з виробництва автомобільного обладнання. Розрахунки техніко-економічних показників підтвердили адекватність обраного технічного рішення.

У рамках спеціального питання, присвяченого ефективному використанню та збереженню електроенергії в індукційних тигельних печах, були розроблені необхідні заходи та вибрані відповідні засоби. Для впровадження була вибрана індукційна тигельна піч ИТПЭ-0,03/0,05ТГ1. Розглянуто питання енергозбереження, розроблені відповідні заходи та рекомендації з мінімізації витрат електроенергії. Проведено необхідні електротехнічні розрахунки та вибрано необхідне існуюче електрообладнання.

Ключові слова: електропостачання заводу, електричні навантаження, трансформатори, техніко-економічні показники, індукційні тигельні печі, енергозбереження.

ABSTRACT

Qualification work: 80 p.; 19 Fig.; 26 tables; 8 sources

Shulha M.S. Development of a the power supply system for a plant for the production automotive equipment. – 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 developed power supply system of the plant for the production of automotive equipment meets modern requirements for efficiency, reliability and safety of operation, which are key factors for ensuring the stable operation of the enterprise.

The created power supply system provides the required volume and proper quality of electrical energy to meet the needs of production processes at the automotive equipment manufacturing plant. Calculations of technical and economic indicators confirmed the adequacy of the chosen technical solution.

As part of a special issue dedicated to the efficient use and conservation of electricity in induction crucible furnaces, the necessary measures were developed and the appropriate means were selected. An induction crucible furnace ITPE-0.03/0.05TT1 was selected for implementation. The issue of energy saving was considered, appropriate measures and recommendations for minimizing electricity consumption were developed. Necessary electrical calculations were carried out and necessary existing electrical equipment was selected.

Key words: power supply of the plant, electrical loads, transformers, technical and economic indicators, induction crucible furnaces, energy saving.

Зміст

	Стор.
Вступ.....	7
1. Електричні навантаження заводу з виробництва автомобільного обладнання	8
1.1 Визначення електронавантажень цукрового заводу в електромережах до 1000 В	8
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання	11
1.3 Розрахунок електронавантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання електромережах вище 1000 В	12
1.4 Графіки електричних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання	22
2. Побудова картограми електричних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання	27
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання	30
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання цукрового заводу	30
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання	34
4. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування заводу з виробництва автомобільного обладнання	36
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності заводу з виробництва автомобільного обладнання	36
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі з виробництва автомобільного обладнання	38

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив		Шульга М.С.			Розробка системи електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання		Літ.	Аркуш
Перевірів		Телюта Р.В.						Аркушів
								5
								80
Н. Контр.							ЦНТУ гр. ЕЕ21-Зск	
Затвердив		Плещков П.Г.						

5.	Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі з виробництва автомобільного обладнання ...	42
6.	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання цукрового заводу.....	44
6.1.	Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу з виробництва автомобільного обладнання	44
6.2.	Вибір високовольтних кабелів для заводу з виробництва автомобільного обладнання	50
6.3.	Вибір електричних апаратів високої напруги для заводу з виробництва автомобільного обладнання	52
6.4.	Вибір трансформаторів струму і напруги для заводу з виробництва автомобільного обладнання	55
7.	Спеціальний розділ. Ефективне використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах.....	59
7.1	Розрахунок і вибір індукційної тигельної печі	60
7.2.	Тепловий розрахунок печі	62
7.3.	Електричний розрахунок індуктора в гарячому режимі.....	66
7.4	Розрахунок водоохолодження індуктора	71
7.5.	Розрахунок конденсаторної батареї.....	73
7.6.	Енергетичний баланс установки.....	74
7.7.	Заходи економії електроенергії в індукційній тигельній печі.....	77
	Висновки	79
	Список використаних джерел	80

Вступ

У сучасному індустріальному середовищі, надійна та ефективна система електропостачання є невід'ємною складовою успішної роботи будь-якого виробничого підприємства. Особливо це стосується заводів з виробництва автомобільного обладнання, де навіть маленький збій у живленні може призвести до серйозних перешкод у виробничому процесі та втрат продуктивності. Тому розробка та налагодження оптимальної системи електропостачання має вирішальне значення для забезпечення стабільності та ефективності виробничого процесу.

У цьому контексті, розглядаючи завод з виробництва автомобільного обладнання, важливо враховувати специфіку виробничого процесу, його потужність, розмір та склад обладнання. Висока вимогливість до якості та безперебійності живлення, а також потреба у додаткових заходах безпеки та резервування, роблять розробку системи електропостачання складним, але надзвичайно важливим завданням.

У даному проєкті ми розглянемо ключові аспекти розробки системи електропостачання для заводу з виробництва автомобільного обладнання, враховуючи вимоги до надійності, ефективності та безпеки. Зокрема, ми проаналізуємо варіанти постачання електроенергії, виконаємо розрахунки електронавантаження, режимів реактивної потужності, струмів короткого замикання та вибору високовольтного електрообладнання. Наша мета полягає в тому, щоб запропонувати оптимальне технічне рішення, яке відповідає вимогам заводського виробництва, забезпечуючи стабільну та безперебійну роботу обладнання.

Продовжуючи дослідження та розробку у цьому напрямку, ми сподіваємося забезпечити підприємство найсучаснішими технологіями та практиками з управління електропостачанням, що дозволить забезпечити його успішне функціонування в умовах сучасного виробничого середовища.

						Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Електричні навантаження заводу з виробництва автомобільного обладнання

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

1.1 Визначення електронавантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання в електромережах до 1000 В

Середнє навантаження споживачів заводу з виробництва автомобільного обладнання та їх потужність становить:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_{\text{н}} = 7900 \cdot 0,85 = 6715 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi = 6715 \cdot 0,88 = 5922,07 \text{ кВар}$$

Ефективне кількість ел.приймачів по автомобільному підприємства

$$n_e = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 7900}{100} = 158$$

Знаходимо коефіцієнт m для існуючих споживачів:

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

Коеф. $K_{\text{м}}$ знаходимо за даними джерела [1] і буде мати значення $K_{\text{м}} = 1$.

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

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} K_{\text{м}} = 6715 \cdot 1 = 6715 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 5922,07 \text{ кВар}$$

Розрахунок значення максимум навантаження заводу автомобільного обл-ня

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{6715^2 + 5922,1^2} = 8953,33 \text{ кВА}$$

Розрахунок існуючих навантажень для заводу до 1000 В приведені в табл 1.1.

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

Таблиця 1.1. Розрахунок ел. навантажень до 1 кВ заводу з виробництва автомобільного обладнання

Ном	Назва приміщень заводу автомобільного обладнання	Кіл ел. спо- живачів по прим	Встановлена по- тужність		Потуж Р _{сум} кВт	m	К _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне наванта- ження		П _{еф}	К _м	Потужність розрахункова,		
			мін	мак.						Р _{ср} кВт	Q _{ср} кВт			Р _p кВт	Q _p кВар	S _p кВА
1	Цех головного конвеєра, шасі	300	5	100	7900	20	0,85	0,75	0,88	6715	5922,07	158	1	6715	5922,1	8953,33
2	Цех моторний	180	3	120	7400	40	0,25	0,7	1,02	1850	1887,38	123	1,17	2164,95	1887,4	2872,14
3	Цех пресовий і кузовний	150	10	100	2700	10	0,2	0,7	1,02	540	550,91	54	1,32	710,29	550,91	898,9
4	Цех інструментальний	50	1	28	700	28	0,2	0,8	0,75	140	105	50	1,33	186,1	105	213,68
5	Цехи ремонтні	50	3	15	400	5	0,3	0,7	1,02	120	122,42	50	1,24	149,35	122,42	193,11
6	Цех конструкторський експериментальний	20	5	15	150	3	0,2	0,7	1,02	30	30,61	20	1,55	46,63	30,61	55,78
7	Склад головний	15	5	20	250	4	0,6	0,8	0,75	150	112,5	15	1,23	183,88	112,5	215,56
8	Цех модельний	25	3	15	200	5	0,5	0,6	1,33	100	133,33	25	1,22	122,03	133,33	180,74
9	Цех деревообробний цех	20	1	15	180	15	0,3	0,8	0,75	54	40,5	20	1,41	76,24	40,5	86,33
10	Цех ливарний цех та сірого чавуну	80	5	50	1800	10	0,7	0,9	0,48	1260	610,25	72	1,06	1341,46	610,25	1473,74
11	Цех ливарний для ковкого чавуну і кольорових металів	80	5	40	2500	8	0,7	0,9	0,48	1750	847,56	80	1,06	1856,69	847,56	2040,99
12	Цех арматурно-агрегатний	50	10	20	700	2	0,2	0,7	1,02	140	142,83	50	1,33	186,1	142,83	234,59
13	Станція генераторна	20	20	30	450	1,5	0,5	0,8	0,75	225	168,75	20	1,25	281,35	168,75	328,08
14	Вугільний склад	8	3	15	100	5	0,5	0,8	0,75	50	37,5	8	1,43	71,69	41,25	82,71

прод.таблиці 1.1.

Ном	Назва приміщень заводу автомобільного обладнання	Кіл ел. спо- живачів по прим	Встановлена по- тужність		Потуж Р _{сум} кВт	m	К _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне наванта- ження		П _{еф}	К _м	Потужність розрахункова,		
			мін	мах.						Р _{ср} кВт	Q _{ср} кВт			Р _р кВт	Q _р кВар	S _р кВА
15	Мазутний склад	5	8	8	40	1	0,3	0,7	1,02	12	12,24	5	1,97	23,64	13,46	27,2
16	Масельний склад та хімікатів	5	10	10	50	1	0,7	0,8	0,75	35	26,25	5	1,31	46,01	28,87	54,32
17	Гараж	10	5	15	100	3	0,5	0,8	0,75	50	37,5	10	1,38	68,89	41,25	80,3
18	Адміністративна будівля	10	1	10	120	10	0,7	0,8	0,75	84	63	10	1,2	100,91	69,3	122,41
19	Охорона, прохідна	2	10	10	20	1	0,7	0,8	0,75	14	10,5	2	1,67	23,44	11,55	26,13
20	Дослідні лабораторії	20	1	8	100	8	0,6	0,8	0,75	60	45	20	1,19	71,46	45	84,45
21	Столова	5	10	50	500	5	0,7	0,9	0,48	350	169,51	5	1,31	460,08	186,46	496,43
22	Цех паливного обладнання	20	5	60	400	12	0,3	0,7	1,02	120	122,42	13	1,53	183,63	122,42	220,7
23	Склад металоконструкцій	10	10	10	100	1	0,3	0,7	1,02	30	30,61	10	1,62	48,63	33,67	59,15
	Всього	1135	1	120	2686 0	120	0,517	0,777	0,81	13879	11228,64	448	1	13879	11229	17852,4

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання

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.

но м ер	Назва приміщень заводу автомобільного обладнання	Площа F , m^2	P_0 , $Вт/m^2$	Потуж P_B , $кВт$	$\cos\varphi$	коэф K_1	коэф K_c	$tg\varphi$	Розрахункове навантаження приміщень заводу		
									P_p , $кВт$	Q_p , $квар$	S_p , $кВА$
1	Цех головного конвеєра, шасі	6840	16	109,44	0,95	1,2	0,9	0,484	124,76	60,38	138,6
2	Цех моторний	6840	16	109,44	0,95	1,2	0,9	0,484	124,76	60,38	138,6
3	Цех пресовий і кузовний	3690	12	44,28	0,95	1,2	0,9	0,484	50,48	24,43	56,08
4	Цех інструментальний	3240	16	51,84	0,95	1,2	0,9	0,484	59,1	28,6	65,66
5	Цехи ремонтні	1134	18	20,41	0,85	1,2	0,9	0,484	20,82	10,08	23,13
6	Цех конструкторський, експериментальний	1620	18	29,16	0,95	1,2	0,9	0,484	33,24	16,09	36,93
7	Склад головний	702	6	4,21	0,6	1,2	0,9	0,484	3,03	1,47	3,37
8	Цех модельний	1512	18	27,22	0,95	1,2	0,9	0,484	31,03	15,02	34,47
9	Цех деревообробний цех	1080	18	19,44	0,95	1,2	0,9	0,484	22,16	10,73	24,62
10	Цех ливарний цех та сірого чавуну	3816	18	68,69	0,95	1,2	0,9	0,484	78,31	37,9	87
11	Цех ливарний для ковкого чавуну і кольорових металів	4338	18	78,08	0,95	1,2	0,9	0,484	89,01	43,08	98,89
12	Цех арматурно-агрегатний	1638	16	26,21	0,95	1,2	0,9	0,484	29,88	14,46	33,19
13	Станція генераторна	1026	10	10,26	0,6	1,2	0,9	0,484	7,39	3,58	8,21
14	Вугільний склад	2772	8	22,18	0,6	1,2	0,9	0,484	15,97	7,73	17,74
15	Мазутний склад	5022	6	30,13	0,6	1,2	0,9	0,484	21,69	10,5	24,1

прод.таблиці 1.2.

но м ер	Назва приміщень заводу автомобільного обладнання	Полщ F , m^2	P_o , $Вт/m^2$	Потуж P_v , кВт	$\cos\varphi$	коэф K_1	коэф K_c	$tg\varphi$	Розрахункове навантаження приміщень заводу		
									P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
16	Масельний склад та хімікатів	405	6	2,43	0,6	1,2	0,9	0,484	1,75	0,85	1,95
17	Гараж	684	12	8,21	0,95	1,2	0,9	0,484	9,36	4,53	10,4
18	Адміністративна будівля	702	18	12,64	0,8	1,2	0,9	0,484	12,13	5,87	13,48
19	Охорона, прохідна	540	12	6,48	0,8	1,2	0,9	0,484	6,22	3,01	6,91
20	Дослідні лабораторії	2151	18	38,72	0,8	1,2	0,9	0,484	37,17	17,99	41,29
21	Столова	1440	14	20,16	0,8	1,2	0,9	0,484	19,35	9,37	21,5
22	Цех паливного обладнання	756	16	12,1	0,95	1,2	0,9	0,484	13,79	6,67	15,32
23	Склад металоконструкцій	2052	6	12,31	0,6	1,2	0,9	0,484	8,86	4,29	9,84
	Всього	109710	0,1	10,97	1	1,12	0,5	1,732	12,29	21,29	24,58
				775,01					832,55	418,3	931,73

1.3 Розрахунок електронавантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання 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.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							12

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень, заводу з виробництва автомобільного обладнання, вище 1000 В

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коєф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		η _{еф}	коєф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					Р _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
ТП1-ТП5															
Головний конвеєр цех шасі															
силове:	300	5	100	7900	20	0,85	0,75	0,88	6715	5922	158	1	6715	5922,1	8953,33
освітлювальне:									109,4				124,76	60,38	
Всього:									6824	5922			6839,76	5982,5	9086,92
Територія по заводу															
освітлювальне:									10,97				12,29	21,29	
Всього:									10,97	0			12,29	21,29	24,58
Всього по ТП1-ТП5:															
силове:	300	5	100	7900	20	0,85	0,75	0,88	6715	5922	158	1	6715	5922,1	8953,33
освітлювальне:									120,4				137,05	81,67	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП1-ТП5:									6835	5922			6852,05	6003,7	9110,19
Втрати в трансформаторах:													97,63	398,23	
Кількість трансформаторів: 10															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП1-ТП5:													6949,68	6402	9448,98

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Арк.

13

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коєф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коєф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					Р _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
ТП6-ТП7															
цех моторний															
силове:	180	3	120	7400	40	0,25	0,7	1,02	1850	1887	123	1,17	2164,95	1887,4	2872,14
освітлювальне:									109,4				124,76	60,38	
Всього:									1959	1887			2289,71	1947,8	3006,08
цех інструментальний															
силове:	50	1	28	700	28	0,2	0,8	0,75	140	105	50	1,33	186,1	105	213,68
освітлювальне:									51,84				59,1	28,6	
Всього:									191,8	105			245,2	133,6	279,23
Всього по ТП6-ТП7:															
силове:	230	1	120	8100	120	0,25	0,71	0,99	2025	2008	135	1,16	2352,41	2008,5	3093,18
освітлювальне:									161,3				183,86	88,98	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП6-ТП7:									2186	2008			2536,27	2097,4	3291,19
Втрати в трансформаторах:													35,62	144,45	
Кількість трансформаторів: 4															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,63															
Всього на шинах 10 кВ ТП6-ТП7:													2571,89	2241,9	3411,85

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коеф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коеф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
ТП8															
Цех арматурно-агрегатний															
силове:	50	10	20	700	2	0,2	0,7	1,02	140	142,8	50	1,33	186,1	142,83	234,59
освітлювальне:									26,21				29,88	14,46	
Всього:									166,2	142,8			215,98	157,29	267,18
Адмін.будівля															
силове:	10	1	10	120	10	0,7	0,8	0,75	84	63	10	1,2	100,91	69,3	122,41
освітлювальне:									12,64				12,13	5,87	
Всього:									96,64	63			113,04	75,17	135,75
Дослідні лабораторії															
силове:	20	1	8	100	8	0,6	0,8	0,75	60	45	20	1,19	71,46	45	84,45
освітлювальне:									38,72				37,17	17,99	
Всього:									98,72	45			108,63	62,99	125,57
Цех паливної обладнання															
силове:	20	5	60	400	12	0,3	0,7	1,02	120	122,4	13	1,53	183,63	122,42	220,7
освітлювальне:									12,1				13,79	6,67	
Всього:									132,1	122,4			197,42	129,09	235,88
Склад металоконструкцій															
силове:	10	10	10	100	1	0,3	0,7	1,02	30	30,61	10	1,62	48,63	33,67	59,15
освітлювальне:									12,31				8,86	4,29	
Всього:									42,31	30,61			57,49	37,96	68,89
Всього по ТП8:															

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коэф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коэф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , МВА
		min	max												
силове:	110	1	60	1420	60	0,31	0,73	0,94	440,2	412,1	47	1,25	548,76	412,13	686,29
освітлювальне:									102				101,83	49,28	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП8:									542,2	412,1			650,59	461,41	797,6
Втрати в трансформаторах:													9,18	37,28	
Кількість трансформаторів: 1															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,65															
Всього на шинах 10 кВ ТП8:													659,77	498,69	827,03
ТП9															
цех конструкторсько-експериментальний															
силове:	20	5	15	150	3	0,2	0,7	1,02	30	30,61	20	1,55	46,63	30,61	55,78
освітлювальне:									29,16				33,24	16,09	
Всього:									59,16	30,61			79,87	46,7	92,52
цех модельний															
силове:	25	3	15	200	5	0,5	0,6	1,33	100	133,3	25	1,22	122,03	133,33	180,74
освітлювальне:									27,22				31,03	15,02	
Всього:									127,2	133,3			153,06	148,35	213,16

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коеф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коеф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
Склад хімікатів, масел															
силове:	5	10	10	50	1	0,7	0,8	0,75	35	26,25	5	1,31	46,01	28,87	54,32
освітлювальне:									2,43				1,75	0,85	
Всього:									37,43	26,25			47,76	29,72	56,25
Заводські гаражі															
силове:	10	5	15	100	3	0,5	0,8	0,75	50	37,5	10	1,38	68,89	41,25	80,3
освітлювальне:									8,21				9,36	4,53	
Всього:									58,21	37,5			78,25	45,78	90,66
Заводська прохідна															
силове:	2	10	10	20	1	0,7	0,8	0,75	14	10,5	2	1,67	23,44	11,55	26,13
освітлювальне:									6,48				6,22	3,01	
Всього:									20,48	10,5			29,66	14,56	33,04
Столова															
силове:	5	10	50	500	5	0,7	0,9	0,48	350	169,5	5	1,31	460,08	186,46	496,43
освітлювальне:									20,16				19,35	9,37	
Всього:									370,2	169,5			479,43	195,83	517,88
цех пресо-кузовний															
силове:	150	10	100	2700	10	0,2	0,7	1,02	540	550,9	54	1,32	710,29	550,91	898,9
освітлювальне:									44,28				50,48	24,43	
Всього:									584,3	550,9			760,77	575,34	953,83
Всього по ТП9:															

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коеф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коеф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
силове:	217	3	100	3720	33,3	0,3	0,76	0,86	1116	954,4	74	1,2	1335,21	954,36	1641,22
освітлювальне:									137,9				151,43	73,3	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП9:									1254	954,4			1486,64	1027,7	1807,26
Втрати в трансформаторах:													21,63	88,78	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,74															
Всього на шинах 10 кВ ТП9:													1508,27	1116,4	1876,52
ТП10															
цех ливарний та сірого чавуну															
силове:	80	5	50	1800	10	0,7	0,9	0,48	1260	610,3	72	1,06	1341,46	610,25	1473,74
освітлювальне:									68,69				78,31	37,9	
Всього:									1329	610,3			1419,77	648,15	1560,72
цех деревообробний															
силове:	20	1	15	180	15	0,3	0,8	0,75	54	40,5	20	1,41	76,24	40,5	86,33
освітлювальне:									19,44				22,16	10,73	
Всього:									73,44	40,5			98,4	51,23	110,94
Всього по ТП10:															
силове:	100	1	50	1980	50	0,66	0,9	0,48	1307	632,9	79	1,07	1401,05	632,91	1537,37
освітлювальне:									88,13				100,47	48,63	

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коєф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коєф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
Всього на шинах 0.4 кВ ТП10:									1395	632,9			1501,52	681,54	1648,96
Втрати в трансформаторах:													21,92	90	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,75															
Всього на шинах 10 кВ ТП10:													1523,44	771,54	1707,67
ТП11-ТП12															
Цех ливарний, кольорових металів і ковкого чавуну															
силове:	80	5	40	2500	8	0,7	0,9	0,48	1750	847,6	80	1,06	1856,69	847,56	2040,99
освітлювальне:									78,08				89,01	43,08	
Всього:									1828	847,6			1945,7	890,64	2139,86
Всього по ТП11-ТП12:															
силове:	80	5	40	2500	8	0,7	0,9	0,48	1750	847,6	80	1,06	1856,69	847,56	2040,99
освітлювальне:									78,08				89,01	43,08	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП11-ТП12:									1828	847,6			1945,7	890,64	2139,86
Втрати в трансформаторах:													27,43	111,41	
Кількість трансформаторів: 3															

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коєф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{єф}	коєф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,65															
Всього на шинах 10 кВ ТП11-ТП12:													1973,13	1002,1	2212,99
ТП13															
Склад головний															
силове:	15	5	20	250	4	0,6	0,8	0,75	150	112,5	15	1,23	183,88	112,5	215,56
освітлювальне:									4,21				3,03	1,47	
Всього:									154,2	112,5			186,91	113,97	218,92
цехи ремонтні															
силове:	50	3	15	400	5	0,3	0,7	1,02	120	122,4	50	1,24	149,35	122,42	193,11
освітлювальне:									20,41	122,4			20,82	10,08	215,67
Всього:									140,4				170,17	132,5	
Станція генераторна															
силове:	20	20	30	450	1,5	0,5	0,8	0,75	225	168,8	20	1,25	281,35	168,75	328,08
освітлювальне:									10,26				7,39	3,58	
Всього:									235,3	168,8			288,74	172,33	336,26
Вугільні склади															
силове:	8	3	15	100	5	0,5	0,8	0,75	50	37,5	8	1,43	71,69	41,25	82,71
освітлювальне:									22,18				15,97	7,73	
Всього:									72,18	37,5			87,66	48,98	100,42
Склад вогнебезпечних речовин, мазуту															

продовження таблиці 1.3

Найменування приміщень та номер ТП	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	коєф К _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		п _{еф}	коєф К _м	Розрахункове навантаження споживачів		
		на 1-го		Σ.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
		min	max												
силове:	5	8	8	40	1	0,3	0,7	1,02	12	12,24	5	1,97	23,64	13,46	27,2
освітлювальне:									30,13				21,69	10,5	
Всього:									42,13	12,24			45,33	23,96	51,27
Всього по ТП13:															
силове:	98	3	30	1240	10	0,45	0,78	0,8	558	447,7	83	1,13	628,77	447,67	771,86
освітлювальне:									87,19				68,9	33,36	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП13:									645,2	447,7			697,67	481,03	847,43
Втрати в трансф-ах:													9,98	40,77	
Кількість трансф-ів: 1															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП13:													707,65	521,8	879,23
Всього по об'єкту															
силове:	1135	1	120	26860	120	0,52	0,78	0,8	13967	11206	448	1	13967,2	11206	17906,66
освітлювальне:									87,19				832,55	418,3	
Всього:									14742	11206			14799,8	11624	18818,82
Втрати в трансф-ах:													223,39	910,91	
Всього по об'єкту:													15023,1	12535	19565,7
Всього по об'єкту 10 кВ:													15023,1	12535	19565,7
tgφ = 0,83															
Попереднє значення Q'кп														-10281	
Всього з урахуванням попередн. комп.													15023,1	2253,5	15191,21

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

21

Арк.

1.4 Графіки електричних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання

У даному підрозділі було розраховано параметри графіків електр. навант. заводу з виробництва автомобільного обладнання Розрахунки були виконані згідно методики [1]. Результати розрахунків зведено в табл. 1.4.1, 1.4.2 також наведені на рис. 1.4.1 - 1.4.5.

Таблиця 1.4.1 Вихідні дані граф електр. навант. заводу з виробництва автомобільного обладнання

Доба, години	Робочий період заводу з виробництва автомобільного обладнання		Вихідний період заводу з виробництва автомобільного обладнання	
	Р,кВт	Q, квар	Р,кВт	Q, квар
1	70	80	27	50
2	60	80	27	50
3	45	70	27	50
4	45	70	27	50
5	40	63	27	50
6	47	70	27	50
7	43	65	27	50
8	80	90	27	50
9	90	95	23	45
10	97	97	23	45
11	83	87	23	45
12	75	85	23	45
13	80	87	23	45
14	90	95	23	45
15	97	97	23	45
16	80	85	23	45
17	63	63	23	45
18	75	83	23	45
19	78	87	25	49
20	78	87	25	49
21	75	83	30	55
22	78	87	30	55
23	85	95	30	55
24	75	83	30	55

Таблиця 1.4.2 Обчислення сходинок графіка навантаж. по заводу з виробництва автомобільного обладнання

Год ини	Літні робочі дні автомобільного заводу			Зимові робочі дні автомобільного заводу			Літні вихідні дні томобільного завод			Зимні вихідні дні автомобільного завод		
	Потуж Р,кВт	Потуж Q,квар	Потуж S,кВА	Потуж Р,кВт	Потуж Q,квар	Потуж S,кВА	Потуж Р,кВт	Поту Q,квар	Потуж S,кВА	Потуж Р,кВт	Потуж Q,квар	Потуж S,кВА
1	8939	8524	12352	10516	10028	14531	3448	5327	6346	4056	6267	7465
2	7662	8524	11461	9014	10028	13484	3448	5327	6346	4056	6267	7465
3	5746	7458	9415	6760	8774	11076	3448	5327	6346	4056	6267	7465
4	5746	7458	9415	6760	8774	11076	3448	5327	6346	4056	6267	7465
5	5108	6712	8435	6009	7897	9923	3448	5327	6346	4056	6267	7465
6	6002	7458	9573	7061	8774	11262	3448	5327	6346	4056	6267	7465
7	5491	6925	8838	6460	8148	10398	3448	5327	6346	4056	6267	7465
8	10216	9589	14011	12019	11281	16484	3448	5327	6346	4056	6267	7465
9	11493	10122	15315	13521	11908	18017	2937	4795	5623	3455	5641	6615
10	12387	10335	16132	14572	12159	18979	2937	4795	5623	3455	5641	6615
11	10599	9270	14081	12469	10905	16565	2937	4795	5623	3455	5641	6615
12	9577	9056	13181	11267	10655	15507	2937	4795	5623	3455	5641	6615
13	10216	9270	13795	12019	10905	16229	2937	4795	5623	3455	5641	6615
14	11493	10122	15315	13521	11908	18017	2937	4795	5623	3455	5641	6615
15	12387	10335	16132	14572	12159	18979	2937	4795	5623	3455	5641	6615
16	10216	9056	13652	12019	10655	16062	2937	4795	5623	3455	5641	6615
17	8045	6712	10477	9465	7897	12327	2937	4795	5623	3455	5641	6615
18	9577	8843	13035	11267	10404	15336	2937	4795	5623	3455	5641	6615
19	9960	9270	13606	11718	10905	16007	3192	5221	6119	3756	6142	7199
20	9960	9270	13606	11718	10905	16007	3192	5221	6119	3756	6142	7199
21	9577	8843	13035	11267	10404	15336	3831	5860	7001	4507	6894	8237
22	9960	9270	13606	11718	10905	16007	3831	5860	7001	4507	6894	8237
23	10854	10122	14841	12770	11908	17461	3831	5860	7001	4507	6894	8237
24	9577	8843	13035	11267	10404	15336	3831	5860	7001	4507	6894	8237

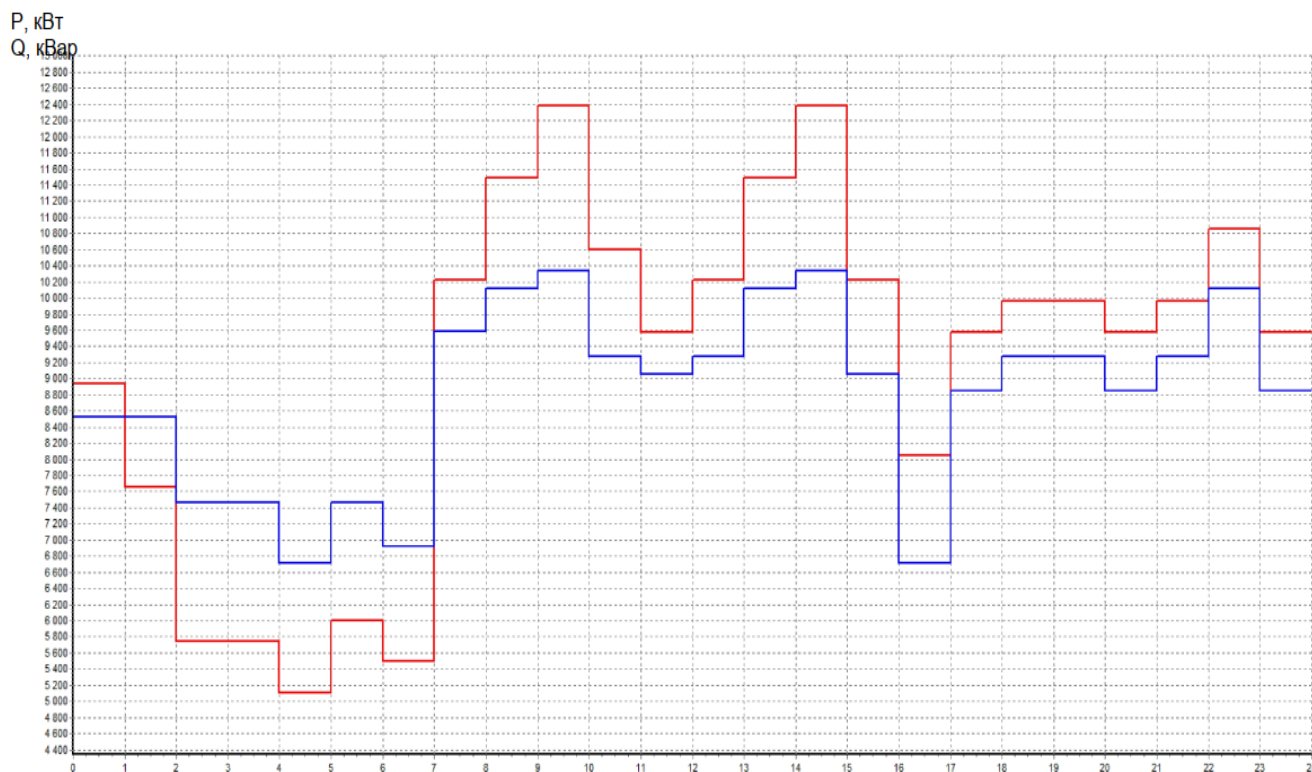


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік заводу з виробництва автомобільного обладнання, для літні робочих днів, Р та Q навантажень

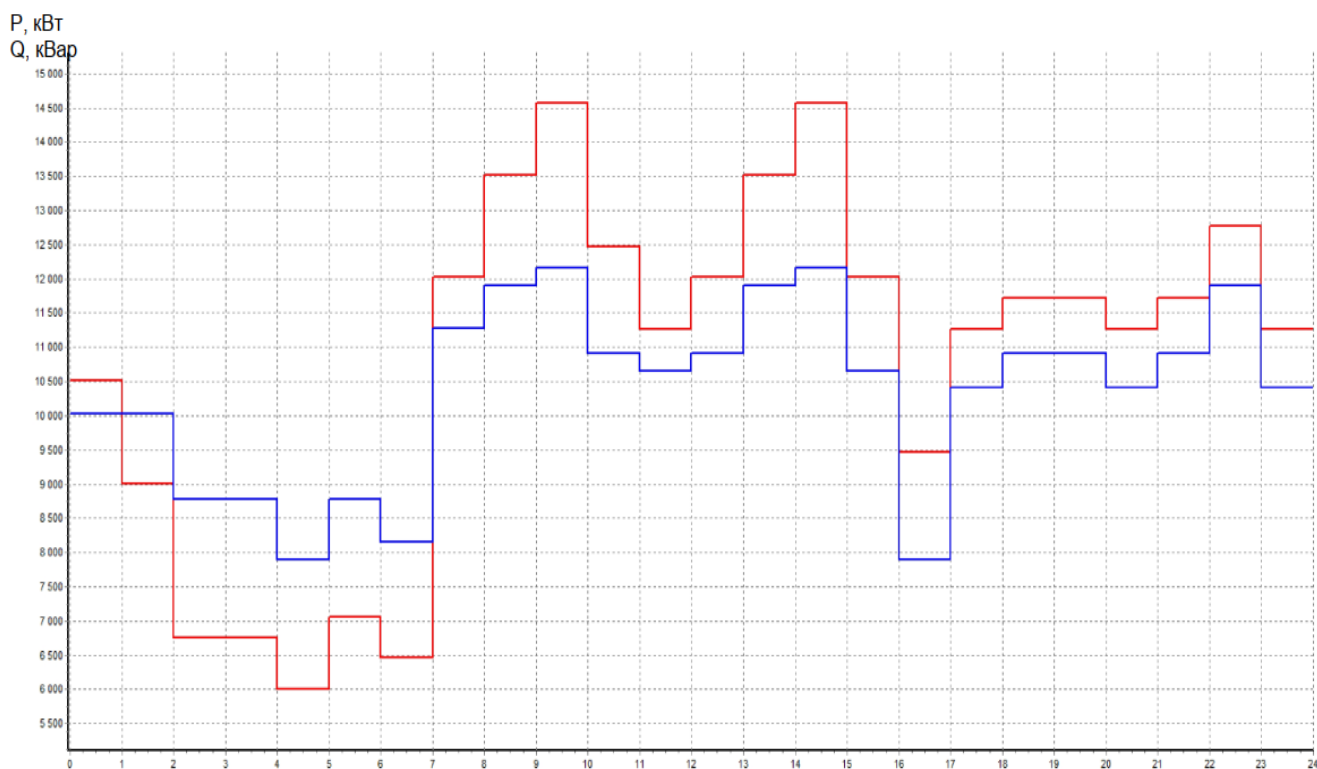


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік заводу з виробництва автомобільного обладнання, для зимових робочий днів, Р та Q навантажень

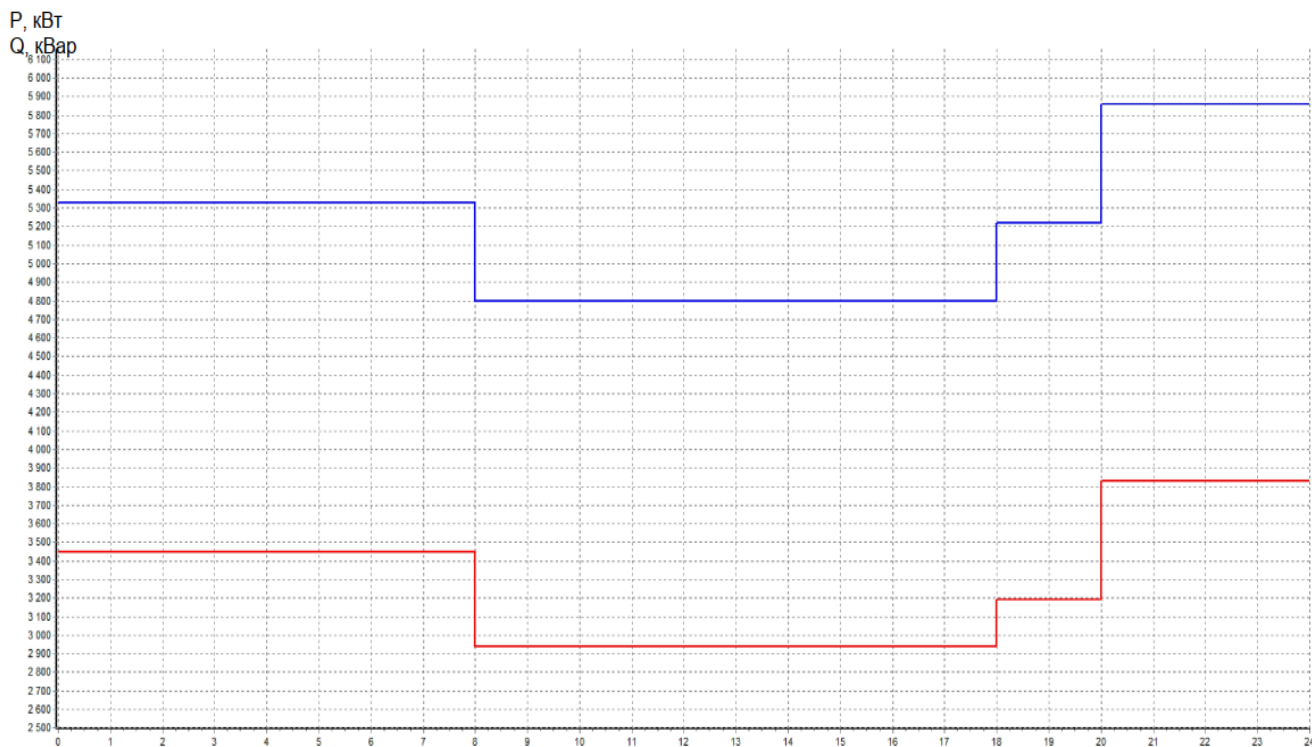


Рисунок 1.4.3. - Добовий графік заводу з виробництва автомобільного обладнання, для літніх вихідних днів, Р та Q навантажень



Рисунок 1.4.4. - Добовий графік заводу з виробництва автомобільного обладнання, для зимових вихідних днів, Р та Q навантажень

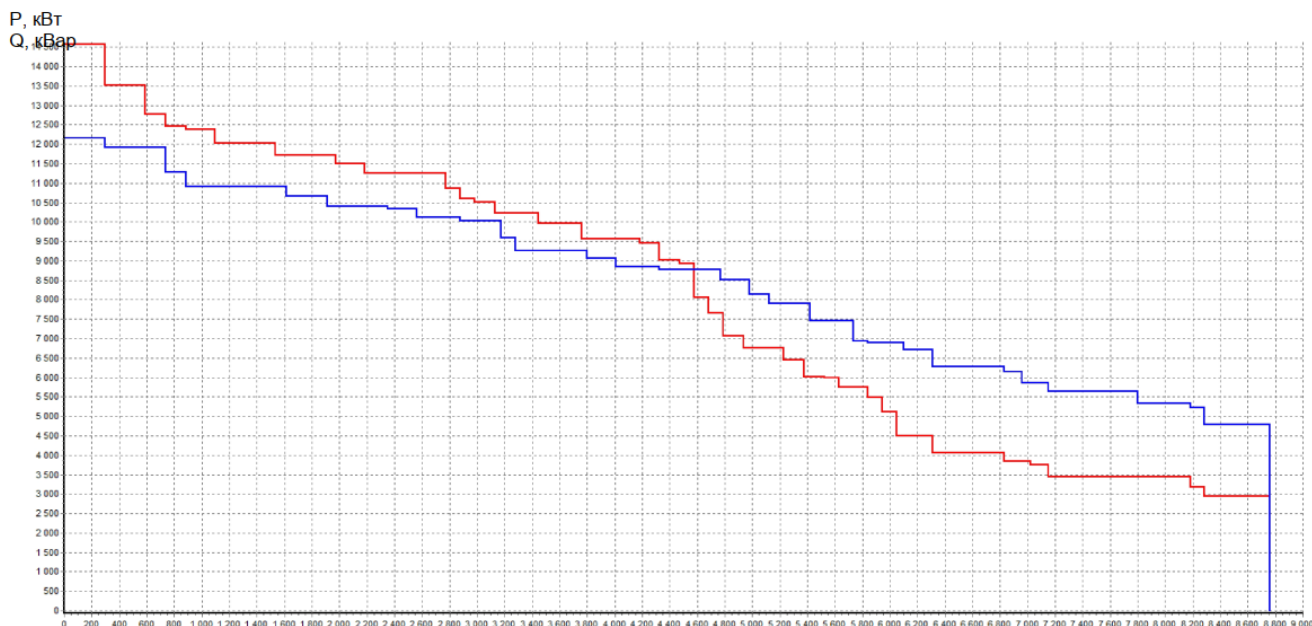


Рисунок 1.4.5. - Річний графік активного Р (по заводу з виробництва автомобільного обладнання)

Розрахункові величини графіків електричного навантаження (по заводу з виробництва автомобільного обладнання):

$S_p =$	19565,7	МВА
$W_{з.р.} =$	38183103	кВт год.
$V_{з.р.} =$	36557430	кВар год.
$W_{з.в.} =$	6014970	кВт год.
$V_{з.в.} =$	9516390	кВар год.
$W_{л.р.} =$	23182740	кВт год.
$V_{л.р.} =$	22195635	кВар год.
$W_{л.в.} =$	3775776	кВт год.
$V_{л.в.} =$	5973504	кВар год.
$W_p =$	71156589	кВт год.
$V_p =$	74242959	кВар год.
$T_{\max} =$	5255,941	год.
$\tau =$	3696,479	год

2. Побудова картограми електричних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання

Побудова картограми електричних навантажень заводу з виробництва автомобільного обладнання проводиться за методикою, що представлена в літературному джерелі [1].

Наведемо приклад розрахунку картограми для цеху головного конвеєра:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осс} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{124,70 + 6715,00}{3,14 \cdot 0,2}} = 104,33 \text{ мм}$$

Освітлювальне навантаження заводу з виробництва автомобільного обладнання представлено у вигляді сектора з центральним $\perp \alpha$.

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осс} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{124,70 \cdot 360}{3,14 \cdot 104,33^2} = 6,56^\circ$$

Розрахунок параметрів для інших об'єктів заводу з виробництва автомобільного обладнання проводиться аналогічно та зводиться в (табл. 2.1).

Координати центру електр. навант. цеху головного конвеєра, шасі:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1395298,80}{6839,70} = 204,00 \text{ м,}$$
$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{636092,10}{6839,70} = 93,00 \text{ м}$$

Для інших цехів, корпусів заводу з виробництва автомобільного обладнання розрахунок зводимо до (табл. 2.1).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.1. Дані розрахунку ЦЕН заводу з виробництва автомобільного обладнання та побудови КЕН.

ном	Назва приміщень заводу автомобільного обладнання	Потужн Р _{Р.сил} , кВт	Потужн Р _{Р.осв} , кВт	Потужн Р _Р , кВт	m	R, мм	Кут а	Координата х, м	Координата у, м	Потужність Р · х, кВт · м	Потужність Р · у, кВт · м
1	Цех головного конвеєра, шасі	6715,00	124,70	6839,70	0,2	104,33	6,56	204,00	93,00	1395298,80	636092,10
2	Цех моторний	2164,95	124,70	2289,65	0,2	60,37	19,61	345,00	96,00	789929,25	219806,40
3	Цех пресовий і кузовний	710,29	50,48	760,77	0,2	34,80	23,89	210,00	45,00	159761,70	34234,65
4	Цех інструментальний	186,10	59,10	245,20	0,2	19,75	86,77	339,00	45,00	83122,80	11034,00
5	Цехи ремонтні	149,35	20,82	170,17	0,2	16,46	44,05	33,00	279,00	5615,61	47477,43
6	Цех конструкторський, експериментальний	46,63	33,24	79,87	0,2	11,27	149,82	99,00	45,00	7907,13	3594,15
7	Склад головний	183,88	3,03	186,91	0,2	17,25	5,84	15,00	183,00	2803,65	34204,53
8	Цех модельний	122,03	31,03	153,06	0,2	15,61	72,98	102,00	96,00	15612,12	14693,76
9	Цех деревообробний цех	76,24	22,16	98,40	0,2	12,51	81,07	42,00	171,00	4132,80	16826,40
10	Цех ливарний цех та сірого чавуну	1341,46	78,31	1419,77	0,2	47,54	19,86	114,00	171,00	161853,78	242780,67
11	Цех ливарний для ковкого чавуну і кольорових металів	1856,69	89,01	1945,70	0,2	55,65	16,47	213,00	171,00	414434,10	332714,70
12	Цех арматурно-агрегатний	186,10	29,88	215,98	0,2	18,54	49,80	450,00	183,00	97191,00	39524,34
13	Станція генераторна	281,35	7,39	288,74	0,2	21,44	9,21	288,00	276,00	83157,12	79692,24

продовження таблиці 2.1

14	Вугільний склад	71,69	15,97	87,66	0,2	11,81	65,59	207,00	273,00	18145,62	23931,18
15	Мазутний склад	23,64	21,69	45,33	0,2	8,49	172,26	102,00	276,00	4623,66	12511,08
16	Масельний склад та хімікатів	46,01	1,75	47,76	0,2	8,72	13,19	33,00	117,00	1576,08	5587,92
17	Гараж	68,89	9,36	78,25	0,2	11,16	43,06	39,00	87,00	3051,75	6807,75
18	Адміністративна будівля	100,91	12,13	113,04	0,2	13,41	38,63	504,00	102,00	56972,16	11530,08
19	Охорона, прохідна	23,44	6,22	29,66	0,2	6,87	75,50	30,00	15,00	889,80	444,90
20	Дослідні лабораторії	71,46	37,17	108,63	0,2	13,15	123,18	495,00	201,00	53771,85	21834,63
21	Столова	460,08	19,35	479,43	0,2	27,62	14,53	21,00	45,00	10068,03	21574,35
22	Цех паливного обладнання	183,63	13,79	197,42	0,2	17,73	25,15	396,00	180,00	78178,32	35535,60
23	Склад металоконструкцій	48,63	8,86	57,49	0,2	9,57	55,48	450,00	99,00	25870,50	5691,51
	Всього по авто.заводу	15118,45	820,14	15938,59						3473967,63	1858124,37

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

Задача даного розділу бакалаврської роботи полягає в обґрунтуванні вибору схем внутрішнього та зовнішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання.

3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

Використовуючи теорію [1], проводимо техніко-економічні розрахунки автомобільного заводу та порівнюємо варіанти схем зовніш-го електропостачання даного об'єкта заводу з вироб. автомобільного обладнання (див. рис. 3.1).

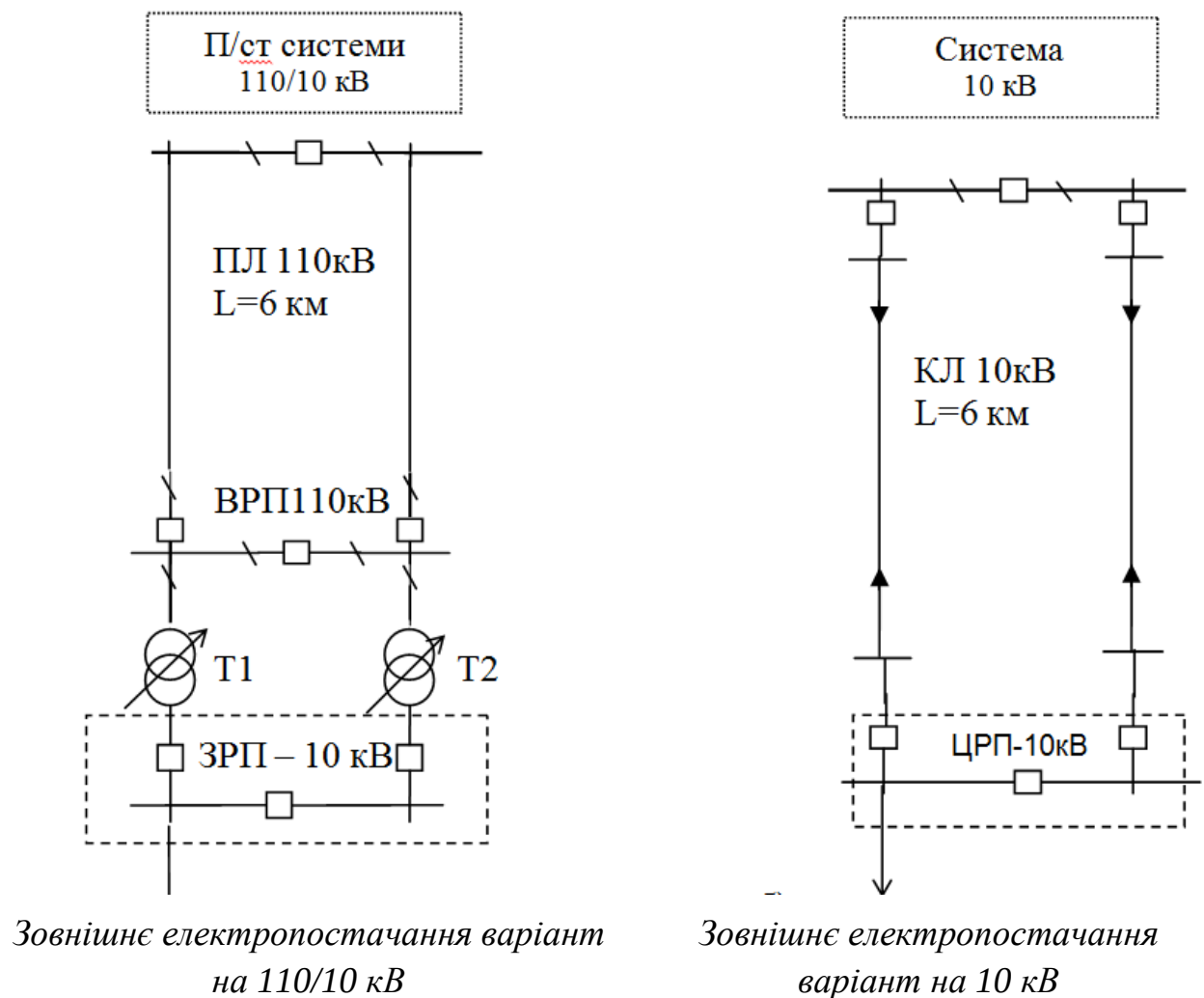


Рисунок 3.1 Схема зовнішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

Вибір схеми зовнішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання проводиться згідно представленої методики [1].

Згідно з завданням на дану роботу, завод з виробництва автомобільного обладнання може отримувати живлення від підстанції ПС 110/10 кВ, що розташовується приблизно за 6 км від заводу з виробництва автомобільного обладнання. Тому порівняння буде здійснюватися на основі запропонованих 2-х варіантів схем електроживлення:

1. Схема електроживлення заводу КЛ напругою 10 кВ.
2. Схема електроживлення ПЛ 110 кВ та ПС 110/10 кВ.

Варіант 1. Електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання буде здійснюватися кабельними лініями напругою 10 кВ (рис. 3.1 б).

Розрахункове значення струму для 1-го варіанту по заводу, А:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{19565,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1129,63 \text{ А}$$

Обираємо до встановлення (1-й варіант) 6 КЛ марки АСБ-10 (3х240).

Даний кабель має наступні існуючі паспортні дані для обраної КЛ :

$$I_{доп} = 355 \text{ А}, \Delta P_{1км} = 58 \text{ кВт/км}, K_{КЛ} = 1403,91 \text{ тис. грн./км.}$$

Перевірка даної прийнятої КЛ (заводу з виробництва автомобільного обладнання) в нормальному режимі за умовою нагріву становить:

$$I_p = 188,27 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,81 \cdot 355 = 287,55 \text{ А}$$

Перевірка КЛ АСБ-10 (3х240) в аварійному режимі за умовою нагріву в процесі експлуатації становить:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 188,27 = 376,54 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{доп} = 1,25 \cdot 0,92 \cdot 355 = 408,25 \text{ А}$$

Таким чином, обрана КЛ марки АСБ-10 (3х240) (для заводу з виробництва автомобільного обладнання) задовольняють умовам перевірки.

Коеф. завантаження КЛ АСБ-10(3х240) (для заводу з виробництва автомобільного обладнання) становитимуть в нормальному режимі:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{188,3}{355} = 0,53$$

Втрати потужності для заводу в обраному нами для заводу КЛ АСБ-10(3х240):

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 58 \cdot 36 \cdot 0,2809 = 586,52 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії для заводу по вибраному КЛ АСБ-10(3х240):

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 195,51 \cdot 3696,43 = 722689,03 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії для заводу в обраній КЛ АСБ-10(3х240):

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 722689,03 \cdot 7,52372 \cdot 0,001 = 5437,31 \text{ тис.грн}$$

Результати про розрахунок капітальних вкладень заводу з виробництва автомобільного обладнання в зовнішню схему на 10 кВ електропостачання варіанту № 1 представлені в (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень для заводу по варіанту схеми на 10 кВ варіант № 1

номер	Назва обраного елемента схеми	Вимір. од.	Кіл., шт	Вартість, тис.грн.	Всього по заводу
1	КЛ 10 кВ	км	36	1403,91	50540,76
2	Траншея	км	6	124,5	465,63
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	457,8	915,61
Всього капітальних вкладень					52203,36

Озрахунок поточних витрат заводу з виробництва автомобільного обладнання для варіанту 1 на 10 кВ наведено в табл.3.2.

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

номер	Назва обраного елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	для КЛ 10 кВ	50540,76	5	2527,038	5	2527,038	5054,076
2	для траншеї	747	5	37,35	5	37,35	74,7
3	для шафи КРП	915,6	15	137,34	5	45,78	183,12
Всього поточних витрат							5311,896

До ланцюга живлення схеми складовою частиною входить вимикач та КЛ.
Надійність для даних елементів будуть наступні:

- високовольтний вимикач на 10 кВ має наступні значення:

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

- КЛ 10 кВ, загальною довжиною 18 км має:

$$T_b = 0,126 \cdot 10^{-2} \text{ рік}, \lambda_a = 1,44 \text{ 1/рік}, K_n = 0,162 \cdot 10^{-3}.$$

Параметр потоку відмов для обраного 1-го ланцюга ел.схеми:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 1,44 = 1,444 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення обраного 1-го ланцюга становитиме:

$$T_e = \frac{\sum \lambda_i T_{ei}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 1,44 \cdot 0,00126)}{1,444} = 0,00125776 \text{ рік}$$

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

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

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

$$K_a = \lambda T_e = 1,444 \cdot 0,0012577 = 0,0018162$$

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

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 1,444 \cdot 0,00000576 = 0,00000415872$$

Коефіцієнт аварійного простою обраного для варіанту 2-х ланцюгів:

$$\begin{aligned} K_a^{(2)} &= K_a^2 + 2K_{an} = \\ &= 0,0000329858244 + 2 \cdot 0,00000415872 = 0,000011616 \end{aligned}$$

Середньорічний, для обраного варіанту, час аварійного простою за рік:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,000011616 \cdot 8760 = 0,10176$$

Очікуваний збиток, по заводу, від аварійного недовідпуску ел.енергії:

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

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 42 \cdot 9,01 \cdot 0,10176 = 38,51 \text{ тис.грн.}$$

Зведені витрати для варіанту №1 для 10 кВ для заводу з виробництва автомобільного обладнання:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{exp.i} + U_i = \\ &= 0.12 \cdot 52203,36 + 5311,896 + 5437,31 + 38,51 = \\ &= 17052,1192 \text{ тис.грн. / рік} \end{aligned}$$

Аналогічним чином виконаємо розрахунки для варіанту №1, на 110 кВ, заводу з виробництва автомобільного обладнання.

Для порівняння зазначених варіантів розрахункові дані зводимо в табл.3.3.

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники 1 і 2-го варіантів схем електропостачання для заводу з виробництва автомобільного обладнання

Техніко-економічні показники 2-х варіантів	Варіанти	
	1-й на 110 кВ	2-й на 10 кВ
Капітальні вкладення по заводу	24226,04	52203,36
Поточні витрати по заводу	4692,604	5311,896
Вартість втрат ел.енергії по заводу	3672,66	5437,31
Збиток по заводу	13,75	38,51
Зведені витрати по заводу	11286,1388	17052,1192

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати за варіантом №1 на 110 кВ схеми зовнішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання є меншими в порівнянні з варіантом №2 на 10 кВ.

Тому в-аріант №1 на 110 кВ приймаємо для подальших розрахунків.

3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

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 заводу з виробництва автомобільного обладнання заводу приймаю радіальну схему розподілення енергії.

Електрична схема внутрішнього живлення заводу з виробництва автомобільного обладнання показана на рисунку 3.2.

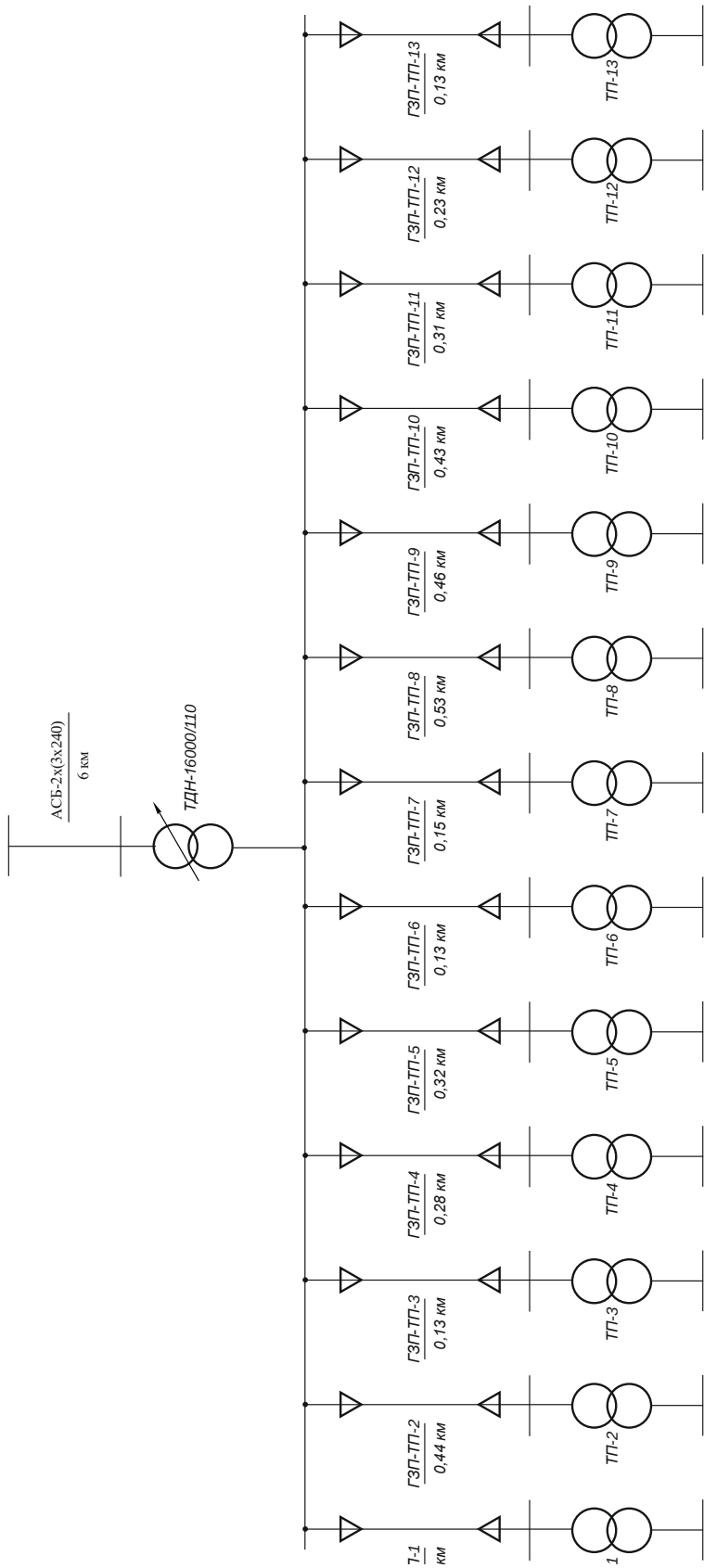


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

4. Режими реактивної потужності системи електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності заводу з виробництва автомобільного обладнання.

Вихідні дані до подальшого розрахунку балансу реактивної потужності у електромережі заводу з виробництва автомобільного обладнання становить:

Сумарне низьковольтне електричне навантаження по заводу становить:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 14799,75 \text{ кВт}$$

$$Q_n = \sum Q_{ТП} = 11623,92 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових чи корпусних заводських КТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 223,39 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 910,91 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження по заводу приймаємо:

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

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

Сумарне споживання активної потужності по заводу має значення:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon - P_{сд} = 14799,75 + 223,39 + 0 = 15023,14 \text{ кВт},$$

Сумарне споживання реактивної потужності по заводу має значення:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon - Q_{сд} = 11623,92 + 910,91 + 0 = 12534,83 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживається по заводу від системи має значення:

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

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_c = 15023,14 \cdot 0,15 = 2253,47 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв по заводу становить:

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_e = 12534,83 - 2253,47 = 10281,36 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів по заводу має кількість:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{14799,75}{0,67 \cdot 1000} = 22,09 \approx 23 \text{ шт.}$$

Розглянемо варіанти з різною кількістю заводу з виробництва автом. обладнання комплектних трансформаторів: $N_T = N_0$, наступний на 1-н трансформатора більше $N_T = N_0 + 1$, наступний на 2-ва трансф-ра більше $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість заводських комплектних трансформаторів $N = N_0 = 23$ шт. Реактивна потужність, що може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{\text{ном}})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \\ &= \sqrt{(23 \cdot 0,67 \cdot 1000)^2 - 15023,14^2} = 3431,23 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

Потужність КП, що встановлюються в автозаводській мережі до 10 кВ:

$$Q_{\text{КН}} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 12534,83 - 3431,23 = 9103,6 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в автозаводській мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{КВ}} = Q_{\text{КП}} - Q_{\text{КН}} = 10281,36 - 9103,6 = 1177,76 \text{ кВАр}$$

Розрахунок потужності необхідних КП для варіантів з кількістю заводу з виробництва автом. обладнання трансформаторів $N_T = N_0 + 1 = 24$ шт, $N_T = N_0 + 2 = 25$ шт виконується аналогічно.

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

Таблиця 4.1. Результати розрахунку потужності заводських компенсуючих пристроїв

№ вар.	Кількість тр-торів заводу	Потужність Q_1 , квар	Потужність $Q_{кн}$, кВАр	Потужність $Q_{кв}$, квар
1	23	3431,23	9103,6	1177,76
2	24	5733,38	6801,45	3479,91
3	25	7407,28	5127,55	5153,81

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі з виробництва автомобільного обладнання

Розрахунок потужн. ком пенс. пристроїв, що будуть впроваджені на заводі з виробництва автом. обладнання, 0,4 кВ та 10 кВ для 3-х вар. приведено в табл. 4.2.1 – 4.2.4.

Таблиця 4.2.1. Вибір БК при кількості КТП $N_T = N_0 = 23$

№ КТП заводу	К-сть тр-рів	Потужн P_p , кВт	Потужн Q_p , кВАр	Потужн $Q_{пр}$, кВАр	Потужн $Q_{кп}$, кВАр	Кільк.та потужн.БК шт. кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}-Q_{бк}$, кВАр	Коеф K_z	Потужн S_p , кВА
ТП 1-5	10	6852,05	6003,74	0	6003,74	12·500	6000	3,74	0,69	6852,05
ТП 6,7	4	2536,27	2097,44	865,87	1231,57	4·300	1200	31,57	0,67	2690,37
ТП 8	1	650,59	461,41	160,1	301,31	1·300	300	1,31	0,67	670,314
ТП 9	2	1468,64	1027,66	0	1027,66	4·200	800	227,66	0,74	1486,18
ТП 10	2	1501,52	681,54	0	681,54	2·300	600	81,54	0,75	1503,73
ТП 11,12	3	1945,7	890,64	504,33	386,31	2·150	300	86,31	0,68	2033,37
ТП 13	1	697,67	481,03	0	481,03	2·200	400	81,03	0,7	702,36

БК для заводу на низькій стороні 0,4 кВ становить $Q_{кн} = 9600$ кВАр.

БК для заводу на високій стороні 10 кВ, 2·450; становить $Q_{кв} = 900$ квар.

Таблиця 4.2.2. Вибір БК для заводу при кількості КТП $N_T = 24$

№ КТП заводу	К-сть т-рів	Потужн P_p , кВт	Потужн Q_p , кВАр	Потужн Q_{np} , кВАр	Потужн $Q_{кп}$, кВАр	Кільк.та потужн.Б К, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}-Q_{БК}$, кВАр	Коеф K_3	Потужн S_p , кВА
ТП 1-5	10	6852,05	6003,74	0	6003,74	8·500;	4000	2003,74	0,71	7139,01
ТП 6,7	4	2536,27	2097,44	865,87	1231,57	4·300;	1200	31,57	0,67	2690,36
ТП 8	2	650,59	461,41	1171,47	0		0	0	0,4	797,60
ТП 9	2	1468,64	1027,66	0	1027,66	4·200;	800	227,66	0,74	1486,18
ТП 10	2	1501,52	681,54	0	681,54	2·300;	600	81,54	0,75	1503,73
ТП 11,12	3	1945,7	890,64	504,33	386,31	2·150;	300	86,31	0,68	2033,37
ТП 13	1	697,67	481,03	0	481,03	2·200;	400	81,03	0,7	702,35

БК для заводу на низькій стороні 0,4 кВ становить $Q_{кн} = 7300$ кВАр.

БК для заводу на високій стороні 10 кВ, $2 \cdot 450 + 4 \cdot 600$; становить $Q_{кв} = 3300$ квар.

Таблиця 4.2.3. Вибір БК для заводу при кількості КТП $N_T = 25$

№ КТП заводу	К-сть т-рів	Потужн P_p , кВт	Потужн Q_p , кВАр	Потужн Q_{np} , кВАр	Потужн $Q_{кп}$, кВАр	Кільк.та потужн.БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}-Q_{БК}$, кВАр	Коеф K_3	Потужн S_p , кВА
ТП 1-5	10	6852,05	6003,74	0	6003,74	6·500;	3000	3003,74	0,75	7481,51
ТП 6,7	4	2536,27	2097,44	865,87	1231,57	2·300;	600	631,57	0,74	2945,33
ТП 8	2	650,59	461,41	1171,47	0		0	0	0,4	797,60
ТП 9	2	1468,64	1027,66	0	1027,66	4·200;	800	227,66	0,74	1486,18
ТП 10	2	1501,52	681,54	0	681,54	2·300;	600	81,54	0,75	1503,73
ТП 11,12	4	1945,7	890,64	1843	0		0	0	0,53	2139,85
ТП 13	1	697,67	481,03	0	481,03	2·200;	400	81,03	0,7	702,35

БК для заводу на низькій стороні 0,4 кВ становить $Q_{KH} = 5400$ кВар.

БК для заводу на високій стороні 10 кВ, $4 \cdot 450 + 6 \cdot 600$; становить $Q_{KB} = 5400$ квар.

Розрахунок приведених витрат по заводу на компенсацію для варіанту з кількістю заводських комплектних трансформаторів $N_T = N_0 = 23$ наведено нижче.

Втрати активної потужності для заводу в низьковольтних заводських КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 9600 = 43,2 \text{ кВт}$$

Втрати активної для заводу потужності в високовольтних заводських КП:

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

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

$$\begin{aligned} \Delta P_{ТП} &= \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \\ &= \frac{14799,75^2 + 343^2}{10^2} \cdot 0,04 \cdot 0,001 = 92,32 \text{ кВт} \end{aligned}$$

звідки еквівалентний опір матиме значення

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{23 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,04 \text{ Ом}$$

Вартість автозаводських КП на стороні низької 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} K_{KH} &= \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = \\ &= 2 \cdot 44,61 + 6 \cdot 55,31 + 7 \cdot 70,39 + 12 \cdot 101,20 = 2128,29 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Вартість автозаводських КП на стороні високої 10 кВ:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KBi} = 2 \cdot 106,29 = 212,6 \text{ тис.грн.}$$

Вартість автозаводських КТП, тис. грн.:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = \\ = 10 \cdot 1348,424 + 3 \cdot 787,08 = 15845,48 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати по автозаводу на компенсацію РП:

$$Z = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\ = 0,12 \cdot (2128,29 + 212,6 + 15845,48) + 5107,22 \cdot 3696,479 \cdot (43,2 + 2,7 + 92,2) \cdot 10^{-3} = \\ = 2611600,63 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок приведених витрат по заводу з виробництва автом. обладнання на компенсацію реактивної потужності для варіантів з кількістю комплектних трансформаторів $N_T = 24$ шт., $N_T = 25$ шт. проводиться аналогічно.

Результати проведених розрахунків наведено до табл. 4.2.4.

Таблиця 4.2.4. Результати розрахунків загальних приведених витрат на компенсацію реактивної потужності заводу з виробництва автомобільного обладнання

№ вар	Поту ж Q_{KH} , квар	Поту ж ΔP_{KH} , кВт	Поту ж Q_{KB} , квар	Поту ж ΔP_{KB} , кВт	Поту ж N_{TP} , шт.	Поту ж R_{KB} , Ом	Потуж $S_{пр}$, кВА	Поту ж ΔP_{TP} , кВт	Поту ж K_{KH} , тис. грн.	Поту ж K_{KB} , тис. грн.	Поту ж $K_{ТП}$, тис. грн.	Загальн Z , тис. грн.
1	9600	43,2	900	2,7	23	0,04	15192, 3	92,32	2128,3	212,6	15845	2611600, 6
2	7300	32,9	3300	9,9	24	0,04	15871, 5	100,8	1653,1	686,4	16407	2711536, 3
3	5400	24,3	5400	16,2	25	0,03	16549, 9	82,17	1220,7	1135,9	16968	2688173

Згідно розрахунків видно, що витрати за 1-й варіант є мінімальними, його і приймемо 1-й варіант.

5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі з виробництва автомобільного обладнання

Вибір потужності та кількості ТР ГПП враховуючи досвід проектування, монтажу та експлуатації, зазначимо, що доцільною встановлювати 2 трансформатори однакової потужності, що працюють паралельно.

Завантаженість заводських трансформаторів визначається значенням коефіцієнту завантаження та має знаходитися в встановлених межах

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,6 - 0,7$$

Номінальну потужність заводського трансформатора:

$$S_T = \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав}(n-1)} = \frac{0,8 \cdot 19652,56}{1,4(2-1)} = 11180,4 \text{ кВА}$$

Обираємо на заводі з виробництва автомобільного обладнання для встановлення два трансформатори ТДН-16000/110.

Коефіцієнт завантаження заводського трансформатора становитиме:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{6258,57}{2 \cdot 6300} = 0,5$$

Вибір необхідної потужності, кількості та місця розташування трансформаторів на території заводу з виробництва автомобільного обладнання

Визначаємо реальний коефіцієнт завантаження заводських трансформаторів:

$$K_3 = \frac{S_p}{NS_{ном}} = \frac{1392,26}{2 \cdot 1000} = 0,69$$

Вибір трансформатора ТП-1 на заводі з виробництва автомобільного обладнання:

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

$$S_{\text{ном.тр}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1392,26}{1,08} = 1289,13 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ном.тр}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1392,26}{1,4} = 994,47 \text{ кВА}$$

Приймаємо ТМ-1000/10/0,4 який загалом задовольняє умовам вибору, для заводу з виробництва автомобільного обладнання, силового обладнання.

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

Таблиця 5. Вибір цехових ТП на заводі з виробництва автомобільного обладнання

№ ТП	К-ть тр-ів	Марка заводських трансформат	Потужніс S _{проз} ,кВА	Коеф К _з	Тип встановл КТП	Вимоги S _{ном} > S _p /K ₁	Вимоги S _{ном} > S _p /K ₂
1	2	ТМ-1000-10/0,4	1392,26	0,69	Вбудована	1289,13	994,47
2	2	ТМ-1000-10/0,4	1392,26	0,7	Вбудована	1289,13	994,47
3	2	ТМ-1000-10/0,4	1392,26	0,7	Вбудована	1289,13	994,47
4	2	ТМ-1000-10/0,4	1392,26	0,7	Вбудована	1289,13	994,47
5	2	ТМ-1000-10/0,4	1392,26	0,7	Вбудована	1289,13	994,47
6	2	ТМ-1000-10/0,4	1390,73	0,7	Вбудована	1287,71	993,38
7	2	ТМ-1000-10/0,4	1390,73	0,7	Вбудована	1287,71	993,38
8	1	ТМ-1000-10/0,4	689,77	0,69	Вбудована	638,68	492,69
9	2	ТМ-1000-10/0,4	1541,73	0,77	Вбудована	1427,53	1101,24
10	2	ТМ-1000-10/0,4	1533,13	0,77	Вбудована	1419,56	1095,09
11	2	ТМ-1000-10/0,4	1398,56	0,7	Вбудована	1294,96	998,97
12	1	ТМ-1000-10/0,4	699,28	0,7	Вбудована	647,48	499,49
13	1	ТМ-1000-10/0,4	718,2	0,72	Вбудована	665,00	513,00

6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання заводу з виробництва автомобільного обладнання та силових електромереж системи постачання

Наступний 6-й розділ бакалаврської роботи присвячений вирішенню задачам визначення струмів к.з. та вибору типів ліній і високовольтного обладнання. Для вирішення всього цього використано джерело, описана в [1]

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу з виробництва автомобільного обладнання

По розрахунковій схемі для заводу складають схему заміщення, на якій всі елементи мають вигляд опорів (рис. 6.1.1). Проведемо розрахунок активних та реактивних опорів, для заводу вказаних елементів системи електропостачання.

Активний та індуктивний опори для заводу системи електропостачання мають:

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

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

Активний та індуктивний опори лінії заводу з виробництва автомобільного обладнання ПЛ 10 кВ (Кабельна лінія для 1 х АСБ (3 х 240) довжиною 6,0 км):

Опір повітряної лінії становить:

Активний $r_0=0.249 \text{ Ом/км}$;

Реактивний $x_0=0.427 \text{ Ом/км}$

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,427 \cdot 6}{1} = 5,124 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,249 \cdot 6,0}{1} = 2,988 \text{ Ом}$$

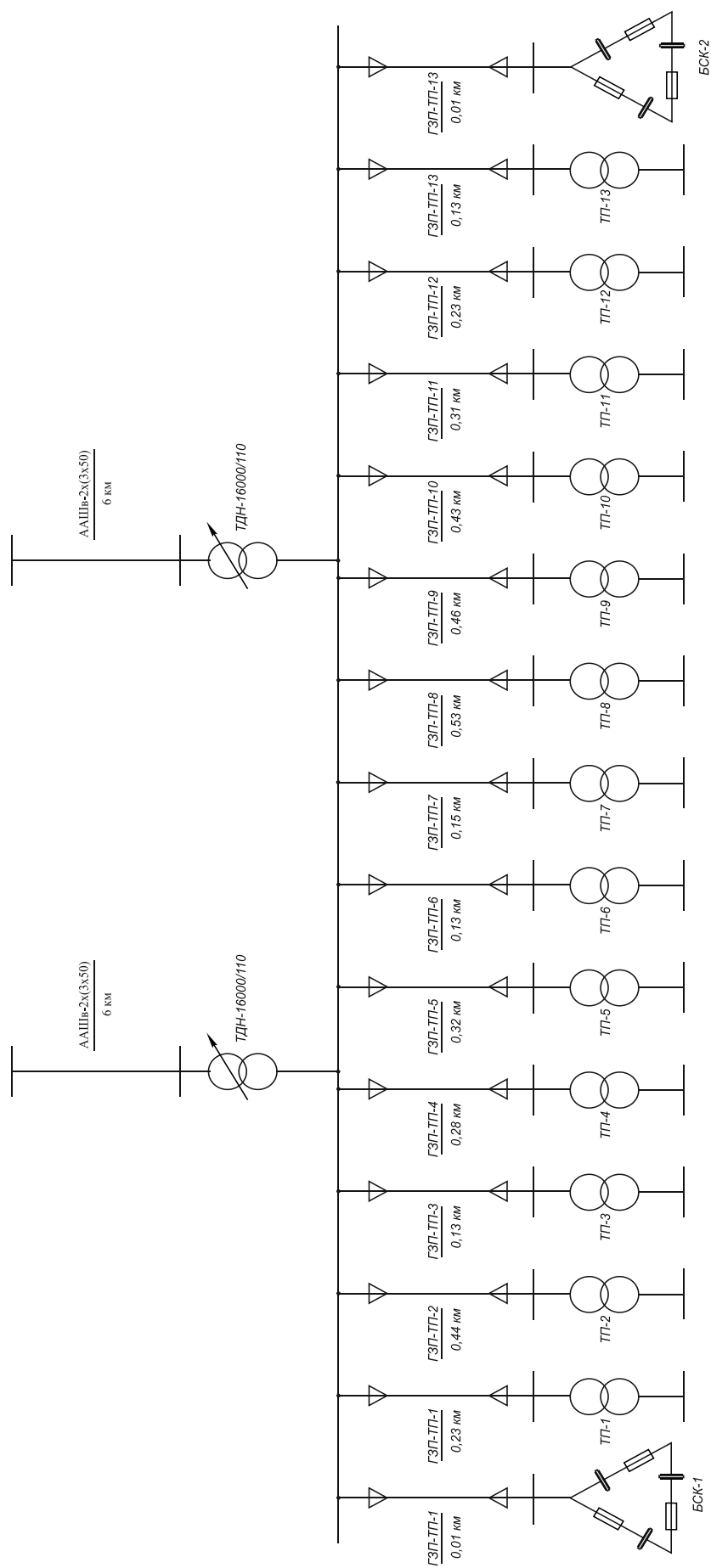


Рисунок 6.1.1 Схема заміщення для заводу для розрахунку струмів к. з.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

45

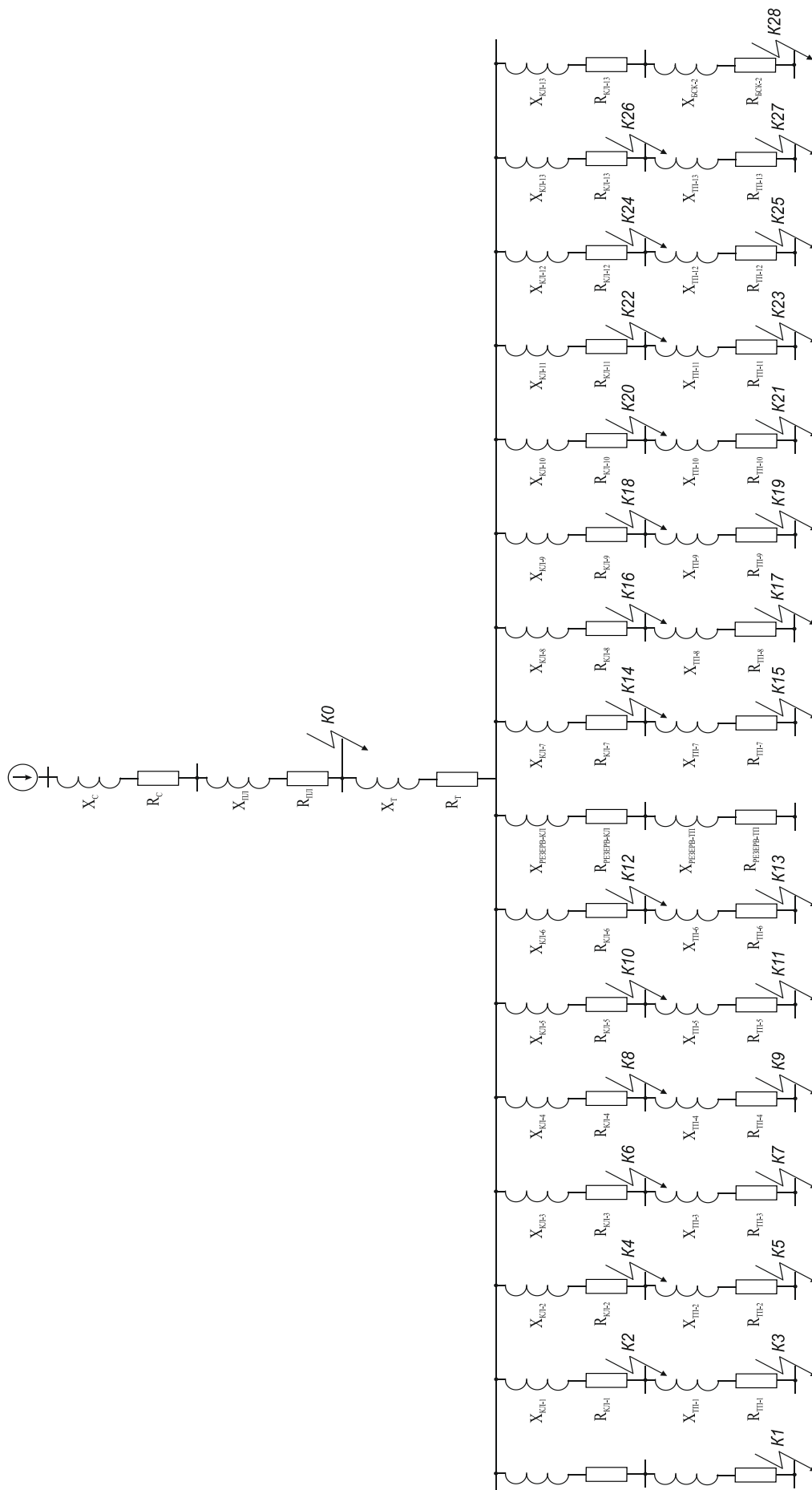


Рисунок 6.1.2. Схема заміщення для заводу мережі для розрахунку струмів к.з.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Результуючий опір встановленої точки K_0 :

$$X_{\kappa 0} = 5.124 \text{ Ом}$$

$$R_{\kappa 0} = 2.988 \text{ Ом}$$

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{X_{\kappa 0}^2 + R_{\kappa 0}^2} = \sqrt{5.121^2 + 2.988^2} = 5.93 \text{ Ом}$$

$$X_T = \frac{U_K \cdot U_{BH}^2}{100 \cdot S_{T.HOM}} = \frac{7.5 \cdot 115^2}{100 \cdot 6.3} = 157.44 \text{ Ом}$$

$$R_T = \frac{P_K \cdot U_{BH}^2 \cdot 10^3}{S_{T.HOM}^2} = \frac{46.5 \cdot 115^2 \cdot 1000}{6300^2} = 15.49 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм у встановленій точці K_0 :

$$I_{K0}'' = \frac{U_{cp1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa 0}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 5.93} = 11.198 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{\kappa 0}}{\omega R_{\kappa 0}} = \frac{5.121}{314 \cdot 2.988} = 0.0054$$

Ударний струм у встановленій точці K_0 :

$$i_{\gamma \kappa 0} = \sqrt{2} \cdot I_{K0}'' (1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}}) = 18.323 \text{ кА}$$

$$X_{\kappa 0} = X_{\kappa 0} + X_m = 157.44 + 5.121 = 162.561 \text{ Ом}$$

$$R_{\kappa 0} = R_{\kappa 0} + R_m = 15.49 + 2.988 = 18.478 \text{ Ом}$$

$$I_{K1}'' = \frac{U_{cp1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa 1}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{162.561^2 + 18.478^2}} = 0.406$$

Приведемо подальші розрахунки до сторони НН:

$$I_{K1}'' = I_{K1}'' \cdot K_T = 0.406 \cdot \frac{115}{11} = 4.24 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{\kappa 1}}{\omega R_{\kappa 1}} = \frac{162.561}{314 \cdot 18.478} = 0.028$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot I_{к1}'' (1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = 10.194 \text{ кА}$$

Обираємо для встановлення кабель ААШВ-2х(3х50)

Опір визначеної повітряної лінії буде становить:

Активний $R_0=0.59$ Ом/км; Реактивний $X_0=0.09$ Ом/км

$$X_{к1} = x_0 \cdot l = 0.09 \cdot 0.102 = 0.00918 \text{ Ом}$$

$$R_{к1} = r_0 \cdot l = 0.59 \cdot 0.102 = 0.06 \text{ Ом}$$

$$X_{к2} = X_{к1} + X_{к1} = 162.561 + 0.00918 = 165.57 \text{ Ом}$$

$$R_{к2} = R_{к1} + R_{к1} = 18.478 + 0.06 = 18.538 \text{ Ом}$$

$$I_{к2}'' = \frac{U_{ср1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{к2}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{165.57^2 + 18.538^2}} = 0.4057 \text{ кА}$$

Приведемо подальші розрахунки до сторони НН:

$$I_{к2}'' = I_{к2}'' \cdot k_T = 0.4057 \cdot \frac{115}{11} = 4.23 \text{ кА}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших точок розрахункової схеми та зводимо в табл. 6.1.3.

Таблиця 6.1.3 Струм КЗ на вводах цехових автозаводських підстанцій

Точка к.з	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ік'', кА	4,23	4,81	0,994	4,83	0,995	4,93	0,994	4,82	0,992	4,821
Точка к.з	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Ік'', кА	0,995	4,8	0,992	4,799	0,992	4,823	0,992	4,823	0,992	4,823
Точка к.з	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Ік'', кА	4,5	0,995	4,8	0,99	4,8	0,992	4,8	0,995	4,8	

Таблиця 6.1.4. Результати розрахунків із вибору для КЛ напругою 10 кВ
заводу автомобільного обладнання

Ном. КЛ	Наймен КЛ по заводу	п, шт	Потужніс S _p , МВА	Струм I _p , А	Площа F _{ск} , мм ²	Площа F _{min} , мм ²	Марка прийнятого кабеля	Струм I _{доп} , А	Струм I _{p.ав.} , А	Струм I _{доп} , А
1	ГЗП-ТП1	2	1508,15	43,59	56,32	70	ААШв- 10(3х70)	165	87,18	167,06
2	ГЗП-ТП2	2	1508,15	43,59	56,32	70	ААШв- 10(3х70)	165	87,18	167,06
3	ГЗП-ТП3	2	1518,84	43,90	56,58	70	ААШв- 10(3х70)	165	87,79	167,06
4	ГЗП-ТП4	1	759,42	43,90	56,58	70	ААШв- 10(3х70)	165	85,82	167,06
5	ГЗП-ТП5	1	1499,84	43,35	56,12	70	ААШв- 10(3х70)	165	86,70	167,06
6	ГЗП-ТП6	2	1519,15	43,91	56,59	70	ААШв- 10(3х70)	165	87,81	167,06
7	ГЗП-ТП7	2	1455,5	43,41	56,59	70	ААШв- 10(3х70)	165	85,82	167,06
8	ГЗП-ТП8	1	759,58	42,9	55,76	70	ААШв- 10(3х70)	165	-	-
9	ГЗП-ТП9	2	1504,8	42,4	37,76	70	ААШв- 10(3х50)	165	85,72	167,06
10	ГЗП- ТП10	2	1484,68	42,72	35,7	70	ААШв- 10(3х50)	165	81,82	157,06
11	ГЗП- ТП11	2	1494,18	43,94	35,76	70	ААШв- 10(3х50)	165	85,82	167,06
12	ГЗП- ТП12	1	714,5	42,91	38,6	70	ААШв- 10(3х50)	165	-	-
13	ГЗП- ТП13	1	700,57	35,79	35,79	70	ААШв- 10(3х50)	165	-	-

6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу з виробництва автомобільного обладнання

Проведемо вибір КЛ 10 кВ, по заводу, від шин НН ГЗП до підстанції ТП1.

Розрахунковий струм для даної лінії становить:

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

Площа перерізу обраної заводської КЛ-1 (при $T_{\max} = 4846 \text{ год.}$, $j_{\text{ек}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$).

Обираємо до встановлення для живлення по заводу наступний кабель марки

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

Перевірка КЛ за допустимим (I) навантаженням від споживачів автозаводу:

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

Перевірка КЛ, при виборі по автозаводу, за умови в аварійному режимі:

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

Тепловий імпульс для нашої лінії від можливого (I) к. з. матиме значення:

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

Мінімальний переріз автозаводської КЛ при виборі за термічною стійкістю:

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

Результати розрахунків із вибору інших автозаводських КЛ даного напрямку виробництва наведено в табл. 6.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 6.2. Розрахунок із вибору для автозаводських КЛ 10 кВ

№ КЛ	Кіл н, шт	Потуж S _p , МВА	струм I _p , А	струм I _{p.ав.} , А	Полщ F _{ек} , мм ²	B _к , кА ² с	Полщ F _{min} , мм ²	Марка прийнятог о кабеля	стру м I _{доп} , А	K _п	K _п I _{доп} , А	K _{ап}	K _п '	K _{ап} K _п 'I _{доп} , А
1,2	2	5047,9	138,7 8	277,5 6	99,13	7,14	28,43	2 х АСБ- 10(3х150)	275	0,9	247,5	1,35	1	371,2 5
3,4	2	1396,9 0	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	1390,7 5	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	-	-	-
9,1 0	2	1397,2 4	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 заводу з виробництва автомобільного обладнання

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

Вибір і результат ввідного вимикача U 110 кВ заводу з виробництва автомобільного обладнання наведено в табл. 6.3.1.

Таблиця 6.3.1. Вибір вимикача на ввіді напругою 110 кВ

Параметр електричного вимикача	Умови вибору апарата	Розрахунок даного вимикача
Параметр обраного ел.апарата	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 11$
Довготривалий струм ел.апарата, кА	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$80,38 \leq 1000$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм апарата, А	$I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$	$5,48 \leq 31,5$
- аперіодична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм ел.апарата, А	$\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл.}(1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 5,48 + 0 \leq 1,41 \cdot 31,5 \cdot (1 + 0,3)$ $7,74 \leq 44,4$
Динамічна стійкість ел.апарата:		
- симетричний струм, А	$I'' \leq I_{дин.ст.}$	$5,48 \leq 31,5$
- ударний струм ел.апарата, А	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$14,06 \leq 44,4$
Термічна стійкість ел.апарата	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$2,75 \leq 297,7$

Вибір вимикача для автозаводу на ввіді напругою 110 кВ приймаємо наступний високовольтний електричний апарат LTB 145D1/B.

Вибір високовольтного вимикача напругою 10 кВ проводимо аналогічним чином та обираємо необхідний із ряду вакуумний вимикач згідно з методикою джерела [1]. Результати вибору вимикача напругою 10 кВ, для автозаводу та приводимо у табл. 6.3.2.

Таблиця 6.3.2. Вибір ввідного вимикача на 10 кВ

Параметр електричного вимикача	Умови вибору апарата	Розрахунок даного вимикача
Параметр обраного ел.апарата	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий струм ел.апарата, кА	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$884,6 \leq 1000$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм апарата, А	$I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$	$5,48 \leq 20$
- аперіодична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм ел.апарата, А	$\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл.} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 5,48 + 1,006 \leq 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $8,75 \leq 39,48$
Динамічна стійкість ел.апарата:		
- симетричний струм, А	$I'' \leq I_{дин.ст.}$	$5,48 \leq 50$
- ударний струм ел.апарата, А	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$14,06 \leq 52$
Термічна стійкість ел.апарата	$B_K \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$43,15 \leq 1200$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач - ВР1-10-20/1000 У2.

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

Ввідний вимикач в комірку на стороні НН встановлюємо ВР1-10-20/630.

Секційний вимикач в комірку на стороні НН встановлюємо ВР1-10-20/630.

На відхідних фідерах в комірці встановлюємо типовий ВР1-10-20/630.

Вибір високовольтного роз'єднувача напругою 110 кВ проводимо аналогічно.

Приймаємо для вибору необхідний вакуумний вимикач згідно з методикою джерела [1]. Вибираємо високовольтний роз'єднувач напругою 110 кВ зводимо до таблиці 6.3.3.

Таблиця 6.3.3. Результати високовольтного роз'єднувача на 110 кВ.

Параметр вимикачів навантаження	Умови вибору	Розрахунок вимикачів навантаження
Номинальна напруга високовольтного вим. навантаження	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$110 \leq 110$
Довготривалий ном. струм високовольтного вим. навантаження	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$80,38 \leq 630$
Динамічна стійкість високовольтного вим. навантаження:		
- ударний струм високовольтного вим. навантаження	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$14,06 \leq 80$
Термічна стійкість високовольтного вим. навантаження	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$2,75 \leq 1450$

Обираємо для встановлення високовольтний роз'єднувач наступного типу РНД-110-1000. Для захисту трансформаторів встановлюємо високовольтні обмежувачі перенапруг РВС-110У1, в нейтраль встановлюємо високовольтні розрядники РВМ-35+РВМ-20.

Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) по заводу з виробництва автомобільного обладнання наведено в табл. 6.3.7.

Таблиця 6.3.4. Розрахунку електричного навантаження для ТВП (ЦРП)

№ з/п	Вибрані споживачі ТВП (ЦРП)	Потуж $P_{ном},$ кВт	кільк $n,$ шт.	Потуж $P_{уст},$ кВт	Потуж $Q_{уст},$ квар
1	Електродвигуни обдуву трансформатора	8	2	16	10
2	Обігрів вимикачів у комірці	1,2	3	3,6	-
3	Опалення та освітлення приміщення	5,5	1	5,5	-
4	Зовнішнє освітлення	4,5	1	4,5	-
5	Навантаження, яке споживається оперативними ланцюгами	2,0	1	2,0	-
Всього по споживачам ТВП (ЦРП)				31,6	10

Сумарне встановлене навантаження для обладнання ТВП становить:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 9,25 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність для високовольтного ТВП матиме значення:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 9,25 = 7,4 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення в комірки 2 трансформатори власних потреб типу ТМ-25/10.

Коефіцієнт завантаження, в комірки встановленого ТВП:

$$K_s = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{7,4}{25} = 0,3$$

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для заводу з виробництва автомобільного обладнання

В табл. 6.4.1 наведено результати розрахунку параметрів по заводу з виробництва автомобільного обладнання 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 заводу з виробництва автомобільного обладнання.

№ з/п	Параметр ТС	Умова вибору	Розрахунок ТС
1	Номінальна напруга вимірювального ТС	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм вимірювального ТС	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$459,9 \leq 600$
3	Динамічна стійкість вимірювального ТС	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ед} I_{1ном}$	$10,132 \leq 100$
4	Термічна стійкість вимірювального ТС	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$11,79 \leq 2400$
5	Вторинне навантаження вимірювального ТС	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,34 \leq 0,4$

Для проведення перевірки ТС по вторинному навантаженню, використаємо відому схему включення. Для цього визначаємо навантаження по відповідних фазах і результати в табл. 6.4.2.

Таблиця 6.4.2. Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів струму

Прилад вимірювальний	Клас точності приладу	Навантаження по фазам		
		А, ВА	В, ВА	С, ВА
Лічильник Нік-2303	0,2	3,6	-	3,6
Амперметр Е335	1,0	0,5	-	-
Всього по вторинному навантаженню		4,1	-	3,6

Опір встановлених приладів, що приєднані послідовно до вторинних кіл вимірювального ТС:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,164$$

Вторинне навантаження вимірювального трансформатора струму буде складатися:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст}} + R_{\text{конт}} = 0,164 + 0,05 + 0,049 = 0,263 \text{ Ом}$$

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

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

$$0,263 \leq 0,4$$

Перевіряємо вимірювальний ТС по вторинному навантаженню.

Розрахунки ТС по вторинному навантаженню зведено до таблиці 6.4.3.

Таблиця 6.4.3. Розрахунок вторинного навантаження ТС

Прилад вимірювальний	Клас точності приладу	Навантаження по фазам		
		А, ВА	В, ВА	С, ВА
Лічильник вимірювальний активної енергії Нік-2303	2	6,0	-	6,0
Амперметр вимірювальний Е335	1,0	0,5	-	-
Ватметр вимірювальний Д335	1,5	0,5	-	0,5
Варметр вимірювальний Д335	1,5	0,5	-	0,5
Всього про прилади вимірювальні		7,5	-	7,0

Опір встановлених приладів приєднаних послідовно до вторинних кіл ТС:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{13,5}{5^2} = 0,54$$

Вторинне навантаження встановленого вимірювального трансформатора струму складається, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст}} + R_{\text{конт}} = 0,54 + 0,1 + 0,049 = 0,689 \text{ Ом}$$

Щоб вимірювальний ТС працював довго і надійно необхідно дотримуватися наступних умови для роботи:

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

$$0,689 \leq 0,8$$

Вибираємо для встановлення трансформатори напруги по умовам зазначеним в літературному джерелі [1].

Трансформатори напруги будуть вибиратися за наступними рівностями.

1. По номінальній напрузі трансформатора напруги:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}$$

2. По класу точності трансформатора напруги: 0,5

3. По схемі з'єднань обмоток і їх конструкції трансформатора напруги

4. По вторинному навантаженню трансформатора напруги:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2\text{ном}}$$

Таблиця 6.4.4. Вибір вторинного навантаження для ТН

Прилад для ТН	Тип вибраного приладу	Потужн S, ВА	К-сть обмоток для ТН	К-сть прил.	Потужн Р,Вт	Потужн Q, вар
Лічильник Альфа	A1800	3,6	3,0	1,0	6,01	8.9
Лічильник активної і реактивної енергії	CE302-S33	9,0	3,0	4,0	9.7	107.6
Вольтметр	PZ194U	5,0	1,0	4,0	5	0
Всього для ТН					20.6	116.6

Приймаємо до встановлення вимірювальний трансформатор напруги використаної моделі типу НАМИ-10 .

Трансформатор напруги НАМИ-10 в класі точності - 0.5;

Приймаємо $S_{2ном}=200$ ВА для класу точності приладу 0.5;

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum P_{прил})^2 + (\sum Q_{прил})^2} = \sqrt{20.62^2 + 116.537^2} = 118.35 \text{ Е}$$

$$S_{2\Sigma} \leq S_2$$

$$118.35 \leq 200 \text{ ВА};$$

Прийmemo для монтажу контрольний кабель АКРВГ з поперечним стандартним перерізом - 2.5 мм²;

7. Спеціальний розділ.

Ефективне використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах

Індукційні печі широко застосовуються в різноманітних галузях важкої промисловості України, що робить ефективнішим управління їх енергоспоживанням вкрай мало для забезпечення енергоефективності у виробництві металургії, гірничодобувній сфері та інших секторах економіки країни. Принцип роботи індукційних печей обґрунтовується на тепловій енергії, яка виникає внаслідок взаємодії змінного електромагнітного поля з провідними матеріалами, такими як метали та графіт. Змінна електромагнітна хвиля, проникаючи в тіло провідника, індукує в ньому струми, що генерують тепло. Крім того, більшість джерел глибини тепла знаходяться всередині матеріалу, нагрівання може відбуватися швидко, при цьому оптимізація частоти електромагнітної хвилі дозволяє регулювати проникнення. Високі частоти призводять до поверхневого нагрівання, тоді як низькі проникають углиб матеріалу, забезпечуючи його рівномірне нагрівання по всій товщині.

На заводі потреба у виплавці вуглецевої сталі для технологічних потреб становить від 300 до 600 кг на добу. Враховуючи ці вимоги, можна задати наступні параметри: середній розмір шматків ширини $d_{\text{ш}} = 0,04$ м, питомий електричний опір ширини $\rho_{\text{ш}} = 100 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, питомий опір розплаву $\rho_2 = 137 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, густина розплаву $\gamma_2 = 7,2 \cdot 10^3$ кг/м³, кінцева температура металу $t_k = 1600$ °С. Місткість печі можна прийняти $G = 30$ кг із залишкової місткості тигля. Тривалість процесу плавки та перегрівання металу до кінцевої температури $\tau_{\text{пл}} = 0,66$ год, тривалість допоміжних операцій $\tau_{\text{доп}} = 0,14$ год.

Крім того, для підвищення ефективності індукційних печей слід звернути увагу на оптимізацію конструкції індуктора, застосування сучасних високочастотних перетворювачів та вибір відповідних режимів нагрівання. Своєчасне технічне обслуговування та заміна зношених вогнетривких матеріалів виготовляють важливу роль також у забезпеченні стабільної та енергоефективної роботи індукційних печей.

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

7.1 Розрахунок і вибір індукційної тигельної печі

Поперше визначаємо геометричні співвідношення в системі індуктор - завантаження (рис. 7.1) і також вибираємо частоту джерела живлення (ДЖ).

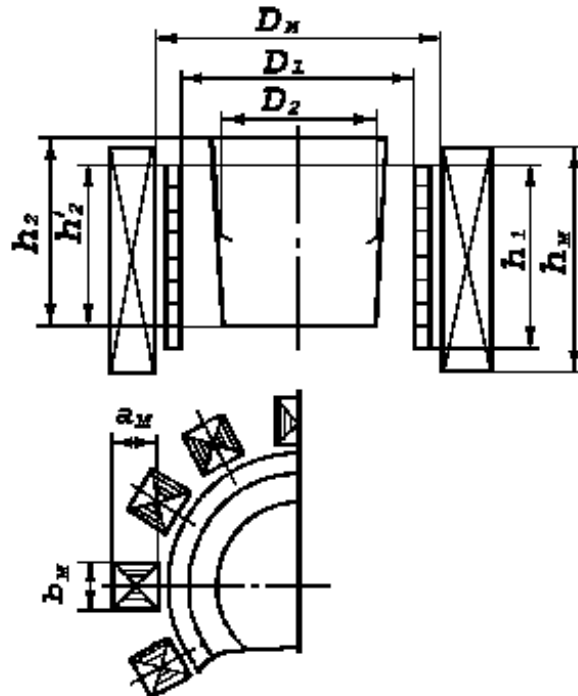


Рисунок 7.1 Ескіз до електричного розрахунку тигельної печі.

Визначаємо корисний об'єм тигля який становитиме:

$$V = \frac{G}{\gamma_2} = \frac{300}{7200} = 0,042 \text{ м}^3,$$

По приведеному рисунку 7.2 визначаємо значення:

$$\bar{h}_2 = \frac{h_2}{d_2} = 1,6.$$

Визначаємо внутрішній діаметр тигля який становитиме:

$$D_2 = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi \bar{h}_2}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,042}{3,14 \cdot 1,6}} = 0,321 \text{ м}.$$

Визначаємо висоту розплаву в тиглі який становитиме:

$$h_2 = d_2 \bar{h}_2 = 0,321 \cdot 1,6 = 0,514.$$

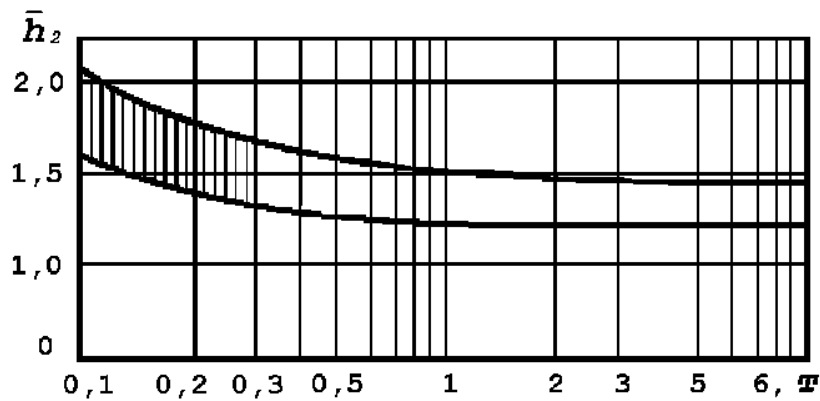


Рисунок 7.2 Графік визначення геометрії тигля.

Визначаємо висоту внутрішньої порожнини тигля який становитиме:

$$h_T = (1,2 \div 1,4)h_2 = 1,3 \cdot 0,514 = 0,668 \text{ м.}$$

Визначаємо товщину футерування тигля який становитиме:

$$b_\phi \approx 0,08\sqrt[4]{G} = 0,08\sqrt[4]{300 \cdot 10^{-3}} = 0,059 \text{ м.}$$

З урахуванням теплової і електричної ізоляції, визначаємо внутрішній діаметр індуктора який становитиме:

$$D_1 = D_2 + 2b_\phi + 2i_{iz} = 0,08\sqrt[4]{160 \cdot 10^{-3}} = \\ = 0,321 + 0,059 \cdot 2 = 0,44 \text{ м.}$$

Прийнявши $\bar{h}_1 = 1,1 \text{ м}$, визначимо висоту індуктора який становитиме:

$$h_1 = h_2 \bar{h}_1 = 0,514 \cdot 1,1 = 0,565 \text{ м.}$$

Визначаємо мінімальну частоту джерела живлення яка становитиме:

$$f_{\min} \geq \pi \cdot 10^6 \frac{\rho_{uu}}{\mu'_{uu} d_{uu}^2} = 3,14 \cdot 10^6 \frac{100 \cdot 10^{-8}}{1,0 \cdot 0,04^2} = 1964 \text{ Гц.}$$

Визначаємо і приймаємо значення робочої частоти $f = 2400 \text{ Гц}$.

7.2. Тепловий розрахунок печі

Ескіз печі, для розрахунку теплових показників, та показаний на рис. 7.3.

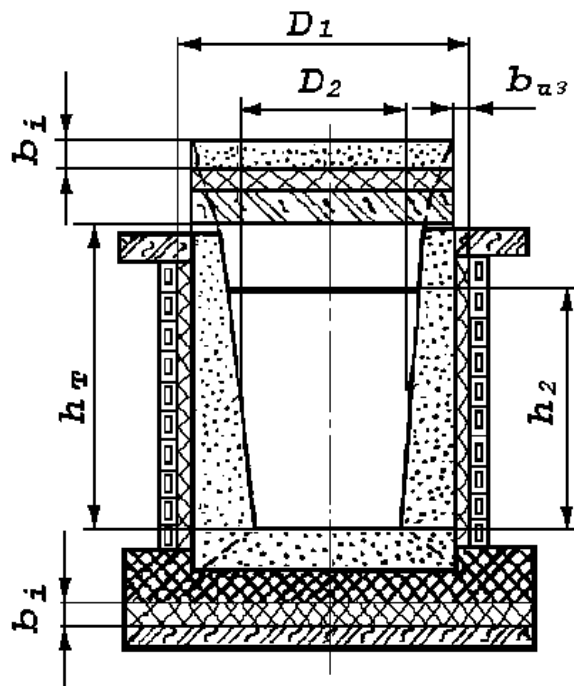


Рисунок 7.3. Ескіз футерівки печі для виконання теплового розрахунку.

Визначаємо теплові втрати через подину. Товщина шару набивання подини приймаємо $\delta_1 = 0,08$ м; азбестовий шар становить $\delta_2 = 0,005$ м; шар бетону подини буде $\delta_3 = 0,08$ м; азбестоцементна плита буде становити $\delta_4 = 0,04$ м.

Температурами на межах відомих шарів становитиме значення:

$$t_1 = t_k = 1600^\circ \text{C}, t_2 = 1000^\circ \text{C}, t_3 = 900^\circ \text{C}, t_4 = 600^\circ \text{C}, t_5 = 200^\circ \text{C}.$$

Визначаємо середню по товщині температура відповідного приведенного шару:

$$t_{1cp} = (1600 + 1000)/2 = 1300; t_{2cp} = (1000 + 900)/2 = 950^\circ \text{C};$$

$$t_{3cp} = (900 + 600)/2 = 750; t_{4cp} = (600 + 200)/2 = 400^\circ \text{C}.$$

Визначаємо середню розрахункову поверхню на межах відповідних шарів:

$$S_{1cp} = 0,062; S_{2cp} = 0,127; S_{3cp} = 0,177; S_{4cp} = 0,242; S_{5cp} = 0,270 \text{ м}^2.$$

Визначаємо середні значення коеф. теплопровідності шарів. Дані коеф. відповідають температурам $t_{1cp} \div t_{4cp}$ (табл. 11.2) джерела [8]:

$$\lambda_{1cp} = 1,88; \lambda_{2cp} = 0,37; \lambda_{3cp} = 1,05; \lambda_{4cp} = 0,35 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Визначаємо теплові опори шарів:

$$R_{mi} = \frac{b_i}{\lambda_i S_{icp}}; \frac{\text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\tau 1} = 0,68; R_{\tau 2} = 0,11; R_{\tau 3} = 0,43; R_{\tau 4} = 0,47$$

Визначаємо тепловий опір шару повітря на зовнішній поверхні подини.

Використаємо данні згідно (рис. 7.4) при $\alpha_k = 15,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$

$$R_{Ts} = \frac{1}{15,7 \cdot 0,27} = 0,24 \frac{\text{°C}}{\text{Вт}},$$

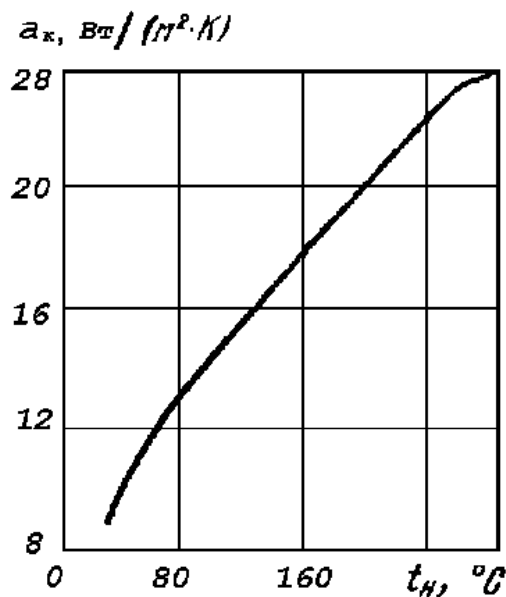


Рисунок 7.4. Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією відносно навколишнього повітря

Визначаємо теплові втрати через подину яка становитиме:

$$P_{m.n} = \frac{T_k - T_0}{\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\lambda_i S_{icp}} + \frac{1}{\alpha_n S_n}} = \frac{1600 - 20}{0,68 + 0,11 + 0,43 + 0,47 + 0,24} = 0,82 \text{ кВт},$$

Перевіряємо значення температури на межах шарів:

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					63

$$T_{i+1} = T_i - P_{Ti} R_{Ti}.$$

$$t_2 = 1600 - 820 \cdot 0,68 = 1040 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_3 = 1040 - 820 \cdot 0,11 = 950 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_4 = 950 - 820 \cdot 0,43 = 598 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_5 = 598 - 820 \cdot 0,47 = 212 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки розбіжність розрахункових значень зі значеннями, якими ми задавалися та прийняли раніше, не перевищує близько 6%, подальших уточнень можна не у нашому випадку проводити.

Наступними для визначення є теплові втрати через бічні стінки тигля

Задамося та приймаємо товщину азбестового шару близько $\delta_a - 0,005$ м, при цьому внутрішній діаметр азбестового шару становитиме $d_3 = 0,39$ м.

Приймаємо температуру на межі набивання, а також значення азбестового шару $t_2 = 600^{\circ}\text{C}$, та зовнішню температуру азбестового шару близько $t_3 = 55^{\circ}\text{C}$.

Визначаємо середнє значення температур зазначених слоїв:

$$t_{cp1} = (1600 + 600)/2 = 1100 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{cp2} = (600 + 55)/2 = 327 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Визначаємо середні значення коеф. теплопровідності шарів яка становитиме:

$$\lambda_{cp1} = 1,95; \lambda_{cp2} = 0,21. \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

Визначаємо теплові втрати через бічну стінку які становитимуть:

$$\begin{aligned} P_{m.б.} &= \frac{2\pi h_2(T_k - T_{i3})}{\frac{1}{\lambda_{\phi}} \ln \frac{D_1 - 2b_{i3}}{D_2} + \frac{1}{\lambda_{i3}} \ln \frac{D_1}{D_1 - 2b_{i3}}} = \\ &= \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,39(1600 - 150)}{\frac{1}{1,95} \ln \frac{0,4 - 0,01}{0,28} + \frac{1}{0,21} \ln \frac{0,4}{0,4 - 0,01}} = 12,23 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Виконаємо перевірку температур яка матиме наступне значення :

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$t_2 = 1600 - 16,2 \cdot 10^3 \frac{\ln(0,39 / 0,28)}{2\pi \cdot 1,95 \cdot 0,43} = 600^\circ C,$$

$$t_2 = 1600 - 16,2 \cdot 10^3 \frac{\ln(0,4 / 0,39)}{2\pi \cdot 0,21 \cdot 0,43} = 53^\circ C,$$

Наступними для визначення є теплові втрати випромінюванням з дзеркала ванни

Необхідну міру чорноти розплаву виберемо наступного значення $\varepsilon = 0,45$.

Визначимо коефіцієнт діафрагмування, згідно рис. 7.5. становить $\xi = 0,66$.

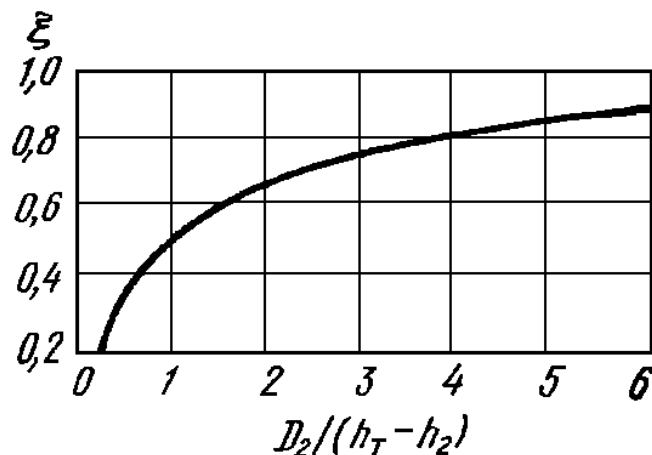


Рисунок 7.5. Графік для визначення коефіцієнта діафрагмування

Визначимо теплові втрати випромінюванням які становитимуть:

$$\begin{aligned} P_{\text{випр}} &= \varepsilon c_0 \left[\left(\frac{T_{\kappa}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] \frac{\pi D_2^2}{4} \xi = \\ &= 0,45 \cdot 5,7 \left[\left(\frac{1173}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \frac{\pi \cdot 0,28^2}{4} 0,66 = 1,95 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Наступними для визначення є сумарні теплові втрати

$$\begin{aligned} P_{m\Sigma} &= k_o \left(P_{m.б.} + P_{\text{випр}} \frac{\tau_{\text{всп}}}{\tau_{\text{пл}}} k_{\tau} + P_{m.н.} \right) = \\ &= 12,23 \cdot 10^3 + 1,95 \cdot 10^3 + 0,82 \cdot 10^3 \approx 15 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Наступними для визначення є електрична потужність для розплавлення і

перегрівання

Визначимо ентальпію при кінцевій температурі металу за рис. 7.6:

$$q_k = 0,37 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}.$$

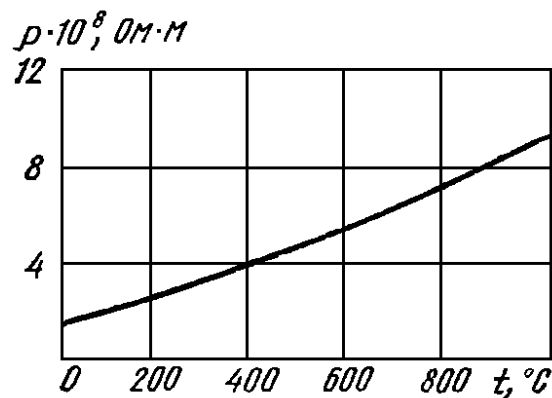


Рисунок 7.6 Графік залежності питомого електричного опору міді від температури.

Визначимо корисну потужність які становитимуть:

$$P_{\text{пол}} = q_k g_{\text{пл}} = 0,24 \cdot \frac{50}{0,66} = 18,3 \text{ кВт}$$

Визначимо тепловий к.к.д. печі які становитимуть:

$$\eta_r = \frac{P_{\text{нов}}}{P_2} = \frac{18,3}{18,3 + 15} = 0,55 \text{ кВт}$$

7.3. Електричний розрахунок індуктора в гарячому режимі.

Глибину проникнення струму в матеріал індуктора ($\rho_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, див. рис. 7.7) визначаємо по номограмі чи з виразу:

$$\Delta_1 = 503 \sqrt{\frac{\rho_1}{f}} = 503 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-8}}{2400}} = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Визначимо активний і реактивний опір завантаження що становитиме:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$r_1 = x_{1e} = \rho_1 \frac{\pi D_1' 1}{\Delta_1 h_1 k_{s.i.}} = 2 \cdot 10^{-8} \frac{\pi(0,4 + 1,45 \cdot 10^{-3}) 1}{1,45 \cdot 10^{-3} \cdot 0,43 \cdot 0,9} = 0,047 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

Визначимо глибину проникнення струму в матеріал завантаження. Згідно з рис. 7.7. становитиме $\rho_2 = 137 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, який по наступним виразу:

$$\Delta_2 = 503 \sqrt{\frac{\rho_2}{\mu_2' f}} = 503 \sqrt{\frac{137 \cdot 10^{-8}}{2400}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Визначимо відносний радіус розплаву визначуваний що становитиме:

$$\bar{R}_2 = \frac{D_2}{\sqrt{2} \Delta_2} = \frac{0,28}{2 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 16,5$$

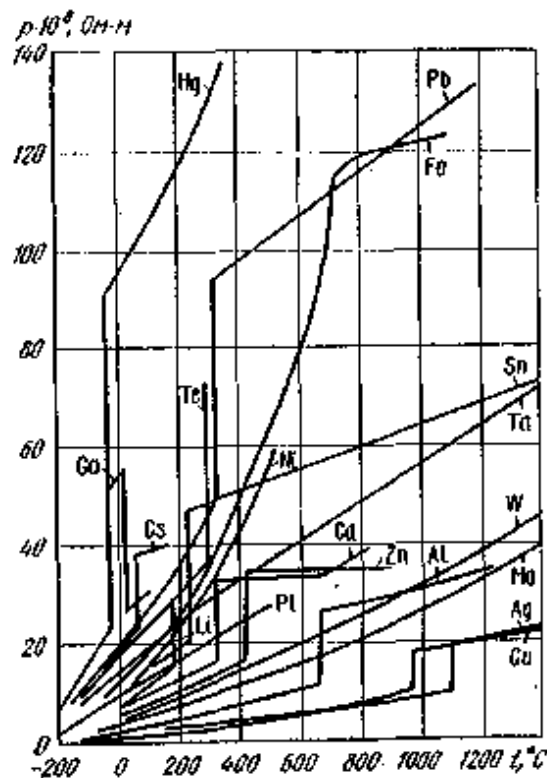


Рисунок 7.7. Залежність питомого електричного опору представлених металів від значення температури.

Згідно з рис. 7.8 знаходимо значення $\psi_a = \psi_p = 0,06$.

Визначимо активний і реактивний опір завантаження що становитиме:

$$r_2 = x_{2e} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{\rho_2 D_2^2}{\Delta_2^2 h_2'} \psi_a = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{137 \cdot 10^{-8} \cdot 0,28^2}{(12 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,39} = 0,257 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

Визначимо реактивний опір повітряного проміжку що становитиме:

$$x_3 = 2\pi^3 \frac{D_1^2 - D_2^2}{h_2'} f \cdot 10^{-7} = 2 \cdot \pi^3 \frac{0,4^2 - 0,28^2}{0,39} 2400 \cdot 10^{-7} = 3,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

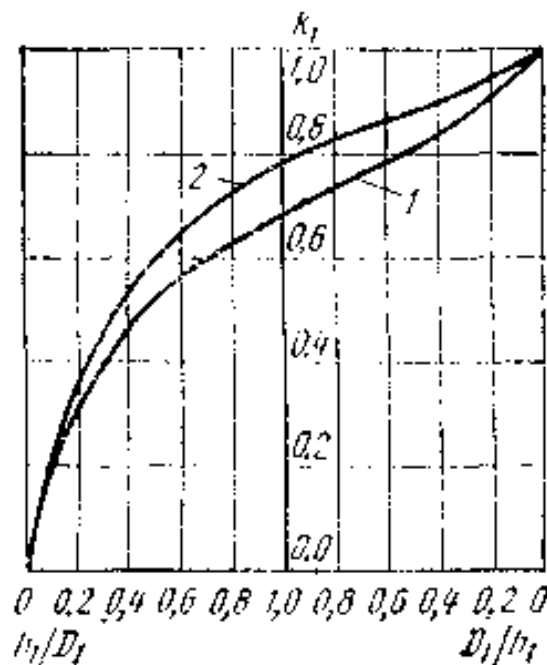
Для згідно відношення $D_1/h_1 = 0,40/0,43 = 0,93$ знаходимо необхідні значення коефіцієнта Нагаока. Згідно рисунка 7.8 він матиме значення $k_1 = 0,7$.

Визначимо реактивний опір порожнього індуктора що становитиме:

$$x_{10} = 2\pi^3 \frac{D_1^2 f}{h_2} \cdot 10^{-7} = 2 \cdot \pi^3 \frac{0,4^2}{0,43} 2400 \cdot 10^{-7} \cdot 0,7 = 3,87 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

Визначимо опір зворотного замикання що становитиме:

$$x_0 = x_{10} \frac{h_1}{h_1 - k_1 h_2'} \cdot 10^{-7} = 3,87 \cdot 10^{-3} \frac{0,43^2}{0,43 - 0,7 \cdot 0,39} = 10,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$



1 – індуктор без магнітопроводу; 2 – з магнітопроводом

Рисунок 7.8 Значення поправочного коефіцієнта k_1 .

Визначимо коефіцієнт приведення параметрів завантаження до струму індуктора та становитиме;

$$C_{np} = \frac{1}{\left(\frac{r_{III}}{x_0}\right)^2 + \left(1 + \frac{x_{III.с.} + x_3}{x_0}\right)^2} =$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{0,257 \cdot 10^{-3}}{10,6 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(1 + \frac{0,257 \cdot 10^{-3} + 3,1 \cdot 10^{-3}}{10,6 \cdot 10^{-3}}\right)^2} = 0,585$$

Визначимо приведені активне r'_2 і реактивне x'_2 опори завантаження:

$$r'_2 = C_{np} r_2 = 0,585 \cdot 0,257 \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

$$x'_2 = C_{np} \left[x_{2с} + x_3 + \frac{(x_{2с} + x_3) + r_2^2}{x_0} \right] = 0,585 \left[(0,257 \cdot 10^{-3} + 3,1 \cdot 10^{-3}) \right] +$$

$$+ \frac{(0,257 \cdot 10^{-3} + 3,1 \cdot 10^{-3})^2 + (0,257 \cdot 10^{-3})^2}{10,6 \cdot 10^{-3}} = 2,59 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

Визначимо еквівалентні активне r_3 і реактивне x_3 опори системи індуктор – розплав, що становитиме:

$$r_3 = r_1 + r'_2 = 0,047 \cdot 10^{-3} + 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,197 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

$$x_3 = x_{1с} + x'_2 = 0,047 \cdot 10^{-3} + 2,59 \cdot 10^{-3} = 2,637 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

$$z_3 = \sqrt{r_3^2 + x_3^2} = \sqrt{(0,197^2 + 2,59^2) \cdot 10^{-6}} = 2,64 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{виток}^2}$$

Визначимо електричний к. к. д. індуктора з завантаженням що становитиме:

$$\eta_3 = r'_2 / r_3 = 0,15 \cdot 10^{-3} / 0,197 \cdot 10^{-3} = 0,76.$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Визначимо коефіцієнт потужності індуктора із завантаженням що становитиме:

$$\cos \varphi = r_3 / z_3 = 0,197 \cdot 10^{-3} / 2,64 \cdot 10^{-3} = 0,075.$$

Визначимо активна потужність джерела живлення матиме значення:

$$P_f = \frac{P_{повн}}{\eta_3 \eta_T \eta_{всп}} = \frac{18,3}{0,55 \cdot 0,76 \cdot 0,9} = 48,7 \text{ кВт}$$

Тут коефіцієнт $\eta_{всп}$, що враховує електричні втрати в короткій мережі, в конденсаторній батареї і в інших елементах установки прийнятий рівним:

$$\eta_{всп} \approx 0,9.$$

Враховуючи попередні розрахунки вибираємо перетворювач тиристорний частоти зазначеного типу ТПЧ-50-2,4 загальною потужністю 50 кВт.

Вихідну напругу для ДЖ приймаємо рівним значенню $U = 900 \text{ В}$.

Визначимо число витків індуктора при цій напрузі матиме значення:

$$\omega = U \sqrt{\frac{\cos \varphi}{P_{дж} z_3}} = 900 \sqrt{\frac{0,075}{(33,34 + 15) \cdot 10^3 \cdot 2,64 \cdot 10^{-3}}} = 26,27$$

Визначимо орієнтовну висоту індукуючого витка та знаходимо по рівнянню:

$$h'_g = \frac{h_1}{\omega} k_{з.і.} = \frac{0,43}{26} 0,9 = 14,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

По сортаменту вибираємо трубку діаметром 15 мм при числі витків $\omega = 26$.

Тоді остаточно маємо коефіцієнт заповнення наступного значення:

$$k_{з.і.} = \frac{26 \cdot 10^{-3} \cdot 15}{0,43} = 0,907$$

і знаходимо номінальну напруга печі за виразом:

$$U_{п} = 800 \frac{26}{26,3} = 791,7 \text{ В}$$

						Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Активне $r_{\text{и}}$, реактивне $x_{\text{и}}$ і повний $z_{\text{и}}$ опір індуктора, Ом, визначаємо:

$$r_{\text{и}} = r_{\text{з}} \cdot \omega^2 = 0,197 \cdot 10^{-3} \cdot 26^2 = 0,133;$$

$$x_{\text{и}} = x_{\text{з}} \cdot \omega^2 = 2,637 \cdot 10^{-3} \cdot 26^2 = 1,783;$$

$$z_{\text{и}} = z_{\text{з}} \cdot \omega^2 = 2,64 \cdot 10^{-3} \cdot 26^2 = 1,785.$$

Визначимо силу струму в індукторі знаходимо:

$$I_1 = U / z_{\text{и}} = 792 / 1,785 = 443,6 \text{ А.}$$

Визначимо настил струму в індукторі визначаємо по формулі:

$$H_{\text{и}} = \frac{I_1 \omega}{h_1} = 443,6 \frac{26}{0,43} = 26,82 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$$

Визначимо активну потужність, підведену до індуктора, що становитиме:

$$P_{\text{и}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 792 \cdot 443,6 \cdot 0,075 = 26,34 \text{ кВт.}$$

7.4 Розрахунок водоохолодження індуктора

Визначимо електричні втрати в індукторі, що становитиме:

$$P_{\text{э.и}} = P_{\text{и}} [(1 - \eta_{\text{з}}) + 0,5 h_{\text{х}} / h_1] = 29,34 (1 - 0,76) = 6,32 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати, що відводяться охолодженням індуктора становитимуть:

$$P_{\text{охл}} = 6,32 + 12,23 = 18,55 \text{ кВт.}$$

Прийнявши $t_{\text{вх}} = 20^\circ \text{ С}$ и $t_{\text{вых}} = 50^\circ \text{ С}$, визначимо потрібну витрату охолоджуючої води становитимуть по формулі:

$$Q_{\text{охл}} = 0,24 \frac{P_{\text{охл}}}{T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}} 10^{-6} = 0,24 \frac{18,5 \cdot 10^3}{50 - 20} 10^{-6} = 14,84 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Визначимо діаметр каналу охолодження при товщині стінки трубки 3 мм, що становитиме:

$$D_B = 26 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

а площа його перерізу становитиме $S_B = \pi (20 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 314 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

Визначимо швидкість води в каналі охолодження, що становитиме:

$$v_B = Q_{\text{охл}} / S_B \rho_B = 14,84 \cdot 10^{-3} / 314 \cdot 10^{-6} = 0,473 \text{ м/с}.$$

Визначимо кінематичну в'язкість води, за допомогою рис. 7.9., знаходимо

$$\nu_B = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

і визначимо число Рейнольдса за виразом

$$Re = 1,08 \cdot 20 \cdot 10^3 / 0,75 \cdot 10^{-6} = 2,88 \cdot 10^4.$$

Отже, враховуючи фізичні закони рух води турбулентний, так як $Re > 10^4$

Значення коефіцієнт тертя визначаємо по формулі:

$$\xi = 0,316 / (Re)^{0,25} = 0,316 / (2,88 \cdot 10^4)^{0,25} = 0,024.$$

Значення коефіцієнт опору повороту струменя знаходимо при

$$D_1/D_B = 0,40/0,02 = 20 \cdot \xi_{\text{пов}} = 0,144.$$

$$\alpha_\epsilon = N_u \frac{\lambda_\epsilon}{d_{\epsilon,e.}} = 155 \frac{0,46}{20 \cdot 10^{-3}} = 3,57 \frac{\text{кВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

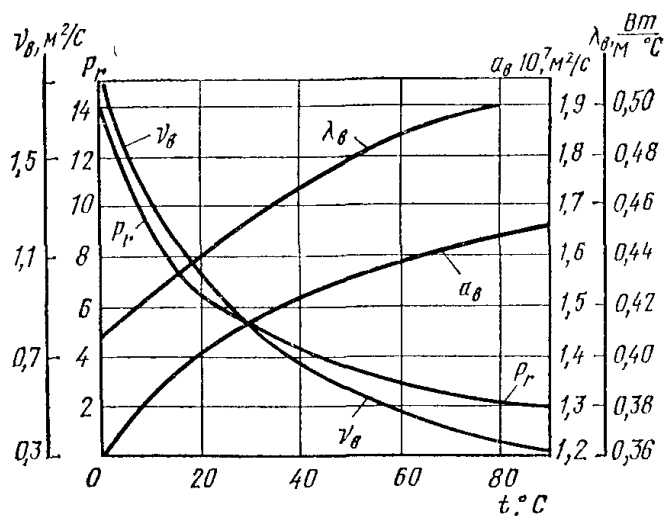


Рисунок 7.9 Теплофізичні властивості води.

Потім коефіцієнт збільшення опору приймемо $\kappa_{ш} = 2,5$.

Визначимо втрати натиску по довжині трубки індуктора, що становитимуть:

$$\Delta p = \omega \frac{v_e^2}{2} \left(\xi \kappa_{ш} \frac{1}{d_{e.e.}} + \xi_{нов} \right) =$$

$$= 26 \frac{0,473^2}{2} \left(0,024 - 2,5 \frac{\pi(0,4 + 0,026)}{20 \cdot 10^{-6}} + 0,144 \right) 10^3 = 11,66 \text{ кПа}$$

$$\Delta p < \Delta p_{доп} = 200$$

Теплопровідність води при $t_{в.ср} = 35^\circ\text{C}$ знаходимо по рис. 11.15, і отримуємо значення $\lambda_{в} = 0,46 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; також температурна провідність становитиме $\alpha_{в} = 1,5 \cdot 10^{-7}$ і останнім визначаємо число Прандтля $Pr = 4,6$.

Визначимо Критерій Нуссельта

$$Nu = 0,023 (2,88 \cdot 10^4)^{0,88} \cdot 4,6^{0,4} = 155.$$

Визначимо коефіцієнт тепловіддачі від стінки індуктора до води ϵ : величина втрат, які можуть бути відведені охолоджуючою водою та становити:

$$P_{в} = \alpha_{в} (T_{ст} - T_{ср}) \cdot \Pi_{в} l_d \omega \kappa_{в} =$$

$$= 3,57 (60 - 35) \pi 20 \cdot 10^{-3} \cdot \pi 0,426 \cdot 26 \cdot 0,75 = 146,3 \text{ кВт}$$

Оскільки дотримується умова $P_{охл} < P_{в}$, то з врахуванням даних розрахунок охолодження можна вважати закінченим.

7.5. Розрахунок конденсаторної батареї

Проведемо вибір типу конденсаторів. Приймаємо для нас конденсатор типу ЭСВ - 1 - 2,4, на 1000 В і електричною місткістю 19,9 мкФ.

Реактивна потужність конденсаторної батареї, необхідна для компенсації $\cos \varphi$ установки до $\cos \varphi_k$ (при живленні від ТПЧ $\cos \varphi_k \approx 0,6$)

$$P_{к.б.} = 26,34 (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k) = 0,384 \cdot 10^3 \text{ Вар.}$$

З урахуванням недовикористання банок по напрузі:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$P_{\kappa.\delta.} = 0,384 \times 10^3 \left(\frac{1000}{792} \right)^2 = 0,613 \cdot 10^3 \text{ кВт}$$

Визначимо місткість конденсаторної батареї визначаємо по формулі:

$$C = \frac{P_{\kappa.\delta.}}{2\pi f U_u^2} = \frac{0,613 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 2400 \cdot 792^2} = 65 \text{ мФ}$$

Визначимо число банок знаходимо з виразу:

$$N_6 = C_{\kappa.6.}/C_{1,0} = 65/19,9 = 3,2.$$

Приймаємо число банок $N_6 = 4$.

Визначимо електричні втрати в конденсаторній батареї :

$$P_{\kappa.6.} = P_{\kappa.6.} \cdot \text{tg} \delta = 0,613 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2} = 4,9 \text{ кВт.}$$

7.6. Енергетичний баланс установки.

Визначимо електричні втрати в індукторі визначимо по формулі:

$$P_{\Sigma.н} = I_1^2 r_1 = (443,6)^2 \cdot 0,047 \cdot 10^{-3} = 9,25 \text{ кВт.}$$

Визначимо втрати в конденсаторній батареї

$$P_{\kappa.6.} = 4,9 \text{ кВт.}$$

Визначимо втрати в струмопроводі можна орієнтовно прийняти:

$$P_{\text{ток}} = 0,05P = 0,05 \cdot 50 = 2,5 \text{ кВт.}$$

Потужність, що забирається від перетворювача, визначаємо по формулі:

$$P_f = P_{\Sigma.н} + P_2 = 9,25 + 4,91 + 2,5 + 18,34 + 15 = 50 \text{ кВт.}$$

Визначимо електричні втрати в ДЖ знаходимо:

$$P_{\delta.ж.} = P_f \left(\frac{1}{\eta_{np}} - 1 \right) = 50 \left(\frac{1}{0,92} - 1 \right) = 4,34 \text{ кВт}$$

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

Визначимо активну потужність, споживану установкою від електромережі:

$$P_c = P_f + P_{и.п.} = 50 + 4,34 = 54,34 \text{ кВт.}$$

Визначимо загальний ККД плавильної установки знаходимо:

$$\eta_y = P_{пол}/P_c = 18,34/54,34 = 0,34.$$

Потім визначимо питому витрату електроенергії за виразом:

$$q = q_k/\eta_y = 0,244 \cdot 10^3/0,337 = 723 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т.}$$

Звідси тривалість плавки знаходимо за виразом:

$$\tau_{пл} = G_{сл}q/P_c = 50 \cdot 723 \cdot 10^{-3}/54,34 \cdot 10^3 = 0,66 \text{ год.}$$

Визначимо продуктивність установки по розплавленню і перегріванню металу:

$$g = G_{сл}/\tau_{пл} = 50 \cdot 10^{-3}/0,66 = 0,075 \text{ т/год.}$$

Звідси фактичну продуктивність (з урахуванням допоміжного часу, $\tau_{всп}$) матиме значення

$$g = 50 \cdot 10^{-3}/(0,66 + 0,14) = 0,062 \text{ т/год.}$$

Виходячи з розрахунків можна вибрати в інтернеті наступну необхідну піч

Таблиця 7.1 Технічні характеристики індукційних тигельних печей

Тип індукційної тигельної печі	Вага Q, т	Потуж Р, кВт	Проду V, т/год	Напруг U, кВ	М, м ³ /год	Споживання S, кВт·год/т	Тип перетворювача частоти
ИТПЭ-0,16 /0,16 ТГ1	0,03	50	0,06	0,38	5,8	650	ТПЧ-50-2,4

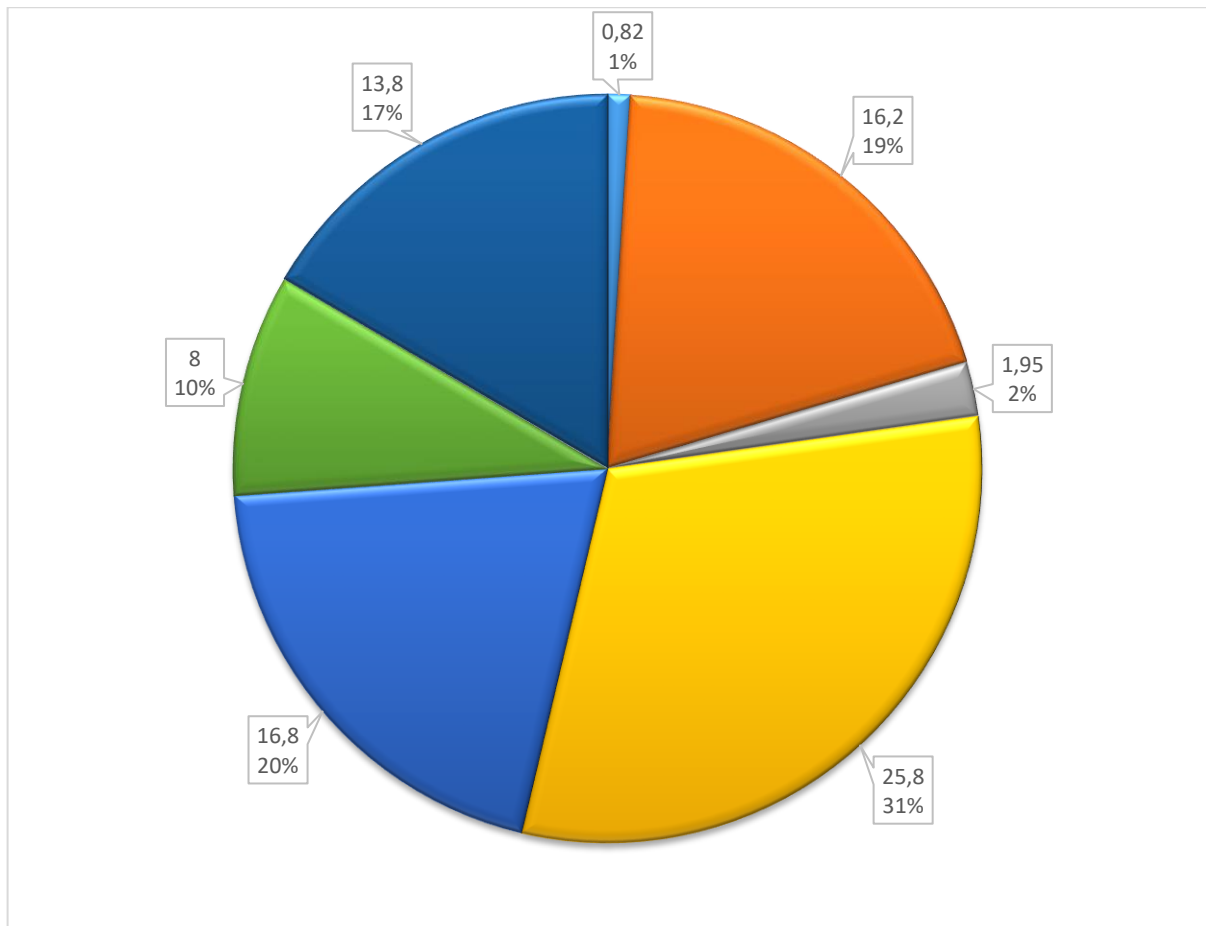


Рисунок 7.10. Розподіл теплових та електричних втрат в індукційній печі.

Таблиця 7.2. Розподіл втрат тепловий та електричних в індукційній печі.

№	Втрати теплові та електричні в індукційній печі	Втрати, кВт	Втрати, %
1	Теплові втрати в індукційній печі через подину	0,82	0,98
2	Теплові втрати в індукційній печі через бічну стінку	16,2	19,43
3	Теплові втрати печі випромінюванням	1,95	2,34
5	Втрати печі електричні в індукторі	25,8	30,95
6	Втрати печі електричні у конденсаторах	16,8	20,15
7	Втрати печі електричні у струмопроводі	8	9,60
9	Втрати електричні у джерелі живлення (перетворювачах)	13,8	16,55

7.7. Заходи економії електроенергії в індукційній тигельній печі.

Розподіл теплових та електричних втрат для даної індукційної печі наведені на рис. 7.10.

На основі розрахунків теплових та електричних втрат у енергетичній системі індукційних печей, можна запропонувати низку заходів для зменшення споживання електроенергії:

1. Ретельне управління процесом експлуатації печей, регулярне обслуговування футерівки та електрообладнання, дотримання графіка планово-попереджувальних ремонтів (ППР).
2. Збереження високого коефіцієнта потужності.
3. Підтримка оптимального рівня розплавленого металу під час зливу побічного продукту «болота».
4. Впровадження цілодобової роботи печей замість обмеженого одно- або двозміного графіку.
5. Мінімізація часу простою печей до можливого мінімуму.
6. Заміна застарілих печей на сучасні, які мають вищий коефіцієнт корисної дії.
7. Використання новітніх теплостійких та екологічно безпечних матеріалів під час будівництва печей.
8. Оптимізація допоміжних операцій, що зменшить теплові втрати та випромінювання в межах 4-6 %.
9. Встановлення надійних комплектуючих середньочастотних конденсаторів, що знизить втрати електроенергії в межах 7-10%.
10. Використання сучасних тиристорних перетворювачів частоти з автоматичним регулюванням, що дозволить зменшити втрати електроенергії в межах 3-5%.
11. Розрахунок та вибір оптимальних параметрів елементів системи печей, що знизить загальні втрати в індуктивності індукторів і з'єднувальних

ліній, ємності конденсаторних батарей, внаслідок чого, втрати в пічному контурі зведені до мінімуму в межах 12-15% від попередніх значень.

12. Впровадження передових технологій у виробництві електропечей.

13. Захист гідроциліндрів від металевих бризок для зменшення часу простою.

14. Аналіз потреб заводу у виплавці сталі з метою оптимізації потужності печей та зменшення витрат електроенергії.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Висновки

1. Розроблена система електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання відповідає вимогам щодо ефективності, надійності та безпеки обслуговування.

2. Створена система електропостачання заводу з виробництва автомобільного обладнання забезпечує необхідний обсяг та якість електричної енергії.

Розрахунки техніко-економічних показників підтверджують адекватність обраного технічного рішення.

3. Під час розробки спеціального питання темою якого є ефективне використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах були розроблені необхідні заходи та вибрані засоби.

При виконанні розрахунків була вибрана для впровадження індукційна тигельна піч ИТПЭ-0,03/0,05ТГ1.

Потім були розглянуті питання енергозбереження, розроблені відповідні заходи та рекомендації з мінімізації витрат електроенергії.

Проведено необхідні електротехнічні розрахунки та вибрано сучасне електрообладнання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

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. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
3. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
5. Козирський В.В. Електропостачання промислового комплексу: підруч./Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М.- К.: Аграрна освіта, 2011. – 488с.
6. Коваленко О.І. Основи електропостачання сільського господарства : Навчальний посібник / О.І. Коваленко, Л.Р. Коваленко, В.О. Мунтян, І.П. Радько. – Мелітополь : ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. – 462с.
7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015.-316 с.
8. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. / Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. 122 с.

						Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		