

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка заходів зниження втрат електроенергії в системі
електропостачання металообробного цеху**

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕМ-61

спеціальності (напряму підготовки) 141

**електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Кріса А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Козак К.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітній ступінь магістр

(шифр і назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри електричної інженерії

д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

“2 вересня 2019 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Крісі Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка заходів зниження втрат електроенергії в системі електропостачання металообробного цеху

Керівник роботи Тарасенко Микола Григорович, д.т.н., проф

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

Затверджені наказом по університету від «23» серпня 2019 року № 4/7-731

2. Термін подання студентом роботи 20 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи План розміщення електрообладнання металообробного цеху, технічні дані встановленого електрообладнання, однолінійна схема електропостачання заводу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Дослідження математичних моделей вибору оптимальних проектних рішень для системи електропостачання металообробного цеху по критерію мінімуму затрат

2. Однолінійна схема системи електропостачання заводу

3. Схема силової мережі металообробного цеху

4. Схема освітлювальної мережі металообробного цеху

5. Схема для розрахунку струмів кз та релейний захист комірки вводу 10 кв

6. Дослідження оптимізації режимів реактивної потужності для мінімізації втрат електроенергії в системі електропостачання заводу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Обґрунтування економічної ефективності	Мельник Л.М. к.е.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Стручок В. С. ст. викл.		
Екологія	Зварич Н. М. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 2 вересня 2019 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	02.09.19-08.09.19	
2	Аналітична частина	09.09.19-29.09.19	
3	Науково-дослідна частина	30.09.19-20.10.19	
4	Технологічна частина	21.10.19-10.11.19	
5	Проектно-конструкторська частина	11.11.19-01.12.19	
6	Спеціальна частина	02.11.19-15.12.19	
7	Обґрунтування економічної ефективності	25.11.19-15.12.19	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.19-15.12.19	
9	Екологія	25.11.19-15.12.19	
10	Висновки	09.12.19-15.12.19	
11	Оформлення пояснювальної записки	21.10.19-15.12.19	
12	Оформлення графічної частини	21.10.19-20.12.19	

Студент

(підпис)

Кріса А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кріса А. В. Розробка заходів зниження втрат електроенергії в системі електропостачання металообробного цеху. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дипломна робота. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕМ-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор. - 100; рис. - 7; табл. -9; плакатів - 8; джерел – 18, додатків – 4.

В дипломній роботі проведено модернізацію системи електропостачання металообробного цеху електромеханічного заводу відповідно до розроблених заходів зниження втрат електроенергії.

Проведено дослідження математичної моделі вибору оптимальних проектних рішень для системи електропостачання металообробного цеху по критерію мінімуму затрат, та згідно з нею здійснено розрахунки електричних навантажень цеху, вибір оптимального місця розташування центру живлення та оптимальних потужностей силових трансформаторів КТП.

Проведено вибір оптимальної схеми силової та освітлювальної мережі металообробного цеху заводу, здійснено розрахунок елементів розподільної мережі та струмів короткого замикання, вибір комутаційних апаратів та пристроїв захисту системи електропостачання, розрахунок втрат напруги в лініях.

Проведено аналіз математичної моделі оптимального розподілення компенсуючих пристроїв в електричній мережі заводу та здійснено дослідження оптимальної компенсації реактивної потужності в залежності від характеру добового графіка реактивного навантаження металообробного цеху.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ, КОМПЕНСУЮЧІ ПРИСТРОЇ.

ANNOTATION

Krisa A.V. Development of activities for decreasing electricity losses in the power supply system of the metal-working shop. 141 - electric power, electrical engineering and electromechanics. Graduate work. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, group EEM-61. - Ternopil : TNTU, 2019.

P. - 100; Fig. - 7; tabl. - 9; posters - 8; sources – 18, applications – 4.

In diploma work modernisation of the system of power supply of metal-working workshop of electromechanics plant is conducted in accordance with the worked out events of decline of losses of electric power.

A study of mathematical model of choice of optimal project decisions is undertaken for the system of power supply of metal-working shop on the criterion of a minimum of expenses, and according to her the calculations of the electric loading of workshop, choice of optimal place of location of center of feed and optimal powers of power transformers of complete distributive substation (KDS), are carried out.

The choice of optimal chart of power and lighting network of metal-working shop of plant is conducted, the calculation of elements of distributive network and currents of short circuit, choice of interconnect vehicles and devices of defence of the system of power supply, calculation of losses of tension, is carried out in lines.

The analysis of mathematical model of optimal allocation of compensative devices is conducted in the electric network of plant and research of optimal indemnification of reactive-power is carried out depending on character of day's chart of the reactive loading of metal-working shop.

Key words: POWER SUPPLY SYSTEM, POWER LOSSES, COMPENSATING DEVICES.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика системи електропостачання електромеханічного заводу	9
1.2 Характеристика споживачів електроенергії металообробного цеху	9
1.3 Аналіз причин втрат потужності в системі електропостачання підприємства	13
1.4 Аналіз основних способів компенсації реактивної потужності	14
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	19
2.1 Дослідження математичних моделей вибору оптимальних проектних рішень для системи електропостачання металообробного цеху по критерію мінімуму затрат	19
2.1.1 Математична модель оптимального розташування КТП.	19
2.1.2 Математична модель вибору потужності силових трансформаторів КТП.	21
2.1.2 Математична модель вибору лінії живлення.	22
2.1.3 Математична модель економічної задачі компенсації реактивної потужності (КРП)	24
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	27
3.1 Розрахунок електричних навантажень металообробного цеху	27
3.2 Розрахунок освітлювального навантаження	33
3.3 Вибір числа і потужності силових трансформаторів	41
3.4 Розробка конструкції комплектної трансформаторної підстанції	43
3.5 Вибір і розрахунок розподільної мережі металообробного цеху та вибір для цієї мережі комутаційної апаратури	45
3.6 Розробка конструкції і розрахунок захисного заземлення	47
3.7 Розрахунок компенсації реактивної потужності	51
4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	53
4.1 Розрахунок струмів короткого замикання	53

4.2 Перевірка на стійкість до дії струмів короткого замикання електрообладнання КТП	61
4.3 Розрахунок і вибір живильної електромережі	61
4.4 Розрахунок релейного захисту силового трансформатора	63
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	67
5.1 Оптимізація режимів реактивної потужності з метою мінімізації втрат електроенергії в системі електропостачання електромеханічного заводу	67
5.2 Визначення оптимальної компенсації реактивної потужності у металообробному цеху на основі порівняння декількох варіантів компенсуючих установок	74
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	80
6.1 Економічне обґрунтування інженерно-технічних рішень	80
6.2 Економічна ефективність від проведення модернізації системи електропостачання металообробного цеху	83
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	86
7.1 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом	86
7.2 Допомога при ураженні електричним струмом	88
7.3 Оцінка стійкості роботи електроенергетичної системи до дії світлового випромінювання ядерного вибуху	91
8 ЕКОЛОГІЯ	94
8.1 Методи захисту від електромагнітного забруднення довкілля	94
8.2 Шумове забруднення довкілля та методи захисту від нього	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	98
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	99
ДОДАТКИ	
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	
Додаток Г	

ВСТУП

Актуальність теми.

На електромеханічному заводі на одиницю продукції припадає досить значна доля питомої споживаної потужності. Це є збитково для підприємства і призводить до підвищення вартості продукції для покриття цих збитків. Основною причиною цього є незавантаженість трансформаторів, у зв'язку із встановленням енергоощаднішого електрообладнання у цехах, і застарілі системи компенсації реактивної потужності з ручним керуванням. Тому актуальним є розробка заходів зниження втрат електроенергії та, відповідно, проведення модернізації системи електропостачання окремих підрозділів з урахуванням новітніх досягнень науки і техніки на основі техніко-економічного обґрунтування рішень, при яких забезпечується оптимальна надійність постачання споживачів електроенергією в необхідних розмірах, необхідної якості з найменшими витратами.

Метою дипломної роботи є розробка заходів зниження втрат електроенергії та підвищення економічних показників ефективності електроспоживання металообробного цеху електромеханічного заводу.

Завдання дослідження:

- провести аналіз причин втрат електроенергії в системі електропостачання металообробного цеху;
- провести дослідження математичних моделей вибору оптимальних проектних рішень для системи електропостачання металообробного цеху по критерію мінімуму затрат;
- провести розрахунок електричних навантажень цеху, вибір оптимального місця розташування цехової КТП та оптимальної потужності силового трансформатора по критерію мінімуму затрат;
- здійснити вибір оптимальної схеми силової мережі металообробного цеху заводу, провести розрахунок елементів розподільної мережі та струмів короткого замикання, вибір комутаційних апаратів та пристроїв захисту системи електропостачання;

- провести розрахунок освітлювальної мережі металообробного цеху з використанням сучасних енергозберігаючих джерел світла;
- провести дослідження математичної моделі оптимального розподілення компенсуючих пристроїв в системі електропостачання заводу по мінімуму затрат;
- провести дослідження оптимальної компенсації реактивної потужності в залежності від характеру добового графіка реактивного навантаження металообробного цеху.

Об'єкт дослідження – система електропостачання металообробного цеху електромеханічного заводу.

Предмет дослідження – заходи зниження втрат електроенергії в системі електропостачання металообробного цеху.

Наукова новизна отриманих результатів: застосовані математичні моделі вибору оптимальних проектних рішень по критерію мінімуму затрат та оптимального розподілення компенсуючих пристроїв дозволяють мінімізувати втрати електричної енергії у системі електропостачання металообробного цеху та заводу в цілому.

Практичне значення отриманих результатів виявляється у можливості зменшенні втрат електроенергії в системі електропостачання металообробного цеху при мінімумі приведених затрат та виконанні умов по надійності електропостачання та якості електроенергії.

Апробація.

Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на VIII-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (27-28 листопада 2019 року), Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 8-и розділів, висновків, переліку посилань (18 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 100 сторінок, 9 таблиць, 7 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика системи електропостачання електромеханічного заводу

Електропостачання заводу здійснюється від наступних джерел: ввід 1 - підстанції 110/35/10 кВ двома спареними кабельними лініями 10 кВ, що підключені до різних секцій збірних шин РП-41 та ввід 2 - підстанції 110/35/10 кВ двома кабельними лініями 10 кВ, що підключені до різних секцій збірних шин РП-15. Довжини живлячих ліній відповідно 1,5 км та 2,5 км. На кожній з підстанцій встановлено по два трансформатора. На стороні 10 кВ підстанції мають по дві секції шин, кожні з яких з'єднані через високовольтні вимикачі, які оснащені АВР.

Цехові КТП заводу заживлені від РП-15 та РП-41 10 кВ. Металообробний цех заживлений від КТП №3

1.2 Характеристика споживачів електроенергії металообробного цеху

Споживачами електроенергії даного цеху являються електричні двигуни металообробних верстатів, які забезпечують потреби підприємства в виготовленні і обробці металевих деталей.

Споживачі електроенергії – це токарні, фрезерні, затиловочні, шліфувальні і заточувальні верстати, стрічкові пилки, преси, мостові крани. Встановлена потужність приймачів електроенергії складає від 0,5 до 63,0 кВт. Режим роботи – короткочасний і довгостроковий.

Згідно режимів роботи і технологічного циклу споживачі електроенергії можуть бути розподілені на групи. Це дозволяє більш точно визначити величину електричного навантаження.

Конфігурація силової мережі, тобто розташування елементів мережі на плані цеху, а також її схема визначаються величинами електричних навантажень цеху і категорією електроспоживачів у відношенні надійності

електропостачання.

Правилами улаштування електроустановок усі електроприймачі поділяються на три категорії у відношенні надійності електропостачання. Найбільш відповідальні електроустановки, які відносяться до першої категорії, не дозволяють перерви у електропостачанні, тому підведення електроенергії до них має бути забезпечено від двох незалежних джерел.

Електроспоживачі другої категорії надійності теж повинні мати резервне джерело живлення, тому для розподілення електроенергії у цехах, де переважна більшість електроприймачів віднесені до другої категорії надійності, необхідно вибирати двох трансформаторну підстанцію з незалежними вводами електроенергії до трансформаторів на рівні високої напруги (6-10 кВ).

Електроспоживачі третьої категорії надійності можуть бути від'єднані від електропостачання у разі аварійної ситуації на час усунення пошкодження (до однієї доби) і не потребують резервного джерела живлення. Для таких навантажень зазвичай вибирають однострансформаторну цехову підстанцію і найпростішу у технічному відношенні схему електропостачання.

Беручи до уваги те, що перерва в електропостачанні цеху призведе до масового недовипуску продукції, масовим простоем робітників, механізмів, електричного обладнання, даний об'єкт може бути віднесений до споживачів другої категорії по надійності електропостачання.

Для споживачів другої категорії при порушенні електропостачання від одного із джерел живлення допустимі перерви в роботі на час, необхідний для включення резервного живлення, а при наявності централізованого резерву трансформаторів і можливості заміни пошкодженого трансформатора за час не більший однієї доби, допускається живлення від одного трансформатора.

Для розрахунку електричного навантаження складаємо відомість електричних споживачів, в яку заносимо їх назву, кількість, встановлену потужність, характерні коефіцієнти використання і потужності (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Електричне навантаження металообробного цеху

№	Назва обладнання	n ,	P ,	$K_{вук}$	\cos
---	------------------	-------	-------	-----------	--------

п/п		<i>шт.</i>	<i>кВт</i>		<i>φ</i>
1	2	3	4	5	6
	Група 1				
1.	Координатно-шліфувальний верстат WF-25A	1	3,0	0,16	0,5
2.	Універсальний шліфувальний верстат 3Г712	1	6,0	0,16	0,5
3.	Плоскошліфувальний верстат 3Б722	2	5,0	0,16	0,5
4.	Круглошліфувальний верстат SB-12P	1	1,0	0,16	0,5
5.	Плоскошліфувальний верстат 4Б130	1	1,0	0,16	0,5
6.	Плоскошліфувальний верстат ОШ-48М	3	4,5	0,16	0,5
7.	Ножиці НЗ118	1	14,5	0,17	0,65
8.	Пилка 81663	1	4,7	0,17	0,65
	Група 2				
9.	Фрезерний верстат SP82	1	1,5	0,16	0,5
10.	Свердлильний верстат БС-01	1	0,5	0,16	0,5
11.	Токарно-карусельний верстат ТК-125ВН2	2	14,1	0,17	0,65
12.	Стрічкова пилка BS-250V	4	4,5	0,16	0,5
13.	Заточний верстат 3Б692	9	3,0	0,16	0,5
	Група 3				
14.	Затиловочний GM14-20	6	3,8	0,16	0,5
15.	Фрезерний верстат E400	3	3,4	0,16	0,5
16.	Фрезерний верстат 6P81Г	4	3,7	0,16	0,5
17.	Фрезерний верстат VF222	3	4,2	0,16	0,5
18.	Токарний верстат 1М63	2	4,0	0,16	0,5
19.	Токарний верстат 1Н140П	1	3,0	0,16	0,5
20.	Токарний верстат 4ПУ2М	1	2,2	0,17	0,65
21.	Токарний верстат SY-16RH	2	1,5	0,17	0,65

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
22.	Токарний верстат ЛА-155	1	3,3	0,17	0,65
	Група 4				
24.	Фрезерний верстат 676П	1	2,2	0,16	0,5
25.	Прес гідравлічний П-1789	1	17,0	0,65	0,8
26.	Настільно-свердлильний верстат 2М112	2	0,6	0,16	0,5
	Група 5				
27.	Заточувальний верстат 3Б642	2	1,4	0,16	0,5
28.	Заточувальний верстат 3Б631	1	1,0	0,16	0,5
29.	Заточувальний верстат 3Б692	1	3,0	0,16	0,5
	Група 6				
30.	Прес гідравлічний П-6324	1	63,0	0,65	0,8
	Група 7				
31.	Кран мостовий	2	9,4	0,1	0,5

Виходячи з вище перерахованого, а також те, що споживачі електричної енергії мають одиничну і середню потужність, то для їх нормального забезпечення електричною енергією раціонально прийняти комбіновану схему електропостачання.

Для живлення споживачів електроенергії цеху необхідна мережа трифазного змінного струму промислової частоти 50 Гц напругою 380 В. Для живлення освітлення цеху необхідна мережа однофазного струму напругою 220 В.

Використання цієї системи живлення дозволяє здійснити живлення всіх споживачів електричної енергії цеху від одного джерела живлення без проміжних перетворювачів, що дає значний економічний ефект. На основі прийнятої схеми електропостачання розподіляємо електричні споживачі по окремих групах (таблиця 1.1).

1.3 Аналіз причин втрат потужності в системі електропостачання підприємства

Втрати електроенергії в електричних мережах є важливим показником економічності їх роботи, наочним індикатором стану системи, врахування електроенергії, нарешті ефективності діяльності енергопостачальних організацій. Цей індикатор чітко свідчить про проблеми, які вимагають невідкладних рішень у розвитку, реконструкції й технічному переозброєнні електричних мереж, удосконаленні методів і засобів їхньої експлуатації й керування, у підвищенні точності обліку електроенергії, ефективності збору коштів за спожиту електроенергію тощо.

Класифікація сучасних методик зі зменшення втрат в електричних мережах представлена як систематизація рішень зі зменшення втрат електричної енергії. Електрична енергія є єдиним видом продукції, для передачі якої з місць виробництва до місць споживання не використовуються інші ресурси. Для цього витрачається частина самої електроенергії, що передається, тому її втрат неможливо уникнути, задача полягає в визначенні їх економічно обґрунтованого рівня. У зв'язку з малими інвестиціями у розвиток і технічне переозброєння електричних мереж, удосконалювання систем керування їхніми режимами, в облік електроенергії, виникла низка тенденцій, що негативно впливають на рівень втрат у мережах, адже йдеться про застаріле обладнання, фізичне й моральне зношування засобів обліку електроенергії, невідповідність встановленого обладнання передаваній потужності.

Втрати електроенергії обумовлені величезними обсягами крадіжок електричної енергії з мереж, відсутністю систем обліку, що дозволяє використовувати її майже без обмежень, застарілим обладнанням електромереж, крадіжками обладнання.

При аналізі втрат електроенергії прийнято класифікувати їх за такими двома критеріями, як клас напруги електричної мережі та причини їх виникнення. За критерієм причин виникнення втрати електроенергії поділяються на технологічні та комерційні втрати. Технологічні втрати електроенергії в

електричних мережах – це кількість електроенергії, яка дорівнює сумі втрат електроенергії в елементах електричних мереж, що виникають в них під час передачі електроенергії, витрат електроенергії на власні потреби підстанцій і розподільчих пунктів, витрати електроенергії на плавлення ожеледі та втрати, що виникають як результат недосконалості обліку електроенергії технічними засобами. Тобто, технологічні втрати електроенергії складаються з технічних, витрат на власні потреби та втрат, обумовлених недообліком електроенергії. Структура втрат електроенергії в розподільних мережах матиме такий вигляд (рис. 1.1).

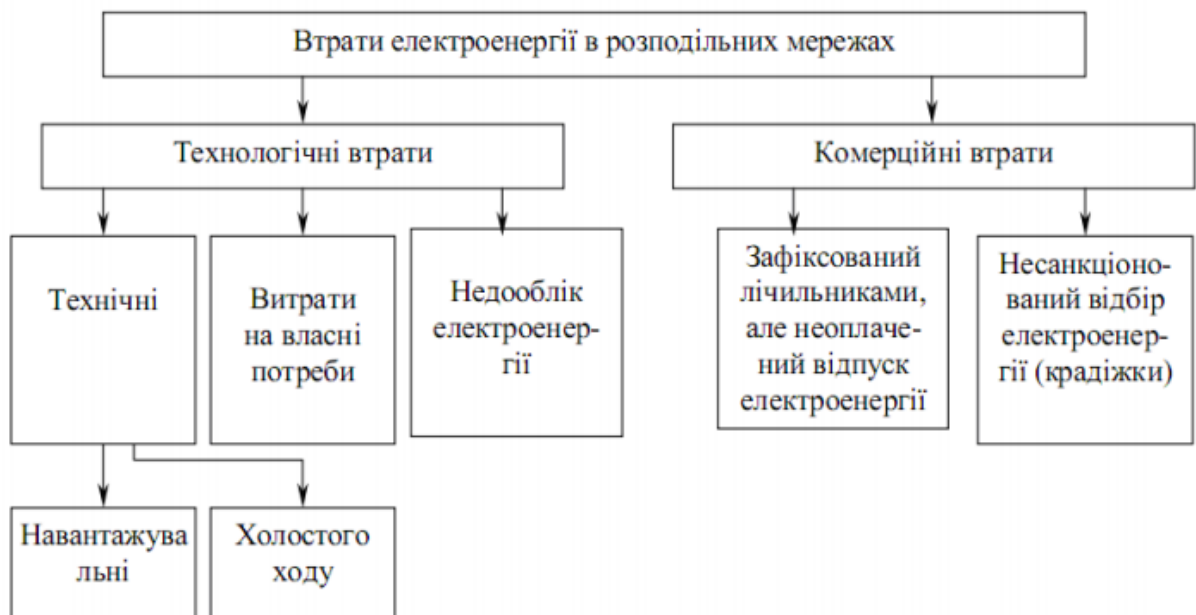


Рисунок 1.1 - Структура втрат електроенергії в розподільних мережах

1.4 Аналіз основних способів компенсації реактивної потужності

Для поліпшення використання електричної енергії з метою мінімізації втрат в умовах обмежень на максимальну споживану потужність, велика роль відводиться новим технічним засобам, що дозволяють поліпшити енергетичні характеристики: зменшити вміст гармонік в живлячій напрузі, спростити проведення моніторингу мережі.

Одним із заходів є підключення до пристрою з постійним навантаженням компенсуючого конденсатора відповідної потужності, що вмикається одночасно з вмиканням пристрою. В інших випадках рекомендується використання автоматичних конденсаторних установок.

Компенсацію реактивної потужності в повній мірі можна віднести до енергозберігаючих технологій. При компенсації РП відбувається зменшення споживання РП і повернення її в мережу. Внаслідок цього повна потужність S , споживана з мережі, практично вся використовується на корисну роботу.

Пристрої компенсації реактивної потужності.

Вибір того чи іншого засобу компенсації здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків. Одним із найважливіших показників економічності компенсуючих засобів є питомі витрати в них активної потужності на отримання реактивної потужності. Не можна рахувати економічним і доцільним отримання реактивної потужності за рахунок великих затрат активної потужності.

Питомі витрати активної потужності (кВт/кВАр) в компенсуючих пристроях різних типів приведені нижче:

- найменші втрати мають батареї конденсаторів, які із-за простоти конструкції і обслуговування, відсутності частин, що обертаються, можливості установки їх в будь-якій точці мережі у вигляді великих батарей, групами чи індивідуальними банками, отримали широке використання в електроустановках;

- синхронні компенсатори хоча і мають більші питомі втрати активної потужності, встановлюються в енергосистемах із-за необхідності, відповідно режимам роботи систем, забезпечення стійкості та регулювання напруги систем. В періоди максимального навантаження синхронні компенсатори можуть працювати в режимі перезбудження та віддавати реактивну потужність, а в періоди зниження навантаження, споживати реактивну потужність. Таким чином, синхронні компенсатори можуть регулювати напругу на приймальних кінцях мережі.

Вибираючи потужність компенсаторних батарей необхідно слідкувати, щоб ця установка покривала реактивне навантаження цеха чи підприємства і не

видавала реактивну потужність в мережу енергосистеми. Така перекомпенсація приводить лише до втрат потужності, що викликається передачею в мережу від підприємства реактивної потужності. Оскільки таке явище має місце при спадах графіка навантаження (вночі, у вихідні дні) то необхідно, щоб потужність приєднаних косинусних конденсаторів використовувалась в залежності від графіка реактивного навантаження підприємства. Для цього конденсаторні батареї секціонуються на ступені. Ці секції автоматично включаються та виключаються в залежності від рівня напруги і періоду доби чи за іншими параметрами. Цього недоліку позбавлені статичні джерела реактивної потужності, що представляють із себе сполучення конденсаторних батарей з регулюючою ланкою. В такому випадку сумарна реактивна потужність рівна різниці потужностей конденсаторних батарей та керуючого реактору. Реактивна потужність реактора є функцією струму підмагнічування, і компенсатор може або генерувати реактивну потужність, або споживати її. Використання керованих статичних компенсаторів виправдано лише в мережах з різко змінним навантаженням.

При розподілі засобів компенсації реактивної потужності між мережами напругою до і вище 1 кВ необхідно враховувати положення: - найбільше зниження втрат потужності і електроенергії досягається при розміщенні КБ в безпосередньому наближенні від споживаючих реактивну потужність електроприймачів;

- передача реактивної енергії з мережі напругою 6-10 кВ в мережу до 1 кВ економічно не вигідна, якщо це призводить до збільшення числа і потужності цехових трансформаторів;

- використання комплексних конденсаторних установок на стороні 6-10 кВ цехових трансформаторних підстанцій і розподільчих пунктах, як правило, економічно недоцільне.

Критерієм економічності при виборі і розрахунку компенсуючих пристроїв є мінімум приведених затрат. При визначенні величини приведених затрат необхідно враховувати: затрати на встановлення КП і додаткового обладнання – комутаційних апаратів, пристроїв автоматики і т.п.; зниження вартості

обладнання трансформаторних підстанцій і вартості спорудження постачаючих та розподільних мереж, обумовленого зменшенням струмових навантажень; зниження втрат електроенергії в постачальній та розподільчій мережі; зменшення втрат активної потужності при максимумі навантаження енергосистеми.

Конденсаторні установки.

Компенсація реактивної потужності за допомогою конденсаторних установок - найефективніший спосіб енергозбереження на промислових підприємствах.

На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99. Завдяки конденсаторній установці (КУ) можливі наступні види компенсації:

- індивідуальна (нерегульована). КУ розміщається безпосередньо коло електроприймачів і комутується одночасно з ними. В цьому випадку вимикач електроприймача одночасно є і вимикачем КУ. Такий вид компенсації є бажаним для одиничних, постійно під'єднаних на протязі тривалого часу потужностей більше 20 кВт. Недоліки даного виду компенсації – залежність часу підключення АКУ від часу включення електроприймачів і необхідність узгодження ємності КУ з індуктивністю компенсованого електроприймача для попередження виникнення резонансних явищ або застосування спеціальних схем підключення.

- групова (також нерегульована). Застосовується при компенсації декількох індуктивних навантажень, приєднаних до одного розподільчого пристрою з загальною КУ. Збільшення коефіцієнту одночасності ввімкнення навантаження понижує потужність і підвищує ефективність роботи КУ, яка може встановлюватися на стороні 0,4 кВ або 6(10) кВ. Недоліки - роздільна комутація КУ і неповне розвантаження розподільчих мереж підприємства.

- централізована (регульована) з використання КУ. Для вузлів навантаження з широким діапазоном зміни споживання. Регулювання потужності КУ може здійснюватися в функції реактивного струму навантаження і для цього КУ обладнується спеціальним автоматичним регулятором, а її повна

потужність розділена на окремо комутовані ступені. Такі КУ називаються автоматичними.

Однією з головних причин високих втрат електроенергії є низька ефективність заходів щодо їх зниження що, в свою чергу, зумовлено низьким рівнем автоматизації контролю та керування режимом електричних мереж цього класу напруги. Враховуючи високий рівень розвитку сучасної обчислювальної техніки та широкомасштабне впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в електричних мережах промислових споживачів, з'явилася можливість, по-перше, використовувати бази даних цієї системи обліку в задачах визначення втрат електроенергії, по-друге, інтегрувати її з автоматизованою системою диспетчерського керування.

Оптимальна компенсація реактивної потужності є одним з найбільш ефективних способів зниження втрат електроенергії в електричних мережах промислових підприємств і енергосистем. Для енергосистем, промислових підприємств реактивна потужність завжди була й залишається неминучим атрибутом технологічного циклу споживання електроенергії, що впливає на його економічну ефективність. І тому використання такого потужного важеля впливу, як керування реактивною потужністю, – один з найбільш ефективних і малозатратних способів енергозбереження як в енергосистемах, так і в мережах підприємств і ЖКГ. І тому від того, як технічно грамотно буде вирішуватися це питання споживачами, з одного боку, і енергопостачальними організаціями, з іншого, буде залежати надійність всієї системи електропостачання.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження математичних моделей вибору оптимальних проектних рішень для системи електропостачання металообробного цеху по критерію мінімуму затрат

2.1.1 Математична модель оптимального розташування КТП.

Визначення оптимального розташування КТП дозволяє правильно розмістити КТП на плані цеху, що дозволить зменшити витрату кабелів, тим самим зменшити витрати кольорових металів, а отже і зменшити затрати в СЕП.

Сформуємо математичну модель задачі згідно етапів вибору оптимальних проектних рішень. Керованими змінними задачі є координати розміщення КТП – (x_0, y_0) . Показником ефективності рішення виступають затрати в систему електропостачання.

Повна математична модель має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x_0, y_0) = [(E_e + E_a) \cdot (\alpha_{жс} + K_0(F_{жс}) + 3 \cdot I_{жс}^2 \cdot r_0(F_{жс}) \cdot B_0) \cdot k_{жс} \cdot \rho((x_0, y_0), (x_{жс}, y_{жс})) + \\ \sum_{i=1}^n [(E_e + E_a) \cdot (\alpha + K_0(F_i) \cdot k_i) + 3 \cdot I_i^2 \cdot r_0(F_i) \cdot k_i \cdot B_0] \cdot \rho((x_0, y_0), (x_i, y_i)) \rightarrow \min_{(x_0, y_0)} \\ \min_{i=1}^n (x_i) \leq x_0 \leq \max_{i=1}^n (x_i) \\ \min_{i=1}^n (y_i) \leq y_0 \leq \max_{i=1}^n (y_i) \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де (x_0, y_0) – річні приведені затрати;

E_e – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

E_a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$K_0(F_i)$ – питома вартість кабелю перерізом F_i ;

$I_{кли}$ – струм окремої лінії від КТП до i -того споживача;

$r_0(F_i)$ – питомий опір лінії перерізом F_i ;

B_0 – питома вартість втрат активної потужності в лінії;

$I_{жс}$ – струм живлячої лінії;

$k_{жс}$ – кількість кабелів живлячої лінії;

$\alpha_{жс}$ – складова питомої вартості живлячої лінії на 1 км незалежно від перерізу;

k_i – кількість кабелів до i -того СП;

F_i – переріз проводу;

α – складова питомої вартості проводу на 1 км незалежно від перерізу;

n – кількість СП;

x_i, y_i – координати i -того СП;

x_0, y_0 – координати КТП.

Причому, при визначенні довжин кабелів буде враховуватись евклідова та неевклідова метрика, так як кабелі по цеху прокладаються під прямими кутами, тобто довжина кабелю між двома координатами буде обраховуватись по формулі:

$$L = |x_0 - x_i| + |y_0 - y_i|, \quad (2.2)$$

а за евклідовою метрикою:

$$L = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} \quad (2.3)$$

В даній задачі довжина проводу цеху буде розраховуватись за неевклідовою метрикою, а живильна лінія – за евклідовою, оскільки є можливість прокладки КЛ по прямій, на відміну від цехових проводів.

Результати розрахунку центру навантаження відповідно до математичної моделі наведено в додатку А.

2.1.2 Математична модель вибору потужності силових трансформаторів КТП.

Складемо математичну модель вибору потужності трансформаторів КТП:

Змінною задачі є S_m – потужність трансформатора.

Показник ефективності задачі: $Z(S_m)$ – річні приведені витрати.

$$Z(S_T) = B_{ТП}(S_T) + B_B(S_T), \quad (2.4)$$

де $B_{ТП}(S_T)$ - річна приведена вартість капіталовкладень;

$B_B(S_T)$ - вартість річних втрат електроенергії.

$$B_{ТП}(S_T) = (E_e + E_a)K_{ТП}(S_T, K_T), \quad (2.5)$$

де E_e – норматив ефективності капіталовкладень;

E_a – доля відрахувань на амортизацію;

$K_{ТП}(S_T, k_T)$ – капіталовкладення в КТП в залежності від потужності та кількості трансформаторів.

$$B_B(S_T) = (\Delta P_{xx}(S_T) + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot K_3^2) \cdot K_T \cdot B_0, \quad (2.6)$$

де $k_3 = \frac{S_{рТП}}{S_m k_m}$ - коефіцієнт завантаження;

$B_0 = t \cdot \tau$ - питома вартість втрат потужності

t – тариф за активну електроенергію на напрузі 10 кВ, грн/кВт

τ – число годин максимальних втрат визначається виходячи із заданого T_m .

При розв'язанні задачі необхідно врахувати наступні вимоги:

$$\begin{aligned} S_T \cdot k_T &\geq S_{ТПсм} \\ k_T \geq 1 &\Rightarrow K_{нна} \cdot S_T \geq K_{нна} \cdot S_{ТП} \end{aligned} \quad (2.7)$$

де $S_{ТПсм}$ – середня потужність ТП;

$K_{нна}$ – коеф. перевантаження трансформатора у п.а. режимі;

$K_{на}$ – доля навантаження трансформатора ра у п.а. режимі.

Результати розрахунку вибору потужності КТП металообробного цеху за математичною моделлю наведено в додатку Б.

2.1.2 Математична модель вибору лінії живлення.

Керованою змінною в даній задачі є переріз x . Показником ефективності є річні приведені затрати в лінію живлення. За критерій оптимальності взято мінімум приведених затрат.

Запишемо цільову функцію вибору лінії живлення:

$$Z(x) = [(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_l^2 \cdot r_0(x) \cdot B_0] \cdot L \cdot k_l \rightarrow \min_{x \in X} \quad (2.8)$$

Сформуємо обмеження на керовану змінну:

$$1) \quad x \geq x_{дон},$$

де $x_{дон}$ – мінімальний переріз, який витримує нагрівання в нормальному режимі;

$$I_{дон}(x) \geq I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot k_l} \quad (2.9)$$

$$2) \quad \text{при } n_l > 1 \quad x \geq x_{дон.на},$$

де $x_{дон.на}$ – мінімальний переріз, який витримує післяаварійне навантаження;

$$k_n \cdot I_{дон}(x) \geq \frac{k_l \cdot I_l \cdot k_{на}}{k_l - 1} \quad (2.10)$$

$$3) \quad x \geq x_{\Delta U},$$

де $x_{\Delta U}$ – мінімальний переріз, який забезпечує допустимі втрати напруги;

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{л}}(x) = \frac{P_p \cdot r_0(x) + Q_p \cdot x_0(x)}{U_{\text{ном}} \cdot k_{\text{л}}} \cdot L \quad (2.11)$$

4) при $n_{\text{л}} > 1$ $x \geq x_{\text{на}\Delta U}$,

$$\Delta U_{\text{надоп}} \geq \Delta U_{\text{на}}(x) \quad (2.12)$$

5) $x \geq x_{\text{кз}}$,

де $x_{\text{кз}}$ – мінімальний переріз, який витримує термічну дію струмів к.з.;

$$x_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \quad (2.13)$$

де K_0 – вартість 1 км кабельної лінії перерізом x , грн/км;

$k_{\text{л}}$ – кількість ліній;

Ea – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

Ee – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

S_p – повна потужність навантаження, кВ·А;

P_p – активна потужність навантаження, кВт;

r_0 – активний питомий опір кабелю, Ом/км;

B_0 – вартість втрат 1 кВт потужності, грн/кВт;

L – довжина лінії, км;

$I_{\text{доп}}$ – допустимий тривалий струм навантаження, А;

k_n – коефіцієнт перевантаження КЛ в післяаварійному режимі;

$k_{\text{н.на}}$ – доля навантаження в післяаварійному режимі;

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимі втрати напруги в лінії, %;

Q_p – реактивна потужність навантаження, кВ·Ар;

x_0 – реактивний питомий опір кабелю, Ом/км;

$I_{\text{к.з}}$ – струм короткого замикання на стороні 10 кВ, А;

t_n – приведений час к.з., с;

C – термічний коефіцієнт, $A \cdot c^{0.5}/\text{мм}^2$.

Результати розрахунку відповідно до моделі вибіру оптимального перерізу живлячого кабелю 10 кВ КТП наведено у додатку В.

2.1.3 Математична модель економічної задачі компенсації реактивної потужності (КРП)

Задача КРП в мережах споживачів має два етапи її розв'язання:

- обґрунтування встановленої потужності регульованих КУ. При цьому враховується параметри елементів електропостачальної системи споживачам та параметри режиму її роботи (реактивна та активна потужності у вузлах навантаження), наявність та місце встановлення лічильників реактивної енергії;
- оптимізацію режиму роботи цих КУ в залежності від добового графіка реактивного навантаження в мережі споживача. При цьому враховується наявність, місце встановлення, тип та режим роботи існуючих джерел реактивної енергії. Рішення цієї задачі повинне забезпечити мінімізацію оплати споживача за перетоки реактивної енергії на межі мереж постачальника і споживача при виконанні всіх технічних умов нормальної роботи електричної мережі і приймачів електричної енергії.

Критерієм вибору потужності КУ є сумарні приведені затрати, котрі включають, затрати на КУ – вартість КУ, її монтаж та експлуатацію, вартість споживаної конденсаторами активної енергії та економічний ефект від компенсації реактивної потужності – зниження основної та додаткової плати за споживану реактивну енергію.

Мета даного розрахунку – вибрати потужність КУ у вузлах навантажень. Керованою змінною є потужність КУ. Область допустимих рішень $X_{\text{дос}}$ буде множина стандартних потужностей КУ.

Показником ефективності рішення є розрахункові витрати, а критерієм оптимальності є мінімум приведених затрат.

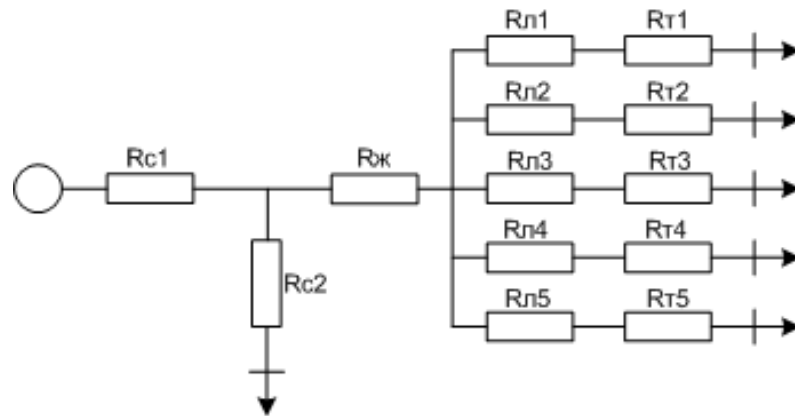


Рисунок 2.1 – Схема заміщення системи електропостачання заводу з врахуванням еквівалентних опорів системи

У відповідності до цієї схеми (рис. 2.1) складемо математичну модель економічної задачі компенсації реактивної потужності з урахуванням ефекту від КРП в мережах системи:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & 3(q_{к1}, q_{к1}, q_{к3}, q_{к4}, q_{к5}, q_c) = \frac{\tau \cdot t}{U_n^2} \left[(q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot (R_{л1} + R_{т1}) + (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot (R_{л2} + R_{т2}) + \right. \\
 & + (q_{н3} - q_{к3})^2 \cdot (R_{л3} + R_{т3}) + (q_{н4} - q_{к4})^2 \cdot (R_{л4} + R_{т4}) + (q_{н5} - q_{к5})^2 \cdot (R_{л5} + R_{т5}) + \\
 & + (q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4} + q_{н5} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3} - q_{к4} - q_{к5})^2 \cdot R_{ж} + \\
 & \left. + (q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4} + q_{н5} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3} - q_{к4} - q_{к5} - q_{кc})^2 \cdot R_{c1} + (q_c - q_{кc})^2 \cdot R_{c2} \right] + \quad (2.14) \\
 & + ((E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_k) \cdot (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3} + q_{к4} + q_{к5} + q_{кc}) \rightarrow \min \\
 & q_{ki} \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \\
 & q_c \geq 0
 \end{aligned} \right.$$

де B_0 – вартість втрат активної потужності;

$q_{н1} \dots q_{н5}, q_{кc}$ – реактивна потужність навантаження споживачів 1...5 і системи відповідно;

$q_{к1} \dots q_{к5}, q_{кc}$ – реактивна потужність БК;

R_{m1} – опір трансформатора ЦРП;

$R_{л1}$ – опір лінії;

$R_{ж1}$ – опір живлячої лінії;

R_{c1}, R_{c2} – опори системи;

$e_{к0}$ – питома вартість батарей конденсаторів;

$\Delta P_{к}$ – питомі активні втрати в БК.

Складемо математичну модель економічної задачі КРП без урахування ефекту від КРП в мережах системи:

$$\left\{ \begin{aligned} Z(q_{к1}, q_{к1}, q_{к3}, q_{к4}, q_{к5}) &= \frac{\tau \cdot t}{U_H^2} \left[(q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot (R_{л1} + R_{т1}) + (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot (R_{л2} + R_{т2}) + \right. \\ &+ (q_{н3} - q_{к3})^2 \cdot (R_{л3} + R_{т3}) + (q_{н4} - q_{к4})^2 \cdot (R_{л4} + R_{т4}) + (q_{н5} - q_{к5})^2 \cdot (R_{л5} + R_{т5}) + \\ &\left. + (q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4} + q_{н5} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3} - q_{к4} - q_{к5})^2 \cdot R_{ж} \right] + \\ &+ ((E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_{к}) \cdot (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3} + q_{к4} + q_{к5}) \rightarrow \min \\ q_{ki} &\geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \end{aligned} \right. \quad (2.15)$$

Складемо математичну модель балансової задачі КРП:

$$\left\{ \begin{aligned} Z(q_{к1}, q_{к1}, q_{к3}, q_{к4}, q_{к5}) &= \frac{\tau \cdot t}{U_H^2} \left[(q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot (R_{л1} + R_{т1}) + (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot (R_{л2} + R_{т2}) + \right. \\ &+ (q_{н3} - q_{к3})^2 \cdot (R_{л3} + R_{т3}) + (q_{н4} - q_{к4})^2 \cdot (R_{л4} + R_{т4}) + (q_{н5} - q_{к5})^2 \cdot (R_{л5} + R_{т5}) + \\ &\left. + (q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4} + q_{н5} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3} - q_{к4} - q_{к5})^2 \cdot R_{ж} \right] + \\ &+ ((E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_{к}) \cdot (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3} + q_{к4} + q_{к5}) \rightarrow \min \\ q_{ki} &\geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \\ (q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} + q_{н4} + q_{н5} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3} - q_{к4} - q_{к5}) &= Q_{вх} \end{aligned} \right. \quad (2.16)$$

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок електричних навантажень металообробного цеху

Споживачі групуємо за характерними для них коефіцієнтами використання та потужності в відповідних групах (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Електричні навантаження споживачів металообробного цеху

№	Назва приймачів	<i>n</i>	Номінальна потужність		<i>m</i>	<i>Кв</i>
		<i>шт.</i>	одного	загальна		
			<i>кВт</i>	<i>кВт</i>		
1	2	3	4	5	6	7
Група 1						
1	Токарні верстати	5	1,5-3,3	11,5		0,17
2	Металообробні в-ти	19	3,8-6,7	75,7		0,16
	Разом по групі	24	1,5-6,7	87,2	≤3	0,16
Група 2						
1	Металообробні в-ти	15	0,5-4,5	47		0,16
2	Карусельні верстати	2	14,1	28,2		0,17
	Разом по групі	17	0,5-14,1	75,2	≥3	0,16
Група 3						
1	Шліфувальні верстати	9	1,0-6,0	34,5		0,16
2	Металорізальні в-ти	2	4,7-14,5	29,2		0,17
	Разом по групі	11	1,0-14,5	63,7	≥3	0,17
Група 4						
1	Металообробні в-ти	3	0,6-2,2	3,4		0,16
2	Прес	1	17	17		0,65

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
	Разом по групі	4	0,6-17,0	20,4	≥ 3	0,57
	Група 5					
1	Заточні верстати	4	1,0-3,0	6,8		0,16
	Разом по групі	4	1,0-3,0	6,8	≥ 3	0,16
	Група 6					
1	Прес	1	63	63		0,65
	Разом по групі	1	63	63	≥ 3	0,65
	Група 7					
1	Крани мостові	2	9,4	18,8		0,1
	Разом по групі	2	9,4	18,8	≥ 3	0,1
	Разом	63	0,5-63,0	335,1	≥ 3	0,28

Подальші розрахунки ведемо на основі розрахункової таблиці 3.2.

Розрахунок електричного навантаження для першої групи.

Середні активна і реактивна потужності за найбільш завантажену зміну

$$P_{см1} = K_{вук} \cdot P_{н1}, \quad (3.1)$$

$$P_{см1} = 0,16 \cdot 47 = 7,52 \text{ кВт},$$

$$Q_{см1} = P_{см1} \cdot \text{tg} \varphi_1, \quad (3.2)$$

$$Q_{см1} = 7,52 \cdot 1,73 = 13 \text{ кВАр},$$

$$P_{см2} = K_{вук} \cdot P_{н2}, \quad (3.3)$$

$$P_{см2} = 0,17 \cdot 28,2 = 4,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{см2} = P_{см2} \cdot \text{tg} \varphi_2, \quad (3.4)$$

$$Q_{см2} = 4,8 \cdot 1,17 = 5,6 \text{ кВАр}.$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків навантаження металообробного цеху

№	Назва приймачів	n	cos φ / sin φ	Середнє навантаження		n np	Км	Розрахункове навантаження		
				P _{см}	Q _{см}			P _p	Q _p	S _p
		шт.		кВт	кВАр	кВт		кВАр	кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Група 1										
1	Токарні	5	0,65/1,17	2	2,3					
2	верстати	19	0,5/1,73	12,1	21					
	Металообробні в-ти									
	Разом по групі	24	0,7/	14,1	23,3	24	1,6	22,6	23,3	32,5
Група 2										
1	Металообробні	15	0,5/1,73	7,5	13					
2	в-ти	2	0,65/1,17	4,8	5,6					
	Карусельні верстати									
	Разом по групі	17	0,83/	12,3	18,6	8	2,29	28,2	18,6	33,8
Група 3										
1	Шліфувальні	9	0,5/1,73	5,5	9,5					
2	верстати	2	0,65/1,17	5	5,9					
	Металорізальні в-ти									
	Разом по групі	11	0,84/	10,5	15,4	8	2,26	23,7	15,4	28,3
Група 4										
1	Металообробні	3	0,5/1,73	0,6	1					
2	в-ти	1	0,8/0,75	11,1	8,3					
	Прес									
	Разом по групі	4	0,86/	11,7	9,3	4	1,5	17,6	10,3	20,4
Група 5										
1	Заточні верстати	4	0,5/1,73	1,1	1,9					
	Разом по групі	4	0,36/	1,1	1,9	3	Kз=0,75	0,8	2,1	2,2

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Група 6									
1	Прес	1	0,8/0,75	41	30,8					
	Разом по групі	1	0,88/	41	30,8			63	33,9	71,5
	Група 7									
1	Крани мостові	2	0,5/1,73	1,9	3,3					
	Разом по групі	2	0,67/	1,9	3,3			18,8	20,7	28
	Разом	63	0,82	92,6	102,7	11	1,56	144,6	102,7	177,3
	Освітлення		0,95/0,32/0,95					15,4	4,9	16,2
	Цех №2							139	104,3	
	Разом		0,71					299	211,9	366,5
	Потужність КУ								-150	
	Потужність ТП							298	62	305

Співвідношення між максимальною і мінімальною потужністю

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мін}}, \quad (3.5)$$

$$m = \frac{14,1}{0,5} = 28,2 > 3.$$

Груповий коефіцієнт використання

$$K_{вик.гр.1} = \frac{\sum P_{см.}}{\sum P_{н.}}, \quad (3.6)$$

$$K_{вик.гр.1} = \frac{12,3}{75,2} = 0,16.$$

Приведене число споживачів оскільки $m_1 > 3$, $n_1 > 5$, $K_{вик.гр.1} < 0,2$, то

$$n_{np1} = n_{*np} \cdot n, \quad (3.7)$$

$$n_{np1} = 0,47 \cdot 17 = 8.$$

Відносне число найбільш потужних споживачів

$$n_* = \frac{n'}{n}, \quad (3.8)$$

$$n_* = \frac{2}{17} = 0,12.$$

Відносна потужність найбільш потужних споживачів

$$P_* = \frac{P_{n'}}{P_n}, \quad (3.9)$$

$$P_* = \frac{28,2}{75,2} = 0,38.$$

Для $n_* = 0,12$ і $P_* = 0,38$ по таблиці 2.7 або рис. 2.2 [8] визначаємо відносне приведене число споживачів

$$n_{*np} = 0,47.$$

Для $n_{np} = 8$ і $k_\epsilon = 0,16$ по таблиці 2.6 або рис. 2.1 [8] визначаємо коефіцієнт максимуму

$$K_{\max} = 2,29.$$

Загальне розрахункове навантаження в цілому по групі

$$P_{p1} = K_{\max} \cdot P_{cm1}, \quad (3.10)$$

$$P_{p1} = 2,29 \cdot 12,3 = 28,2 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p1} = Q_{cm1} = 18,6 \text{ кВАр}, \text{ при } n_{np} > 10 [10],$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}, \quad (3.11)$$

$$S_{p1} = \sqrt{28,2^2 + 18,6^2} = 33,8 \text{ кВА}.$$

Для решти груп розрахунки проводимо аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 3.2.

Підрахуємо загальне силове навантаження в цілому по групах.

Загальне число споживачів всіх груп

$$n = \sum_{i=1}^7 n_{zpi}, \quad (3.12)$$

$$n = 17 + 24 + 11 + 4 + 4 + 1 + 2 = 63.$$

Сумарна номінальна активна потужність

$$P_{\Sigma H} = \sum_{i=1}^7 P_{\Sigma H.zpi}, \quad (3.13)$$

$$P_{\Sigma H} = 75,2 + 87,2 + 63,7 + 20,4 + 6,8 + 63 + 18,8 = 335,1 \text{ кВт}.$$

Співвідношення між максимальною і мінімальною потужністю

$$m = \frac{P_{H.\max}}{P_{H.\min}}, \quad (3.14)$$

$$m = \frac{63}{0,5} = 126 > 3.$$

Сумарні середні активна і реактивна потужності за найбільш завантажену зміну

$$P_{\Sigma CM} = \sum_{i=1}^7 P_{CM.zpi}, \quad (3.15)$$

$$P_{\Sigma CM} = 12,3 + 14,1 + 10,5 + 11,7 + 1,1 + 41 + 1,9 = 92,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma CM} = \sum_{i=1}^7 Q_{CM.zpi}, \quad (3.16)$$

$$Q_{\Sigma CM} = 18,6 + 23,3 + 15,4 + 9,3 + 1,9 + 30,8 + 3,3 = 102,7 \text{ кВАр}.$$

Загальний коефіцієнт використання

$$K_{\epsilon} = \frac{P_{\Sigma_{CM}}}{P_{\Sigma_H}}, \quad (3.17)$$

$$K_{\epsilon} = \frac{92,6}{335,1} = 0,28.$$

Визначаємо приведене число споживачів.

Так як $m > 3$ і $K_{\epsilon} = 0,28$ по таблиці 2.6 або рис. 2.1 [4] визначаємо коефіцієнт максимуму

$$K_{\max} = 1,56.$$

Загальне розрахункове навантаження всіх груп

$$P_{p.гp} = K_{\max} \cdot P_{\Sigma_{CM}}, \quad (3.18)$$

$$P_{p.гp} = 1,56 \cdot 92,6 = 144,6 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.гp} = Q_{\Sigma_{CM}} = 102,7 \text{ кВАр}, \text{ при } n_{np} > 10 \text{ [4].}$$

3.2 Розрахунок освітлювального навантаження

Завданням розрахунку освітленості є визначення числа і потужності світильників, необхідних для забезпечення заданого значення освітленості. При розрахунку в першу чергу звертається увага на раціональне розміщення світильників та світловий потік вибраних ламп.

Вибір типу світильника.

Для створення енергоефективної системи освітлення використаємо для освітлення металообробного цеху сучасні світлодіодні промислові світильники UNI HIGH BAY зі світловим потоком 21600.0 лм, що виготовляються компанією Ledlife в Україні.

Промисловий ЛЕД світильник UNI HIGH BAY призначений для освітлення приміщень з високими стелями і великою площею, кількість годин

роботи становить 50000. Основні характеристики світильника наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики ЛЕД світильника UNI HIGH BAY

Основні характеристики	Параметри
1	2
Застосування освітлення	Для освітлення високих робочих приміщень
Спосіб монтажу	Підвісний
Форма	Прямокутна
Напруга	220.0 (В)
Потужність	180.0 (Вт)
Коефіцієнт потужності	0,95
Матеріал корпусу	Алюміній
Мінімальна робоча температура	-40.0 (град.)
Максимальна робоча температура	50.0 (град.)
Ступінь захисту IP	65
Характеристики випромінювання	
Світловий потік	21600.0 (лм)
Мінімальна колірна температура	3000.0 (К)
Максимальна колірна температура	6000.0 (К)

Продовження таблиці 3.3

1	2
Світлова віддача	120.0 (лм/Вт)
Габаритні розміри	
Довжина	1064.0 (мм)
Ширина	118.0 (мм)
Висота	70.0 (мм)

Розташування світильників визначається наступними розмірами цеху:

$H=6,5$ м – висота приміщення;

$h_c=0,2$ м – віддаль світильника від перекриття;

$h_n=6,3$ м – висота світильника над підлогою;

$h_p=1$ м – висота розрахункової поверхні над підлогою;

$h=h_n-h_p=5,3$ м – розрахункова висота від світильника до розрахункової поверхні;

$B_1=36$ м – ширина приміщення.

$l_1=54$ м – довжина приміщення металообробного цеху;

$B_2=6$ м – ширина приміщення КТП;

$l_2=6$ м – довжина приміщення КТП;

$B_3=6$ м – ширина свердлильного відділення;

$l_3=6$ м – довжина свердлильного відділення;

$B_4=6$ м – ширина заточного відділення;

$l_4=6$ м – довжина заточного відділення.

Згідно таблиці 4.4 [8] приймаю освітлення виробничих приміщень $E=300$ лк, коефіцієнт запасу $K_3=1,5$.

Металообробний цех.

Визначаємо індекс приміщення

$$i_1 = \frac{B_1 \cdot l_1}{h(B_1 + l_1)}, \quad (3.19)$$

$$i_1 = \frac{36 \cdot 54}{5,3(36 + 54)} = 4,07.$$

Визначаю необхідний світловий потік лампи для даного приміщення за формулою

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta}, \quad (3.20)$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1944 \cdot 1,15}{0,61} = 1649213 \text{ Лм},$$

де E – необхідна освітленість, для даного приміщення;

K_3 – коефіцієнт запасу;

S – площа цеху, $S = 1944 \text{ м}^2$;

z – поправка на мінімальну освітленість, у нашому випадку для ЛЕД світильників $z = 1,15$;

η – коефіцієнт використання світильника;

Для визначення η приблизно задаюся коефіцієнтами відбивання поверхні приміщення: для стелі $\rho_c = 70 \%$, для стін $\rho_{ст} = 50 \%$, для підлоги $\rho_{пл} = 10\%$. По таблиці 5.10 [4] знаходжу $\eta = 0,61$.

Підбираємо світильник з ЛЕД модулем $P = 180 \text{ Вт}$, $U_n = 220 \text{ В}$, $\cos\varphi = 0,95$, $\Phi = 21600 \text{ Лм}$, $K_B = 0,95$

Визначаю кількість світильників

$$N = \frac{1649213}{21600} = 76,35$$

Беру найближче більше ціле парне число $N = 78$

Визначаю запас світлового потоку для вибраних ламп

$$\frac{21600 \cdot 78 - 1649213}{21600 \cdot 78} \cdot 100\% = 2,1\%.$$

Знаходжу номінальну потужність усіх ламп у цеху

$$P_{н.осв} = N \cdot P \cdot n, \quad (3.21)$$

$$P_{н.осв} = 78 \cdot 180 \cdot 1 = 14,04 \text{ кВт},$$

де P – потужність лампи, кВт.

N – кількість світильників у приміщенні.

n – кількість ламп у світильнику.

Знаходжу розрахункові величини активної, реактивної та повної потужності

$$P_p = K_B \cdot P_n, \quad (3.22)$$

$$P_p = K_B \cdot P_n = 0,95 \cdot 14,04 = 13,34 \text{ кВт},$$

де K_B – коефіцієнт використання.

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.23)$$

$$Q_p = 13,34 \cdot 0,32 = 4,27 \text{ кВАр}.$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3.24)$$

$$S_p = \sqrt{13,34^2 + 4,27^2} = 14 \text{ кВА}.$$

Отже повне освітлювальне навантаження металообробного цеху буде рівним 14 кВА.

Приміщення КТП.

Визначаю індекс приміщення за (3.19)

$$i_1 = \frac{6 \cdot 6}{5,3(6 + 6)} = 0,57.$$

Визначаю необхідний світловий потік лампи для даного приміщення, $S = 36 \text{ м}^2$, за формулою (3.20)

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,15}{0,3} = 62100 \text{ Лм},$$

Для визначення η приблизно задаюся коефіцієнтами відбивання поверхні приміщення: для стелі $\rho_c = 70 \%$, для стін $\rho_{ст} = 50 \%$, для підлоги $\rho_{пл} = 10\%$. По таблиці 5.10 [4] знаходжу $\eta = 0,3$.

Підбираємо світильник з ЛЕД модулем $P = 180 \text{ Вт}$, $U_n = 220 \text{ В}$, $\cos\phi = 0,95$, $\Phi = 21600 \text{ Лм}$, $K_B = 0,95$

Визначаю кількість світильників

$$N = \frac{62100}{21600} = 2,87$$

Приймаємо $N = 3$

Визначаю запас світлового потоку для вибраних ламп

$$\frac{21600 \cdot 3 - 62100}{21600 \cdot 3} \cdot 100\% = 4,2\%$$

Знаходжу номінальну потужність усіх ламп у приміщенні КТП за (3.22)

$$P_{н.осв} = 3 \cdot 180 = 0,54 \text{ кВт},$$

Знаходжу розрахункові величини активної, реактивної та повної потужності освітлення КТП за формулами (3.22), (3.23), (3.24)

$$P_p = 0,95 \cdot 0,54 = 0,51 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 0,51 \cdot 0,32 = 0,16 \text{ кВАр}.$$

$$S_p = \sqrt{0,51^2 + 0,16^2} = 0,53 \text{ кВА}.$$

Отже повне освітлювальне навантаження приміщення КТП 0,53 кВА.

Розрахунок освітлювального навантаження для **свердлильного і заточного** відділень проводимо аналогічно. Отже:

- повне освітлювальне навантаження свердлильного відділення 0,53 кВА;

- повне освітлювальне навантаження заточного відділення 0,53 кВА.

Для освітлення **коридору, складу зберігання готової продукції, складу зберігання сировини** прийmemo освітленість в 100 лк.

Розташування світильників визначається наступними розмірами приміщень

$B_5 = 6 \text{ м}$ – ширина коридору;

$l_5 = 6 \text{ м}$ – довжина коридору;

$B_6 = 6$ м – ширина складу зберігання готової продукції;

$l_6 = 6$ м – довжина складу зберігання готової продукції;

$B_7 = 6$ м – ширина складу зберігання сировини;

$l_7 = 6$ м – довжина складу зберігання сировини;

Коридор.

Визначаю індекс приміщення (2.17)

$$i_5 = \frac{6 \cdot 6}{5,3(6 + 6)} = 0,57.$$

Визначаю необхідний світловий потік одного світильника,
 $S_k = 36 \text{ м}^2$, (2.18)

$$\Phi_k = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,15}{0,3} = 20700 \text{ Лм.}$$

Для визначення η приблизно задаюся коефіцієнтами відбивання поверхні приміщення: для стелі $\rho_c = 50$ %, для стін $\rho_{ст} = 30$ %, для підлоги $\rho_{пл} = 10\%$. По таблиці 5.11 [4] знаходжу $\eta = 0,3$.

Підбираємо світильник з ЛЕД модулем $P = 90$ Вт, $U_n = 220$ В, $\cos\varphi = 0,95$, $\Phi = 10800$ Лм, $K_B = 0,95$

Визначаю кількість світильників

$$N = \frac{20700}{10800} = 1,91$$

Приймаємо $N = 2$.

Визначаю запас світлового потоку

$$\frac{10800 \cdot 2 - 20700}{10800 \cdot 2} \cdot 100\% = 4,2\%.$$

Знаходжу номінальну потужність усіх ламп у коридорі (2.19)

$$P_{н.осв} = 2 \cdot 90 = 0,18 \text{ кВт},$$

Знаходжу розрахункові величини активної, реактивної та повної потужності освітлення коридору за формулами (3.22), (3.23), (3.24)

$$P_p = 0,95 \cdot 0,18 = 0,171 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 0,171 \cdot 0,32 = 0,055 \text{ кВАр.}$$

$$S_p = \sqrt{0,171^2 + 0,055^2} = 0,18 \text{ кВА.}$$

Отже повне освітлювальне навантаження коридору 0,18 кВА.

Розрахунок освітлювального навантаження для **складів** проводимо аналогічно. Отже:

- повне освітлювальне навантаження складу зберігання готової продукції 0,18 кВА;

- повне освітлювальне навантаження складу зберігання сировини 0,18 кВА.

Повна потужність освітлювального навантаження

$$P_{p.осв} = 13,34 + 0,51 \cdot 3 + 0,17 \cdot 3 = 15,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.осв} = 4,27 + 0,16 \cdot 3 + 0,055 \cdot 3 = 4,9 \text{ кВАр.}$$

$$S_{p.осв} = \sqrt{15,4^2 + 4,9^2} = 16,2 \text{ кВА.}$$

Розрахункова потужність цеху №2 (додаткове навантаження КТП)

$$P_{p.д} = 139 \text{ кВт},$$

$$\text{tg}\varphi = 0,75,$$

$$Q_{p.д} = P_{p.д} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (3.25)$$

$$Q_{p.д} = 139 \cdot 0,75 = 104,3 \text{ кВАр.}$$

Повна потужність навантаження КТП.

Розрахункова потужність з урахуванням освітлення і цеху №2

$$P_p = P_{p.сп.} + P_{p.осв} + P_{p.д}, \quad (3.26)$$

$$P_p = 144,6 + 15,4 + 139 = 299 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p.сп.} + Q_{p.осв} + Q_{p.д}, \quad (3.27)$$

$$Q_p = 102,7 + 4,9 + 104,3 = 211,9 \text{ кВА},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3.28)$$

$$S_p = \sqrt{299^2 + 211,9^2} = 366,5 \text{ кВА}.$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_p}{P_p}, \quad (3.29)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{211,9}{299} = 0,71.$$

Для керування електроосвітленням за схемою приєднання та струмами освітлювальної установки вибираємо освітлювальний щиток, ПР8501-з автоматичними вимикачами ВА51 – 31 в кількості 6 штук і автоматичним вимикачем ВА51-33-34.

Довжина лінії живлення від КТП до освітлювального щитка 3 м. Висота встановлення ЩО від підлоги становить 2 м.

3.3 Вибір числа і потужності силових трансформаторів

Потужність і тип трансформатора

Критерієм при виборі трансформаторів являються надійність електропостачання (в залежності від того, яка категорія споживача), розхід кольорового металу і споживана трансформаторна потужність. Оптимальний варіант вибирається на основі порівняння капітальних вкладень і річних експлуатаційних розходів. Вибираємо живлення від двох трансформаторів, оскільки основною умовою споживачів другої категорії є живлення від двох незалежних джерел живлення і наявність двотрансформаторні підстанції.

Потужність трансформаторів підбираємо з врахуванням повної розрахункової потужності, яка складається потужності силових споживачів, та потужності освітлювального навантаження.

Приймаємо до розгляду два можливих варіанти потужності трансформаторів з врахуванням допустимих перевантажень в аварійних режимах.

Трансформатори розташовані біля центру електричних навантажень.

Порівняємо два варіанти:

$$1 \times 400 \text{ кВА}$$

$$2 \times 250 \text{ кВА}.$$

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі

$$K_{з1} = \frac{S_p}{n \cdot S_{н.т.}}, \quad (3.30)$$

$$K_{з1} = \frac{305}{1 \cdot 400} = 0,76.$$

$$K_{з2} = \frac{S_p}{n \cdot S_{н.т.}}, \quad (3.31)$$

$$K_{з2} = \frac{305}{2 \cdot 250} = 0,61.$$

Так як споживачі електричної енергії відносяться до другої категорії по надійності електропостачання, то більш сприятливим являється другий варіант, проте коефіцієнт завантаження вищий у першому варіанті з одним трансформатором $K_з = 0,76$.

Коефіцієнт завантаження при виході з ладу одного трансформатора

$$K_{з2а} = \frac{S_p}{S_{н.т.}}, \quad (3.32)$$

$$K_{з2а} = \frac{305}{250} = 1,22 \leq 1,3$$

В аварійному режимі передбачено живлення від сусіднього цеху.

На основі розрахунків і економічного порівняння (розділ 6) двох варіантів приймаємо для установки на трансформаторній підстанції один трансформатор потужністю 400 кВА, технічні данні якого приведенні в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні данні силового трансформатора

Тип	S , кВА	ΔP_x , кВт	U , кВ	ΔP_k , кВ	U_k , %	I_x , %	Маса, т
ТМЗ-400/10	400	0,95	10/0,4	5,5	4,5	2,1	2,1

3.4 Розробка конструкції комплектної трансформаторної підстанції

Для живлення електричних приймачів цеху приймаємо комплекту трансформаторну підстанцію КТП-400/10, яка укомплектована силовим трансформатором типу ТМЗ-400/10/0,4 кВ і пристроями високої і низької напруги.

КТП складається із:

- УВН, що містить шафу глухого вводу типу ВВ-1У1;
- силового трансформатора типу ТМЗ-400/10/0,4;
- РУНН, що складається із:
 - шафи вводу низької напруги (ШНВ-12У3 (ліва; права));
 - окремо стоячої релейної шафи;
 - секційної шафи (ШНС-12У3)
 - шаф відхідних ліній (ШНЛ-30У3).

УВН типу ВВ – 1У1 представляє собою металеву шафу без вимикача навантаження, в якому високовольтні кабелі під'єднуються безпосередньо до виводів ВН силового трансформатора типу ТМЗ-400-10/0,4. Шафа закріплюється на баку силового трансформатора. На дні шафи ВВ – 1У1 є два отвори для вводу високовольтних кабелів, які кріпляться в середині шафи спеціальними скобами, що застосовуються для всіх перерізів кабелів. Для обслуговування шафи передбачено двері, що зачиняються на два замки.

РУНН представляє собою набір шаф з установленими в них апаратами, вимірювальними і захисними приладами, допоміжними пристроями, ошиновкою і проводами.

Відхідні лінії споживачів підключаються до шаф РУНН з низу.

Шафи розділені на комірки в яких розміщені автоматичні вимикачі і апаратура:

- комірка релейного відсіку
- комірка ввідного (секційного) вимикача;
- комірка відхідних ліній.

Релейна шафа призначена для встановлення лічильників активної і реактивної електричної енергії, а також, для розміщення апаратури шафи ШНВ. Релейна шафа розміщується в одному ряду (на загальній рамі) із шафами РУНН і з'єднана з шафою ШНВ із сторони силового трансформатора.

На вводі РУНН, після ввідного вимикача, встановлено три трансформатори струму для вимірювання і обліку витрат електричної енергії.

Заземлення апаратів, які встановленні у шафах РУНН, виконано заземлюючим провідником. В якості силової захисно-комунікаційної апаратури РУНН на вводі та у відхідних лініях застосовуються автоматичні вимикачі типу ВА.

3.5 Вибір і розрахунок розподільної мережі металообробного цеху та вибір для цієї мережі комутаційної апаратури

Схема внутрішньозаводської розподільної мережі повинна задовольняти наступні умови:

–усі її елементи повинні постійно знаходитися під навантаженням і мати такі параметри, щоб при аварії одного з них, інші могли прийняти на себе його навантаження з урахуванням припустимого перевантаження згідно ПУЕ;

–варто застосовувати роздільну роботу лінії;

– при побудові схеми варто застосовувати глибоке секціонування шин у всіх ланках системи електропостачання.

Вибір площі перерізу проводів і жил кабелів.

Вибір кабелю від ТП до ШП-1.

Розрахунковий струм

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (3.33)$$

$$I_p = \frac{28,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 43 \text{ A}.$$

З таблиці 1.3.7 [7] вибираємо кабель АВВГ1-3×10+1×6 з $I_{дон} = 0,92 \cdot 70 = 64,4 \text{ A}$ для прокладки в кабельному каналі.

$$I_{дон} = 64,4 \text{ A} > I_p = 43 \text{ A}.$$

Для захисту від струмів короткого замикання і перевантаження приймаємо автоматичний вимикач АЗ716Б з $I_n = 160 \text{ A}$.

Струм вставки

$$I_{вст} = 1,2 \cdot I_p, \quad (3.34)$$

$$I_{вст} = 1,2 \cdot 43 = 52 \text{ A}.$$

Приймаємо

$$I_{вст} = 63 \text{ A},$$

$$I_{відс} = 400 \text{ A}.$$

Перевіряємо на надійність спрацювання захисного апарата з умови

$$I_{відс} \leq \frac{I_{к.мин}}{3}. \quad (3.35)$$

Мінімальне значення струму короткого замикання

$$I_{к.мин} = \frac{U_\phi}{Z_n + \frac{Z_m}{3}}, \quad (3.36)$$

$$I_{к.мин} = \frac{220}{0,158 + 0,066} = 982 \text{ A}.$$

де $Z_n = Z_{n.num} \cdot l = 9,88 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 0,158 \text{ Ом};$

$Z_{n.num} = 9,88 \text{ Ом/км}$ (т.7, [5]);

$l = 16 \text{ м};$

$\frac{Z_m}{3} = 0,066 \text{ Ом};$ (т.6, [5]),

$\frac{I_{k.min}}{3} = \frac{982}{3} = 327 \text{ А} > I_{відс} = 400 \text{ А}.$

Умова не дотримана.

З таблиці 1.3.7 [7] вибираємо кабель АВВГ1-3×25+1×16 з $I_{дон} = 0,92 \cdot 115 = 105,8 \text{ А}$ для прокладки в кабельному каналі.

$$I_{дон} = 105,8 \text{ А} > I_p = 43 \text{ А}.$$

Перевіряємо надійність спрацювання захисного апарату з умови (3.35)

Мінімальне значення струму короткого замикання

$$I_{k.min} = \frac{U_\phi}{Z_n + \frac{Z_m}{3}}, \quad (3.37)$$

$$I_{k.min} = \frac{220}{0,059 + 0,066} = 1760 \text{ А}.$$

де $Z_n = Z_{n.num} \cdot l = 3,7 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 0,059 \text{ Ом},$

$Z_{n.num} = 3,7 \text{ Ом/км}$ (т.7 [5]),

$\frac{I_{k.min}}{3} = \frac{1760}{3} = 587 \text{ А} > I_{відс} = 400 \text{ А}.$

Умова дотримана.

Для живлення решти розподільчих пунктів типу ПР22 (т.30.13 Л-3) та розподільчих шинопроводів типу ШРА-73-250УЗ вибір кабелів і захисних апаратів проводиться аналогічно.

3.6 Розробка конструкції і розрахунок захисного заземлення

Заземляючі пристрої в електричних установках напругою до 1 кВ при потужності ТП більше 100 кВА повинні мати опір заземлення не більше 4 Ом.

При розробці конструкції заземлення передбачається спорудити контур із зовнішньої сторони будівлі і додатково використати водогін з опором $R_{\pi} = 9 \text{ Ом}$.

Матеріал – круга сталь діаметром $d = 20 \text{ мм}$. Заглиблення верхніх кінців електродів $h = 0,7 \text{ м}$.

Розрахункові питомі опори ґрунту

$$\rho_{\text{в}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{с.в}}, \quad (3.38)$$

$$\rho_{\text{в}} = 90 \cdot 1,5 = 135 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{\text{г}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{с.г}}, \quad (3.39)$$

$$\rho_{\text{г}} = 90 \cdot 2,2 = 198 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де $\rho_{\text{табл}} = 90 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – питомий опір ґрунту (т. 7.2, [6]),

$K_{\text{с.в}} = 1,5$ – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів

$K_{\text{с.г}} = 2,2$ – коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача

Опір штучного заземлення з врахуванням водогону

$$\frac{1}{R_{\text{р.ш}}} = \frac{1}{R_{\text{д}}} + \frac{1}{R_{\pi}}, \quad (3.40)$$

$$\frac{1}{R_{\text{р.ш}}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{9} = 0,139 \text{ См},$$

$$R_{\text{р.ш}} = \frac{1}{0,139} = 7,2 \text{ Ом}.$$

Відстань від поверхні землі до середини заземлювача

$$t = h + \frac{l_{\text{в}}}{2} = 0,7 + \frac{2}{2} = 1,7 \text{ м}, \quad (3.41)$$

$$t = 0,7 + \frac{2}{2} = 1,7 \text{ м},$$

де $h = 0,7$ м – заглиблення верхніх кінців електродів;

$l_{\text{в}} = 2$ м – довжина електрода.

Опір вертикального електрода

$$R_{\text{в}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{в}}}{l_{\text{в}}} \left(\lg \frac{2l_{\text{в}}}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l_{\text{в}}}{4t-l_{\text{в}}} \right), \quad (3.42)$$

$$R_{\text{в}} = 0,366 \frac{135}{2} \left(\lg \frac{2 \cdot 2}{0,02} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 60,1 \text{ Ом}.$$

Приблизне число вертикальних заземлювачів при $\eta_{\text{в}} = 1$

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в.в.}}}, \quad (3.43)$$

$$n_{\text{в}} = \frac{60,1}{4 \cdot 1} \approx 15.$$

Коефіцієнт використання при розташуванні в один ряд

$$\frac{L_{\text{в}}}{l_{\text{д}}} = 1,$$

$$\eta_{\text{в.в.}} = 0,54 \text{ (т.7.5 [6])}.$$

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів

$$n_{\text{н.в.}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в.в.}}}, \quad (3.44)$$

$$n_{\text{н.в.}} = \frac{60,1}{4 \cdot 0,54} = 27,8 \approx 28.$$

Розрахунковий опір вертикальних заземлювачів без врахування горизонтального заземлювача

$$R_{\text{р.в}} = \frac{R_{\text{в}}}{n_{\text{н.в.}} \cdot \eta_{\text{в.в.}}}, \quad (3.45)$$

$$R_{p.в} = \frac{60,1}{28 \cdot 0,54} = 3,97 \text{ Ом.}$$

Довжина горизонтального заземлювача

$$L_{з.с.} = 1,05 \cdot L_{в} \cdot (n_{н.в.} - 1), \quad (3.46)$$

$$L_{з.с.} = 1,05 \cdot 2 \cdot (28 - 1) = 56,7 \text{ м.}$$

Опір горизонтального заземлювача

$$R_{г} = 0,366 \frac{2L_{з.с.}^2}{h_{з} \cdot b_{с}}, \quad (3.47)$$

$$R_{г} = 0,366 \frac{198}{56,7} \lg \frac{2 \cdot 56,7^2}{0,7 \cdot 0,04} = 6,85 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт використання

$$\eta_{в.г.} = 0,34 \text{ (т.7.6, [6]).}$$

Опір горизонтального заземлювача

$$R_{p.г.} = \frac{R_{г}}{n_{г} \cdot \eta_{в.г.}}, \quad (3.48)$$

$$R_{p.г.} = \frac{6,85}{1 \cdot 0,34} = 20,14 \text{ Ом.}$$

$$R_{p.в.г.} = \frac{1}{\frac{1}{R_{п.в.}} + \frac{1}{R_{п.г.}}}, \quad (3.49)$$

$$R_{p.в.г.} = \frac{1}{\frac{1}{3,97} + \frac{1}{20,14}} = 3,31 \text{ Ом.}$$

Загальний опір заземлення

$$R = \frac{R_{п} \cdot R_{p.в.г.}}{R_{п} + R_{p.в.г.}} < 4 \text{ Ом.} \quad (3.50)$$

$$R = \frac{9 \cdot 3,31}{9 + 3,31} = 2,42 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

Опір розтіканню струму в природному і штучному заземлювачах відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

3.7 Розрахунок компенсації реактивної потужності

Знижуючи величину реактивної потужності споживача можна зменшити величину струму електричної мережі і тим самим знизити в ній втрати напруги, потужності і електроенергії. Зниження струму в мережі дає можливість включити додаткову загрузку не збільшуючи встановлену потужність генераторів електростанції і не підвищуючи січення проводів, кабелів і інших струмоведучих частин мережі.

Підвищені коефіцієнти потужності – один із способів зниження втрат потужності в мережі.

Тому важливо, як для енергосистеми так і для споживачів знижувати споживання реактивної потужності і електроенергії. При цьому підвищується поточний коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}. \quad (3.51)$$

Як відомо, при номінальному навантаженні коефіцієнт потужності асинхронних двигунів складає 0,8-0,85, при цьому в короткозамкнутих двигунів він вищий, ніж у двигунів з фазовим ротором.

Зниження навантаження електродвигуна нижче номінальної призводить до зменшення коефіцієнта потужності, оскільки це супроводжується зниженням

активної потужності при незмінній реактивній потужності, визначеній в основному величиною потужності холостого ходу електродвигуна.

Вибір компенсуючого пристрою зводиться до визначення величини реактивної потужності, яка підлягає компенсації.

Потужність компенсаційної установки $tg\varphi_n = 0,17$

$$Q_{ky} = P_p (tg\varphi_p - tg\varphi_n), \quad (3.52)$$

$$Q_{ky} = 299 \cdot (0,71 - 0,17) = 161,5 \text{ кВАр}.$$

Вибираємо конденсаторну установку регульовану типу УК 05-0,4-120У3, напругою до 1 кВ регульована, має 5 ступеней керування, укомплектована конденсаторами 5:10:15:20:40 кВАр, тип УК05-0,4-120 У3.

Розрахункова потужність КТП з урахуванням компенсації реактивної потужності

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ky})^2}, \quad (3.53)$$

$$S_p = \sqrt{299^2 + (211,9 - 120)^2} = 305 \text{ кВА}.$$

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок струмів короткого замикання

В електроустановках металообробного цеху можуть виникати короткі замикання, що характеризуються різким підвищенням струму. Тому усе електрообладнання має перевірятись на дію струмів короткого замикання.

Схема заміщення подана на рисунку 4.1.

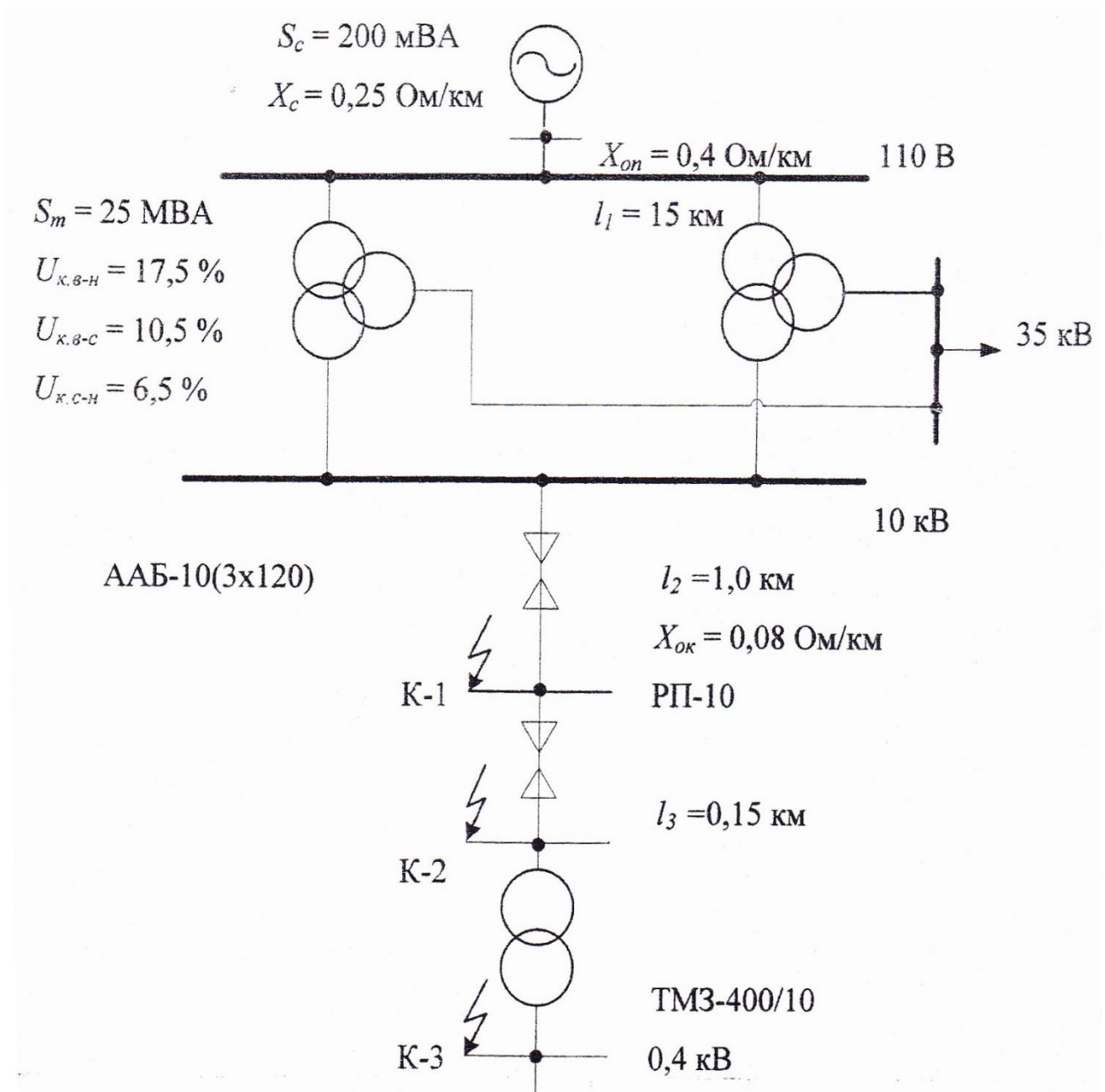


Рисунок 4.1 – Схема заміщення системи електропостачання

Розрахунки опорів елементів даної схеми (рис. 4.1) визначаємо у відносних базисних одиницях, і для цього задаємося базисними параметрами:

$$S_{\text{б}} = 100 \text{ МВА},$$

$$U_{\text{б}} = U_{\text{ср.п}} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$\text{Напруга (110 кВ)} \quad U_{\text{ср.п}} = 115 \text{ кВ},$$

$$X_{\text{ол}} = 0,4 \text{ Ом/км}.$$

Будуємо схему заміщення короткого замикання, у якій усі елементи позначені опорами (рис. 4.2).

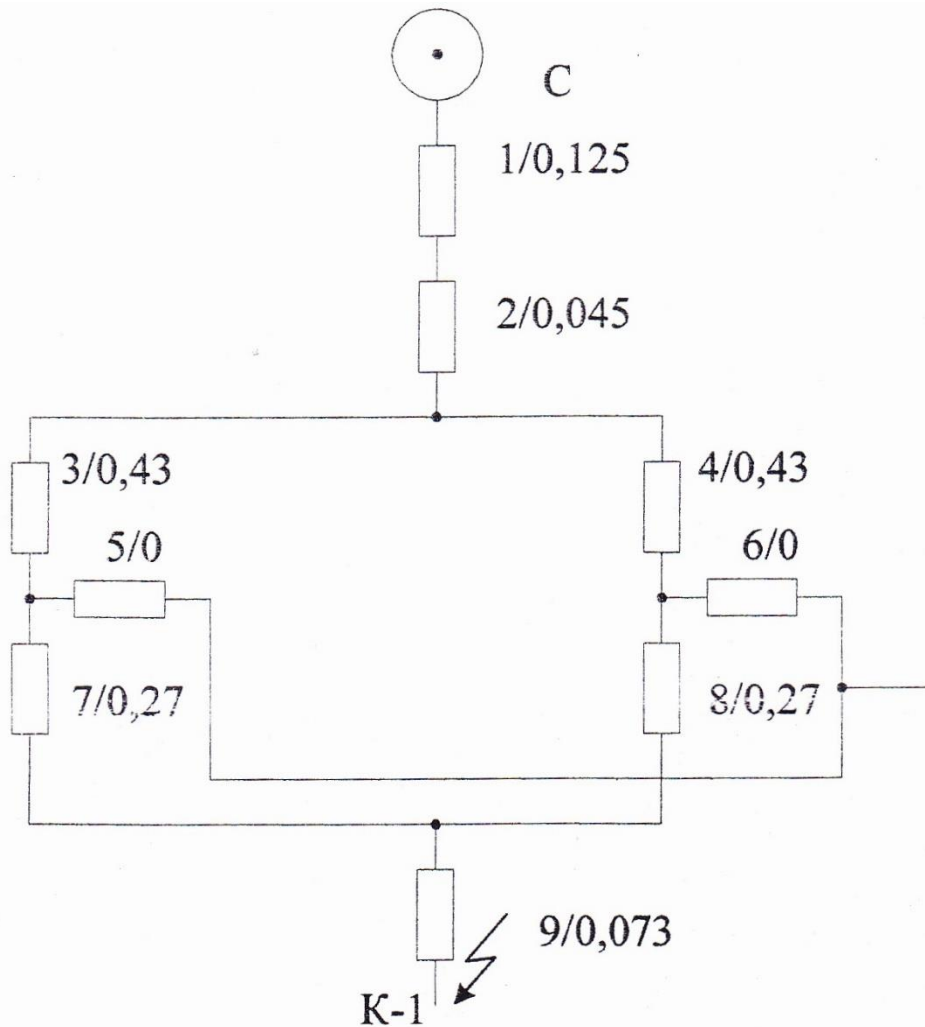


Рисунок 4.2 – Схема заміщення для розрахунку короткого замикання

Опір системи рівний

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_6}{S_c}, \quad (4.1)$$

$$X_1 = \frac{0,25 \cdot 100}{200} = 0,1250.$$

Визначаємо опір повітряної лінії 110 кВ

$$X_2 = \frac{X_{оп} \cdot l_1 \cdot S_6}{U_{сп.л.}^2}, \quad (4.2)$$

$$X_2 = \frac{0,4 \cdot 15 \cdot 100}{115^2} = 0,0450.$$

Розрахуємо опір обвиток трифазного трансформатора 25 МВА

$$U_{кв} = 0,5(U_{к.в-с} + U_{к.в-н} - U_{к.с-н}), \quad (4.3)$$

$$U_{кв} = 0,5(10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75 \%,$$

$$U_{кс} = 0,5(U_{к.в-с} + U_{к.с-н} - U_{к.в-н}), \quad (4.4)$$

$$U_{кс} = 0,5(10,5 + 6,5 - 17,5) = 0 \%,$$

$$U_{кн} = 0,5(U_{к.в-н} + U_{к.с-н} - U_{к.в-с}), \quad (4.5)$$

$$U_{кн} = 0,5(17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,750 \%,$$

$$X_3 = X_4 = \frac{U_{кв} \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.т}}, \quad (4.6)$$

$$X_3 = X_4 = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,430,$$

$$X_5 = X_6 = 0, \quad (3.7)$$

$$X_7 = X_8 = \frac{U_{кн} \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.т}}, \quad (3.8)$$

$$X_7 = X_8 = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{100}{20} = 0,270.$$

Опір кабельної лінії 10 кВ рівний

$$X_9 = \frac{X_{ок} \cdot l_2 \cdot S_6}{U_{сп}^2}, \quad (4.9)$$

$$X_9 = \frac{0,08 \cdot 1 \cdot 100}{10,5^2} = 0,0730.$$

$$r_9 = \frac{l_2}{\gamma_{ал} \cdot S} \cdot \frac{S_6}{U_{сп}^2}, \quad (4.10)$$

$$r_9 = \frac{1000}{32 \cdot 120} \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,240.$$

де $\gamma_{ал} = 32 \text{ м/Ом} \cdot \text{мм}^2$ – провідність алюмінію.

Результуючий опір

$$X_{рез} = X_1 + X_2 + \frac{X_3}{2} + \frac{X_7}{2} + X_9, \quad (4.11)$$

$$X_{рез} = 0,125 + 0,045 \frac{0,42}{2} + \frac{0,27}{2} + 0,073 = 0,5930,$$

$$r_{рез} = r_9 = 0,241,$$

$$Z_{роз} = Z_{рез} \cdot \frac{S_c}{S_6} < 3, \quad (4.12)$$

$$Z_{роз} = 0,64 \cdot \frac{200}{100} = 1,28 < 3.$$

Так як $Z_{роз} < 3$, то струм короткого замикання $I_{кз}$ визначаємо за кривими рис. 6.6, [9]

$$I'' \neq I_{\infty},$$

$$K_{t=0} = 0,720,$$

$$K_{t=\infty} = 0,880,$$

$$I_1'' = K_{t=0} \cdot I_{н.с}, \quad (4.13)$$

$$I_1'' = 0,72 \cdot 11 = 7,920 \text{ кА.}$$

$$I_{\infty 1} = K_{t=\infty} \cdot I_{н.с}, \quad (4.14)$$

$$I_{\infty 1} = 0,88 \cdot 11 = 9,680 \text{ кА}$$

$$I_{н.с} = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (4.15)$$

$$I_{н.с} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 11 \text{ кА.}$$

Ударний струм короткого замикання знаходимо з формули

$$i_{y1} = K_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_1'', \quad (4.16)$$

$$i_{y1} = 1,12 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,92 = 12,540 \text{ кА.}$$

$$K_{y1} = 1,12 \text{ при } \frac{x}{r} = \frac{0,593}{0,24} = 2,47 \text{ [7].}$$

Потужність короткого замикання рівна

$$S_{\kappa 1} = \sqrt{3} \cdot I_{p\infty} \cdot U_{cp}, \quad (4.17)$$

$$S_{\kappa 1} = \sqrt{3} \cdot 8,03 \cdot 10,5 = 146 \text{ MVA}.$$

Розраховуємо струм короткого замикання в точці К2.

Опір кабельної лінії від розподільчого пристрою РП-10 до ТП

$$X_{каб} = l_3 \cdot X_{ок} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2}, \quad (4.18)$$

$$X_{каб} = 0,15 \cdot 0,08 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,011.$$

$$r_{каб} = \frac{l_3}{\gamma \cdot S} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{cp}^2}, \quad (4.19)$$

$$r_{каб} = \frac{150}{32 \cdot 50} \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,085.$$

Знаходимо результуючий опір

$$X_{рез2} = X_{рез1} + X_{каб}, \quad (4.20)$$

$$X_{рез2} = 0,593 + 0,011 = 0,604,$$

$$r_{рез2} = r_{рез1} + r_{каб}, \quad (4.21)$$

$$r_{рез2} = 0,24 + 0,085 = 0,325,$$

$$Z_{рез2} = \sqrt{X_{рез}^2 + r_{рез}^2}, \quad (4.22)$$

$$Z_{рез2} = \sqrt{0,604^2 + 0,325^2} = 0,686.$$

Величина розрахункового опору рівна

$$Z_{рез2} = Z_{рез2} \cdot \frac{S_c}{S_{\bar{\sigma}}}, \quad (4.23)$$

$$Z_{pez2} = 0,686 \cdot \frac{200}{100} = 1,73 < 3.$$

Струм короткого замикання визначаємо за кривими [9]

$$K_{t=0} = 0,65,$$

$$K_{t=\infty} = 0,82,$$

$$I''_2 = K_{t=0} \cdot I_{н.с}, \quad (4.24)$$

$$I''_2 = 0,65 \cdot 11 = 7,15 \text{ кА}.$$

$$I_{\infty 2} = K_{t=\infty} \cdot I_{н.с}, \quad (4.25)$$

$$I_{\infty 2} = 0,82 \cdot 11 = 9,02 \text{ кА}.$$

$$I_{н.с} = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}, \quad (4.26)$$

$$I_{н.с} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 11 \text{ кА}.$$

Ударний струм короткого замикання знаходимо з формули

$$i_{y2} = K_{y2} \cdot \sqrt{2} \cdot I''_2, \quad (4.27)$$

$$i_{y2} = 1,18 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,15 = 11,93 \text{ кА},$$

$$K_{y2} = 1,18 \text{ при } \frac{x}{r} = \frac{0,604}{0,352} = 1,85. [7].$$

Потужність короткого замикання в точці К2

$$S_{к2} = \sqrt{3} \cdot I_{\infty} \cdot U_{cp}, \quad (4.28)$$

$$S_{к2} = \sqrt{3} \cdot 9,02 \cdot 10,5 = 164 \text{ МВА}.$$

Розраховуємо струм короткого замикання в точці К3.

Знайдемо опір двообвиткового трансформатора з параметрами $S_{н.м} = 400 \text{ кВА}$,
 $\Delta P_k = 5,5 \text{ кВт}$, $U_k = 4,5 \%$

$$r_{*m} = \frac{\Delta P_k}{S_{н.м}}, \quad (4.29)$$

$$r_{*m} = \frac{5,5}{400} = 0,0137.$$

$$X_{*m} = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - r_{*m}^2}, \quad (4.30)$$

$$X_{*m} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - 0,0137^2} = 0,047,$$

$$X_m = \frac{X_{*m} \cdot U_{cp}^2}{S_{н.м}}, \quad (4.31)$$

$$X_m = \frac{0,047 \cdot 400^2}{400} = 18,8 \text{ МОм},$$

$$r = r_m = \frac{r_{*m} \cdot U_{cp}^2}{S_{н.м}}, \quad (4.32)$$

$$r = r_m = \frac{0,0137 \cdot 400^2}{400} = 5,48 \text{ МОм}.$$

$$X_c = \frac{U_{cp}^2}{S_{к2}}, \quad (4.33)$$

$$X_c = \frac{400^2}{164 \cdot 10^3} = 0,97 \text{ МОм}.$$

$$X = X_c + X_m, \quad (4.34)$$

$$X = 0,97 + 18,8 = 19,77 \text{ МОм},$$

$$Z_{рез2} = \sqrt{X^2 + r^2}, \quad (4.35)$$

$$Z = \sqrt{19,77^2 + 5,48^2} = 20,5 \text{ МОм}.$$

Струм короткого замикання у точці КЗ

$$I_{к.з} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (4.36)$$

$$I_{н.с} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20,5} = 11,5 \text{ кА}.$$

Ударний струм короткого замикання

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{к.з}, \quad (4.37)$$

$$i_y = 1,42 \cdot \sqrt{2} \cdot 11,5 = 23,1 \text{ кА},$$

$$K_y = 1,42 \text{ при } \frac{x}{r} = \frac{19,3}{5,48} = 3,52, [7].$$

$$I'' = I_{\infty} = I_{к.з}.$$

Потужність короткого замикання в точці К3

$$S_{к} = \sqrt{3} \cdot I_{\infty} \cdot U_{cp}, \quad (4.38)$$

$$S_{к} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 11,5 = 7,97 \text{ МВА}.$$

Розрахунки струмів короткого замикання системи в точках К1, К2, К3 заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Струми короткого замикання у розрахункових точках

Розрахункова точка	$U_{cp}, \text{кВ}$	$I'', \text{кА}$	$I_{\infty}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$S_{к}, \text{МВА}$
К-1	10,5	7,92	9,68	12,54	146
К-2	10,5	7,15	9,02	11,93	164
К-3	10,5	11,5	11,5	23,1	7,97

4.2 Перевірка на стійкість до дії струмів короткого замикання електрообладнання КТП

Проведемо перевірку обладнання на динамічну і термічну стійкість до дії струмів короткого замикання за умовами

$$i_m = 25 \text{ кА} > i_y = 23,60 \text{ кА}$$

$$B_A = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_K = 71 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $B_A = I_{t=1}^2 \cdot t = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ – тепловий імпульс;

$$B_K = I_K^2 \cdot t_{\text{пр}} = 11,50 \cdot 0,540 = 71 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Умова витримується – обладнання РП-0,4 кВ динамічно і термічно стійке до дії струмів КЗ.

4.3 Розрахунок і вибір живильної електромережі

Розрахунок виконуємо на основі таблиці 3.2 розділу 3. Для живлення КТП від РП-10 приймаємо кабель марки ААБ.

Переріз визначимо по економічній густині струму

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}}, \quad (4.39)$$

$$S_{\text{ек}} = \frac{23,1}{1,6} = 14,51 \text{ мм}^2,$$

де $J_{\text{ек}} = 1,6 \text{ А/мм}^2$ [1] – економічна густина струму.

$$I_p = \frac{S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (4.40)$$

$$I_p = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,11 \text{ А}.$$

З таблиці [9] обираємо кабель ААБГ-10 3×16 з $I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$.

Кабель відповідає умові вибору

$$I_{\text{доп}} = 75 \text{ А} > I_p = 23,1 \text{ А.}$$

Проведемо перевірку на термічну стійкість до дії струмів короткого замикання.

Мінімальний поперечний переріз кабелю

$$S_{\text{мін}} = \alpha \cdot \sqrt{B_{\text{к}}}, \quad (4.41)$$

$$S_{\text{мін}} = 11 \cdot \sqrt{16,1} = 44,11 \text{ см}^2.$$

де $\alpha = 11$ – термічний коефіцієнт алюмінію;

$$B_{\text{к}} = I_{\infty}^2 = 8,03 \cdot 0,54 = 16,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{пр.а}} + t_{\text{пр.п}} = 0,04 + 0,5 = 0,541 \text{ с};$$

$$t_{\text{пр.а}} = 0,05 \cdot \beta''^2 = 0,05 \cdot 0,84^2 = 0,041 \text{ с};$$

$$t_{\text{пр.п}} = 0,5 \text{ с при } \beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}} = \frac{6,71}{8,03} = 0,841;$$

$$t_{\text{к}} = t_{\text{з}} + t_1, \quad (4.42)$$

$$t_{\text{к}} = 0,5 + 0,1 = 0,61 \text{ с},$$

де $t_{\text{з}} = 0,5 \text{ с}; t_1 = 0,1 \text{ с}.$

4.4 Розрахунок релейного захисту силового трансформатора

У якості пристрою релейного захисту пропонується використати РС80М2.

Пристрої захисту серії РС80М2 призначені для використання в схемах релейного захисту і протиаварійної автоматики. Можуть використовуватися для заміни електромеханічних реле РТ80, РТ90.

Особливістю є те, що живлення для виконання основних функцій захисту здійснюється від вхідного струму. Оперативне живлення 220 В (АС/DC)

вимагається для забезпечення функцій АПВ, ЗНЗ, дистанційного блокування відсічки і індикації для окремих виконань.

Основні функції для всіх виконань:

- струмова відсічка (СВ) з витримкою часу 70-100 мс або 150-200 мс по вибору з передньої панелі;
- МСЗ з незалежною і двома залежними характеристиками спрацьовування;
- можливість блокування СВ з передньої панелі або дистанційно;
- шунтування-дешунтування керованого кола.

Додаткові функції для окремих виконань:

- захист від замикань на землю - ЗНЗ;
- зберігання заданих з передньої панелі уставок і характеристик у вбудованій ФЛЭШ - пам'яті;
- функція АПВ і ЧАПВ;
- відключення від АЧР;
- світлодіодна індикація спрацьовування, у тому числі, що забезпечує індикацію протягом 12 годин після пропадання оперативного живлення та ін.

Усі види захисту змонтовані в релейному відсіку шафи РП-41 на ПС 110/35/10 кВ.

Розрахунок струмової відсічки.

Розрахуємо номінальні струми силового трансформатора

$$I_{н.в} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot 10}, \quad (4.43)$$

$$I_{н.в} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,11 \text{ А},$$

$$I_{н.н} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (4.44)$$

$$I_{н.н} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,0 \text{ А}.$$

Величина струму КЗ на стороні 10 кВ при КЗ на стороні 0,4 кВ

$$I'_{кз} = I_{кз} \cdot \frac{U_1}{U_2}, \quad (4.45)$$

$$I'_{кз} = 11,5 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,461 \text{ кА.}$$

Схема захисту виконана на пристрої РС80М2-8 при трьохфазному виконанні по схемі неповної зірки.

$$K_{сх} = 1; K_H = 1,3.$$

Струм спрацювання захисту

$$I_{с.з} = K_H \cdot I'_{кз}, \quad (4.46)$$

$$I_{с.з} = 1,3 \cdot 460 = 598 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле

$$I_{с.р} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з}}{n_{мс}}, \quad (4.47)$$

$$I_{с.р} = \frac{1 \cdot 598}{6} = 99,7 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{спр. СВ} = 99,7 \text{ А.}$

Чутливість захисту при короткому замиканні на стороні 10 кВ

$$K_{ч} = \frac{I_{к1.min}}{I_{с.з}} > 2, \quad (4.48)$$

$$K_{ч} = \frac{5,8}{0,598} = 10 > 2.$$

де $I_{к1.min} = 0,86I_{к1} = 0,86 \cdot 6,71 = 5,8 \text{ кА.}$

Розрахунок максимального струмового захисту.

$$I_{с.р} = \frac{K_H \cdot I_m}{K_{ноб}}, \quad (4.49)$$

$$I_{с.р} = \frac{1,2 \cdot 32}{0,9} = 43 \text{ А.}$$

де $I_m = 1,4 \cdot I_H = 1,4 \cdot 23,1 = 32 \text{ A}$;

$K_H = 1,2$ - коефіцієнт надійності для пристрою РС80М2-8;

$K_{нов} = 0,9$ - коефіцієнт повернення захисту РС80М2-8.

$$I_{с.р} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з}}{n_{мс}}, \quad (4.50)$$

$$I_{с.р} = \frac{1 \cdot 43}{6} = 7,2 \text{ A.}$$

$I_{ср. МСЗ}$ приймаємо рівним 8 А

Чутливість захисту

$$K_{ч} = \frac{I_{к1.min}}{I_{с.з}} \quad (4.51)$$

$$K_{ч} = \frac{0,51}{0,043} = 11,86.$$

де $I_{к2.min} = 0,86 I'_{кз} = 0,86 \cdot 596 = 510 \text{ A}$.

$$I'_{к2} = I_{к2} \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad (4.52)$$

$$I'_{к2} = 14,9 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,596 \text{ кА} = 596 \text{ A.}$$

Витримка часу

$$t_{с.з} = t'_{с.з} + \Delta t, \quad (4.53)$$

$$t_{с.з} = 0,6 + 0,7 = 1,3 \text{ с.}$$

Захист від перенавантаження.

$$I_{с.з} = \frac{1,05 \cdot I_{нм}}{K_{нов}}, \quad (4.54)$$

$$I_{с.з} = \frac{1,05 \cdot 23,1}{0,9} = 27 \text{ A,}$$

$$I_{с.р} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з}}{n_{мс}}, \quad (4.55)$$

$$I_{c.p} = \frac{1 \cdot 27}{6} = 4,5 \text{ A.}$$

$$t_{c.з} = t_{c.з.m} + \Delta t, \quad (4.56)$$

$$t_{c.з} = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ с.}$$

Для газового захисту приймаємо спеціальний газовий захист з двоступінчастою дією: 1 ступінь – на сигнал, 2 ступінь – на включення трансформатора [10].

Для захисту від внутрішніх пошкоджень встановлюємо газове реле типу ПГ-22 з дією включення і сигнал.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Оптимізація режимів реактивної потужності з метою мінімізації втрат електроенергії в системі електропостачання електромеханічного заводу

Оптимальне розташування компенсуючих пристроїв (КП) в електричній мережі заводу з математичної точки зору зводиться до знаходження такого вектору змінних (потужності КП), який забезпечує мінімум функції мети, яка відображає критерій якості системи. Якщо в якості функції мети використати рокові розрахункові затрати на устаткування КП і оплату втрат електричної енергії, пов'язані з передачею реактивної потужності (РП) до місця споживання, то задача оптимального розміщення КП буде являти собою задачу нелінійного (квадратичного) програмування. Вирішення цієї задачі суттєво впливає на техніко-економічні параметри роботи системи електроспоживання промислового підприємства (СЕПП). Рівень компенсації реактивних навантажень і розміщення джерел реактивної потужності в електричній мережі заводу безпосередньо пов'язані з питаннями поліпшення якості напруги, економії електроенергії, збільшення пропускної здатності ліній, трансформаторів і інших елементів мережі. Поставлена задача може бути сформульована наступним чином. Необхідно знайти значення аргументів, при яких забезпечується мінімум функції розрахункових затрат виду:

$$\begin{aligned}
 Z(\bar{Q}) = & p \sum_{i=1}^n \Delta K_i \cdot Q_i + C_0 \left[\sum_{i=1}^n (\Delta P_{K_i} \cdot Q_i + a_i \cdot Q_i^2 + b_i \cdot Q_i) + a_c \cdot Q_c^2 + b_c Q_c + \right. \\
 & \left. + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{(Q_{ni} - Q_i) \cdot (Q_{nj} - Q_j)}{U^2 \cdot 10^3} \cdot R_{ij} \right], \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

де n – кількість вузлів схеми в котрих прогнозується установка КП;

i, j – індекси змінних, значення яких відповідає номерам вузлів;

$$P = P_n + P_a + P_e, \quad (5.2)$$

де p_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

p_a, p_e – коефіцієнти амортизаційних відрахувань і експлуатаційних затрат,

відповідно;

ΔK_i – питома вартість батареї статичних конденсаторів у відповідному вузлі схеми;

Q_i – потужність КП у відповідному вузлі;

C_0 – питома вартість втрат активної потужності;

$$C_0 = (\alpha \cdot K_M + \mu \cdot \tau) \cdot \varphi. \quad (5.3)$$

При відсутності відомостей про значення C_0 можна використовувати вираз:

$$C_0 \approx T \cdot \beta, \quad (5.4)$$

де T – число годин роботи КП за рік;

β – питома вартість втраченої електроенергії;

φ – коефіцієнт, що враховує затрати на розширення електричних мереж, що в свою чергу пояснюється передачею додаткової потужності для покриття втрат активної потужності;

K_M – відношення втрат активної потужності СЕПП в момент максимуму активного навантаження енергосистеми до середніх втрат активної потужності СЕПП;

μ – собівартість електроенергії на шинах електростанцій;

α – питомі втрати, що зумовлені розширенням електростанцій енергосистеми для покриття втрат активної потужності;

τ – число годин втрат електроенергії за рік в середньому;

ΔP_{ki} – питомі втрати активної потужності в конденсаторних батареях відповідного вузла;

a_i, b_i - коефіцієнти апроксимації кривої втрат активної потужності в синхронних двигунах відповідного вузла;

a_c, b_c - постійні коефіцієнти функції додаткових втрат активної потужності в мережі енергосистеми при заміні її еквівалентним джерелом реактивної потужності;

(5.5)

де δ – друга похідна від додаткових втрат активної потужності в енергосистемі (ΔP_e) за значенням реактивної потужності, що передається даному підприємству;

$$a_c = \frac{\delta}{2};$$

$$b_c = \sigma_0,$$

σ_0 - значення першої похідної функції додаткових втрат при $Q = Q_0$ (Q – значення РП, що споживається заводом з енергосистеми).

Значення δ та σ_0 обумовлюються енергосистемою, виходячи з умов оптимальності режиму роботи її мережі

$$\Delta P_e = b_c \cdot Q + a_c \cdot Q^2; \quad (5.6)$$

$$\sigma = \frac{\partial \Delta P_e}{\partial Q} = b_c + 2a_c \cdot Q; \quad (5.7)$$

$$\delta = \frac{\partial^2 \Delta P_e}{\partial Q^2} = 2a_c, \quad (5.8)$$

де Q_{ni} – реактивна потужність навантаження у відповідному вузлі схеми;

U – середня напруга високовольтної мережі СЕПП;

R_{ij} – власні і взаємні опори вузлів схеми, приведені до середньої напруги високовольтної розподільчої мережі.

Під власним опором вузла схеми розуміють суму опорів, що лежать на шляху струму від балансного (нульового) вузла до даного вузла схеми (R_{ij} при $i = j$). Взаємним опором (R_{ij} при $i \neq j$) вважається сума опорів, що є загальною частиною шляху струму від балансного вузла до двох даних вузлів схеми (i -й та j -й вузли).

Вираз (5.1) можна розглядати як частинний випадок математичної моделі СЕПП. Формулювання задачі виглядає наступним чином: визначити числові значення потужностей компенсуючих пристроїв в вузлах схеми, що забезпечують мінімум

річних розрахункових затрат при врахуванні обмежень, що накладаються на змінні

$$\left. \begin{aligned} Z(\bar{Q}_{kn}) &\rightarrow \min \\ B_i &\geq Q_{kni} \geq A_i, i = 1, n \\ \sum_{i=1}^n Q_{kni} &= Q_{kn\Sigma} \end{aligned} \right\}, \quad (5.9)$$

де \bar{Q}_{kn} - вектор керованих змінних;

\bar{Q}_{kni} - потужність КП в даному вузлі схеми.

У такій постановці цільова функція (5.1) представляє собою деяку поверхню в n -мірному просторі. Дослідження показали, що n -мірна функція, яка описує оптимальне розподілення компенсуючих пристроїв в електричній мережі підприємства, залишається строго випуклою [4]. На основі вищесказаного можна зробити висновок, що цільова функція гладка, має один неявно виражений екстремум.

Рішення цієї задачі достатньо ефективно знаходиться при використанні методу спряженого градієнта в поєднанні з методом штрафних функцій.

Основою для вибору методу оптимізації послужило наступне:

1. Метод найбільш повно відповідає постановці задачі;
2. Метод відрізняється високою точністю розрахунку змінних і виконання обмежень;
3. Процес пошуку екстремуму цільової функції має достатньо високу результативність незалежно від заданого початкового наближення.

Рішення задачі оптимальної компенсації реактивної потужності в системі енергопостачання заводу передбачає наявність наступних початкових даних:

1. Електрична схема електропостачання заводу з нанесеними на неї високовольтними синхронними двигунами (СД);
2. Тип кожного СД і його характеристики;

3. Графіки споживання реактивної потужності для усіх живлячих ліній і підстанцій;
4. Економічно обумовлена найбільша величина РП, яка може бути передана з енергосистеми підприємству в режимі її максимальних активних навантажень;
5. Визначена за технічними умовами найменша величина РП, яка може бути передана з енергосистеми підприємству в режимі її мінімальних активних навантажень;
6. Визначені для режиму максимального реактивного навантаження заводу значення першої та другої похідної від сумарних втрат активної потужності в мережах енергосистеми за величиною реактивного навантаження заводу [1];
7. Технічні параметри живлячих ліній;
8. Години максимуму і мінімуму активного навантаження енергосистеми.

Підготовка початкових даних починається з опрацювання схеми електропостачання заводу і складання її схеми заміщення. При цьому враховуються тільки активні опори елементів схеми.

Трансформатор вводиться в схему заміщення опором

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2}{S_{н.т}} \cdot 10^3. \quad (5.10)$$

Лінія вводиться в схему заміщення опором

$$R_{л} = R_0 \cdot l. \quad (5.11)$$

Всі опори приводяться до сумарної наруги високовольтної розподільчої мережі заводу, прийнятому в якості базового.

$$R_{пр} = R_{факт} \cdot \frac{U^2_{баз}}{U^2_{факт}}. \quad (5.12)$$

Наступним етапом опрацювання схеми є нумерація її вузлів. Ця операція виконується за поколінням направленої графу, яким є електрична мережа системи електропостачання заводу.

Приклад нумерації вузлів схеми приведений на рис. 5.1

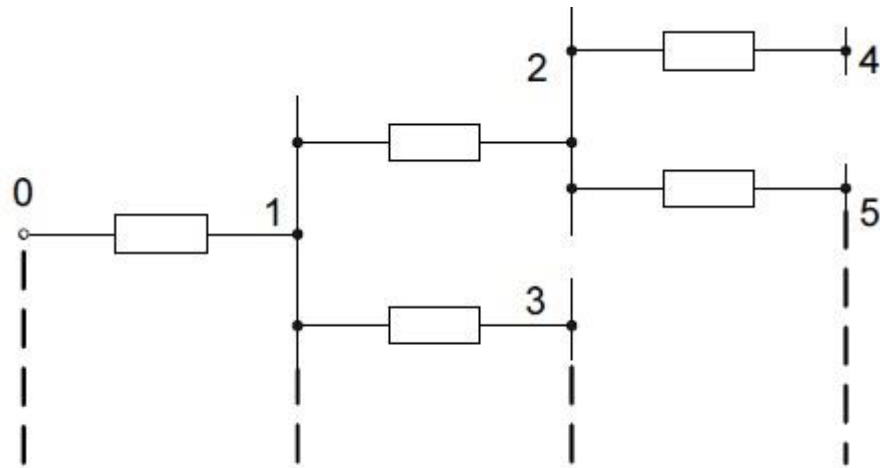


Рисунок 5.1 – Нумерація вузлів схеми заміщення

Реактивні навантаження в вузлах схеми зображаються їх середньорічними значеннями, а при розрахунку регулювання КП – середньозмінними величинами, що визначають за добовими графіками.

Усього до оптимального розподілення компенсуючих пристроїв по мінімуму затрат в схемі електропостачання розглядалось 22 вузли, на стороні напругою 10 кВ і 0,4 кВ.

Оцінка економічної ефективності впровадження оптимального режиму компенсації реактивних навантажень проводиться порівнянням річних розрахункових затрат при існуючому і оптимальному режимах компенсації

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_{\text{існ}} - \mathcal{Z}_{\text{опт}}, \quad (5.13)$$

$$\mathcal{Z}_{\text{існ}} = C_0 \cdot (\Delta P_{\text{бк}} + \Delta P_{\text{СД}} + \Delta P_{\text{мережі}}), \quad (5.14)$$

$$\mathcal{Z}_{\text{опт}} = P_n \cdot K_{\text{дод}} + C_0 \cdot (\Delta P'_{\text{бк}} + \Delta P'_{\text{СД}} + \Delta P'_{\text{мережі}}), \quad (5.15)$$

де $\Delta P_{\text{бк}}$, $\Delta P'_{\text{бк}}$ - середні втрати за рік активної потужності в конденсаторних батареях до і після оптимізації;

ΔP_{CD} , $\Delta P_{CD}'$ - середні втрати за рік активної потужності в синхронних двигунах до і після оптимізації;

$\Delta P_{мережі}$, $\Delta P_{мережі}'$ - середні втрати за рік активної потужності в елементах електричної мережі до і після оптимізації;

$K_{дод}$ - капіталовкладення в установку додаткових конденсаторних батарей.

Величина економічного ефекту (грн./рік) в період окупності додаткових капіталовкладень може бути визначена за виразом

$$E' = C_0 \cdot [(\Delta P_{\text{бк}} - \Delta P'_{\text{бк}}) + (\Delta P_{CD} - \Delta P'_{CD}) + (\Delta P_{\text{мережі}} - \Delta P'_{\text{мережі}})] - p_n \cdot K_{\text{дод}} \cdot (5.16)$$

Період окупності додаткових капіталовкладень

$$T_{ок} = \frac{K_{\text{дод}}}{E'} \cdot (5.17)$$

По закінченню терміну окупності величину економічного ефекту можна визначити, якщо використати наступний вираз

$$E = C_0 \cdot [(\Delta P_{\text{бк}} - \Delta P'_{\text{бк}}) + (\Delta P_{CD} - \Delta P'_{CD}) + (\Delta P_{\text{мережі}} - \Delta P'_{\text{мережі}})] \cdot (5.18)$$

Таким чином річний економічний ефект складає:

$$Z = Z_{\text{існ}} - Z_{\text{опт}} = 285241.94 - 185743.52 = 99498.42 \text{ грн.}$$

При цьому вартість електричної енергії C_0 у виразі (5.18) за даними Обленерго для електричних мереж напругою до 27,5 кВ складає 2,89 грн за кВт год

Якщо на діючому заводі знаходиться достатня кількість джерел реактивної потужності і додаткових капіталовкладень на їх придбання не потрібно, тоді достатньо в цільовій функції (5.1) нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень p_n прирівнювати до нуля і оптимальне розподілення компенсуючих пристроїв в вузлах системи електропостачання буде здійснюватися по мінімуму електричних втрат в системі електропостачання заводу.

5.2 Визначення оптимальної компенсації реактивної потужності у металообробному цеху на основі порівняння декількох варіантів компенсуючих установок

Порівняно з нерегульованими шунтовими конденсаторними батареями установки ступінчастого регулювання дозволяють підтримувати в певних межах задане значення того параметра, на який настроєний вимірювальний орган блока керування. Хоча недоліком є те, що неможливо точно регулювати параметр, бо потужність батареї змінюється дискретно, збільшуючись або зменшуючись відразу на значення потужності однієї секції.

В залежності від характеру графіка реактивної потужності намітимо два варіанти компенсації реактивної потужності:

1. Джерело реактивної потужності – конденсаторна установка напругою до 1 кВ регульована, має 5 ступеней керування, укомплектована конденсаторами 5:10:15:20:40 кВАр, тип УК05-0,4-120 УЗ.

2. Джерело реактивної потужності – конденсаторна установка напругою до 1 кВ регульована, має 3 ступені потужністю 37,5 кВАр, тип УКМ-0,4-112,5-37,5 УЗ

Отже, необхідно обрати такий варіант компенсації реактивної потужності, при якому буде найменша вартість втрат електроенергії. Зобразимо добові графіки реактивних навантажень механічного цеху і покажемо ступінь компенсації реактивної потужності.

Розрахуємо перший варіант (в роботі конденсаторна установка УК 05-0,4-120 У3).

Вхідні дані: Сумарний опір трансформатора – 28 Ом, найбільша реактивна потужність цеху – 161,5 кВар

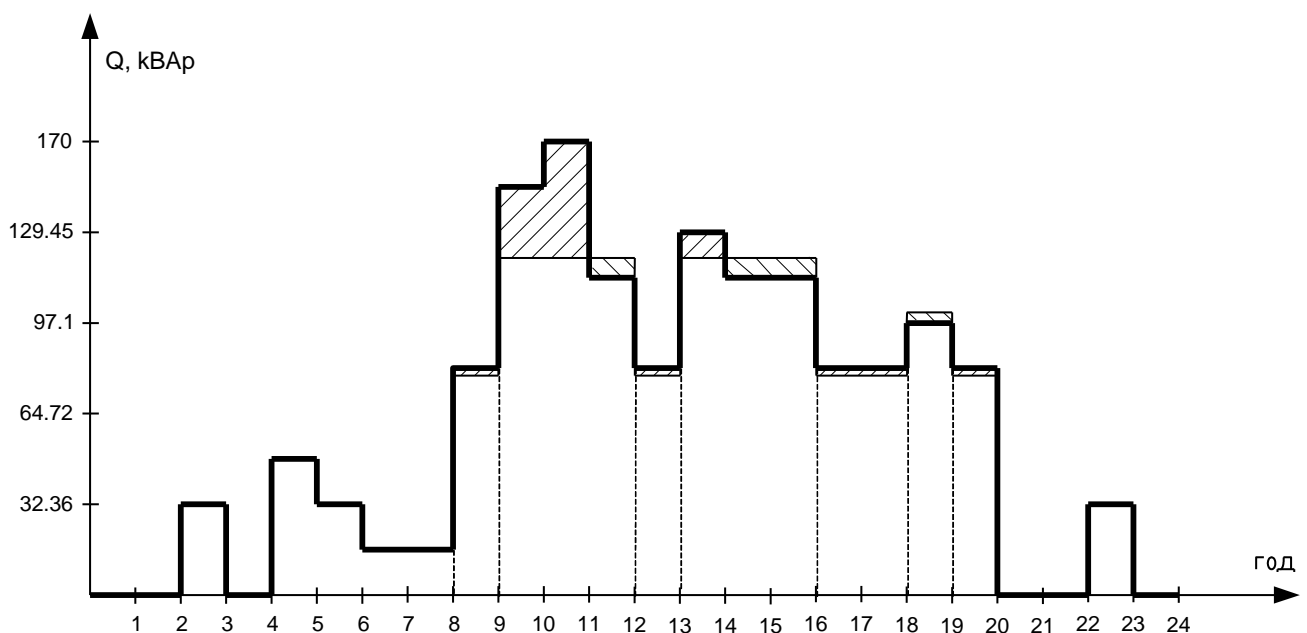


Рисунок 5.2 – Варіант компенсації реактивної потужності конденсаторною установкою УК05-0,4-120У3

Визначимо величину додаткових втрат активної потужності в лінії та трансформаторі при передачі підприємству найбільшого реактивного навантаження

$$\Delta P_M = \frac{R}{U^2} \cdot 10^3 \cdot Q^2 = \frac{28}{10^2} \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 2,8 \text{ кВт} \quad (5.19)$$

Визначимо поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення вартості втрат

$$\delta = 1 + 0,02 \cdot \Delta E \quad (5.20)$$

де ΔE - сума втрат у відсотках від електричної енергії, що передається по мережам електростанцій системи підприємству. Для мереж 10 кВ $\Delta E = 5,7\%$

$$\delta = 1 + 0,02 \cdot \Delta E = 1 + 0,02 \cdot 5,7 = 1,114$$

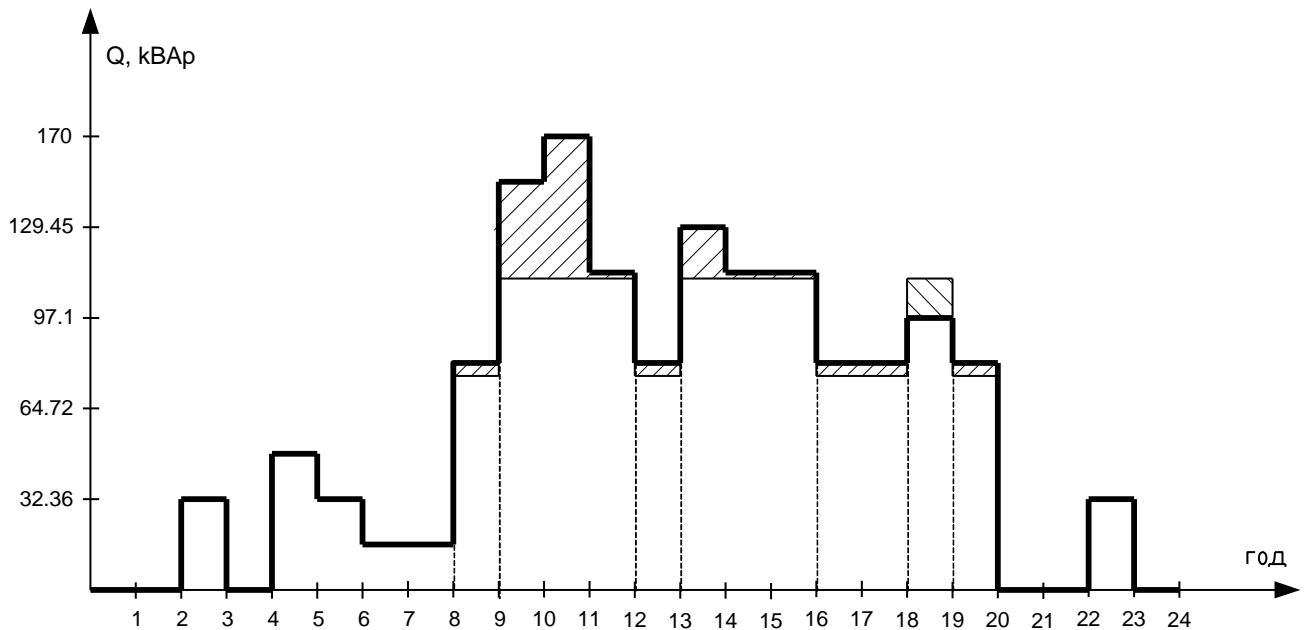


Рисунок 5.3 – Варіант компенсації реактивної потужності конденсаторною установкою УКМ-0,4-112,5-37,5 УЗ

Визначаємо для графіка реактивних навантажень підприємства:

$$F_m = \sum_{l=1}^L Q_l^2 \cdot t_l \quad (5.21)$$

де Q_l - висота ступені графіка реактивної потужності;

t_l - ширина ступені графіка реактивної потужності;

L - загальна кількість ступеней графіка реактивної потужності.

$$F_m = 0^2 \cdot 2 + 20^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 1 + 30^2 \cdot 1 + 20^2 \cdot 1 + 10^2 \cdot 2 + 50^2 \cdot 1 + 90^2 \cdot 1 + 100^2 \cdot 1 + 70^2 \cdot 1 + \\ + 50^2 \cdot 1 + 80^2 \cdot 1 + 70^2 \cdot 2 + 50^2 \cdot 2 + 60^2 \cdot 1 + 50^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 2 + 20^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 1 = 57600 \text{ кВар}^2 \cdot \text{год}$$

Визначимо число втрат для реактивних навантажень підприємства

$$\tau = \frac{\sum_{m=1}^M N_m \cdot F_m}{Q_M^2} = \frac{57600 \cdot 365}{170^2} = 727,5 \text{ год} \quad (5.22)$$

Визначимо питому вартість найбільших додаткових втрат активної потужності в лінії та трансформаторах, при передачі реактивної потужності підприємству:

$$C_0 = \delta \cdot (\alpha \cdot K_M + \beta \cdot \tau) = 1,114 \cdot (245,5 \cdot 0,58 + 2,89 \cdot 727,5) = 2500,8 \text{ грн / кВтм} \quad (5.23)$$

Визначимо вартість додаткових втрат активної потужності:

$$C = C_0 \cdot \Delta P_M = 2500,8 \cdot 2,8 = 7002 \text{ грн} \quad (5.24)$$

Далі проводимо розрахунки з урахуванням дії компенсуючих пристроїв.

Визначаємо для графіка реактивних навантажень цеху:

$$\begin{aligned} F = & 0^2 \cdot 2 + 20^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 1 + 30^2 \cdot 1 + 20^2 \cdot 1 + 10^2 \cdot 2 + (80,91 - 80)^2 \cdot 1 + \\ & +(145,63 - 120)^2 \cdot 1 + (169,81 - 120)^2 \cdot 1 + (113,27 - 120)^2 \cdot 1 + (80,91 - 80)^2 \cdot 1 + \\ & +(129,45 - 120)^2 \cdot 1 + (113,27 - 120)^2 \cdot 2 + (80,91 - 80)^2 \cdot 2 + (97,09 - 100)^2 \cdot 1 + \\ & +(80,91 - 80)^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 2 + 20^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 1 = 5717 \text{ кВАр}^2 \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Величина найбільшого реактивного навантаження цеху, з урахуванням дії компенсуючих пристроїв $Q_M = 161,5 - 120 = 41,5 \text{ кВАр}$.

Визначимо число втрат для реактивних навантажень цеху

$$\tau = \frac{5717 \cdot 365}{41,5^2} = 887,11 \text{ год} \quad (5.25)$$

Визначимо величину додаткових втрат активної потужності в лінії та трансформаторі при передачі підприємству найменшого реактивного навантаження:

$$\Delta P_M = \frac{R}{U^2} \cdot 10^3 \cdot Q^2 = \frac{28}{10^2} \cdot 10^3 \cdot 0,048^2 = 0,645 \text{ кВт} \quad (5.26)$$

Визначимо питому вартість найбільших додаткових втрат активної потужності в лінії та трансформаторах, при передачі реактивної потужності підприємству:

$$C_0 = 1,114 \cdot (240,5 \cdot 0,002 + 2,89 \cdot 887,11) = 2698,4 \text{ грн / кВт} \quad (5.27)$$

Визначимо вартість додаткових втрат активної потужності:

$$C = C_0 \cdot \Delta P_M = 2698,4 \cdot 0,645 = 1740,5 \text{ грн} \quad (5.28)$$

Врахуємо вартість втрат електроенергії в конденсаторах БК:

$$\Delta P_{БК} = 3,5 \cdot 0,03 = 0,105 \text{ кВт} \quad (5.29)$$

де 3,5-питомі втрати активної потужності в конденсаторах згідно ГОСТ 1282-72

$$\tau_{БК} = 12 \cdot 365 = 4380 \text{ год} \quad (5.30)$$

$$K_M = 1$$

$$C_{0БК} = 1,114 \cdot (240,5 \cdot 1 + 2,89 \cdot 4380) = 13588,4 \text{ грн / кВт} \quad (5.31)$$

$$C_{БК} = 13588,4 \cdot 0,105 = 1426,8 \text{ грн} \quad (5.32)$$

Вартість сумарних втрат:

$$C = 1740,5 + 1426,8 = 3167,3 \text{ грн} \quad (5.33)$$

Економія в вартості втрат електроенергії при встановлюванні БК:

$$\Delta C = 6639 - 3167,3 = 3471,7 \text{ грн (або 57\%)} \quad (5.34)$$

Аналогічно проведемо розрахунки для другого варіанту, а результати зведемо до таблиці 5.1.

Отже, найбільш вигідним є використання конденсаторної установки регульованої типу УК 05-0,4-120УЗ. Регулювання даної установки здійснюється за реактивною потужністю.

Таблиця 5.1 – Порівняння ефективності застосування КУ

Тип конденсаторної установки	Втрати активної потужності, кВт	Сумарна вартість втрат, грн	Економія, грн
Без застосування КУ	2,8	19002	-
УК 05-0,4-120 УЗ	0,645	3167	3472 (57%)
УКМ-0,4-112,5-37,5 УЗ	0,645	3300	3370 (51%)

6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Економічне обґрунтування інженерно-технічних рішень

Проводимо економічне порівняння двох варіантів вибору числа і потужності трансформаторів.

Технічні дані трансформаторів заносимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Технічні дані трансформаторів

Число і потужність, кВА	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	I_0 , %	U_k , %	K_3	Вартість, грн.
1×400	0,95	5,5	2,1	4,5	0,78	91000
2×250	1,05	4,2	3,68	4,7	0,63	130000

Розрахунок ведемо паралельно для двох варіантів.

Втрати реактивної потужності

$$\Delta Q_{x1} = S_{n1} \cdot \frac{I_{x1}}{100}, \quad (6.1)$$

$$\Delta Q_{x1} = 400 \frac{2,1}{100} = 8,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{x2} = S_{n2} \cdot \frac{I_{x2}}{100}, \quad (6.2)$$

$$\Delta Q_{x1} = 250 \frac{3,68}{100} = 15,95 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{k1} = S_{n1} \cdot \frac{U_{k1}}{100}, \quad (6.3)$$

$$\Delta Q_{k1} = 400 \frac{4,5}{100} = 18 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{k2} = S_{n2} \cdot \frac{U_{k2}}{100}, \quad (6.4)$$

$$\Delta Q_{k1} = 250 \frac{4,7}{100} = 11,75 \text{ кВтм}.$$

Приведені втрати активної потужності

$$\Delta P'_{x1} = \Delta P_{x1} + K \cdot \Delta Q_{x1}, \quad (6.5)$$

$$\Delta P'_{x1} = 0,95 + 0,05 \cdot 8,4 = 1,37 \text{ кВтм},$$

$$\Delta P'_{x2} = \Delta P_{x2} + K \cdot \Delta Q_{x2}, \quad (6.6)$$

$$\Delta P'_{x1} = 1,05 + 0,05 \cdot 15,95 = 1,85 \text{ кВтм},$$

$$\Delta P'_{k1} = \Delta P_{x1} + K \cdot \Delta Q_{k1}, \quad (6.7)$$

$$\Delta P'_{k1} = 5,5 + 0,05 \cdot 18 = 6,4 \text{ кВтм},$$

$$\Delta P'_{k2} = \Delta P_{k2} + K \cdot \Delta Q_{k2}, \quad (6.8)$$

$$\Delta P'_{k1} = 4,2 + 0,05 \cdot 11,75 = 4,8 \text{ кВтм},$$

де $K = 0,05$ – коефіцієнт приведених втрат.

Річні втрати електричної енергії

$$\Delta E = n \cdot T_g \cdot (\Delta P'_{x1} + K^2 \cdot \Delta P'_{k1}), \quad (6.9)$$

$$\Delta E_1 = 1 \cdot 8760 \cdot (1,37 + 0,78^2 \cdot 6,4) = 46990 \text{ кВтм} \cdot \text{год},$$

$$\Delta E_2 = 2 \cdot 8760 \cdot (1,85 + 0,63^2 \cdot 4,8) = 65790 \text{ кВтм} \cdot \text{год},$$

де $T_g = 8760 \text{ год}$ – час роботи трансформатора в рік.

Вартість втрат електричної енергії при $C_0 = 2,89 \text{ грн./кВтм} \cdot \text{год}$

$$C_{\text{втр}1} = C_0 \cdot \Delta E_1, \quad (6.10)$$

$$C_{\text{втр}1} = 2,89 \cdot 46991 = 135804 \text{ грн.},$$

$$C_{\text{втр}2} = C_0 \cdot \Delta E_2, \quad (6.11)$$

$$C_{\text{втр}2} = 2,89 \cdot 65790 = 190133,1 \text{ грн.}$$

Капітальні затрати

$$K_1 = 1 \cdot 91000 = 91000 \text{ грн.}$$

$$K_2 = 2 \cdot 65000 = 130000 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування при $P_a = 6,3\%$

$$C_{a1} = P_a \cdot K_1, \quad (6.12)$$

$$C_{a1} = 0,063 \cdot 91000 = 5733 \text{ грн.},$$

$$C_{a2} = P_a \cdot K_2, \quad (6.13)$$

$$C_{a2} = 0,063 \cdot 130000 = 8190 \text{ грн.}$$

Річні втрати

$$C_1 = C_{a1} + C_{втр1}, \quad (6.14)$$

$$C_1 = 5733 + 135804 = 141537 \text{ грн.}$$

$$C_2 = C_{a2} + C_{втр2}, \quad (6.15)$$

$$C_2 = 8190 + 190133 = 198323 \text{ грн.}$$

Загальні річні втрати

$$Z_1 = \rho_k \cdot K_1 + C_1, \quad (6.16)$$

$$Z_1 = 0,125 \cdot 91000 + 141537 = 152912 \text{ грн.},$$

$$Z_2 = \rho_k \cdot K_2 + C_2, \quad (6.17)$$

$$Z_2 = 0,125 \cdot 130000 + 198323 = 214573 \text{ грн.}$$

Так як по капітальним і річним втратам другий варіант являється дорожчим, то з економічної точки зору більш сприйнятливішим являється перший варіант. До установки на ТП приймаємо один трансформатор потужністю 400 кВА.

Визначаємо річний економічний ефект:

$$E = (K_2 + C_2) - (K_1 + C_1) = 328323 + 232537 = 95786 \text{ грн.}$$

Вибираємо перший варіант як доцільніший, тому що сумарні експлуатаційні затрати менші і річний економічний ефект від його застосування рівний 95786 грн.

6.2 Економічна ефективність від проведення модернізації системи електропостачання металообробного цеху

Кошторисна вартість модернізації подана у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Витрати на придбання обладнання і матеріали

№ з/п	Найменування обладнання	Одиниця вимірювання	Кількість	Вартість одиниці обладнання, грн.	Вартість всього, грн.
1	2	3	4	5	6
1	Силовий трансформатор	шт.	1	91000	91000
2	Вимикач вакуумний	шт.	1	65000	65000
3	Автомат ВА57-39	шт.	1	4000	4000
4	Автомат ВА57-35	шт.	3	1400	4200
5	Автомат ВА57-31	шт.	41	900	36900
6	Трансформатор струму	шт.	3	1400	4200

Продовження таблиці 6.2.

1	2	3	4	5	6
7	Трансформатор напруги	<i>шт.</i>	1	3600	3600
8	Реле струму	<i>шт.</i>	2	470	940
9	Реле проміжне	<i>шт.</i>	3	220	660
10	Реле часу	<i>шт.</i>	2	330	660
11	Пакетний вимикач	<i>шт.</i>	2	680	1360
12	Компенсуючий пристрій	<i>шт.</i>	1	27900	27900
13	Лічильник SL7000 Smart	<i>шт.</i>	1	12500	12500
Всього					252920

Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт складе приблизно 3% від вартості устаткування.

$$K_{м.п.н.} = 252920 \cdot 0,03 = 7587 \text{ грн.}$$

Вибір нового устаткування визначається мінімальними приведеними витратами:

$$Z = E \cdot \sum K + \sum I, \quad (6.18)$$

де E - нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $E = 0,15$;

$\sum K$ - капіталовкладення на устаткування, *грн.*;

$\sum I$ - річні експлуатаційні витрати, *грн.*

$$\sum K = 252920 \text{ грн.}$$

Друга складова розрахункових витрат - річні експлуатаційні витрати - визначається з виразу:

$$\sum I = \frac{P_a}{100} \cdot \sum K, \quad (6.19)$$

де P_a - норма амортизації ($P_a = 3,7\%$);

$$\sum I = \frac{3,7}{100} \cdot 252920 = 9358 \text{ грн.}$$

$$З = 0,15 \cdot 252920 + 9358 = 47296 \text{ грн.}$$

Визначення коефіцієнта ефективності і терміну окупності.

Час, за який економія коштів від встановлення нового трансформатора покриє витрати на придбання обладнання, називається терміном окупності.

Його можна визначити за формулою

$$T = \frac{\sum K - K_{\text{Л}} + K_{\text{м,п-н.}}}{\Delta C_p - \sum I}, \quad (6.20)$$

де T – термін окупності;

$K_{\text{Л}}$ - вартість старих трансформаторів (130000 грн.);

$$T = \frac{252920 - 130000 + 7587}{95786 - 9358} = 1,5 \text{ років,}$$

Нормальний термін окупності

$$T_n = \frac{1}{E_n}, \quad (6.21)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $E_n = 0,15$.

$$T_n = \frac{1}{0,15} = 6,66 \text{ років.}$$

$$1,5 \ll 6,66 \quad T \ll T_n$$

Використання нового трансформатора дає змогу знизити собівартість продукції, виробництво в свою чергу стає більш рентабельним.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом являються [16]: забезпечення недоступності частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, від випадкового до нього доторкання; захисне розділення кола; усунення небезпеки ураження електричним струмом при виникненні напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електрообладнання, що досягається завдяки використанню малих напруг та подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням, використанню спеціальних захисних пристроїв - переносних приладів і засобів; організація безпечної експлуатації електрообладнання.

Захисне розділення кола. В розкиданих електричних колах або з великою протяжністю навіть справна ізоляція може мати досить маленький опір, а ємність провідників відносно землі - велику величину. Ці обставини можуть становити велику небезпеку, так як в таких колах до 1000 В із ізольованою нейтраллю втрачається захисна функція ізоляції провідників і виникає небезпека ураження людини електричним струмом у випадку її доторкання до провідника електричного кола або до іншого предмету, що знаходився під фазною напругою. Цей недолік електричного кола може бути усунений шляхом захисного розділення кола, тобто розділення досить протяжних гілок електричного кола на декілька менш протяжних і електрично між собою не з'єднаних.

Розділення виконують за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів [17]. В результаті такого розділення ізольовані ділянки електричного кола мають великий опір ізоляції та малу ємність провідників відносно землі, завдяки чому можна покращити умови безпеки загалом.

Захисне заземлення - спеціальне з'єднання із землею металевих частин обладнання, що не знаходяться під напругою в звичайних умовах, але які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції електрообладнання.

Основна мета захисного заземлення - усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при виникненні напруги на конструктивних частинах електрообладнання тобто при "замиканні на корпус".

Принцип роботи захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг доторку та кроку, зумовлених "замиканням на корпус". Це досягається зменшенням потенціалу заземленого обладнання, а також вирівнюванням потенціалів за рахунок підйому потенціалу основи, на якій стоїть людина, до потенціалу, близького по величині до потенціалу заземленого обладнання.

Застосовують захисне заземлення у трифазних колах з напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю і більше 1000 В з любым режимом нейтралі.

Заземлюючим пристроєм називають сукупність заземлювача – металевих провідників, що мають електричний зв'язок із землею, і заземлюючих провідників, що з'єднують заземлені частини електрообладнання із заземлювачем. Відрізняють два типи заземлюючих пристроїв: виносні та контурні.

Виносний заземлюючий пристрій характеризується тим, що його заземлювач поміщений за територію де розміщено заземлююче обладнання, або заземлювач розташовують на невеликій частині цієї території.

Контурний заземлюючий пристрій характеризується тим, що його одиночні заземлювачі розміщуються по контуру або периметру території, на якій знаходиться заземлююче обладнання, або розподіляються по всій території рівномірно. При контурному заземленні забезпечується вирівнювання потенціалу на території до такої величини, щоб максимальне значення напруг доторкання та кроку не перевищували допустимих.

Розрізняють штучні заземлювачі, що використовують виключно для заземлення та природні - металічні предмети для іншого призначення, що знаходяться в землі. Для штучного заземлення використовують зазвичай вертикальні і горизонтальні електроди. В якості вертикальних електродів

використовують металічні труби діаметром 3-5 см і металічні кутники розміром від 40×40 до 60×60 мм і довжиною 2,5-3 м. В останні роки все частіше почали використовувати металічні прутки 10-12 мм і довжиною до 10 м. Для зв'язку вертикальних електродів і в якості горизонтального електрода використовують полосу сталь січенням не менше 4×12 мм або сталь круглого січення діаметром не менше 6 мм. Для розміщення вертикальних заземлювачів риють траншею глибиною 0,7 - 0,8 м, після чого за допомогою механізмів забивають труби або кутники.

Відповідно до ПУЕ, опір захисного заземлення в любую пору року не повинний перевищувати 4 Ом в установках із напругою до 1000 В, але якщо потужність джерела струму (генератора або трансформатора) менше 100 кВ·А тоді опір заземлення допускається 10 Ом. Для установок із напругою вище 1000 В та з великими струмами замикання на землю (більше 500 А) опір заземлення **не повинен перевищувати 0,5 Ом. Не більше 10 Ом опір заземлення повинен бути для установок більше 1000 В із малими струмами замикання на землю і без компенсації ємнісних струмів; якщо заземлююче обладнання одночасно використовується для електроустановок напругою до 1000 В, то опір заземлення не повинен перевищувати $125/I_z$, але не більше 10 Ом (або 4 Ом, якщо це вимагається для установок до 1000 В).**

7.2 Допомога при ураженні електричним струмом

Перша допомога при нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення постраждалого від дії струму і надання йому медичної допомоги [17].

Звільнення постраждалого від дії струму може бути виконано декількома способами. Найбільш простий і надійний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко провести чомусь неможливо можна при напрузі до 1000 В перерубати провід сокирою з дерев'яною ручкою і відтягнути постраждалого від струмоведучої частини,

взявшись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього провід з допомогою дерев'яної палки і т.п.

При напрузі вище 1000 В потрібно застосувати діелектричні рукавиці, боти і в необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, які розраховані на відповідну напругу.

Заходи першої медичної допомоги постраждалому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий не втратив свідомості, але до цього він її втрачав або тривай час знаходився під струмом, йому необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити лікувальний заклад.

При відсутності свідомості, але при наявності дихання і роботі серця треба рівно і зручно положити потерпілого на м'яку підстилку, розщепнути ремінець і одяг, забезпечити притік свіжого повітря. Потрібно давати нюхати нашатирний спирт, оббризувати лице холодною водою, розтирати і зігрівати тіло.

Якщо потерпілий погано дихає – рідко, судорожно або якщо дихання поступово погіршується, то необхідно зробити штучне дихання. При відсутності ознак життя потрібно робити штучне дихання і зовнішній масаж серця.

Штучне дихання повинно бути почате зразу ж після звільнення потерпілого від дії струму і виявлення його стану. Воно повинно проводитися методом, відомим під назвою „ рот в рот ’’, яке полягає в тому, що особа, яка надає допомогу, вдуває повітря із своїх легень в легені потерпілого через його рот. Повітря, яке видихається з легень, вміщує достатню для дихання кількість кисню. При цьому способі потерпілого кладуть на спину, відкривають йому рот і видаляють з рота по сторонні предмети і слизь. Для відкриття гортані потрібно закинути голову потерпілого назад, підложивши голову одну руку, а другою рукою натискати на чоло або тім'я потерпілого до такого ступеня, щоб підборіддя опинилось на одній лінії з шиєю.

Після цього особа, яка надає допомогу, робить глибокий вдих і з силою видихає повітря в рот потерпілого. При цьому він повинен охопити своїм ротом рот потерпілого і своїм лицем або пальцями руки закрити йому ніс. Потім

потрібно зробити ще один вдих. В цей період грудна клітка опускається, і він робить пасивний видих.

В одну хвилину потрібно робити 10-12 вдихів. Вдих повітря можна проводити через марлю або спеціальну трубку. При виникненні у потерпілого самостійного дихання деякий час потрібно продовжувати штучне дихання до повного приведення потерпілого до свідомості.

Ціль зовнішнього масажу серця штучно підтримати в організмі кровообіг і відновити самостійну діяльність серця.

Визначивши прощупуванням місце надавлювання, яке повинне знаходитись приблизно на пальці вище м'якого кінця грудини особа, яка надає допомогу, кладе на нього нижню частину долоні однієї руки, а потім зверху першої руки кладе під прямим кутом другу і надавлює на грудну клітку потерпілого, злегка допомагаючи при цьому нахилом свого корпусу. Надавлювати слід приблизно один раз в секунду швидким поштовхом так, щоб просунути нижню частину грудини в низ в сторону хребта на 3-4 см, а в повних людей – 5-6 см.

Одночасно з масажем серця потрібно робити штучне дихання. Вдування потрібно робити в проміжках між надавлюванням або ж під час спеціальної паузи через кожні 4-5 надавлювань. Якщо допомогу надає одна людина, то вона повинна чергувати операції: після двох вдувань повітря приводити 15 надавлювань на грудну клітку.

Про відновлення діяльності серця у потерпілого можна судити тоді, коли в нього появляється власний, не підтримуючий масажем пульс. Для перевірки пульсу необхідно перервати масаж на 2-3 с.

7.3 Оцінка стійкості роботи електроенергетичної системи до дії світлового випромінювання ядерного вибуху

Головну небезпеку для наземних об'єктів, зокрема і електроенергетичних, становлять ударна хвиля, світлове (теплове) випромінювання, вторинні вражаючі фактори і радіоактивне зараження місцевості. Проте іноді доводиться враховувати і вплив проникаючої радіації та електромагнітного імпульсу.

Критеріями оцінки фізичної стійкості об'єкта прийняті: при впливі ударної хвилі — надлишкові тиски, при яких елементи виробничого комплексу не руйнуються або одержують такі ушкодження чи руйнування (слабкі і середні), при яких вони можуть бути відновлені в короткі терміни; при впливі світлового випромінювання — максимальні значення світлових імпульсів, при яких не відбувається загоряння матеріалів, сировини, устаткування, будинків і споруд; при впливі вторинних факторів — надлишкові тиски, при яких руйнування і пошкодження не призводять до аварій, пожеж, вибухів, затоплень, небезпечного зараження місцевості й атмосфери, тобто не призводять до ураження людей і виходу з ладу засобів виробництва.

Оцінка стійкості об'єкта включає визначення: видів вражаючих факторів, вплив яких можливий на об'єкт, та їх параметрів; впливу ударної хвилі на елементи об'єкта; можливості виникнення пожеж; впливу вторинних вражаючих факторів.

Світлове випромінювання — це електромагнітне випромінювання, основним джерелом якого є світна область вибуху (вогненна куля), що складається з розпечених продуктів вибуху і повітря. Температура в ній сягає від *6 тисяч* до *1 мільйона градусів* за *C*. Тривалість світіння залежить від потужності ядерного заряду: при вибуху малого калібру — *1-2 сек.*, середнього — *2-4 сек.*, крупного та надкрупного — *10 і більше сек.*

На світлове випромінювання припадає приблизно 30 % всієї енергії ядерного вибуху. Воно складається з ультрафіолетових, інфрачервоних і

видимих променів. Основна кількість енергії світлового випромінювання (85%) виділяється в перші секунди з моменту вибуху.

Кількість енергії світлового випромінювання, яке падає на 1 см^2 поверхні, перпендикулярної напрямку його поширення, за весь час світіння, називається *світловим імпульсом*. Його величина вимірюється в калоріях на квадратний сантиметр (кал/см^2).

Уражуюча дія світлового випромінювання вимірюється, головним чином, величиною світлового імпульсу і часом дії. Чим більша величина світлового імпульсу, що випромінюється за менший час, тим сильніший уражуючий ефект, який пропорційний поглинутій кількості енергії. Остання перетворюється в тепло і здатна викликати опіки та приводити до спалахування різних предметів.

Ураження людини можливе, як в результаті безпосередньої дії світлового випромінювання на шкірні покриви — світлові (первинні) опіки, так і в результаті спалахування одягу і навколишніх предметів — опосередковані (вторинні) опіки.

Можливість виникнення пожеж встановлюють за займистістю матеріалів від світлового імпульсу ядерного вибуху, руйнування печей, газопроводів, пошкодження електромережі, які можуть виникнути при аваріях, землетрусах, бурях та ін.

При оцінці стійкості об'єкта проти світлового випромінювання ядерного вибуху необхідно визначити максимальне значення світлового імпульсу яке може бути на об'єкті. Світловий імпульс можна розрахувати за температурою загорання або нагрівання матеріалів і виробів.

Для оцінки стійкості об'єкта проти світлового випромінювання необхідні такі вихідні дані: характеристика будівель і споруд, характер виробництва, які горючі матеріали застосовуються у виробництві; вид готової продукції та місце її зберігання.

Оцінку стійкості електроенергетичного об'єкта до світлового випромінювання ядерного вибуху доцільно проводити у такій послідовності:

- визначити мінімальну відстань до можливого центру вибуху R_x , км;
- визначити максимальне значення світлового імпульсу $I_{\text{св.мах}}$, кДж/м^2 ;

- визначити ступінь вогнестійкості будинку цеху;
- виявити в конструкціях будівлі елементи, виготовлені із горючих матеріалів та визначити їх характеристики (наприклад: для дверей та віконних рам – дерев'яних, пофарбованих в темний колір $I_{св.маx} = 250, \text{кДж/м}^2$);
- визначити границю стійкості об'єкту до світлового випромінювання за мінімальним світловим імпульсом, що викликає спалахування в будівлі $I_{св.лім} \cdot \text{кДж/м}^2$;
- здійснити порівняння та дати оцінку стійкості об'єкту: при $I_{св.лім} < I_{св.маx}$ об'єкт не стійкий до світлового випромінювання, при $I_{св.лім} > I_{св.маx}$ - стійкий;
- визначити ступінь руйнування будівлі від ударної хвилі при максимальному очікуваному надлишковому тиску;
- визначити зону пожеж, в якій може опинитися об'єкт.

На основі отриманих даних робиться відповідний висновок щодо стійкості електроенергетичного об'єкта до світлового випромінювання ядерного вибуху:

- чи викликає складну пожежну ситуацію на об'єкті при ядерному вибуху заданої потужності очікуваний максимальний світловий імпульс (кДж/м^2) та надлишковий тиск ударної хвилі (кПа);
- чи опиниться об'єкт в зоні суцільних пожеж;
- чи об'єкт стійкий до світлового випромінювання за границею стійкості;
- що із обладнання, конструктивних елементів будівлі складає пожежну небезпеку для об'єкту;
- робитися висновок про доцільність підвищення границі стійкості об'єкту.

Наприклад, підвищити границю стійкості можливо шляхом виконання наступних заходів: замінити крівлю об'єкту на асбестоцементову; замінити дерев'яні віконні рами на металеві; набити на двері кровельною сталлю по асбестовій прокладці; провести на об'єкті профілактичні протипожежні заходи.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Методи захисту від електромагнітного забруднення довкілля

В металообробному цеху широко застосовують різноманітне електроустаткування, яке у свою чергу негативно впливає на навколишнє середовище електромагнітними полями.

Електромагнітні поля виникають поблизу ліній електропередачі, працюючих телевізорів, радарів, холодильників та в ряді інших випадків [18]. Радарні та радіорелейні установки дають мікрохвильове випромінювання з частотою у 1 - 15 ГГц. Вплив електромагнітних полів на живі організми залежить від частоти.

Під впливом електромагнітного випромінювання (особливо коли лінія електропередач працює при частоті більш ніж 60 Гц) у людини виникає швидка втомленість, з'являється почуття апатії, нерідко трапляється збільшення ваги, може розвиватися лейкоз, реєструються вади розвитку.

Тому деякі спеціалісти наполягають на максимальному вкороченні будь-яких ліній електропередач та на встановленні екранів, що поглинають випромінювання.

Рівень електромагнітних випромінювань у деяких районах (діапазон радіочастот об'єктів може змінюватися від 50-100 Гц до 300 гГц) часто перевищує допустимі гігієнічні норми й дуже шкодить здоров'ю людей, що мешкають поруч.

Мірою забруднення електромагнітними полями є напруженість поля (V/m). Ці поля завдають шкоди перш за все нервовій системі. Так, напруженість поля 1000 V/m спричинює головний біль і сильну втому, більші значення зумовлюють розвиток нервозів, безсоння, важкі захворювання. Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал та населення, яке знаходиться в зоні дії радіоелектронних засобів, потрібно вжити ряд захисних заходів. До їх числа входять організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні. Здійснення організаційних та інженерно-технічних заходів покладено передусім на органи санітарного нагляду. Підприємства та установи, які використовують

джерела електромагнітних полів, повинні проводити поточний санітарний нагляд за об'єктами, здійснювати організаційно-методичну роботу з підготовки спеціалістів та інженерно-технічний нагляд. Існують розроблені на основі медико-біологічних досліджень санітарні норми та правила щодо радіотехнічних і електротехнічних об'єктів. Вони регламентують умови їх експлуатації з метою охорони населення від шкідливого впливу електромагнітних випромінювань.

Важливе значення мають інженерно-технічні методи захисту: колективний, локальний та індивідуальний. Колективний захист спирається на розрахунок поширення радіохвиль в умовах конкретного рельєфу місцевості. Економічно найдоцільніше використовувати природні екрани – складки місцевості, лісонасадження, нежитлові будівлі.

Отже потрібно максимально раціонально розташовувати електричні об'єкти щоб мінімізувати шкідливий вплив на екологію. Розробляються заходи для зменшення впливу шкідливого електромагнітного випромінювання на довкілля та заходи по раціональному використанню ресурсів з метою зменшення кількості відходів.

8.2 Шумове забруднення довкілля та методи захисту від нього

Деякі з електричних приймачів металообробного цеху створюють шум [18], що негативно впливає на довкілля та на стан здоров'я людей та тварин.

Шум — одна з форм фізичного (хвильового) забруднення навколишнього середовища. Під шумом розуміють усі неприємні та небажані звуки чи їх сукупність, які заважають нормально працювати, сприймати потрібні звукові сигнали, відпочивати. Він виникає внаслідок згущення і розрідження повітряних мас, тобто коливальних змін тиску повітря. Відрізняють шум постійний, непостійний, коливний, переривчастий, імпульсний. Загалом шум — це хаотичне нагромадження звуків різної частоти, сили, висоти, тривалості, які виходять за межі звукового комфорту. Нині добре відомо, що шуми шкідливо впливають на здоров'я людей, знижують їх працездатність, викликають захворювання органів слуху (глухоту), ендокринної, нервової, серцево-судинної систем (гіпертонія).

Адаптація організмів до шуму практично неможлива, тому регулювання і обмеження шумового забруднення оточення — важливий і обов'язковий захід.

Шум оточуючого природного середовища дорівнює 30 – 60 дБ. До цього природного фону за сучасних умов додаються виробничі і транспортні шуми, рівень яких нерідко перевищує 100 дБ.

На пристосування до сильного шуму організм людини витрачає велику кількість енергії, перенапружується нервова система, виникають втома, нервовий і психічний розлади.

За сучасних умов боротьба з шумом є технічно важкою, комплексною, дорогою. Важливо знищувати джерело шуму, створити безшумні або малошумні машини і технологічні процеси, транспортне і промислове устаткування, на стадії його проектування створити конструкції, безпечні для здоров'я людини і природи.

Вухо людини звукової хвилі частотою нижче 20 Гц сприймає не як звук, а як вібрацію [18]. Вібрації — це тремтіння або струси всього тіла чи окремих його частин під час різних робіт (бетоноукладання, пневмо-електроподрібнення порід чи шляхового покриття, роботи в шахтах з відбійним молотком, розпилювання матеріалів).

Вібрація погано впливає на організм людини, особливо коли її коливання співпадають з частотами резонансу всього організму людини чи деяких органів. Так, увесь організм людини, шлунок і органи черевної порожнини резонують при дії коливань з частотою 8 Гц; коливання з частотою 17 – 25 Гц резонансні для голови людини. Систематична дія загальних вібрацій в резонансній зоні чи біля резонансної зони може стати причиною вібраційної хвороби. Ця хвороба проявляється в вигляді головних болів, поганого сну, зниження працездатності, поганого самопочуття, порушення серцевої діяльності. Успішне лікування вібраційної хвороби можливе тільки на ранній стадії її розвитку, а її важкі форми ведуть до часткової чи повної втрати працездатності.

Локальна вібрація викликає спазми судин, які, починаючи з кінців фаланг пальців, розповсюджуються на всю кисть, передпліччя і охоплюють судини серця.

Тривалі вібрації завдають великої шкоди здоров'ю — від сильної втоми й не дуже значних змін багатьох функцій організму до струсу мозку, розриву тканин, порушення серцевої діяльності, нервової системи, деформації м'язів і кліток, порушення чутливості шкіри, кругообігу.

Встановлені гранично допустимі величини вібрації. Вони визначені із розрахунку, що систематично діючи під час 8-годинного робочого дня, вібрація не викликає у робітника захворювань або відхилень у стані здоров'я протягом усього періоду його виробничої діяльності.

Таким чином, приміщення металообробного цеху у якому знаходиться обладнання, яке створює найбільше шуму максимально ізолюється, щоб обмежити негативний вплив шуму на навколишнє середовище.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В дипломній роботі проведено модернізацію системи електропостачання металообробного цеху електромеханічного заводу відповідно до розроблених заходів зниження втрат електроенергії і отримано такі результати:

1. Досліджено математичні моделі вибору оптимальних проектних рішень для системи електропостачання металообробного цеху по критерію мінімуму затрат. Проведено розрахунок електричних навантажень цеху, вибір оптимального місця розташування цехової КТП та оптимальної потужності силового трансформатора.

2. Здійснено вибір оптимальної схеми силової мережі металообробного цеху заводу, проведено розрахунок елементів розподільної мережі та струмів короткого замикання, вибір комутаційних апаратів та пристроїв захисту системи електропостачання, та розрахунок втрат напруги в лініях.

3. Проведено розрахунок освітлювального навантаження металообробного цеху. Вибрано схему живлення, спосіб виконання та напругу робочої мережі. Система освітлення вибрана на базі сучасних світлодіодних промислових світильників UNI HIGH BAY.

4. Проведено дослідження математичної моделі оптимального розподілення компенсуючих пристроїв в системі електропостачання заводу по мінімуму затрат. При оптимальному розміщені компенсуючих пристроїв економічний ефект складе 100 тис. грн.

5. Здійснено оптимальну компенсацію реактивної потужності в залежності від характеру добового графіка реактивного навантаження споживачів металообробного цеху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кріса А. В. Сучасна енергоефективна система електропостачання цеху промислового підприємства / А.В. Кріса, В. Р. Драбик // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. —Том 3. — С. 31. — (Електротехніка та енергозбереження).
2. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. /Вершинина С.И., Гамазин С.И., Голонов Ю.М., Киреева Э.А., Кирпа А.И., Конюхова Е.А., Сидоренко Э.Т. , Стульников Г.В., Федоров А.А. / Под. ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского. Кн. 2. – М.: Энергия, 1972. – 528с.
3. Правила улаштування електроустановок [Текст]. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Х. : Форт, 2010. — 732 с.
4. Федоров А. А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / А. А. Федоров, Г. В. Сербеновский. — М. : Энергоатомиздат, 1980.
5. Кнорринг Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения [Текст] : справочное издание / Г. М. Кнорринг. - 6-е изд., перераб. - Л. : Энергия, 1968. - 391 с.
6. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учебник / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2008 (Тверь). - 447 с.
7. Василега П. О. Електропостачання: навч. посіб. для вищ. навч. закл. / П. О. Василега. - Суми : Університетська книга, 2008. - 415 с.
8. Проектирование кабельных сетей и проводок / П. И. Анастасиев [и др.]; под общ. ред. Г. Е. Хромченко. — М. : Энергия, 1980. — 382 с.
9. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання: навч. посібник для студ. електротехнічних спец. вищ. навч. закладів України / П. П. Говоров [та ін.] ; Харківська держ. академія міського господарства. — К. : [б.в.], 1996. — 228 с.

10. Баркан Л.Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. - М.: Энергия, 1978. - 112 с.

11. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами // Офіційний вісник України. – 2002. – №6. – С. 35-42.

12. Демов А.Д., Войнаровский А.Ж. Управление оперативным излишком мощности конденсаторных установок промышленных предприятий // Промышленная энергетика. – 2006. – №7. – С. 48-51.

13. Зайченко Ю.П. Исследование операций.–К. :Выща шк. Головное изд-во, 1988.–552 с.

14. Никитенко Ю. В. Зниження втрат електричної енергії в розподільчих мережах шляхом компенсації реактивної потужності [Електронний ресурс] / Юрій Васильович Никитенко // ВНТУ– Вінниця. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/20F013C9-8D74-4810-8A14-A7950095B8A6.pdf>.

15. Паляниця О. Зменшення втрат електроенергії в мережах промислових підприємств [Електронний ресурс] / О. Паляниця // III Всеукраїнська студентська науково - технічна конференція "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання". Тернопіль – Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/download/pdf/131430425.pdf>.

16. Гандзюк М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка. - 2-ге вид. - К. : Каравела, 2004. - 406 с.

17. Економіка підприємства [Текст] : навч. посіб. / за заг. ред. Л. С. Шевченко ; Нац. ун-т "Юрид. акад. України ім. Я. Мудрого". — Х. : Право, 2011. — 208 с.

18. Охрана окружающей среды [Текст] : учеб. для студентов техн. вузов / [С. В. Белов [и др.]; под ред. С. В. Белова. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва : Высшая школа, 1991. - 319 с.

ДОДАТКИ

Визначення центру мережі

$a = 2700$
 $аж = 2700$
 $Ee = 0,1$
 $Ea = 0,04$
 $Eаж = 0,04$
 $Bo = 5,04$

х _о	у _о
19,20466	23,7279

8,6

	х	у	Р, кВт	Квик	Рроз	Рір*хі	Рір*уі	Л, м	К _о , грн/м	З, грн
1	19,8	32,5	3	0,16	0,48	9,504	15,6	7	2,5	17,5
2	19,8	30,2	6	0,16	0,96	19,008	28,992	7	2,5	17,5
3	23,8	27	5	0,16	0,8	19,04	21,6	7	2,5	17,5
3	23,8	24,6	5	0,16	0,8	19,04	19,68	7	2,5	17,5
4	17,2	30,2	1	0,16	0,16	2,752	4,832	9	2,5	22,5
5	17,2	32,5	1	0,16	0,16	2,752	5,2	8	2,5	20
6	23,8	33,5	4,5	0,16	0,72	17,136	24,12	8	2,5	20
6	23,8	31	4,5	0,16	0,72	17,136	22,32	8	2,5	20
6	23,8	29	4,5	0,16	0,72	17,136	20,88	8	2,5	20
7	19,3	25,7	14,5	0,17	2,465	47,5745	63,3505	10	2,5	25
8	17	27,9	4,7	0,17	0,799	13,583	22,2921	16	2,5	40
9	30,6	32,8	1,5	0,16	0,24	7,344	7,872	3	2,5	7,5
10	30,6	30,2	0,5	0,16	0,08	2,448	2,416	3	2,5	7,5
11	50,6	29	14,1	0,17	2,397	121,2882	69,513	7	2,5	17,5
11	56,4	29	14,1	0,17	2,397	135,1908	69,513	7	2,5	17,5
12	35,2	29	4,5	0,16	0,72	25,344	20,88	7	2,5	17,5
12	38,4	29	4,5	0,16	0,72	27,648	20,88	7	2,5	17,5
12	41,7	29	4,5	0,16	0,72	30,024	20,88	8	2,5	20
12	44,8	29	4,5	0,16	0,72	32,256	20,88	8	2,5	20
13	33,1	32,8	3	0,16	0,48	15,888	15,744	6	2,5	15
13	36,8	32,8	3	0,16	0,48	17,664	15,744	6	2,5	15
13	40,2	32,8	3	0,16	0,48	19,296	15,744	6	2,5	15
13	43,3	32,8	3	0,16	0,48	20,784	15,744	6	2,5	15
13	46,4	32,8	3	0,16	0,48	22,272	15,744	6	2,5	15
13	48,6	32,8	3	0,16	0,48	23,328	15,744	6	2,5	15
13	52,6	32,8	3	0,16	0,48	25,248	15,744	6	2,5	15
13	59,6	32,8	3	0,16	0,48	28,608	15,744	6	2,5	15
13	58,2	32,8	3	0,16	0,48	27,936	15,744	6	2,5	15
14	37,7	3,5	3,8	0,16	0,608	22,9216	2,128	9	2,5	22,5
14	40	3,5	3,8	0,16	0,608	24,32	2,128	4	2,5	10
14	42,2	3,5	3,8	0,16	0,608	25,6576	2,128	11	2,5	27,5
14	44,4	3,5	3,8	0,16	0,608	26,9952	2,128	11	2,5	27,5
14	46,4	3,5	3,8	0,16	0,608	28,2112	2,128	4	2,5	10
14	49	3,5	3,8	0,16	0,608	29,792	2,128	4	2,5	10
15	6,3	4,8	3,4	0,16	0,544	3,4272	2,6112	5	2,5	12,5

15	6,3	9,3	3,4	0,16	0,544	3,4272	5,0592	5	2,5	12,5
15	16,2	9,3	3,4	0,16	0,544	8,8128	5,0592	5	2,5	12,5
16	9,5	9,3	3,7	0,16	0,592	5,624	5,5056	5	2,5	12,5
16	9,5	9,3	3,7	0,16	0,592	5,624	5,5056	4	2,5	10
16	12,7	4,8	3,7	0,16	0,592	7,5184	2,8416	6	2,5	15
16	12,7	4,8	3,7	0,16	0,592	7,5184	2,8416	4	2,5	10
17	3,3	4,8	4,2	0,16	0,672	2,2176	3,2256	4	2,5	10
17	3,3	4,8	4,2	0,16	0,672	2,2176	3,2256	4	2,5	10
17	16,2	9,3	4,2	0,16	0,672	10,8864	6,2496	4	2,5	10
18	20,9	4,8	4	0,16	0,64	13,376	3,072	4	2,5	10
18	20,9	9,3	4	0,16	0,64	13,376	5,952	5	2,5	12,5
19	34,5	4,8	3	0,16	0,48	16,56	2,304	5	2,5	12,5
20	31,2	4,8	2,2	0,17	0,374	11,6688	1,7952	5	2,5	12,5
21	24,7	9,3	1,5	0,17	0,255	6,2985	2,3715	5	2,5	12,5
21	28,2	9,3	1,5	0,17	0,255	7,191	2,3715	5	2,5	12,5
22	24,7	4,8	3,3	0,17	0,561	13,8567	2,6928	5	2,5	12,5
23	28,2	4,8	6,7	0,17	1,139	32,1198	5,4672	5	2,5	12,5
24	6,8	34,6	2,2	0,16	0,352	2,3936	12,1792	5	2,5	12,5
25	1,7	30,4	17	0,65	11,05	18,785	335,92	5	2,5	12,5
26	1,7	32,5	0,6	0,16	0,096	0,1632	3,12	5	2,5	12,5
26	1,7	34,6	0,6	0,16	0,096	0,1632	3,3216	5	2,5	12,5
27	4,7	13,2	1,4	0,16	0,224	1,0528	2,9568	5	2,5	12,5
27	1,4	13,8	1,4	0,16	0,224	0,3136	3,0912	5	2,5	12,5
28	1,4	16,1	1	0,16	0,16	0,224	2,576	5	2,5	12,5
29	7	17	3	0,16	0,48	3,36	8,16	5	2,5	12,5
30	13,6	25,4	63	0,65	40,95	556,92	1040,13	10	2,5	25
31	20,8	18,3	9,4	0,1	0,94	19,552	17,202	11	2,5	27,5
31	43,1	18,3	9,4	0,1	0,94	40,514	17,202	11	2,5	27,5
Сума					90,618	1740,288	2150,174			997,5

Додаток Б

Вибір потужності КТП

Дані нормального режиму				
Розрахункова потужність, кВА			Sp	366,5
Середня потужність, кВА			Scm	305
Дані післяаварійного режиму				
Коефіцієнт перевантаження			Kпа	1,22
Доля навантаження у п.а режимі			Kнпа	0,85
Коеф. Ефективності капіталовкладень			Ee	0,1
Коеф. Відрахувань на амортизацію			Ea	0,066
Коеф. Прив затрат			K	0,05
Ціна ел.ен., грн			Co	2,89

Дані трансформаторів

S, кВА	1x400	2x250
ΔPх, кВт	0,95	1,05
ΔPк, кВт	5,5	4,2
Io, %	2,1	3,68
Uк, %	4,5	4,7
Kз	0,78	0,63
Ц, грн	91000	130000

КТП	ΔQi	ΔQu	ΔPх	ΔPк	ΔE	Свтр	Кзатр	Ca	Сріч	Зріч
1x400	8,4	18	1,37	6,4	46990	135804	91000	5733	141537	152912
2x250	15,95	11,25	1,85	4,8	6590	190133	13000	8190	198323	214573

Додаток В
Вибір оптимального перетину живлячої лінії КТП

Напруга, В			U =	10
Активна розрах. потужність, кВт			P =	299
Реактивна розрах. потужність, кВАр			Q =	211,9
Повна розрах. потужність, кВА			S =	366,5
Розрах. струм одного кабелю, А			I =	23,1
Допустима втрата напруги			$\Delta U_d =$	5
Довжина лінії, км			L =	0,08
Дані аварійного режиму				
Струм к.з на початку лінії (т. К2), кА			$I_{кз} =$	11
Приведений час к.з, с			$t_n =$	0,61
Тепловий коефіцієнт			C =	11

F, мм ²	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км	I _{доп} , А	K ₀ , грн/км	ΔU_n , %	ΔP , кВт	K, грн	E*K, грн	З, грн
16	1,94	0,11	75	17360	4,37	170,46	7200	1014,085	5171,831
25	1,24	0,1	90	19960	2,89	108,95	12560	1769,014	9021,972
35	0,89	0,1	115	23550	2,06	78,2	18400	2591,549	13216,9
50	0,62	0,09	140	27120	1,47	54,48	20000	2816,901	14366,2

Додаток Г
Розрахункова схема електропостачання металообробного цеху

Номер і тип РП	Тип автомата і його струм (А)	Марка, число жил і переріз (мм) довжина (м)	Комутаційний апарат	Позначення на плані	Номер на плані	Встановлена потужність (кВт)	Розрахунковий струм (А)	Назва присідання
ШП-1 (ШРА-250-3193)								
	ВА57-31-63А	ABB T 3x25-k16 16						
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 7	конт	●	1	3	4,3	ВВП
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 9	конт	●	4	1	10	Кордівальний-ширфидельний верстат WF-25А
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 8	конт	●	6	4,5	3	Курель-ширфидельний верстат SB-12P
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 7	конт	●	3	5	10	Паскалрідельний верстат ШУ-4В
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 7	конт	●	3	5	13	Паскалрідельний верстат 3В722
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 7	конт	●	2	6	13	Паскалрідельний верстат 3В722
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 10	конт	●	29	1	32	Універсальний-ширфидельний верстат З 712
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 11	конт	●	30	4,5	3	Паскалрідельний верстат 4В500
	ВА57-31-40А	АТВ 4x3 11	конт	●	31	4,5	10	Паскалрідельний верстат ШУ-4В
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 16	конт	●	31	14,5	10	Паскалрідельний верстат ЮУ-4В
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 16	конт	●	31	4,7	34	Накш 1031В
				○	8		11	Пилка 81603
ШП-2 (ШРА-250-3193)								
	ВА57-31-63А	ABB T 3x50-k25 38						
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 3	конт	●	9	1,5	5,2	ВВП
	ВА57-31-40А	АТВ 4x3 3	конт	●	10	0,5	15	Фрезерний верстат SP92
	ВА57-31-40А	АТВ 4x3 12	конт	●	11	14,1	3,2	Степільний верстат БС-01
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 11	конт	●	11	14,1	3,2	Токарно-револьверний верстат ТК-125В12
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 14	конт	●	12	4,5	12	Токарно-револьверний верстат ТК-125В12
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 10	конт	●	12	4,5	12	Спринцова пилка БС-250V
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 14	конт	●	12	4,5	12	Спринцова пилка БС-250V
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 10	конт	●	12	4,5	12	Спринцова пилка БС-250V
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Спринцова пилка БС-250V
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	13	3	8	Заточний верстат 6В692
ШП-3 (ШРА-250-3193)								
	ВА57-31-63А	ABB T 3x50-k25 18						
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	9	3,8	7,9	ВВП
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 8	конт	●	10	3,8	7,9	Заточильний верстат СГН-20
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	11	3,8	7,9	Заточильний верстат СГН-20
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	11	3,8	7,9	Заточильний верстат СГН-20
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 8	конт	●	12	3,8	7,9	Заточильний верстат СГН-20
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	12	3,8	7,9	Заточильний верстат СГН-20
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 8	конт	●	12	7,5	7,5	Фрезерний верстат Е-100
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	12	3,4	7,5	Фрезерний верстат Е-100
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	13	2,2	5	Токарний верстат ГПН12
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 8	конт	●	13	3,7	7,8	Фрезерний верстат Е-400
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	13	3,7	7,8	Фрезерний верстат БВ8Г
	ВА57-31-20А	АТВ 4x3 7	конт	●	13	3,7	7,8	Фрезерний верстат БВ8Г
	ВА57-31-25А	АТВ 4x4 8	конт	●	13	4,2	10	Фрезерний верстат БВ8Г
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 8	конт	●	13	3,4	7,5	Фрезерний верстат Е-400
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	13	4,2	10	Фрезерний верстат В-222
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	13	4,2	10	Фрезерний верстат В-222
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 8	конт	●	9	4	8	Токарний верстат П163
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	10	4	8	Токарний верстат П163
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 6	конт	●	9	3,3	3,5	Токарний верстат П14-Б5
	ВА57-31-25А	АТВ 4x4 10	конт	●	10	1,5	3,5	Токарний верстат СГ-6ВН
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	9	6,7	13,1	Токарно-револьверний верстат СГ198А
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	10	1,5	3,5	Токарний верстат СГ-6ВН
	ВА57-31-6А	АТВ 4x3 7	конт	●	9	3	5	Токарний верстат ПН10П

