МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему «Аналіз енергетичної ефективності технологічного обладнання підприємства»

Виконав: студент 3 курсу, групи 6.1413-с2
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Смірнова-Крепович І.С.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент Коломієць Д.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
к.т.н., доц.

_____Д.М. Морозов
«_____»_____2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Смірнова-Крепович Ірина Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Аналіз енергетичної ефективності технологічного обладнання підприємства»
керівник роботи Єрофєєва Аліна Анатоліївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 23 » грудня 2025 року № 1833 - с
2 Строк подання студентом роботи 12 червня 2026 р.
3 Вихідні дані до роботи : генеральний план підприємства, схема живлення підприємства; споживання енергоресурсів; споживання електроенергії; схема вакуумно-дугової печі з електродом для плавки титанових сплавів.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Загальні відомості про виробництво та аналіз енергетичного балансу підприємства. 2 Розрахунок електричних навантажень. 3 Технічні заходи по зниженню активних втрат електричної енергії в системі електропостачання 4. Електричний баланс та аналіз показників енергоефективності підприємства 5. Запропоновані енергозберігаючі заходи щодо технологічного обладнання.
5 Перелік графічного матеріалу (основний) 1) Генеральний план підприємства 2) Баланс енергоспоживання підприємством 3) Енергетичний баланс споживання електричної енергії 4) Електрична схема підприємства 4) Визначення втрат електроенергії в трансформаторах КТП 5) Технічні заходи по зниженню активних втрат електричної енергії в системі електропостачання

6) Запропоновані енергозберігаючі заходи щодо технологічного обладнання

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		
Розділ 2	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		
Розділ 3	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		
Розділ 4	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		
Розділ 5	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		

6 Дата видачі завдання 11.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про виробництво та аналіз енергетичного балансу підприємства	14.05.2026	
2	Розрахунок електричних навантажень	20.05.2026	
3	Технічні заходи по зниженню активних втрат електричної енергії в системі електропостачання	27.05.2026	
4	Електричний баланс та аналіз показників енергоефективності підприємства	03.06.2026	
5	Запропоновані енергозберігаючі заходи щодо технологічного обладнання.	10.06.2026	

Студент _____ Смірнова-Крепович І.С.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Єрофєєва А.А.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер. _____ С.В. Башлій

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 стор., 15 таблиць, 12 рисунків, 18 джерел.

Метою роботи є розроблення та обґрунтування організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності технологічного обладнання та оптимізацію систем електропостачання підприємства.

У дипломній роботі наведено характеристику споживачів та проаналізовано вимоги до надійності системи електропостачання підприємства. Виконано розрахунок електричних навантажень, обґрунтовано вибір схеми живлення та розподільчих мереж, а також, на основі картограми навантажень, визначено оптимальне розміщення джерел живлення та вузлів споживання. Здійснено підбір кількості та потужності цехових трансформаторних підстанцій, обрано необхідне електротехнічне обладнання та провідники. У роботі розраховано ефективність системи компенсації реактивної потужності, складено та детально проаналізовано енергетичний баланс підприємства, а також проведено аналіз динаміки питомих витрат енергоресурсів. Фінальним етапом роботи стало розроблення та технічне обґрунтування комплексу енергозберігаючих заходів, спрямованих на модернізацію технологічного обладнання та систем освітлення, що дозволило визначити потенціал зниження споживання електричної енергії на підприємстві.

Ключові слова: електропостачання, розрахункове навантаження, енергетичний баланс, енергоефективність, енергозбереження, питомі витрати енергоресурсів, частотно-регульований привід, тиристорний регулятор напруги, компенсація реактивної потужності, аналіз енергоспоживання.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО ТА АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПІДПРИЄМСТВА …….8
1.1Загальні відомості про виробництво 8
1.2 Складання енергетичного балансу 9
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ……..12
2.1 Розрахунок сумарного навантаження напругою 1000В. 12
2.2 Розрахунок електричних навантажень напругою 1кВ…… ……..14
2.3 Вибір напруги зовнішнього електропостачання…… …...15
2.4 Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів КТП……..16
2.5 Вибір схеми електропостачання заводу на основі ТЕР…….....21
2.6 Побудова картограми навантажень і визначення координат розміщення приймального пункту електроенергії заводу……..23
2.7 Вибір високовольтних компенсуючих пристроїв……....25
2.8 Розрахунок струмів КЗ та вибір електричних апаратів і провідників……27
2.9 Розрахунок економії електроенергії від використання компенсації реактивної потужності……36
3. ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ПО ЗНИЖЕННЮ АКТИВНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ…….….39
3.1 Встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності з умови граничної компенсації (ГК)…….39
4 ЕЛЕКТРИЧНИЙ БАЛАНС ТА АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА…….41
4.1Енергетичний баланс споживання електричної енергії підприємством…41
4.2 Аналіз питомого споживання енергоресурсів…….43
5 ЗАПРОПОНОВАНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ……..47

5.1 Заміна обладнання компресорної…….47
5.2 Заміна обладнання в ливарному цеху підприємства……51
5.3 Модернізація системи освітлення цеху……..54
ВИСНОВКИ……58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ …….60

ВСТУП

Сучасний етап розвитку світової економіки вимагає переходу до парадигми раціонального та ощадливого природокористування. Вичерпність природних ресурсів та зростаючі вимоги до екологічної безпеки ставлять перед промисловими підприємствами завдання мінімізації енерговитрат без зниження обсягів виробництва. Україна, володіючи значним інженерним та сировинним потенціалом, стоїть перед викликом модернізації власної промислової бази, що потребує впровадження міжнародного досвіду управління енергетичними процесами.

Ефективність функціонування будь-якого промислового підприємства значною мірою визначається якістю системи електропостачання, яка охоплює внутрішньозаводські та цехові мережі. Забезпечення стабільної та економічно доцільної роботи таких систем вимагає комплексного підходу: від проєктування оптимальних схем живлення та раціонального розміщення вузлів навантаження до вибору оптимальних параметрів трансформаторних підстанцій.

Окремого значення в межах цієї роботи набуває впровадження заходів із компенсації реактивної потужності та модернізації технологічного обладнання. Саме ці складові формують фундамент енергоефективності підприємства.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО ТА АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальні відомості про виробництво

Машинобудування є фундаментальною галуззю промисловості, що об’єднує складні технологічні комплекси: від енергетичного та металургійного машинобудування до виробництва робототехніки та побутової техніки. Специфіка машинобудівного виробництва полягає в серійному характері випуску продукції, що передбачає високу концентрацію технологічного обладнання та спеціалізацію робочих місць.

Виробничий цикл машинобудівного підприємства охоплює три ключові етапи:

1. Заготівельний: (розкрій, лиття, кування, штампування) – найбільш енергоємний етап, що потребує значних витрат енергоресурсів на термообробку та нагрівання металу.
2. Механічна обробка: (різання, термічна обробка) – етап, де ефективність використання енергії залежить від режимів роботи верстатного парку та ступеня автоматизації обладнання.
3. Складальний: (з'єднання вузлів, зварювання) – завершальний етап, що визначає цілісність технологічного ланцюжка.

Сучасне машинобудівне підприємство функціонує як сукупність спеціалізованих цехів (ливарних, механічних, термічних, складальних), інтегрованих єдиним енергетичним потоком. Основна проблема сучасних підприємств цієї галузі полягає у високій частці енергетичних витрат у собівартості продукції, що в середньому становить 8–12%. Цей показник має стійку тенденцію до зростання через три основні чинники:

- фізичне та моральне зношення основного технологічного обладнання;

- неефективні режими експлуатації машин і механізмів;
- значні втрати енергоресурсів при їх внутрішньозаводському транспортуванні та розподілі.

Раціональне використання енергоресурсів є визначальною умовою зниження собівартості та підвищення конкурентоспроможності підприємства. Ігнорування енергозберігаючих заходів призводить до прямих економічних збитків та стримує оновлення виробничої бази відповідно до досягнень науково-технічного прогресу. Відтак, аналіз енергетичної ефективності технологічного обладнання є першочерговим завданням для забезпечення сталого розвитку підприємства, екологічної безпеки та покращення його фінансово-економічних показників.

1.2 Складання енергетичного балансу

Складання енергетичних балансів є інструментом, спрямованим на оптимізацію споживання енергоресурсів та палива на промислових об’єктах. Аналітичний підхід до формування енергобалансу дозволяє оцінити реальні показники використання енергії, виявити джерела її непродуктивних витрат та обґрунтувати перелік технічних і організаційних заходів, що мінімізують втрати ресурсів.

Для формування структури енергобалансу за напрямами використання електроенергії та її розподілом між виробничими цехами застосовуються статистичні дані про фактичне споживання енергоресурсів підприємством за попередні періоди.

Розрахунки балансу енергоспоживання за останній рік зведемо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Баланс енергоспоживання за останній рік

Енергоносії	Відсоток витрат на енергоспо-живання, %	Споживання ресурсів, н.о.	Споживання ресурсів, т.у.п.	Відсоток спожитих енергоресурсів, %
Електроенергія	59,375	583564000 кВт×год	71778372	58,71435
Газ	9,375	15548909,21 $м^3$	17881245,59	14,62677
Дизельне пальне	31,25	24878254,74 л	32590513,71	26,65888
	100	-	122250131,3	100

Для того, щоб наглядно побачити картину споживання енергоносіїв будуємо діаграми (рисунок 1.1,1.2).

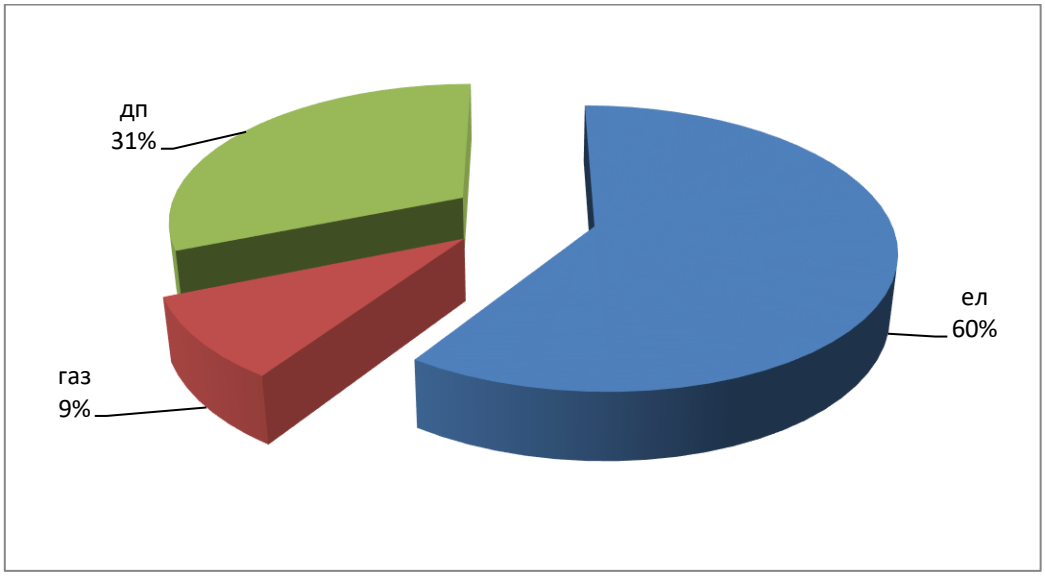


Рисунок 1.1 – Баланс витрат на річне споживання

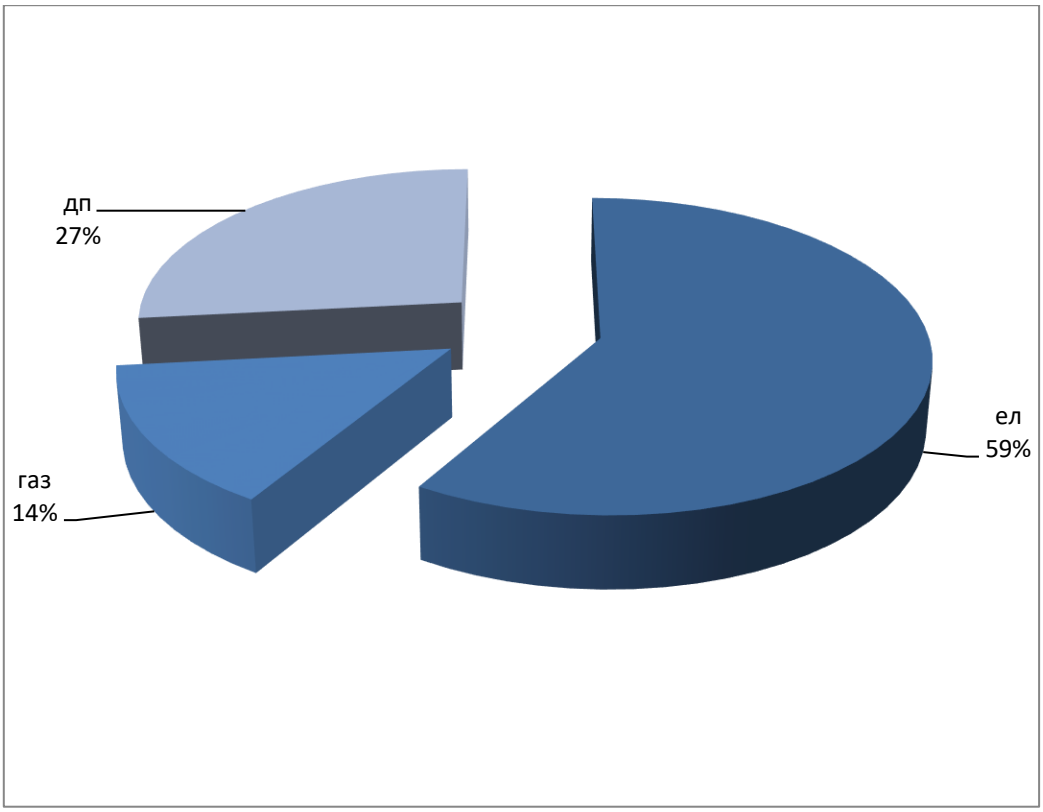


Рисунок 1.2 – Баланс річного споживання

Аналіз енергетичного балансу підприємства свідчить про те, що саме електроенергія займає домінуючу позицію як у структурі загального споживання енергоресурсів, так і в загальній сумі витрат на них. З огляду на це, розробка та впровадження програм з енергозбереження, спрямованих на скорочення споживання електричної енергії, є ключовим стратегічним завданням.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Розрахунок сумарного навантаження напругою 1000В.

Розрахунок навантаження цеху проводиться за методом коефіцієнта попиту за наступними формулами :

$$Ррозр_i = Р^{сил}_{розр} + Р^{осв}_{розр}, кВт \quad (2.1)$$

$$Qрозр_i = Q^{сил}_{розр} + Q^{осв}_{розр}, кВАр, \quad (2.2)$$

$$Sрозр_i = \sqrt{Р^2_{розр} + Q^2_{розр}}. \quad (2.3)$$

Отримані результати заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку навантажень споживачів напругою 0,4 кВ.

№	Назва електроспоживача	$Р^{сил}_{розр}$ кВт	$Р^{осв}_{розр}$, кВт	$Ррозр_i$ кВт	$Q^{сил}_{розр}$ кВАр	$Q^{осв}_{розр}$, кВАр	$Qрозр_i$, кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Цех металоконструкцій	2170	56,17	2226,17	2537	74,5	2611,5
2	Цех лиття (піч U=10кВ)	840	50,56	890,56	982,07	67,25	1049,32
3	Механоскладальний цех	1080	50,56	1130,56	1101,82	67,25	1169,06

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Ковальницький цех	980	56,17	1036,17	1145,75	74,7	1220,45
5	Компресорна (СД U=10кВ , 4х630 кВт)	175	16,85	191,85	131,25	22,41	153,66
6	Електроцех	225	34,75	259,75	263,05	46,22	309,27
7	Деревовідділочний цех	216	42,12	98,12	252,5	56,01	308,51
8	Котельна	540	4,86	544,86	334,66	8,42	343,08
9	Склад	20	17,52	37,52	17,64	30,31	47,94
10	Насосна (СД 2х400 кВт)	126	7,3	133,3	94,5	12,62	107,12
11	Ремонтно-механічний цех	360	35,11	395,11	420,89	46,69	467,58
12	ЦЗЛ	130	16,32	146,32	114,65	28,24	142,89
13	Гараж і пожежне депо	30	3,49	33,49	26,46	6,03	32,48
14	Заводоуправління	50	9,57	59,57	30,99	16,56	47,55
15	Їдальня	145	6,53	151,53	70,23	11,3	81,52
	Сума			7334,86			8091,9

Навантаження електроспоживачів напругою 0,4 кВ зводимо до напруги вище1 кВ з урахуванням витрат активної потужності у трансформаторах КТП:

$$P'\text{розр} = 1.02 \cdot \sum P\text{розр}, \qquad (2.4)$$

$$P'\text{розр} = 1{,}02 \cdot 7334{,}86 = 7481{,}57 \text{ кВт}.$$

2.2 Розрахунок електричних навантажень напругою 1кВ.

Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою вище 1кВ проводиться методом коефіцієнта попиту , а сумарне навантаження визначається з урахуванням коефіцієнту різночасності максимума навантаження – Крм-0,9

Розрахунок навантаження синхронних двигунів вище 1000В.

$$P_p^{СД} = n \cdot \beta \cdot P_{ном}, кВт$$
$$Pp_{\Sigma} = 4 \cdot 0{,}7 \cdot 630 = 1764 \ кВт \tag{2.5}$$

$$Qp_{\Sigma} = n \cdot \beta \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi, кВАр$$
$$Qp_{\Sigma} = 4 \cdot 0{,}62 \cdot 4630 \cdot (-0{,}484) = -756.71 \ кВАр \tag{2.6}$$

Сумарне навантаження заводу:

$$Pp_{\Sigma} = \Sigma P_{розр} + P_p^{СД} \cdot K_{РМА}, кВт$$
$$Pp_{\Sigma} = (7481.57 + 3924) \cdot 0{,}9 = 10411 \ кВт \tag{2.7}$$

$$Qp_{\Sigma} = \Sigma Q_{розр} + Q_p^{СД} \cdot K_{РМА}, кВАр$$
$$Qp_{\Sigma} = 8091.9 + (-756.71) \cdot 0{,}9 = 8772.94 \ кВАр \tag{2.8}$$

Економічно обґрунтоване значення реактивної потужності дозволене до споживання заводом з енергосистеми у часи максимального навантаження:

$$Q_e = tg\varphi_e \cdot Pp_{\Sigma}, \text{ кВАр}, \tag{2.9}$$

де $tg\phi_e = 0,3$ – коефіцієнт реактивної потужності, що задається енергосистемою.

$$Q_e = 0,3 \cdot 10411 = 3123,33 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова потужність заводу:

$$Sp = \sqrt{(Pp_{\Sigma})^2 + (Qp)^2} = \sqrt{(10411)^2 + (3123.33)^2} = 10869.41 \text{ кВАр .} \quad (2.10)$$

2.3 Вибір напруги зовнішнього електропостачання

Джерело живлення заводу - підстанція енергосистеми з двома автотрансформаторами АТДЦТН – 100000\150 \110\10 кВ.

Розрахуємо нестандартну раціональну напругу зовнішнього електропостачання за формулою Стілла:

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot (\text{Pp}_{\Sigma} \quad /2)}, \quad (2.11)$$

де l – відстань від заводу до джерела живлення: l = 18 км.

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \cdot \sqrt{18 + 16} \cdot 5,205 = 43,677\text{кВ.}$$

Приймаємо живлення заводу повітряною лінією на номінальну напругу 110кВ.

Напругу розподільчої мережі заводу приймаємо рівною 10кВ, так як ця напруга є найбільш економічною і рекомендується для розподільчих мереж, крім того, напруга 10кВ співпадає з напругою високовольтних споживачів.

2.4 Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів КТП

Кількість трансформаторів КТП вибирається з урахуванням встановлення компенсуючих пристроїв на стороні 0,4 кВ виконується за наступною методикою.

Визначається номінальна потужність трансформаторів:

$$S_{\text{розрт}} = \frac{\text{Рrозр}}{n_{\text{т}} \cdot \text{К}_{\text{з}}^{\text{опт}}}, \text{ кВА}, \qquad (2.12)$$

де Рrозр - активне розрахункове навантаження,

$n_{\text{т}}$ - кількість трансформаторів

$\text{К}_{\text{з}}^{\text{опт}}$ - оптимальний коефіцієнт завантаженості трансформатору, залежить від кількості трансформаторів та категорійності електропостачання електроспоживачів Для двотрансформаторної підстанції з електроприймачами II та III категорії $\text{К}_{\text{з}}^{\text{опт}} = 0{,}7 \div 0{,}8$.

$$\frac{2226{,}2}{2 \cdot 0{,}8} \leq S_{\text{розрт}} \leq \frac{2226{,}2}{2 \cdot 0{,}7}$$

$$1391{,}4 \leq \text{S}_{\text{розрт}} \leq 1590{,}1$$

За довідником приймаємо трансформатор найближчої стандартної потужності ТМЗ-1600/10 (рис.2.1).

Його паспортні дані Sномт = 1600 кВА, Uк = 6 %, Iх = 1,2%, $\text{U}_{\text{ВН}}$ = 10 кВ, $\text{U}_{\text{НН}}$ = 0,4 кВ.



Рисунок 2.1 - Загальний вигляд силового трансформатора ТМЗ-1600/10

Силовий трансформатор ТМЗ-1600/10 являє собою компактний герметичний пристрій у металевому баку гофрованої конструкції, яка забезпечує ефективне тепловідведення без використання зовнішніх радіаторів. У верхній частині бака розташовані високовольтні та низьковольтні прохідні ізолятори, а також прилади контролю, зокрема мановакуумметр для стеження за станом азотної подушки, яка замінює традиційний розширювальний бак і виключає контакт трансформаторного мастила з навколишнім повітрям. Завдяки такій конструкції пристрій має монолітний вигляд, вирізняється підвищеною стійкістю до зовнішніх кліматичних факторів, не потребує регулярного технічного обслуговування мастильної системи та є оптимальним рішенням для встановлення в закритих трансформаторних підстанціях промислових підприємств.

Основні переваги силового трансформатора ТМЗ-1600/10:

1. Повна герметичність та відсутність потреби в обслуговуванні. Завдяки конструкції з азотною подушкою, мастило не контактує з навколишнім повітрям, що запобігає його окисленню та зволоженню. Це дозволяє експлуатувати трансформатор протягом тривалого часу без необхідності проведення лабораторних аналізів, заміни мастила або очищення внутрішніх порожнин.

2. Компактність та оптимізація розмірів. Відсутність традиційного зовнішнього розширювального бака дозволяє суттєво зменшити габарити виробу. Це дає змогу ефективно використовувати внутрішній простір трансформаторних підстанцій, що є критично важливим при модернізації підприємств з обмеженою площею приміщень.

3. Висока надійність у промислових умовах. Герметичний бак із гофрованими стінками надійно захищає активну частину трансформатора від агресивних зовнішніх чинників, таких як пил, волога або забруднене повітря промислових зон. Така конструкція забезпечує стабільну роботу обладнання в складних експлуатаційних умовах та значно знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Втрати реактивної потужності у трансформаторі:

$$\Delta Q_{\text{т}} = n_T \cdot \left(\frac{\text{I}_{\text{х}} \cdot \text{Sном}}{100} + \text{К}^2_{\text{з опт}} \frac{\text{U}_{\text{к}} \cdot \text{Sном}}{100}\right), \text{кВА} \qquad (2.13)$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = 2 \cdot \left(\frac{1{,}2 \cdot 1600}{100} + 0{,}7^2 \cdot \frac{6 \cdot 1600}{100}\right) = 86 \text{ кВА}\ .$$

Розрахуємо його

Розрахункова потужність компенсуючих пристроїв на стороні 0,4:

$$Q_{\text{НКУ}} = Q_{\text{розр}} - Q_T, \text{ кВАр}, \qquad (2.14)$$

$$Q_{\text{НКУ}} = 2611{,}7 - 896{,}7 = 1715 \text{ кВАр}.$$

Приймаємо $Q_{\text{КУст}} \approx Q_{\text{НКУ}}$ і визначаємо

$$\text{S}_\text{р} = \sqrt{\text{P}_\text{р}^2 + \left(Q_{\text{розр}} + \Delta Q_\text{т} - Q_{\text{КУст}}\right)}, \text{кВА} \qquad (2.15)$$

$$\text{S}_\text{р} = \sqrt{2226{,}2^2 + (2611{,}7 - 1800{,}1)} = 2226{,}4 \text{кВА}$$

Перевіряємо трансформатори за режимом роботи. Для цього знаходимо значення коефіцієнтів завантаження у нормальному та після аварійному режимах роботи.

$$\text{К}_\text{з}^{\text{нр}} = \frac{\text{S}_\text{р}}{n_\text{Т} \cdot S_{\text{номт}}} \qquad (2.16)$$

$$\text{К}_\text{з}^{\text{пар}} = \frac{\text{S}_\text{р}}{(n_\text{Т} - 1) S_{\text{номт}}} \qquad (2.17)$$

$$\text{К}_\text{з}^{\text{нр}} = \frac{2433{,}8}{2 \cdot 1600} = 0{,}76$$

$$\text{К}_\text{з}^{\text{пар}} = \frac{2433{,}8}{(2-1)1600} = 1{,}52.$$

Вибір кількості та потужності трансформаторів інших КТП проводимо аналогічно і результати зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Вибір трансформаторів і компенсуючих пристроїв для КТП

№ КТП	$P_{розр}$, кВт	$Q_{розр}$, кВАр	Кількість и потужність трансформаторів , кВА	$\Delta Q_т$, кВА	$Q_{НКУ}$, кВАр	Тип і кількість КУ	$S_р$, кВА	$К_з^{нр}$	$К_з^{пар}$
КТП1	2226,2	2611,7	2х1600	86	1715	2хУКЛН-0,38-900-150УЗ	2226,4	0,76	1,52
КТП2	890,6	1049,3	1х 1000	56,5	975,8	2хУКЛН-0,38-450-150УЗ	914,04	0,91	
КТП3	1130,6	1169,06	2х1000	54,9	238,2	2хУК-0,4-112,5-37,5УЗ	1508,7	0,75	1,5
КТП4	1265,5	1422,06	2х1000	54,9	671,5	2хУКЛН-0,38-300-50УЗ	1539,7	0,76	1,52
КТП5	780,3	758,7	2х630	53,5	279,1	2хУКЛН-0,38-150-УЗ	933,4	0,74	1,48
КТП6	654,8	776,8	1х1000	45,7	205,2	2хУКН-0,38-100-УЗ	903,5	0,90	
КТП7	390,9	304,4	1х630	45,1			524,4	0,83	

2.5 Вибір схеми електропостачання заводу на основі ТЕР

Вибір варіантів схем електропостачання проводиться з урахуванням конкретного розташування джерела живлення, КТП та вимог до надійності електропостачання. При виборі варіантів використовуємо магістральні та радіальні лінії для живлення КТП.

І варіант_ : всі КТП живляться по радіальним лініям, виконаним кабелем з алюмінієвим жилами при прокладанні у траншеях

ІІ варіант : КТП3,6 та КТП 4,5,7 живляться по магістралі ; а КТП 1,2 живляться по радіальним лініям .

$$\Delta W_{кл} = \tau_М \cdot \Delta P_{кл\sum} \cdot 10^{-3} мВт \cdot год , \quad (2.18)$$

де $\Delta P_{кл\sum}$ – сумарні втрати активної потужності в КЛ $\left(\Delta P_{кл\sum} = \sum \Delta P_{КЛі}\right)$;

$\tau_М$ – число годин максимальних втрат.

$$\tau_м = (0{,}124 + T_м/10000)^2 \cdot 8760, год \quad (2.19)$$

$$\tau_м = \left(0{,}124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886{,}2 \ {год}/{рік}$$

$$\Delta P_{КЛі} = n_{КЛ} \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot I_0 \cdot l_{КЛі} \cdot 10^{-6} , МВт , \quad (2.20)$$

де $n_{КЛ}$ - число кабельних ліній;

I_p - розрахунковий струм в кабелі;

$l_{КЛі}$ – довжина і-й КЛ.

Переріз КЛ попередньо вибираємо за економічною густиною струму $j_{ек} = 1{,}2 \ А/мм^2$

$$F_{станд} \approx F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (2.21)$$

Вибір перерізу КЛ, розрахунок втрат потужності у КЛ наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вибір перерізу КЛ, розрахунок втрат потужності у КЛ

№ Вар.	Найменування КЛ	$S_{л,}$ кВА	I_p, А	Марка ААШВ прийнятий переріз	l_n	r_0, $\frac{Ом}{км}$	$\Delta W_{кл}$ МВт•год
I	ПГВ-КТП3	1508,7	43,5	3х35	0,09	0,92	1,42
	ПГВ-КТП4	1539,7	44,5	3х35	0,081	0,92	1,27
	ПГВ -КТП5	933,4	27	3х25	0,225	1,28	1,81
	ПГВ -КТП6	903,5	26,08	3х25	0,26	1,28	1,98
	ПГВ -КТП7	524,4	15,1	3х25	0,28	1,28	0,71
II	ПГВ –КТП3	2412,2	69,6	3х70	0,09	0,46	1,81
	КТП3-КТП6	903,5	26,08	3х25	0,332	1,28	2,5
	ПГВ –КТП4	2997,4	86,5	3х70	0,081	0,46	2,41
	КТП4-КТП5	1457,7	42,08	3х35	0,181	0,92	2,55
	КТП5-КТП7	524,4	15,1	3х25	0,3	1,28	0,74
I-II	ПГВ-КТП1	2433,8	70,26	2х[3х70]	0,144	0,46	5,663
I-II	ПГВ-КТП2	914,04	26,4	2х[3255]	0,044	1,28	0,68

2.6 Побудова картограми навантажень і визначення координат розміщення приймального пункту електроенергії заводу

Для формування вузлів навантаження доцільно побудувати картограму навантажень , в якій площі окружностей пропорційні активні потужності споживачів. Радіуси визначаються за формулою:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{розр\ i}}{\pi \cdot m}},\ см\ , \qquad (2.21)$$

де m – масштаб навантаження: 10 кВт/см^2.

Радіуси картограми навантаження наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Радіуси картограми навантаження

№	Назва електроспоживача	Ррозр$_i$ кВт	R_i, см
1	2	3	4
1	Цех металоконструкцій	2226,2	8,42
2	Цех лиття (піч U=10кВ)	890,6	5,32
3	Механоскладальний цех	1130,6	6
4	Ковальський цех	1036,2	5,74
5	Компресорна (СД U=10кВ, 4×630кВт)	191,8	2,47
6	Електроцех	259,7	2,88
7	Деревовідділочний цех	98,1	2,77
8	Котельна	544,9	4,17
9	Склад	37,5	1,09
10	Насосна (СД 2×400кВт)	133,3	2,06
11	Ремонтно-механічний цех	395,1	3,55

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
12	ЦЗЛ	146,3	2,16
13	Гараж і пожежне депо	33,5	1,03
14	Заводоуправління	59,6	1,38
15	Їдальня	151,5	2,2

Координати центру електричних навантажень:

$$Хцен = \frac{\sum(Ррозр\ і \cdot Хі)}{\sum Ррозр\ і} \quad ; \qquad (2.22)$$

$$Уцен = \frac{\sum(Ррозр\ і \cdot Уі)}{\sum Ррозр\ і} \quad , \qquad (2.23)$$

де Ррозр і – активне навантаження і-го електроспоживача, кВт;

Хі, Уі – координати розташування і-го споживача, м.

Приймаємо розташування джерела живлення в місці з координатами $Х_{рп\ 10} = 156$ м; $У_{рп\ 10} = 280{,}5$ м.

Для розподільної внутрішньо заводської мережі приймаємо радіальну схему з прокладкою КЛ в траншеї. Вихідні дані в табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані для знаходження ЦЕН та картограми навантаження

№ ЕП	Ррозр і, кВт	Хі, м	Уі, м	Ррозр і Хі	Ррозр і Уі
КТП1	2226,2	46,9	312,5	104435,7	695677,8
КТП2	890,6	187,5	312,5	166980	278300
КТП3	1130,6	90,7	234,4	102598,3	264980,6
КТП4	1265,5	210,8	234,4	266711,9	296616,6
КТП5	780,3	210,7	140,6	164441,9	109725,5
КТП6	654,8	62,5	109,4	40928,6	71625
КТП7	390,9	171,3	46,8	66942,6	18323,7
СД1	1764	250	234,7	441000	413446,3
СД2	560	250	115,75	140000	64820
ПІЧ	1600	187,5	312,5	300000	500000
	11262,9			1793955,02	2713515,5

$$\text{Хцен} = \frac{1793955{,}02}{11262{,}9} = 159{,}3 \text{ м}$$

$$\text{Уцен} = \frac{2713515{,}5}{11262{,}9} = 241 \text{ м} \quad .$$

2.7 Вибір високовольтних компенсуючих пристроїв

Вибір компенсуючи пристроїв в мережі з напругою вище 1кВ здійснюється на основі забезпечення баланса реактивної потужності на межі розділу енергосистема - підприємство (ввод 110 кВ) .

$$Q_{\text{розр}} + \Sigma\Delta Q_{\text{ктп}} + \Delta Q_{\text{т}} = Q_{\text{е1}} + \Sigma Q_{\text{нкп}} + \Sigma Q_{\text{ку10}}, \qquad (2.24)$$

звідки:

$$\text{Q}_{\text{вку}} = \text{Q}_{\text{розр}} + \Sigma\Delta\text{Q}_{\text{ктп}} + \Delta\text{Q}_{\text{т}} - \text{Q}_{\text{е1}} - \Sigma\text{Q}_{\text{нку}}\text{ ,} \qquad (2.25)$$

де $Q_{\text{розр}}$ - розрахункова реактивна потужність з врахуванням компенсуючої здатності СД, КВАр:

$$Q_{\text{розр}} = \left(\Sigma Q_{\text{ктп}} - Q_{\text{сд}}\right) \cdot \text{К}_{\text{р мах}}, \qquad (2.26)$$

де Крм = 0,9 – коефіцієнт, що враховує розбіжність за часом найбільшого активного навантаження енергосистеми і реактивної потужності підприємства.

$$Q_{\text{розр}} = (8092{,}14 - 756{,}7 - 240{,}22) \cdot 0{,}9 = 6385{,}69 \text{ кВАр}.$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = n_T \cdot \left(\frac{\text{I}_{\text{х}} \cdot \text{Sном}}{100} + \text{К}_{\text{зг}}^2 \frac{\text{U}_{\text{к}} \cdot \text{Sном}}{100}\right), \text{кВАр} \qquad (2.27)$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = 2 \cdot \left(\frac{0{,}9 \cdot 10000}{100} + 0{,}75^2 \cdot \frac{10{,}5 \cdot 10000}{100}\right) = 770{,}62 \text{ кВАр}.$$

$$Q_{\text{вку}} = 6385{,}69 + 770{,}62 + 396{,}74 - 3123{,}33 - 4025 = 804{,}72 \text{ кВАр}.$$

На боці напруги 10кВ вибираємо компенсуючий пристрій потужністю 450 кВАр: 2×УКЛ-10,5-450 У3 (рис.2.2 і 2.3).

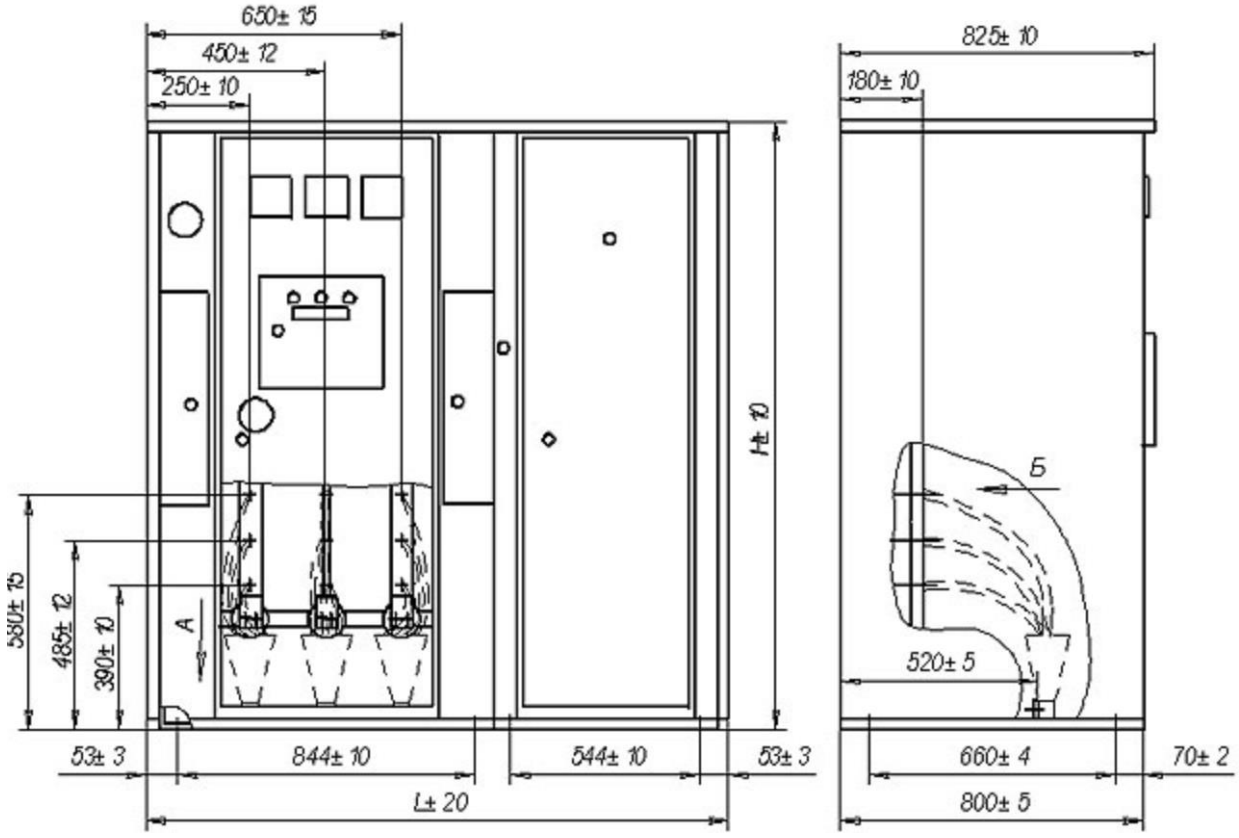


Рисунок 2.2 - Габаритні розміри компенсуючого пристрою



Рисунок 2.3 - Загальний вигляд компенсуючого пристрою

2.8 Розрахунок струмів КЗ та вибір електричних апаратів і провідників

Розрахунок потужності трансформатора виконуємо виходячи з економічного режиму роботи у нормальному тривалому режимі та з допустимого перевантаження у після аварійному режимі.

$$S_{\text{номт}} = 0{,}7 \cdot S_{\text{розр}}\ \text{кВА}\ , \qquad (2.28)$$

$$S_{\text{номт}} = 0{,}7 \cdot 10869{,}41 = 7608{,}59\ \text{кВА}.$$

Приймаємо 2 трансформатори ТМН 10000/110 (рис.2.4).



Рисунок 2.4 Загальний вигляд трансформатора

Ключові особливості та переваги:

1. Регулювання напруги під навантаженням (РПН**).** Це головна особливість серії «Н». Пристрій РПН дозволяє автоматично або дистанційно змінювати коефіцієнт трансформації без відключення споживачів. Це критично важливо для підтримки стабільної якості напруги в мережах 110 кВ, де навантаження постійно змінюється.

2. Висока потужність та надійність. Трансформатори на 10 МВА (мегавольт-ампер) є базовими елементами для вузлових підстанцій, які живлять цілі промислові райони або великі підприємства. Вони розраховані на роботу в енергосистемах високої напруги, тому мають посилену ізоляцію.

3. Система охолодження. Трансформатори потужністю 10000 кВА майже завжди мають примусову циркуляцію масла та повітря (система

охолодження Д — з дуттям), що дозволяє їм ефективно працювати при значних навантаженнях без перегріву.

Каталожні дані трансформатора :

$$S_{ном} = 10000кВА;\ U_{ВН} = 110\ кВ;\ U_{НН} = 11\ кВ;\ I_{хх} = 0{,}9\%;\ U_{кз} = 10{,}5\%;$$
$$\Delta P_{х} = 14\ кВ;\ \Delta P_{кз} = 58кВт$$

$$К_{зг} = \frac{S_{розр}}{2 \cdot S_{номт}} = \frac{10869{,}41}{2 \cdot 10000} = 0{,}54 \qquad (2.29)$$

$$К_{зг\ пар} = \frac{S_{розр}}{S_{номт}} = \frac{10869{,}41}{10000} = 1{,}08 < 1{,}4\ . \qquad (2.30)$$

Розрахунок струмів КЗ проводимо у відносних одиницях . Складаємо схему заміщення з врахуванням зовнішнього трансформатора , живлячої лінії і з урахуванням підживлення шин РУ 10кВ від СД, враховуються СД приєднані до однієї секції .

Схема живлення підприємства наведена на рис.2.5.

Розрахунок струмів КЗ проводимо методом відносних одиниць.

Приймаємо :

-базисну потужність $S_{баз} = 100$ МВА.

-базисні напруги: $Uбаз_1 = 37$ кВ; $Uбаз_2 = 10{,}5$ кВ.

Базисний струм:

$$I_{баз} = \frac{S_{баз}}{\sqrt{3} \cdot U_{баз}} \qquad (2.31)$$

$$I_{баз1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1{,}56\ кА,$$

$$I_{баз2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 5{,}5\ кА.$$

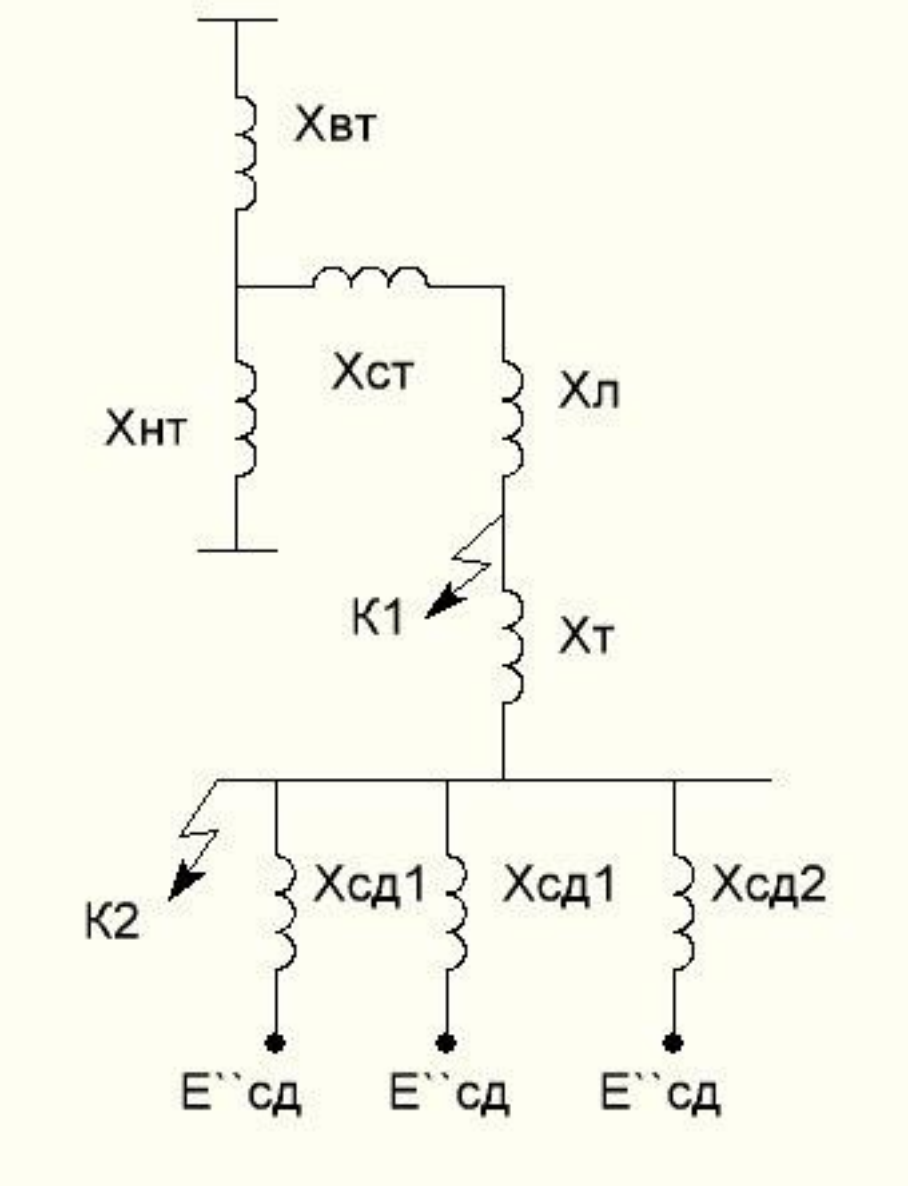


Рисунок 2.5 – Схема живлення підприємства

Визначаємо опори елементів схеми заміщення.

$$X_{КВ} = \frac{1}{2} \cdot (U_{КВС} + U_{КВН} - U_{КСН}) = \frac{1}{2} \cdot (11 + 18{,}5 - 7) = 11{,}25\ \%; \quad (2.36)$$

$$X_{ВТ} = \frac{U_{КВ}}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{НТ}} = \frac{11{,}25}{100} \cdot \frac{100}{100} = 0{,}11\ \text{Ом}, \quad (2.32)$$

$$X_{СТ} = 0;$$

$$X_Л = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{баз}}{S_{баз1}} = 0{,}4 \cdot 18 \cdot \frac{100}{37^2} = 0{,}523 \text{ Ом} \quad (2.33)$$

$$X_Т = \frac{U_к}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_н} = \frac{10{,}5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1{,}05 \text{ Ом} \quad (2.34)$$

$$X_{СД1} = \frac{1}{K_Н} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{номСД1}} = \frac{1}{6{,}5} \cdot \frac{100 \cdot 0{,}9}{0{,}63} = 21{,}98 \text{ Ом} \quad (2.35)$$

$$X_{СД2} = \frac{1}{K_Н} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{номСД1}} = \frac{1}{6{,}5} \cdot \frac{100 \cdot 0{,}9}{0{,}4} = 34{,}6 \text{ Ом} \quad (2.36)$$

$$X = \frac{X_{СД1}}{2} = \frac{21{,}98}{2} = 10{,}99$$

$$X_{резСД} = \frac{(X \cdot X_{СД2})}{(X + X_{СД2})} = \frac{(10{,}99 \cdot 34{,}6)}{(10{,}99 + 34{,}6)} = 8{,}34 \text{ О.} \quad (2.37)$$

Для точки К1:

$$X_{К1} = X_{ВТ} + X_Л = 0{,}11 + 0{,}523 = 0{,}633 \text{ Ом ;}$$

$$I''_{К1} = \frac{E''_С}{X_{К1}} \cdot I_{б1} = \frac{1}{0{,}633} \cdot 1{,}56 = 2{,}4 \text{ кА;}$$

$$i_у = \sqrt{2} \cdot K_у \cdot I''_{К1} = \sqrt{2} \cdot 1{,}8 \cdot 2{,}4 = 6{,}25 \text{ кА.}$$

$$I_{НН} = \frac{S_{пс}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{10869{,}41}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 627{,}56 \text{ А.} \quad (2.38)$$

Вибір електричних апаратів для ПГВ-110 кВ наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір електричних апаратів для ПГВ-110 кВ

Найменування	Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
Вимикач LTB-123Д-40/2500У1	$U_{ном} \geq U_c$ $I_{ном} \geq I_{вн}$ $I_{відкл} \geq I''$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_t^2 \cdot t_t \geq I_\infty^2 \cdot t_{кз}$	110 кВ 2500 А 40 кА 100 кА $40^2 \cdot 3 = 4800$ кА^2·с	110 кВ 57,05 А 2,45 кА 6,25 кА $3{,}26^2 \cdot 1 = 10{,}63$ кА^2·с
Роз'єднувач РНДЗ.1-110/1000У1	$U_{ном} \geq U_c$ $I_{ном} \geq I_{вн}$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_t^2 \cdot t_t \geq I_\infty^2 \cdot t_{кз}$	110 кВ 1000 А 80кА $31{,}5^2 \cdot 4 = 3969$ кА^2·с	110 кВ 57,05 А 6,25 кА $3{,}26^2 \cdot 1 = 10{,}63$ кА^2·с
Трансформатор струму ТФЗМ-110Б-50/5 У1	$U_{ном} \geq U_c$ $I_{ном} \geq I_{вн}$ $i_{дин} \geq i_y$ $I_t^2 \cdot t_t \geq I_\infty^2 \cdot t_{кз}$	110 кВ 75 А 15 кА $3^2 \cdot 3 = 9$ кА^2·с	110 кВ 57,05 А 6,25 кА $3{,}26^2 \cdot 1 = 10{,}63$ кА^2·с
Розрядник РВС-110У1	$U_{ном} = U_c$	110 кВ	110 кВ

Для ЗРУ-10 кВ вибираємо шафи типу КУ- 10Ц з вимикачем ВР- 10-20/630 У3.

В таблиці 2.7 наведена характеристика вимикача ВР- 10-20/630 У3.

Таблиця 2.7 – Характеристик вимикача ВР- 10-20/630 У3

Тип вимикача	Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
ВР.10-20/630У3	$U_{ном} \geq U_c$ $I_{ном} \geq I_{рмах}$ $I_{відкл} \geq I''$ $i_{дин} \geq i_у$ $I_t^2 \cdot t_t \geq I_\infty^2 \cdot t_{кз}$	10 кВ 630 А 20 кА 51 кА $20^2 \cdot 3=1200$ $кА^2 \cdot с$	10 кВ 627,56 А 2,45 кА 6,25 кА $3,26^2 \cdot 1=10,63$ $кА^2 \cdot с$

В шафах КРУ встановлені трансформатори струму ТОЛ-10-400/5У3. В шафах ліній ,що відходить встановлені трансформатори струму ТОЛ-10-50/5У3, ТОЛ-10-100/5У3. В шафах трансформатору напруги встановлені трансформатори 3хЗНОЛ-06.10У3 по одному на секцію.

Живлення власних потреб забезпечуються двома трансформаторами власних потреб ТСЗ- 40/10 встановлених в шафах власних потреб, в комплекті з запобіжниками ПКТ 101.10-6-20-У3.

Переріз КЛ вибирається по трьом умовам :

- Економічній густині струму:

$$F_{станд} \sim F_{ек} = {I_{розр}}/{j_{ек}}, \quad (2.40)$$

де $j_{ек} = 1,2$ А/мм для КЛ з алюмінієвими жилами (вибір перерізів наведений в розділі 6)

- термічною стійкістю к струмам КЗ 4;
- за тривало допустимим струмам в ПАР.

$$К_з \cdot К_п \cdot I_{доп} \geq I_{р\ мах}, \quad (2.41)$$

де $К_з = 1,1$ – коефіцієнт, враховуючий перевантаження КЛ;

$К_п$ = поправочний коефіцієнт, що залежить від кількості кабелхниз ліній у траншеї.

Для КЛ проводимо перевірку за термічною стійкістю к струмам КЗ та тривало допустимим струмом в ПАР.

$$F_{к\,min} = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_п}}{C} \ , \tag{2.42}$$

де С = 95 $Ас^{-1/2}/мм^2$ – температурний коефіцієнт, що визначається типом кабеля,

$t_п$ - зведений час короткого замикання, с:

$$t_п = t_{п\,п} + t_{п\,а}, \tag{2.43}$$

де $t_{п\,п}$ – періодична складова $t_п$, що визначається за відповідними кривими з [4] в залежності від $t_{кз}$ та β":

$$t_{п\,п} = 0{,}7 \text{ с.}$$

$$\beta'' = \frac{I''}{I_\infty} \ ; \tag{2.44}$$

$$\beta'' = \frac{3{,}98}{3{,}26} = 1{,}22 \ , \tag{2.45}$$

$t_{п\,а}$ - аперіодична складова $t_п$:

$$t_{п\,а} = \ 0{,}05 \cdot (\beta'')^2 \cdot t_{п\,п} \ , \tag{2.46}$$

$$t_{п\,а} = \ 0{,}05 \cdot (1{,}22)^2 \cdot 0{,}7 = 0{,}05 \text{ с.}$$

Для радіальної схеми живлення КТП:

$$t_{\text{п}} = 0{,}7 + 0{,}05 = 0{,}75 \text{ с}$$

$$F_{\text{к}\,min} = \frac{3263 \cdot \sqrt{0{,}75}}{95} = 32{,}2 \rightarrow 35\text{мм}^2$$

Мінімальний допустимий стандартний переріз КЛ за умовами термічної стійкості і струмам КЗ. $F_{\text{кстанд}} = 35$ мм^2

Тривало допустимий та максимальні робочі струми для КЛ наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Тривало допустимий та максимальні робочі струми для КЛ

№ КЛ	Переріз мм^2	$I_{\text{дл.доп}}$, А	$I_{\text{рмах}}$, А
КЛ1	70	165	70,26
КЛ2	35	115	26,39
КЛ3	70	165	69,64
КЛ4	35	115	26,08
КЛ5	70	165	86,54
КЛ6	35	115	42,08
КЛ7	35	115	15,14

Деякі вибрані перерізи КЛ в розділі 6 змінилися зважаючи на умову термічної стійкості до струмів КЗ.

$$I_{\text{розрвл}} = \frac{10869.41}{2\sqrt{3}\cdot 110} = 28.52 \text{ А}$$

$$F_{\text{ек}} = {}^{28.52}/_{1{,}2} = 23{,}77 \text{ мм}^2.$$

Обираємо найближчий стандартний переріз $F_{\text{ст}} = 25\text{мм}^2$

2.9 Розрахунок економії електроенергії від використання компенсації реактивної потужності

Економія від використання компенсуючих пристроїв визначається як різниця між втратами електроенергії у випадку без компенсуючих пристроїв і у випадку з компенсуючими пристроями.

Втрати електроенергії у трансформаторах ГПП і КТП визначаються за формулою:

$$\Delta \text{Wт} = n_{\text{т}} \cdot (\Delta \text{P}_{\text{х}} \cdot 8760 + \text{к}_{\text{зг}}^2 \cdot \Delta \text{P}_{\text{кз}} \cdot \tau_{\text{м}}) \cdot 10^{-3} \text{ мВт год} \quad (2.47)$$

$$K_{\text{зг}} = \frac{S_{\text{розр}}}{n_{\text{т}} \cdot S_{\text{номт}}} \quad (2.48)$$

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{P_{\text{розр}\Sigma}^2} + Q_{\text{розр}\Sigma}^2 \quad (2.49)$$

$$Q_{\text{розр}\Sigma} = K_{\text{рм}} \cdot (\sum Q_{\text{ктп}} + \Delta Q_{\text{ктп}} + Q_{\text{СД}}) \ , \quad (2.50)$$

$$Q_{\text{розр}\Sigma} = 0{,}9 \cdot (8092{,}14 + 396{,}75 - 240{,}22 - 756{,}71) = 7491{,}95 \text{ кВар},$$

$$\text{S}_{\text{розр}} = \sqrt{104111^2 + 749{,}95^2 =} \ 12826{,}47 \text{ кВА},$$

$$K_{\text{зг}} = \frac{12826{,}47}{2 \cdot 10000} = 0{,}64,$$

$$\Delta \text{W}_{\text{гпп}I} = 2 \cdot (14 \cdot 8760 + 0{,}64^2 \cdot 58 \cdot 2886{,}21) \cdot 10^{-3} = 382{,}4 \text{ мВт год},$$

$$\Delta \text{W}_{\text{гппII}} = 2 \cdot (14 \cdot 8760 + 0{,}54^2 \cdot 58 \cdot 2886{,}21) \cdot 10^{-3} = 342{,}9 \text{мВт год}.$$

Для КЛ-10 кВ

$$\Delta W_{кл} = \sum \Delta P_{кл} \cdot \tau_{м} \cdot 10^{-3} \text{ МВт год }, \quad (2.51)$$

де

$$\sum \Delta P_{кл} = \sum \Delta P_{клі} = n_{клі} \cdot 3 \cdot I_{кл}^{2} \cdot r_{0} \cdot l \cdot 10^{-3} \text{ кВт}. \quad (2.52)$$

$$\Delta W_{т\,ктп} = n_{т} \cdot (\Delta P_{х} \cdot 8760 + К_{з}^{2} \cdot \Delta P_{к} \cdot \tau_{м}), \text{МВт год} \quad (2.53)$$

Визначення втрат потужності КЛ-10 кВ для варіантів І наведено в таблиці 2.9.

Визначення втрат електроенергії в трансформаторах КТП наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.9 - Визначення втрат потужності КЛ-10 кВ для варіантів І

Позначення КЛ	$S_{розр}$, кВА	$I_{розп}$, А	К-сть перерізів КЛ, мм^2	r_0, Ом/км	l, км	ΔW, МВт·год
КЛ1	3431,74	128,14	(3х120)·2	0,27	0,144	3,68
КЛ2	1376,28	79,46	(3х70)·2	0,46	0,044	0,74
КЛ3	2642,34	152,56	3х120	0,27	0,94	1,7
КЛ4	1016,04	58,66	3х35	0,92	0,33	3,03
КЛ5	3487,44	201,24	3х120	0,27	0,081	2,56
КЛ6	1583,8	91,44	3х70	0,46	0,81	2,01
КЛ7	495,47	28,6	3х35	0,95	0,29	0,65
Всього						14,4

$$\Delta W_{клI} = 14{,}4 \text{ МВт год.}$$

$$\Delta W_{клII} = 12{,}4 \text{МВт год.}$$

Таблиця 2.10 – Визначення втрат електроенергії в трансформаторах КТП

№КТП	Кількість і потужність трансформаторів, кВА	I варіант			II варіант		
		$S_{розр}$, кВА	Кзг	$\Delta W_{т\ ктп}$ МВт год	$S_{розр}$, кВА	Кзг	$\Delta W_{т\ ктп}$ МВт год
КТП1	2х1600	3431,74	1,07	155,47	2433,82	0,76	101,44
КТП2	1х1000	1376,28	1,37	75,15	914,04	0,91	42,45
КТП3	2х1000	1626,3	0,81	75,2	1508,69	0,75	80,04
КТП4	2х1000	1903,64	0,95	89,55	1539,7	0,76	69,3
КТП5	2х630	1088,33	0,86	46,64	933,37	0,74	39,99
КТП6	1х1000	1016,04	1,01	48,44	903,48	0,903	42,4
КТП7	1х630	495,47	0,39	13,14	524,37	0,83	28,57
Всього				502,6			404,2

Економія електроенергії від застосування КУ:

$$\delta\Delta W = \frac{\Delta W_I - \Delta W_{II}}{\Delta W_I} \cdot 100, \% \qquad (2.54)$$

$$\delta\Delta W = \frac{899{,}4 - 759{,}5}{899{,}4} \cdot 100 = 15{,}6\ \%$$

3 ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ПО ЗНИЖЕННЮ АКТИВНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності з умови граничної компенсації (ГК)

Встановлення компенсуючих пристроїв на напрузі 0,4 кВ відбувається за умови відсутності постачання реактивної потужності від енергосистеми (Q_e=0). Вибір пристроїв відбувається за розрахунковим значенням спожитої реактивної потужності на кожній КТП. Річні втрати активної електричної енергії в кабелях та трансформаторах розраховуються аналогічно. Результати вибору компенсуючи пристроїв та розрахунків електричних втрат наведено в таблицях 3.1 та 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Вибір компенсуючих пристроїв напругою 0,4 кВ.

Номер КТП	$Q_{розр}$, кВАр	$Q_{ном}$, кВАр	Тип НКУ
1	2611,7	2700	2хУКЛ – 6,3-1350У3
2	1049,3	1000	2х УКМ-0,4-500-50У3
3	1169,06	1200	2хУКЛН-0,4-600-150У3
4	1422,06	1200	2хУКЛН-0,4-600-150У3
5	758,7	630	2хУКЛН-0,38-150-У3
6	776,8	1000	2х УКМ-0,4-500-50У3
7	304,4	600	УКЛН-0,4-600-150У3

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електричних втрат при граничній компенсації реактивної потужності.

Номер КТП	Втрати в лініях, МВТ·год		Втрати в трансформаторах, МВТ·год	
	Без КП	З КП	Без КП	З КП
1	3,68	1,8	155,47	101,44
2	0,74	2,5	75,15	42,45
3	1,7	2,4	75,2	80,04
4	3,03	2,5	89,55	69,3
5	2,56	0,7	46,64	39,99
6	2,01	1,1	48,44	42,4
7	0,65	1,3	13,14	28,58
Всього:	14,4	12,4	502,6	404,2

Загальні річні втрати активної електроенергії:

$$\Delta W_{\text{без крп}} = 14{,}4 + 502{,}6 = 517 \text{ МВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_{\text{з крп}} = 12{,}4 + 404{,}2 = 416{,}6 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

Зменшення річних втрат електричної енергії від встановлення КП:

$$\delta\Delta W = 517 - 416{,}6 = 100{,}4 \text{ МВт} \cdot \text{год}\,.$$

4 ЕЛЕКТРИЧНИЙ БАЛАНС ТА АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

4.1 Енергетичний баланс споживання електричної енергії підприємством

Згідно з результатами аналізу енергетичного балансу, проведеного у першому розділі, електрична енергія є основним компонентом у структурі як загального енергоспоживання, так і фінансових витрат підприємства. У зв'язку з цим, пріоритетним стратегічним напрямком розвитку заводу стає розробка та впровадження системних заходів з підвищення енергоефективності, орієнтованих на оптимізацію споживання електроенергії.

Для реалізації цього завдання було сформовано електричний баланс окремих виробничих підрозділів, основою для якого слугували показники середнього споживання електроенергії (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Енергобаланс споживання електроенергії

Номер підрозділу	Назва підрозділу	Споживання електроенергії середнє за 6 років, МВт × год	Середній Відсоток споживання електроенергії за 6 років, %
1	2	3	4
1	Цех металоконструкцій	104633,7	19,01
2	Цех литва піч 10кВ	107078,3	19,45
3	Механоскладальний цех	60231,67	10,94
4	Ковальницький цех	42042	7,64
5	Компресорна Синхронні двигуни U=10 кВ 4×630	99616	18,10
6	Електроцех	17160	3,12
7	Деревовідділочний цех	15444	2,81

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
8	Котельна	25344	4,60
9	Склад	1320	0,24
10	Насосна СД 10 кВ 2×400 кВт	34496	6,27
11	Ремонтно-механічний цех	25740	4,68
12	ЦЗЛ	3432	0,62
13	Гараж і пожежне депо	1980	0,36
14	Заводоуправління	1760	0,32
15	Столова	10208	1,85
Всього		550485,7	100

На основі цих даних будуємо енергетичний баланс споживання електричної енергії (рис 4.1.).

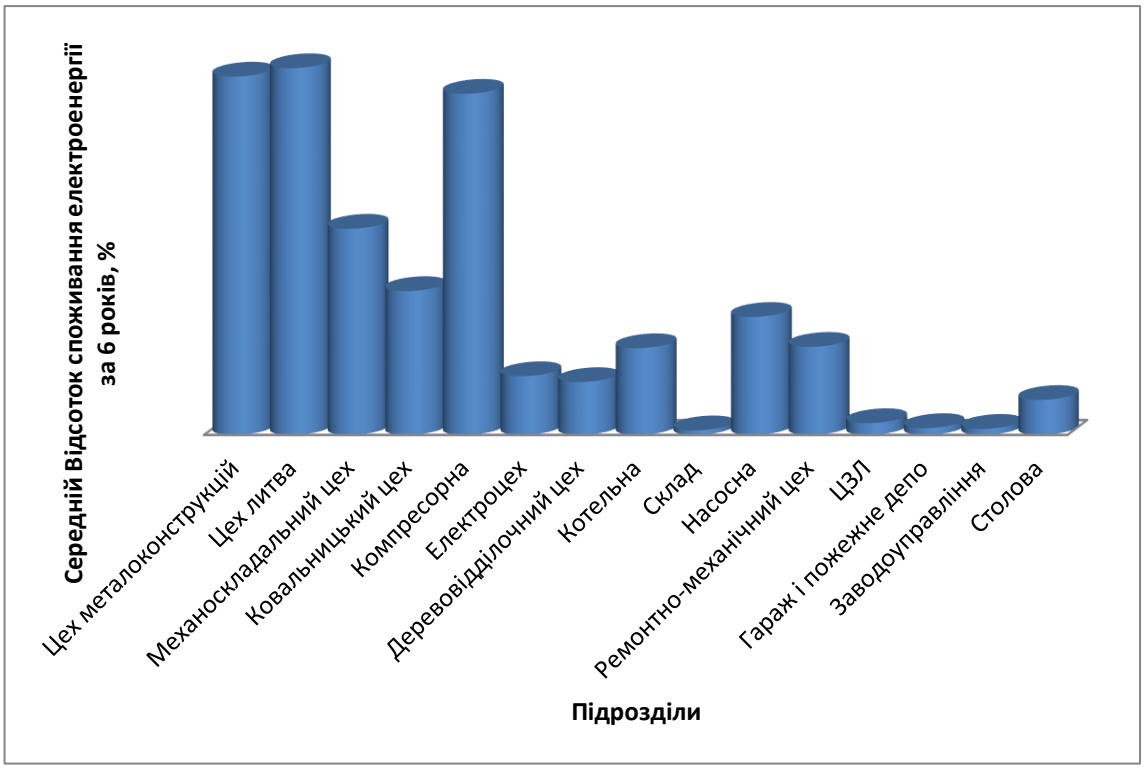


Рисунок 4.1 – Баланс по середньому споживанню електроенергії

Результати аналізу структури енергетичного балансу демонструють, що основним споживачем електричної енергії на підприємстві є ливарний цех, зокрема електрообладнання печі напругою 10 кВ. Відповідно, цей об'єкт є ключовим пріоритетом при розробці стратегії енергозбереження та має найбільший потенціал для впровадження енергоефективних рішень.

Окрім ливарного виробництва, вагомі частки у структурі енергоспоживання припадають на наступні підрозділи:

Цех металоконструкцій - 19,01%;

Компресорна - 18,10%;

Механоскладальний цех - 10,94%;

Ковальський цех - 7,64%;

Насосна станція (СД 10 кВ, 2×400 кВт)- 6,27%.

4.2 Аналіз питомого споживання енергоресурсів

У результаті впливу випадкових факторів реальне споживання енергії завжди буде відрізнятися від теоретичного. Контролюючи рівні споживання енергії і порівнюючи їх з постійними показниками ми можемо швидко знайти погіршення в роботі. Система контролю і нормалізації енергоспоживання (КіН) вважається одним з найбільш ефективних способів управління використанням енергії. КіН – це управління, яке здійснюється за допомогою контролю використання енергії і технічних показників через регулярні інтервали часу з метою визначення змін ефективного енергоспоживання. Регресійний аналіз є центральним математичним апаратом в системі КіН. [3]

Розрахункове значення питомого енергоспоживання залежно від обсягів виробництва необхідно обчислювати відповідно до реальних

характеристик робочого обладнання та технологічних режимів за методикою, яка забезпечує найменше середньоквадратичне відхилення.

Розрахункове значення середнього споживання електричної енергії за рік, кВт×год:

$$W_{\text{г}} = \text{P}_{\text{сер}} \times (\text{T}_{\text{р1}} + k_{\text{з2}}\text{T}_{\text{р2}} + k_{\text{з3}}\text{T}_{\text{р3}}) \times k_{\text{пр}}, \qquad (4.1)$$

де $\text{P}_{\text{сер}}$- середня потужність першої зміни, кВт;

$\text{T}_{\text{р1}}$,$\text{T}_{\text{р2}}$,$\text{T}_{\text{р3}}$ - робочий час окремих змін, год;

$k_{\text{з2}}$,$k_{\text{з3}}$ - коефіцієнт зниження навантаження 2-ої та 3-ої зміни відносно першої, в. о.;

$k_{\text{пр}}$ - коефіцієнт, який враховує місячні та сезонні коливання середньої потужності: $k_{\text{пр}}$ =1,1÷1,3.

Середню активну потужність навантаження можна визначити за формулою:

$$\text{P}_{\text{сеп і}} = \sum_i^n k_{\text{зі}} \times \text{P}_{\text{ном}i}, \qquad (4.2)$$

де

n – кількість споживачів електричної енергії в групі;

$k_{\text{зі}}$ - коефіцієнт завантаження і-го споживача, в. о.;

$\text{P}_{\text{ном}i}$ - номінальна потужність і-го споживача, кВт.

Робочий час за рік або за окремі зміни можна визначити за формулою:

$$T_p = (365 - m) \times n \times t \times k_p - t_{\text{пр}}, \qquad (4.3)$$

де

m - кількість неробочих днів в році;

n - кількість робочих змін за добу;

k_p - коефіцієнт, який враховує ремонти та простої: $k_р \approx 0{,}96 \div 0.98$;

t- тривалість однієї зміни (5год.);

$t_{\text{пр}}$ - години, на які зменшені зміни в передсвяткові дні, год.

$$\text{Тр} = (365 - 10) \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0{,}98 - 62 = 3417 \text{ год.}$$

Розраховуємо час за окремі зміни:

$$\text{Тр1} = \text{Тр2} = \frac{\text{Тр}}{\text{n}} = \frac{3417}{2} = 1708{,}5 \text{ год.}$$

Для аналізу результатів, які ми отримали, складаємо таблицю кумулятивної суми споживання машинобудівельного заводу (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Кумулятивна сума машинобудівельного заводу.

Роки	Фактичне споживання е/е, кВт× год	Стандартне розрахунк. споживання е/е, кВт× год	Відхилення абсолютне, кВт×год	Відхилення відносне, %	Кумулятивне відхилення абсолютне, кВт×год	Кумулятивне відхилення відносне,%
2018	55910800	57265278,72	-1354478,72	-2,37	-1354479	-2,37
2019	48291800	42677004,89	5614795,11	13,16	4260316,4	10,79
2020	55910800	64032926,09	-8122126,09	-12,68	-3861810	-1,89
2021	52101300	74403190,12	-22301890,1	-29,97	-26163700	-31,87
2022	59720300	40952124,9	18768175,1	45,83	-7395525	13,96
2023	58356400	51405036,8	6951363,2	13,52	-444161,5	27,48

Результати порівняльного аналізу розрахункових та фактичних показників електроспоживання демонструють переважно додатні значення відхилень. Це вказує на загальну ефективність використання енергоресурсів,

однак виявлені розбіжності свідчать про наявність певних негативних впливів. До таких чинників належать: невідповідність технічних характеристик обладнання сучасним вимогам, недоліки технологічних регламентів, людський фактор (рівень кваліфікації персоналу), слабка мотивація до енергозбереження або методичні похибки під час розрахунків.

Для виявлення прихованих закономірностей у споживанні енергії та мінімізації впливу випадкових зовнішніх чинників доцільно залучати інструменти прикладної статистики. Статистичне моделювання дозволяє не лише зрозуміти тенденції енерговитрат, а й забезпечити базу для довгострокового прогнозування та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

З огляду на цілісність енергетичного циклу, в якому процеси виробництва, трансформації та розподілу енергії тісно взаємопов'язані, критичним аспектом стає надійність системи електропостачання. Будь-які перебої в роботі мереж автоматично призводять до зупинок технологічного процесу та зумовлюють фінансові збитки підприємства.

Забезпечення безперебійної роботи заводу базується на стратегії технічного обслуговування та ремонту, яка передбачає:

- встановлення чітких нормативних показників роботи енергообладнання;
- інтеграцію сучасних засобів автоматизації, контролю та сигналізації;
- впровадження комплексної системи енергетичного обліку;
- суворе дотримання внутрішніх регламентів ремонту та ведення технічної документації.

В умовах зростання попиту на енергоресурси точність планування та прогнозування енергоспоживання стає запорукою успішної роботи підприємства. Подальше планування енергетичних стратегій має базуватися на глибокому аналізі технологічних, економічних та організаційних чинників, що дозволяє вчасно реагувати на динамічні зміни в енергетичному профілі виробництва.

5 ЗАПРОПОНОВАНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

5.1 Заміна обладнання компресорної

За результатами енергетичного аудиту машинобудівного підприємства було визначено, що компресорна станція є одним із найбільш енергоємних об'єктів. Більшість заводських потужностей такого типу базуються на застарілому технологічному парку, що вичерпав свій фізичний та моральний ресурс і не відповідає сучасним вимогам до ефективного керування енергетичними потоками.

Зокрема, компресорна станція оснащена чотирма синхронними двигунами по 630 кВт кожен, що забезпечують роботу гідравлічних насосів у безперервному цілодобовому режимі. У межах проєкту модернізації запропоновано здійснити поетапну заміну цих синхронних двигунів на асинхронні аналогічної потужності з паралельним інтегруванням системи частотно-регульованого приводу (ЧРП).

Принцип роботи такої системи базується на використанні перетворювача частоти, який адаптує швидкість обертання ротора асинхронного двигуна до фактичної потреби технологічного процесу. Впровадження цієї технічної ініціативи забезпечує комплексний економічний ефект, зумовлений наступними чинниками:

1. Значне скорочення енерговитрат**:** оптимізація продуктивності компресорного обладнання шляхом плавного регулювання частоти обертання дозволяє зменшити споживання електроенергії до 50%.
2. Технологічна досконаліст**ь:** підвищення стабільності параметрів виробництва позитивно впливає на якість кінцевої продукції.
3. Зростання ефективності виробництва: автоматизація приводу сприяє збільшенню продуктивності технологічних ліній.

4. Збільшення міжремонтних інтервалів: завдяки поліпшенню динамічних характеристик електроприводу суттєво зменшуються механічні навантаження на компоненти системи, що подовжує загальний термін служби обладнання.

Обираємо частотний перетворювач ТПЧ-800-0,5 з такими характеристиками:

Тип	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота мережі, Гц	Рівень захисту
ТПЧ	800	570	50	IP31

Обираємо 2 пристрої плавного пуску типу Schneider Altistart 01 з характеристиками:

Тип	Номінальна потужність, кВт	Напруга, кВ	Номінальний струм, А
ATS 01N2	690	180/264	60

Schneider Altistart 01 N2 (рис.5.1) – це високотехнологічний тиристорний регулятор напруги, що забезпечує її регулювання у двох фазах згідно із заданим алгоритмом, а також плавну роботу: пуск, гальмування та керування моментом, зокрема для подолання початкового опору навантаження. Пристрій ефективно застосовується для керування трифазними двигунами напругою 230, 400, 480, 690 В з частотою 50/60 Гц, включаючи пуск та зупинку насосного обладнання. Він усуває електричні, механічні та гідродинамічні проблеми, пов’язані з прямим пуском, у тому числі для заглибних свердловинних насосів. Пристрій знижує навантаження на мережу живлення та зменшує гідродинамічний тиск на свердловину, суттєво подовжуючи термін її експлуатації.



Рисунок 5.1 Загальний вигляд пристрою плавного пуску Schneider Altistart 01 N2

Використання Altistart 01 N2 дозволяє перейти від жорсткого прямого пуску до контрольованого, що дає наступні стратегічні переваги:

1. Подовження терміну служби насосного обладнання та свердловини. Плавний пуск та зупинка нівелюють різкі механічні удари на валу двигуна та гідравлічні удари в системі трубопроводів. Це запобігає передчасному зносу робочих коліс насоса, муфт та механічних ущільнень, а також зберігає цілісність свердловини, зменшуючи ризик її замулення або руйнування стінок через гідроудари.

2. Стабілізація енергомережі та зменшення експлуатаційних витрат. Прямий пуск потужних двигунів супроводжується великими пусковими

струмами (у 5–7 разів вищими за номінальні), що спричиняє просідання напруги в мережі та може призвести до спрацювання захисної автоматики. Altistart 01 N2 обмежує ці струми, що дозволяє використовувати менші перерізи кабелів та зменшити навантаження на трансформатори, уникаючи штрафів від енергопостачальних компаній за перевищення пікових навантажень.

3. Компактність та простота інтеграції/ Серія Altistart 01 відзначається мінімальними габаритами. Це дозволяє легко монтувати пристрій у вже існуючі компактні шафи керування без необхідності їх заміни або розширення. Завдяки наявності вбудованого алгоритму налаштування, введення в експлуатацію відбувається швидко, що є критично важливим для промислових об’єктів, де простій обладнання є неприпустимим.

Замінюємо синхронні двигуни на асинхронні потужністю 4×630 Вт.

Енергозберігаючим заходом у компресорному підрозділі буде встановлення частотного перетворювача. Це дає економію електроенергії приблизно 30%.

Визначимо економію як різницю витрати електроенергії старого і нового обладнання.

$W = P_{ном} \cdot K_{и} \cdot T_{год}$

$W_1 = 4 \cdot 630 \cdot 0,9 \cdot 3417 = 8610840$ кВт

$W_2 = 4 \cdot 800 \cdot 0,5 \cdot 3417 = 5467200$ кВт

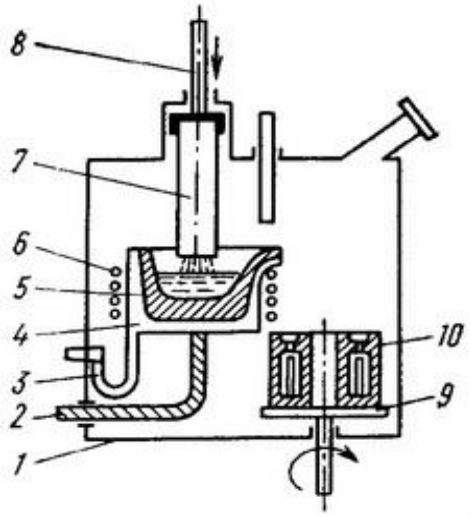
$\Delta W = W_1 – W_2$

$\Delta W = 3143640$ кВт

5.2Заміна обладнання в ливарному цеху підприємства.

Проводимо заміну устаткуванню, замість старого обладнання встановлюємо нове в ливарному цеху піч на 10 кВ, замінюємо на вакуумні печі фірми Xerion (Німеччина).

Висока реакційна здатність титану не дозволяє проводити процес плавлення його в атмосфері повітря, так як в розплавленому стані він активно взаємодіє з киснем і азотом. Спочатку плавку титану і його сплавів вели в атмосфері аргону і гелію, пізніше з'явилися вакуумні печі, які в даний час є основним типом плавильного устаткування. Основним технологічним методом виготовлення фасонних виливків із титанових сплавів є використання вакуумних електродугових гарнісажних плавильно-ливарних комплексів. Така технологія дозволяє мінімізувати шкідливий вплив атмосферних газів на розплав титану завдяки вакуумному середовищу, а ефект «гарнісажу» (утворення застиглого шару металу на стінках тигля) забезпечує чистоту сплаву та запобігає його хімічній взаємодії з матеріалом футерування» (рисунок 5.2) .



1-вакуумна камера; 2-електричний кабель; 3- шланги водяного охолодження; 4-водоохолоджуваний тигель; 5- гарнісаж; 6-соленоїд; 7-електрод, що витрачається,; 8-тримач; 9-обертовий стіл; 10-ливарна форма.

Рисунок 5.2 – Схема вакуумно-дугової печі з електродом для плавки титанових сплавів

Встановлення вакуумної печі фірми Xerion (рисунок 5.3) забезпечить економію витрат електроенергії .Обслуговуючі витрати становлять 2% від вартості печі.



Рисунок 5.3 – Загальний вигляд вакуумної печі фірми Xerion

Основні переваги вакуумних печей Xerion:

1. Висока точність та рівномірність нагріву.

Печі Xerion розроблені для забезпечення надзвичайної рівномірності температурного поля в робочій зоні. Це критично важливо при роботі з керамікою, металами та композитами, де навіть незначне температурне відхилення може призвести до браку виробів або нерівномірності їхніх властивостей.

2. Гнучкість налаштувань та інноваційні рішення.

Німецький підхід компанії проявляється у здатності адаптувати обладнання під конкретні технічні завдання замовника.
Багатофункціональність. Вони пропонують модульні рішення, які дозволяють легко переналаштовувати піч для різних типів термообробки: від дебіндінгу (видалення сполучного) до високотемпературного спікання.
Широкий температурний діапазон. Обладнання здатне працювати як при низьких, так і при надвисоких температурах (до 3000°C і вище при використанні графітових нагрівачів).

3. Надійність вакуумних систем

Німецька інженерія Xerion гарантує високий рівень герметичності та якість вакуумних насосів. Це дозволяє:

- досягати високого ступеня розрідження (глибокий вакуум), що необхідно для запобігання окисленню реактивних металів (титану, цирконію тощо);
- швидко проводити вакуумування та напуск інертних газів, що скорочує час циклу обробки.

4. Енергоефективність

Печі Xerion спроєктовані з урахуванням мінімізації тепловтрат:

- сучасні ізоляційні матеріали. Використання передової теплоізоляції дозволяє підтримувати високі температури при меншому споживанні електроенергії;

- оптимізація потужності. Система керування печі динамічно регулює енергоспоживання, що значно знижує витрати порівняно з аналогами старого зразка.

5. Автоматизація та ПЗ

Програмне забезпечення Xerion дозволяє:

- створювати складні багатоступеневі температурні профілі (криві нагріву/охолодження).
- Здійснювати повний моніторинг та реєстрацію даних (Data Logging), що необхідно для сертифікації виробництва за міжнародними стандартами якості.

6. Якість збірки (Made in Germany)

Використання високоякісних комплектуючих (тиристорів, вакуумних затворів, датчиків) забезпечує тривалий термін служби обладнання без необхідності частого технічного обслуговування.

Визначимо економію як різницю витрати електроенергії старого і нового обладнання.

$W = P_{ном} \cdot K_{и} \cdot T_{год}$

$W_1 = 4 \cdot 3120 \cdot 0,5 \cdot 3417 = 21322080$ кВт

$W_2 = 2 \cdot 1973,5 \cdot 0,5 \cdot 3417 = 202330080$ кВт

$\Delta W = W_1 - W_2$

$\Delta W = 1092000$ кВт

5.3 Модернізація системи освітлення цеху

Пропонується розглянути заміну ламп типу ЛБ - 40Вт на LED.

Система освітлення на промислових об'єктах має базуватися на принципах нормативної відповідності, безпеки праці та енергоефективності.

До світильників, що експлуатуються у виробничих умовах, висуваються підвищені вимоги щодо захисту від проникнення вологи та пилу, а також пожежної безпеки. Конструктивно таке обладнання повинно мати ударостійкий корпус, здатний витримувати механічні навантаження та вібраційні коливання, притаманні цеховому середовищу.

З погляду енергоефективності та експлуатаційної вигоди найбільш доцільним рішенням є використання світлодіодних (LED) модулів. Вони мають значно вищий експлуатаційний ресурс (до 100 000 годин роботи) і перевершують за світловіддачею люмінесцентні джерела світла у 3,5 рази. Перехід на LED-освітлення дозволяє масштабним промисловим підприємствам скоротити витрати електроенергії на 50–60%, що суттєво зменшує загальну собівартість енергозабезпечення виробництва.

Ключові аспекти вибору промислового освітлення:

1. Надійність конструкції. Використання міцних матеріалів корпусу забезпечує стійкість до зовнішніх впливів, що мінімізує витрати на технічне обслуговування та часту заміну світильників.
2. Висока енергоефективність. Світлодіодні модулі забезпечують вищу інтенсивність світлового потоку при значно меншому споживанні активної потужності.
3. Економічна доцільність. Заміна застарілих джерел світла на LED-технології є одним із найшвидших способів знизити загальне споживання електроенергії на підприємстві, оскільки освітлення зазвичай займає вагому частку в загальному енергетичному балансі заводу.

Обираємо лампи LED-SVU;
Потужність 50 Вт;
Світловий потік 6140 Лм;
Світловіддача 122,8 Лм/Вт;

Визначаємо розрахункову потужність освітлення після модернізації системи освітлення:

Розрахунок активної потужності освітлення:

$$P_р^м = К_п \cdot К_{пра} \cdot P_л^м \cdot N_л \text{ , кВт} \quad (5.1)$$

$$P_р^м = 0{,}9 \cdot 1{,}25 \cdot 50 \cdot 108 \cdot 10^{-3} = 6{,}07 \text{ кВт ,}$$

де

$К_п$ – коефіцієнт попиту, залежить від типу та джерела освітлення;

$К_{пра}$ – коефіцієнт втрат у пускорегулювальній апаратурі;

Реактивна потужність , розрахункова потужність освітлення:

$$Q_р^м = P_р^м \cdot tg\varphi \text{ , кВАр ,} \quad (5.2)$$

$$Q_р^м = 6{,}07 \cdot 1{,}73 = 10{,}5 \text{ кВАр .}$$

Визначення сумарного навантаження об’єкта .

$$W_{осв}^м = P_р^м \cdot T_в \text{ , кВт} \cdot \text{год,} \quad (5.3)$$

$$W_{осв}^м = 6{,}07 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 53{,}2 \ \frac{\text{МВт·год}}{\text{рік}} ;$$

$$\Delta W = W_{осв} - W_{осв}^м \text{ , кВт} \cdot \text{год,} \quad (5.4)$$

$$\Delta W = 340{,}5 - 84{,}8 = 255{,}7 \ \frac{\text{МВт·год}}{\text{рік}} .$$

На основі проведених розрахунків будуємо гістограму (рис.5.4) .

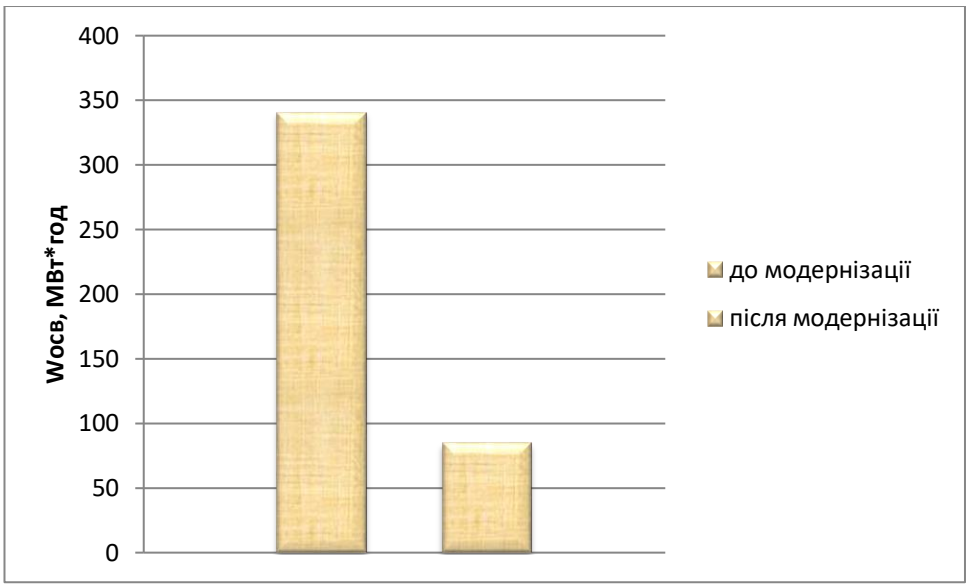


Рисунок 5.4 – Порівнювання втрат електричної енергії до та після проведення модернізації системи освітлення.

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз стану системи електропостачання машинобудівного підприємства та оцінку енергетичної ефективності його технологічного обладнання.

Розроблено раціональну схему живлення підприємства, обґрунтовано вибір підстанції 110/10 кВ з двома трансформаторами типу ТМН-10000/110 та підібрано потужність цехових трансформаторних підстанцій (КТП) з урахуванням розрахункових навантажень. Проєктом передбачено встановлення компенсуючих пристроїв, що дозволило оптимізувати показники реактивної потужності.

Складання та аналіз балансів річного споживання та витрат енергоресурсів підтвердили домінувальну частку електроенергії у загальному енергетичному балансі підприємства. Встановлено, що найбільш енергоємним підрозділом є ливарний цех (18,99% від загального споживання), що визначає його як пріоритетний об’єкт для впровадження енергоефективних заходів.

Застосування аналітичного методу кумулятивних сум показало стабільність споживання електроенергії (коливання в межах 7%), що свідчить про належний рівень контролю енерговитрат. Зіставлення розрахункових та фактичних питомих показників підтвердило задовільний стан енергоефективності підприємства, проте виявило значний потенціал для подальшої оптимізації.

За результатами енергетичного обстеження обґрунтовано комплекс технічних рішень, спрямованих на зниження активних втрат електроенергії. У ливарному цеху модернізація технологічного обладнання шляхом заміни застарілих плавильних агрегатів на сучасні вакуумні печі фірми Xerion (Німеччина), що забезпечує економію енергоресурсів у розмірі W =1092,0 тис. кВт·год/рік.

В компресорній станції запропонована заміна синхронних двигунів на асинхронні із впровадженням системи частотно-регульованого приводу (ЧРП) та пристроїв плавного пуску, що дозволило досягти економії електроенергії ΔW = 3143,6 тис. кВт·год/рік.

Обґрунтовано також доцільність модернізації цехового освітлення шляхом впровадження світлодіодних технологій, що сприяє зменшенню загального енергоспоживання підприємства на $\Delta W = 255{,}7\ \frac{\text{МВт·год}}{\text{рік}}$.

Сумарний ефект від реалізації запропонованих організаційно-технічних заходів дозволяє суттєво мінімізувати втрати електричної енергії в мережах та підвищити конкурентоспроможність підприємства завдяки зменшенню собівартості продукції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В.І. Мілих, Т.П. Павленко Електропостачання промислових підприємств. Харків: НТУ «ХПІ», 2016, 272 с.

2. Денисюк С.П., Радиш І.П., Кабацій В.М., Дерев'янко Д.Г. Основи електротехніки та електропостачання. Київ.: Навчальний посібник, 2012, 216 с.

3. Мандрика А. С. та ін. Енергоефективні технології: навчальний посібник / за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 330 с.

3. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Суми.: ВТД «Університетська книга», 2006 , 153 с.

4. Василега П.О. Елктропостачання. Київ: Навчальний посібник, 2023, 416 с.

5.ТМЗ-1600/10 силовий : вебсайт. URL: https://slavgorenergo.com.ua/ua/p1030221345-tmz-16006-silovoj.html (дата звернення: 20.05.2026).

6.Системи електропостачання [Текст]: Методичні вказівки / О.С. Ярмолюк, В.А. Попов, В.В. Ткаченкою – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 17 с.

7. Ковальчук О. В., Ковальчук В. В. Підвищення енергоефективності компресорних установок шляхом застосування частотних перетворювачів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 2. – С. 45–49.

8. Системи електропостачання [Текст]: Довідкові дані / О.С. Ярмолюк, В.А. Попов, В.В. Ткаченкою – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 17 с.

9. Правила улаштування електроустановок [Текст] : вид. 5-є, перероб. і доп. – Офіц. вид. – К. : Мінпаливенерго України, 2017. – 793 с.

10. Правила улаштування електроустановок [Текст] : вид. 5-є, перероб. і доп. – Офіц. вид. – К. : Мінпаливенерго України, 2017. – 793 .

11. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Київ: 2004, 656 с.

12. Олійник М.Й. Електротехнологічні об’єкти та їх електропостачання. Львів: Львівська політехніка, 2011, 344 с.

12. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Суми.: ВТД «Університетська книга», 2006 , 153 с.

14. Шкрабець Ф.П. Основи електропостачання. Дніпро: Навчальний посібник, 2012, 465 с.

15. Сидоренко С. М., Кравченко О. В. Дослідження енергозберігаючих режимів роботи компресорних станцій з використанням частотних перетворювачів // Енергетика та автоматика. – 2018. – Т. 2, № 50. – С. 23–29.

16. Бережний С.Є., Гужин М.В. Використання частотно-регульованого приводу в компресорних установках // Збірник наукових праць Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2017. – С. 31–33.

17. Пристрої плавного пуску Schneider Electric Altistart 01 : вебсайт. URL: https://electrocontrol.com.ua/ustrojstva-plavnogo-puska/schneider-electric/ats01 (дата звернення: 25.05.2026).

18. Xerion Advanced Heating of Materials GmbH : офіційний вебсайт. URL: https://www.xerion.de/ (дата звернення: 01.06.2026).