МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

_____перший (бакалаврський) рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: «Підвищення ефективності роботи енергетичного устаткування промислового об'єкта»

Виконав: студент __4___ курсу, групи__6.1411-с
спеціальності _____141 Електроенергетика,_____
електротехніка та електромеханіка_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми _Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка_____
(назва освітньої програми)
_____Тисленко А.О._____
(ініціали та прізвище)

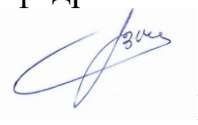
Керівник _ __к.т.н., доц. Єрофєєва А.А._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент__ _____Коваленко В.Л._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні _____
Кафедра_електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність __141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри



д.т.н., доц. В.Л. Коваленко
«_____»_____2024 року

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

_____Тисленко Андрію Олеговичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Підвищення ефективності роботи енергетичного устаткування промислового об'єкта»
керівник роботи __Єрофєєва Аліна Анатоліївна, к.т.н., доцент_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_26_» грудня __2023__ року №_2215 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____03 червня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи: принципова схема електропостачання підприємства; номінальні потужності об'єктів підприємства, L = 15 км – довжина від джерела живлення до підприємства; вартість електричної енергії $Ц_е$ = 2,5 грн/кВт·год; показники споживання електричної енергії обладнанням киснево-компресорного цеху.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз енергетичного устаткування киснево- компресорного цеху. 2. Розрахунки системи електропостачання киснево-компресорного цеху. 3. Заходи щодо підвищення ефективності роботи енергетичного устаткування.
5 Перелік графічного матеріалу 1) Графік споживання електричної енергії обладнанням ККЦ 2) Трансформатор ТМ-400/10/0,4. 3) Компенсаційна установка УКРП-0,4-60-10УЗ. 4) Електровентилятор ВЦ 4-75-8. 5) Інверторна

система «Штиль» PSI60-32/1500-220-42U. 6) Акумуляторна батарея HAZE серії HZB12. 7) Сонячна батарея RZMP-240. 8) Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

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

Дата видачі завдання_____12.02.2024 р._____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз енергетичного устаткування киснево- компресорного цеху	11.03.2024	
2	Розрахунки системи електропостачання киснево-компресорного цеху	15.04.2024	
3	Заходи щодо підвищення ефективності роботи енергетичного устаткування	13.05.2024	

Студент А.О.Тисленко
(ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер І.І. Бандуренко
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Тисленко А.О. «Підвищення ефективності роботи енергетичного устаткування промислового об’єкта».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник к.т.н., доцент Єрофєєва А.А., Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Пояснювальна записка містить 84 сторінки, 12 рисунків, 9 таблиць, 20 джерел посилання.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення енергетичної ефективності обладнання киснево-компресорного цеху.

Предметом дослідження є способи та методи підвищення ефективності використання енергоресурсів за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів.

В процесі розроблення дипломного проєкту використовуються різні методи та підходи, які дають можливість правильно провести аналіз даного підприємства і обрати необхідні заходи для підвищення ефективності використання енергоресурсів, а також цеху в цілому.

В роботі проведений аналіз можливих шляхів підвищення енергетичної ефективності обладнання підприємства. В результаті проведеного аналізу найбільш оптимальний захід – заміна вентиляторів з низьким ккд, на вентилятори з високим ккд.

Ключові слова: електричне навантаження, система електропостачання трансформатор, енергетичне устаткування, компенсуючий пристрій, вимикач, енергетична ефективність, енергозберігаючі заходи, реконструкція, термін окупності.

ЗМІСТ

Вступ……	6
1. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ……..	8
1.1 Характеристика споживачів електроенергії і визначення категорії електропостачання ……	8
1.2 Опис технологічного процесу ……..	10
1.3 Вибір роду струму та величини напруги……	11
1.4 Вибір типу і місця розташування цехових трансформаторних підстанцій…….	13
1.5 Вибір схеми електропостачання низьковольтних споживачів……	14
2. РОЗРАХУНКИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ……..	15
2.1 Розрахунок електричних навантажень методом питомих потужностей та потужності освітлення……..	15
2.2 Розрахунок і вибір високовольтної лінії живлення та величини напруги….....	21
2.3 Розрахунок і вибір кількості і потужності трансформаторів на підстанції…….	29
2.4 Розрахунок струмів короткого замикання на високій стороні трансформатора……..	34
2.5 Розрахунок і вибір високовольтного обладнання і перевірки його на дію струмів короткого замикання……..	38
2.6 Розрахунок струмів короткого замикання на низькій стороні трансформатора……...	45
2.7 Розрахунок та вибір релейного захисту……..	51
2.8 Розрахунок і вибір розподільних мереж напругою до 1000В…….	54
3. ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ……..	69
3.1 Розрахунок і вибір компенсаційного обладнання……..	69
3.2 Заміна електровентиляторів старого типу на нові з високим ККД……..	72
3.3 Альтернативні та відновлювані джерела енергії……	74
Висновки……	82
Перелік джерел посилань……...	83

ВСТУП

Запоріжсталь - це великий металургійний комбінат, який є одним із найбільших виробників сталі в Україні та в Європі. Компресорний цех на ПАТ "Запоріжсталь" відіграє ключову роль у забезпеченні надійної та ефективної роботи виробничих ліній заводу.

Важливо відзначити, що кисень є одним із найважливіших ресурсів у металургійному виробництві, особливо в процесах конверсії сталі та обробці різних металів. Компресорний цех відповідає за постачання кисню у відповідній кількості та забезпечення стабільної роботи устаткування, що залежить від цього ресурсу.

У контексті виробничого процесу ПАТ "Запоріжсталь" компресорний цех відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та продуктивності виробничих потужностей. Він забезпечує постачання стиснутого кисню на всі виробничі ділянки, що дозволяє здійснювати процеси термічної обробки та інші операції, необхідні для виготовлення високоякісної сталі.

Крім того, компресорний цех відповідає за підтримання надійної роботи обладнання, регулювання тиску та обсягу кисню відповідно до потреб виробництва, а також за вчасне технічне обслуговування та ремонт агрегатів для забезпечення безперебійної роботи виробничих ліній.

Таким чином, компресорний цех на ПАТ "Запоріжсталь" відіграє стратегічно важливу роль у забезпеченні сталевиробничого процесу ефективним постачанням кисню та підтриманням надійності устаткування.

1. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ

1.1 Характеристика споживачів електроенергії і визначення категорії електропостачання

Для кожного цеху, ділянки підприємства характерна своя система електропостачання. Вона характеризується струмом (змінним, постійним, однофазним, трифазним), напругою, категорією, схемою електропостачання.

Споживачами електроенергії є окремі електроприводи або групи електроприводів, що об'єднані загальним технологічним процесом та розташовані на конкретній території.

На дільниці ККЦ розміщено таке обладнання:

Водяний насос з точки зору теорії машинобудування являє собою гідравлічну машину, призначену для перекачування води в вертикальному або горизонтальному напрямку. Для того щоб змусити воду рухатися в потрібному нам (і зовсім не цікавий їй) напрямку, необхідно надати водяній масі певну кінетичну енергію. Таким чином водяний (як правило електричний) насос являє собою пристрій, який перетворює електричну енергію в кінетичну енергію рухомої води. Внутрішній пристрій насоса залежить від того способу, за допомогою якого відбувається це перетворення - в цьому полягає принцип дії насоса.

Витяжний вентилятор – це сучасний пристрій, призначений підтримувати необхідні кліматичні умови в побутових і адміністративних приміщеннях. Він був розроблений для того, щоб забезпечити усунення поганого задушливого повітря, а також підвищеної вологості.

Дросель представляє із себе обмотку з ізольованого металевого дроту, намотану на каркас або безкаркасним способом на сердечник з магнітного матеріалу. При протіканні постійного струму через дросель (сталий процес)

ми маємо звичайний електромагніт. Дроселі використовуються для роботи при перехідних процесах або в ланцюгах змінної напруги.

Насос – механізм для накачування або викачування рідин, газів.

Гідравлічна машина – це пристрій, який перетворює механічну енергію від приводного двигуна або людську силу (у випадку ручних насосів) в енергію потоку рідини. Ця енергія використовується для переміщення рідини та створення необхідного напору у різних областях застосування, а також для перемішування рідини з твердими частками, колоїдними речовинами або розчиненими газами. Використовується у сільськогосподарській діяльності, будівництві, транспорті, промисловості тощо. Характеристики роботи насоса включають його витрату, тиск, потужність, ефективність та швидкість обертання. Деякі спеціалізовані насоси називають помпами: пожежна помпа, водолазна помпа, трюмна помпа, пивна помпа.

Вентилятор – це пристрій, який використовується для переміщення повітря або газу. Він зазвичай складається з ротора (або лопаток) і корпусу. Коли ротор обертається, він створює рух повітря, який може бути направлений у певному напрямку. Вентилятори використовуються в різних областях, включаючи системи вентиляції будівель, системи охолодження, а також у промисловості та транспорті для різноманітних цілей, від охолодження до обдування обладнання.

Вентилятори зазвичай використовуються для переміщення повітря з метою провітрювання приміщень, охолодження обладнання та подачі повітря для процесів горіння, таких як повітродувки і димососи. Потужні осьові вентилятори можуть виступати в ролі рушіїв, оскільки вони відштовхують повітря, що згідно з третім законом Ньютона створює силу протидії, що впливає на ротор.

Генератор водню – технічний комплекс, який виробляє чистий водень. Більшість генераторів водню використовують технологію водяного

електролізу (електролізери). Проте існують також генератори іншого типу, зокрема біологічні, біохімічні і пароконверсійні.

1.2 Опис технологічного процесу

Киснево-компресорне виробництво (ККВ) складається з трьох цехів: кисневого, компресорного та цеху захисних газів. У кисневому цеху знаходиться 4 блоки поділу повітря, наповнювальна станція, станція газифікації рідкого аргону.

У компресорному цеху є:

2 відділення компресії кисню з компресорами КТК-12,5 / 35, призначених для стискання кисню до тиску 30 ат;

3 повітряних компресорних станції для подачі стислого повітря з тиском 6 ат в цехи комбінату;

повітродувна станція, де встановлені нагнітачі, що подають повітря на нагрівальні колодязі прокатного цеху;

центральний кисневий розподільний пункт (ЦКРП), де за допомогою регулюючих клапанів тиск кисню знижується до 15 ат (в ЕСПЦ-6 - 22 ат) і подається в киснепроводи комбінату.

Цех захисних газів складається з азотної та водневої станцій. На водневій станції виробляється водень методом електролізу і надходить в кисневий цех для очищення аргону від кисню, а також на ТЕЦ для охолодження генераторів парових турбін.

У кисневому цеху відбувається поділ повітря. Повітря з цеху компресії повітря (ТЕЦ) надходить на блоки поділу, де методом глибокого охолодження розділяється на компоненти: кисень, азот, аргон, криптоно-ксенонову суміш.

Устаткування блоків поділу повітря.

Регенератори – теплообмінні апарати періодичної дії, потоки через які

перемикаються за допомогою примусових і автоматичних клапанів. Регенератор - циліндричний апарат, усередині якого знаходяться змійовики. Простір між змійовиками заповнений насадкою з базальту грануляцією 7 ÷ 10 мм. У верхній частині регенератора закріплена трубна решітка, в якій заварені трубки змійовика. У днищі регенератора також є трубні решітки для кисню і повітря. Температурний режим регенераторів, що забезпечує їх незабиваємість, на блоці Кар30№9 підтримується за допомогою керуючого логічного пристрою (Улу).

Адсорбер – судини, заповнені адсорбентом (силикогель) і призначені для очищення повітря і кисню від вибухонебезпечних домішок і вуглекислоти.

Конденсатори – випарники є рекуперативні теплообмінні апарати, що складаються з трубок, закріплених в трубних дошках і корпусу. Теплообмін відбувається між компонентами в трубному та міжтрубному просторах. Конденсація і випаровування компонентів відбувається за рахунок температурного напору.

Ректифікаційні колони. Колона ректифікації - апарат, який представляє собою вертикальну циліндричну колону з розташованими всередині горизонтальними перегородками (тарілками) спеціального пристрою. Рідка суміш азоту і кисню стікає вниз по тарілках, а назустріч їй піднімається суміш парів азоту і кисню. Стикаючись на тарілках з рідиною, пари віддають кисень, а самі збагачуються азотом, в результаті зверху колони отримують газоподібний азот, а внизу - рідкий кисень.

1.3 Вибір роду струму і величини напруги

Існує декілька видів струму: змінний струм промислової частоти (50Гц), змінний струм підвищеної частоти і постійний струм.

Постійний струм має наступні переваги перед змінним:

1) широкий діапазон і плавність регулювання швидкості приводу, відрізняє від двигунів з фазним ротором, де діапазон регулювання невисокий і регулювання здійснюється скачками (перемиканням командоаппаратів).

2) економія на струмопровідних елементах ланцюга, оскільки для живлення двигуна постійного струму необхідно всього два дроти (кабелю, шини), а не три, як при змінному струмі.

При коротких замиканнях постійного струму (плюса на мінус) наслідки для електроустановки не на стільки тяжкі, як при однофазному короткому замиканні на землю (при цьому вигорає місце замикання і електроустановка виходить з роботи).

Електроапарати з котушками постійного струму працюють надійніше і довговічніше.

Недоліки постійного струму:

1) неможливість підвищення або пониження напруги за допомогою трансформаторів;

2) живлення електроприймачів постійним струму можливо лише в радіусі не більше 1 км від джерела живлення;

3) висока вартість і складність обслуговування двигунів постійного струму;

4) з'являється необхідність установки перетворювачів змінного струму в постійний;

5) складність схеми управління.

Для електропостачання та розподілення електроенергії на дільниці ККЦ ПАТ «Запоріжсталь» застосовують трифазний змінний струм частотою 50 Гц, оскільки мережі й установки трифазного струму більш економічні в порівнянні з установками однофазного змінного струму, а також дозволяють використовувати в якості електропривода більш надійні, дешевші та прості в конструкції двигуни.

1.4 Вибір типу і місця розташування цехових трансформаторних підстанцій

Проєктування систем електропостачання підприємства передбачає раціональне розміщення на її території заводських і цехових підстанцій.

Місце розташування (КТП) і цехових підстанцій повинно бути поблизу центра їх навантажень, що істотно скорочує протяжність, і звідси, ціну і втрати в живлючих і розподільчих мережах електропостачання підприємства.

Вибір потужності і числа трансформаторів на підстанції.

Вибір типу, числа і схем живлення підстанції повинен бути обумовлений величиною і характером електричних навантажень, розміщенням навантажень на плані підприємства, архітектурно-будівельними і експлутаційними потребами.

ТП повинні розташовуватись ближче до центру розміщення споживачів. Для цього повинні застосовуватися внутрицехові підстанції, Двотрансформаторні цехові підстанції використовуються при перевазі електроспоживачів 1-ї і 2-ї категорії, а також при нерівномірному добовому або річному графіку навантажень.

При двохтрансформаторних підстанціях потужність кожного трансформатора вибирають з таким розрахунком, щоб при аварії одного трансформатора, інший в роботі трансформатор міг нести все навантаження всіх споживачів 1-ї і 2-ї категорії.

Щоб вибрати найбільш доцільний варіант електроспоживання, звичайно розглядають не менше двох варіантів кількості порівнюючи їх по техніко-економічним показникам.

За техніко-економічним порівнянням вибираю двотрансформаторну КТП, потужністю 2х400кВА.

1.5 Вибір схеми електропостачання низьковольтних споживачів

Електропостачання на підприємствах виконується такими схемами: радіальна, магістральна, змішана.

Радіальна схема в основному застосовується при великих потужностях споживачів, а також при забезпеченні надійності електропостачання. Недоліком цієї схеми є великі витрати кабельної продукції, дорогі засоби розподільчих улаштувань, збільшення кількості високовольтної апаратури.

При розподіленні електричної енергії по магістральній схемі роблять розгалуження від повітряної високовольтної лінії на окремі підстанції або заводять КЛ почергово на кілька підстанцій. Недоліком цієї схеми є менша надійність електропостачання, бо пошкодження магістралей призводить до відключення всіх споживачів, які від неї живляться.

Змішана схема об’єднує радіальну і магістральну схеми.

Використовую змішану схему електропостачання. Оскільки в ній є можливість використовувати економічність магістральної схеми та надійність радіальної схеми.

2. РОЗРАХУНКИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ

2.1 Розрахунок електричних навантажень методом питомих потужностей

Для кожного виду обладнання по таблиці необхідно визначити коефіцієнт використання $К_в$ і $cos\varphi$; розбити всіх електроспоживачів на групи по однаковому коефіцієнту потужності і режиму роботи; для групи споживачів визначити середньозмінну активну та реактивну потужності.

В таблиці 2.1 наведені розрахункові дані.

Таблиця 2.1 – Розрахункові дані

№ п/п	Назва обладнання	$Р_н$ кВт	шт.	$\sum Р_н$ кВт	$К_в$	$cos\varphi$/ tg φ	$Р_{зм}$ кВт	$Q_{зм.}$ кВАр
1	Водяний насос	5,6	6	33,6	0,08	0,8/1,75	26,88	20,16
2	Вентилятор витяжний	7	4	28	0,65	0,8/0,75	18,2	13,65
3	Дросель	8	4	32	0,2	0,75/0,86	6,4	5,50
4	Насос	10	2	20	0,65	0,8/0,75	13	9,75
5	Вентилятор	2,5	4	10	0,65	0,8/0,75	6,5	4,87
6	Електролізер	180	2	360	0,5	0,75/0,86	180	154,8
7	Шафа сигналізації	0,5	1	0,5	0,2	1/0,9	0,1	0,09
	Всього		23	484,1			251,08	208,87

Графік споживання електричної енергії обладнанням ККЦ представлено на рисунку 2.1

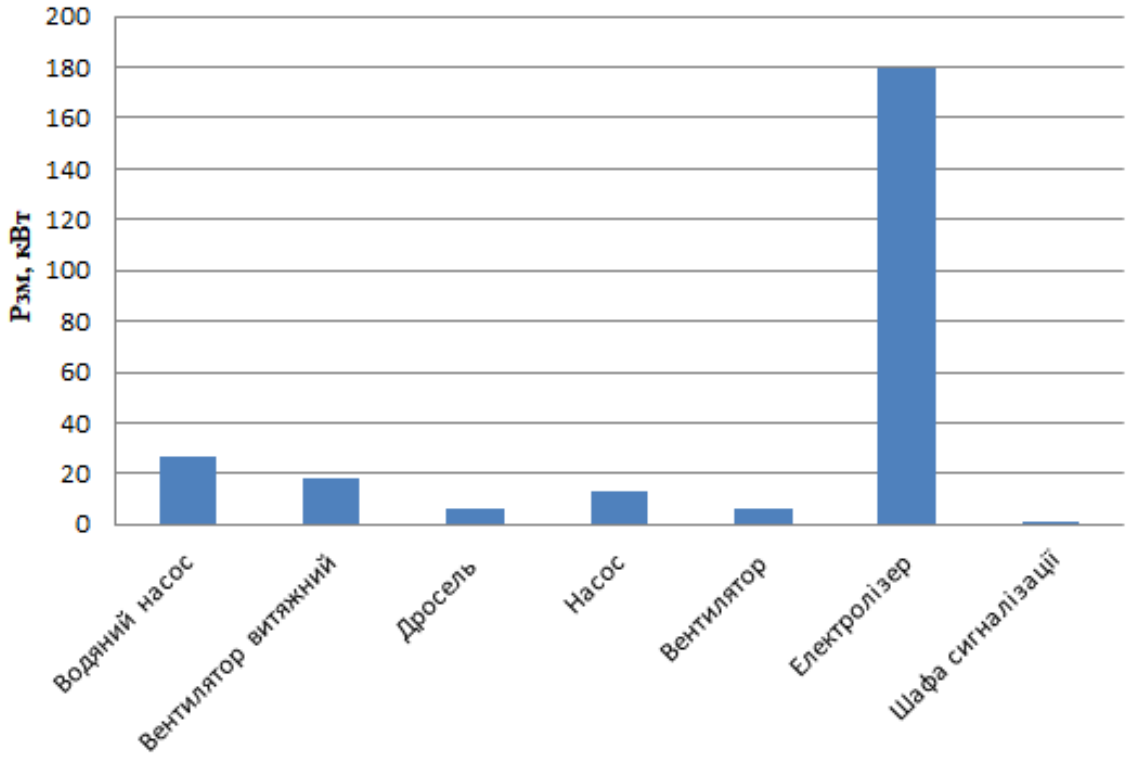


Рисунок 2.1- Графік споживання електричної енергії обладнанням ККЦ

Визначаємо середньозмінні активні і реактивні потужності, визначивши попередньо по довідникам коефіцієнт використання $К_в$ і коефіцієнт використання потужності cosφ.

Визначаємо у кВт змінні активні потужності:

$$Р_{зм} = К_в \cdot \sum Р_н, \quad (2.1)$$

де $К_в$– коефіцієнт використання

$$Р_{зм.1} = 0,8 \cdot 33,6 = 26,88 \text{ кВт};$$

$$P_{зм.2} = 0,65 \cdot 28 = 18,2 \text{ кВт};$$

$$P_{зм.3} = 0,2 \cdot 32 = 6,4 \text{ кВт};$$

$$P_{зм.4} = 0.65 \cdot 20 = 13 \text{ кВт};$$

$$P_{зм.5} = 0,65 \cdot 10 = 6,5 \text{ кВт};$$

$$P_{зм.6} = 0,5 \cdot 360 = 180 \text{ кВт};$$

$$P_{зм.7} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ кВт}.$$

Визначаємо у кВАр змінні реактивні потужності:

$$Q_{зм} = P_{зм.} \cdot \operatorname{tg} \varphi \qquad (2.2)$$

$$Q_{зм.1} = 26,88 \cdot 0,75 = 20,16 \text{ кВАр};$$

$$Q_{зм.2} = 18.2 \cdot 0,75 = 13,65 \text{ кВАр};$$

$$Q_{зм.3} = 6,4 \cdot 0,86 = 5,50 \text{ кВАр};$$

$$Q_{зм.4} = 13 \cdot 0,75 = 9,75 \text{ кВАр};$$

$$Q_{зм.5} = 6,5 \cdot 0,75 = 4,87 \text{ кВАр};$$

$$Q_{зм.6} = 180 \cdot 0,86 = 154,8 \text{ кВАр};$$

$$Q_{зм.7} = 0,1 \cdot 0,9 = 0.09 \text{ кВАр}.$$

Визначаємо у кВт коефіцієнт використання середньозважений:

$$Кв.ср.зв.= \sum P_{зм.}/ \sum P_{н} \quad (2.3)$$

де $\sum P_{зм}$ – сумарна змінна активна потужність усього обладнання, кВт;

$\sum P_{н}$ – сумарна активна потужність усього обладнання, кВт.

$$\sum Рзм. = Рзм.1 + Рзм.2 + Рзм.3 + Рзм.4 + \ldots + Рзм.44 , \text{ кВт}; \quad (2.4)$$

$$\sum P_{зм.} = 26,88+18,2+6,4+13+6,5+180+0,1=251,08 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н} = \sum P_{н.1} + \sum P_{н.2} + \sum P_{н.3} + \sum P_{н.4} + \ldots + \sum P_{н.44}, \text{ кВт}; \quad (2.5)$$

$$\sum P_{н} =33,6+28+32+20+10+360+0,5=484,1 \text{ кВт};$$

$$К_{в.ср.зв.} = \frac{251,08}{484,1} = 0,51.$$

Визначаємо у од. ефективне число електроспоживачів: якщо $M=P_{max}/P_{min} >3$, а $К_{в.ср.зв.}>0,2$, тоді:

$$M= \frac{180}{0,5} =360>0,2;$$

$$n_e =2\cdot \frac{\sum P_H}{P_{max}}, \text{ од.};$$

$$n_e=2\cdot \frac{484,1}{180} =5 \text{од.}$$

де P_{max}- максимальна потужність найбільшого споживача у групі, кВт якщо $M=P_{max}/P_{min} >3$ а, $К_{в.ср.зв.}<0,2$, тоді:

$$n_e = n.$$

Визначаємо коефіцієнт максимуму:

$$Kmax=1,51.$$

Знаючи коефіцієнт максимуму визначаємо у кВт сумарну активну максимальну потужність:

$$P_{max} = K_{max} \cdot \sum P_{зм.} ; \quad (2.6)$$

$$P_{max}=1,51 \cdot 251,08=379.13 \text{ кВт.}$$

Визначаємо у кВАр максимальну реактивну потужність, так як $n_e > 10$, тоді:

$$Q_{max} = \sum Q_{зм}; \quad (2.7)$$

$$Q_{max} = \sum Q_{зм} = Q_{зм1} + Q_{зм2} + Q_{зм3} + Q_{зм4} + \ldots + Q_{зм44} \text{ , кВАр} ; \quad (2.8)$$

$$Q_{max} = \sum Q_{зм} = 20,16+13,65+5,50+9,75+4,87+154,8+0,09=208,87 \text{ кВАр.}$$

Визначаємо потужність освітлення у кВт, враховуючи площу дільниці:

$$P_{осв.} = P_{пит.осв.} \cdot f \cdot 10^{-3}, \quad (2.9)$$

де $P_{пит.осв.}$– питома потужність освітлення;

f – площа цеху, f= 800 м^2

$$P_{осв.} = 17 \cdot 800 \cdot 10^{-3} = 13,6 .$$

Визначаємо розрахункову потужність освітлення, кВт:

$$P_{роз.осв.} = P_{осв} \cdot К_{п} \cdot К_{з} \ , \qquad (2.9)$$

де $К_{п}$ – коефіцієнт попиту;

$К_{з}$ – коефіцієнт запасу;

$$P_{роз.осв.} = 13,6 \cdot 0,95 \cdot 1,5 = 19,38.$$

Визначаємо кВА повну розрахункову потужність і повну максимальну потужність, кВА:

$$S_{роз.} = \sqrt{(\sum Pзм \ + \ Pр.осв)^2 + \sum Qзм^{\,2}} , \qquad (2.10)$$

$$S_{роз.} = \sqrt{(251,08 + 19,38)^2 + 208,87^2} = 341,42,$$

$$S_{max} = \sqrt{(Pmax \ + Pроз.осв.)^2 + \ \sum Q2max} , \qquad (2.11)$$

$$S_{max} = \sqrt{(379,13 \ + \ 19,38)^2 + 208,87^2} = 449,93.$$

Проводимо порівняння максимальної та розрахункової потужностей:

Розрахунок електричних навантажень методом питомих потужностей виконано вірно, якщо виконується умова $S_{max} > S_{роз.}$

$$449,93 \text{ кВА} > 341,42 \text{ кВА}.$$

2.2 Розрахунок і вибір високовольтної лінії живлення і величини напруги

Спочатку необхідно намітити два варіанти величини напруги:

$$U_{н1}= 6кВ;$$

$$U_{н2} =10 кВ.$$

Для кожної напруги визначаємо розрахунковий струм в А:

$$I_{роз}=\frac{Sроз}{\sqrt{3}\cdot U_н} \quad (2.12)$$

де $S_{роз}$ = 284,68 кВА (з розрахунку вибору компенсаційного обладнання);

$U_н$ – номінальна напруга лінії живлення, кВ.

$$I_{роз1} = \frac{284,68}{\sqrt{3}\cdot 6} = 27,39А;$$

$$I_{роз2} = \frac{284,68}{\sqrt{3}\cdot 10} = 16,43А.$$

Для кожної напруги знаходимо максимальний струм в А:

$$I_{max} = \frac{Smax}{\sqrt{3}\cdot U_н}, \quad (2.13)$$

де S_{max} =408,29кВА (з розрахунку вибору компенсаційного обладнання)

$$I_{max1} = \frac{408,29}{\sqrt{3}\cdot 6} = 39,28;$$

$$I_{max2} = \frac{408,29}{\sqrt{3}\cdot 10} = 23,57.$$

Визначаємо економічно доцільний перетин кабелю для кожної напруги в мм^2:

$$S_{ек} = \frac{Imax}{Jек}\ , \qquad (2.14)$$

де $J_{ек}$- економічна кількість струму лінії живлення табл. 1,$J_{ек}$ =1,4 А/мм^2

$$S_{ек1} = \frac{39,28}{1,4} = 28,05;$$

$$S_{ек2} = \frac{23,57}{1,4} = 16,83.$$

Відповідно розрахованого економічного перетину вибираємо три стандартних перетини з яких один менше розрахункового, а два більше табл. 2, табл. 3:

Для $U_{н1}$=6кВ $S_{ек1}$=28,05мм^2 вибираємо перетин кабелю [25,35,50] мм^2.

Для $U_{н2}$=10кВ $S_{ек2}$= 16,83мм^2 вибираємо перетин кабелю [16,25,35] мм^2.

Визначаємо коефіцієнт завантаження лінії в А:

$$К_{зл} = \frac{Imax}{Iдоп}\ , \qquad (2.15)$$

де $К_{зл}$ – коефіцієнт завантаження лінії;

$I_{доп}$ – допустимий струм кабельної лінії [6] с. 126,

$$U_н = 6кВ \begin{cases} Кзл1,1 = \frac{39,28}{105} = 0,37 \\ Кзл1,2 = \frac{39,28}{125} = 0,31 \\ Кзл1,3 = \frac{39,28}{155} = 0,25 \end{cases}$$

$$U_н = 10кВ \begin{cases} Кзл2,1 = \frac{23,57}{75} = 0,31 \\ Кзл2,2 = \frac{23,57}{90} = 0,26 \\ Кзл2,3 = \frac{23,57}{115} = 0,20 . \end{cases}$$

Для обраного перетину визначаємо капітальні витрати на спорудження кабельної лінії в грн:

$$K_л = K_0 \cdot l \ , \qquad (2.16)$$

де $K_л$– капітальні витрати на спорудження кабельної лінії, грн.;

K_0 - питомі витрати на спорудження 1 км. кабельної лінії, грн.;

l - довжина кабельної лінії, l = 0,9км,

$$U_н = 6кВ = \begin{cases} Кл1,1 = 3000 \cdot 0,9 = 2700 \\ Кл1,2 = 4200 \cdot 0,9 = 3780 \\ Кл1,3 = 6000 \cdot 0,9 = 5400 \end{cases}$$

$$U_н = 10кВ = \begin{cases} Кл2,1 = 1950 \cdot 0,9 = 1755 \\ Кл2,2 = 3000 \cdot 0,9 = 2700 \\ Кл23 = 4200 \cdot 0,9 = 3780 . \end{cases}$$

Визначаємо щорічні амортизаційні відрахування в грн:

$$B_а = \frac{Pа\%}{100\%} \cdot K_л \ , \qquad (2.17)$$

$P_а$ - відсоток відрахувань на амортизацію кабелю [1] с. 152, $P_а$ = 4,5 %.

$$U_н=6кВ=\begin{cases} Ва1,1=\frac{4,5\%}{100\%}\cdot 2700=121,5 \\ Ва1,2=\frac{4,5\%}{100\%}\cdot 3780=170,1 \\ Ва1,3=\frac{4,5\%}{100\%}\cdot 5400=243 \end{cases}$$

$$U_н=10кВ=\begin{cases} Ва2,1=\frac{4,5\%}{100\%}\cdot 1755=78,97 \\ Ва2,2=\frac{4,5\%}{100\%}\cdot 2700=121,5 \\ Ва2,3=\frac{4,5\%}{100\%}\cdot 3780=170,1\,. \end{cases}$$

Визначаємо вартість втрат електроенергії в лінії в грн:

$$Вв.л..=\Delta P_{пит.}\cdot l\cdot(Кз.л.)^2\cdot ß\cdot\tau_{max,} \qquad (2.18)$$

де $\Delta P_{пит.}$- питома потужність кабельної лінії, кВт;

τ_{max} – час найбільших втрат в лінії, визначаємо час втрат в лінії виходячи з cos φ [1] с.93

$$\cos\varphi=\frac{\sum Рзм}{Sроз}, \qquad (2.19)$$

$$\cos\varphi=\frac{251,08}{284,68}=0,88,$$

де $\sum P_{зм}$ = 251,08кВт (з розрахунку електричних навантажень)

$S_{роз.}$ = 284.68кВА (з розрахунку компенсаційного обладнання)

cos φ = 0,88 τ =4300 годин.

Визначення час втрат в лінії в лінії виходячи з cos φ зображено на рис.2.2.

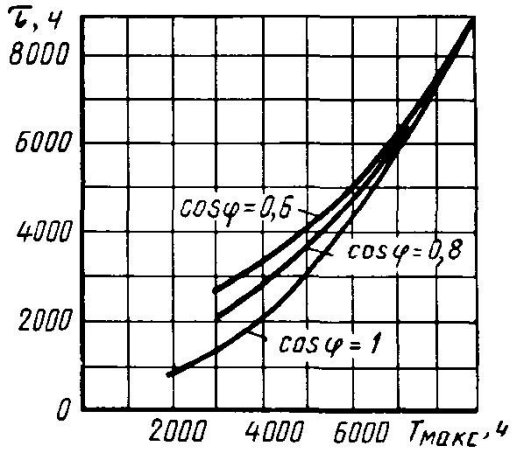


Рисунок 2.2- Визначення час втрат в лінії виходячи з cos φ

$$U_н6Кв=\begin{cases} Вв.л.1.1 = 70 \cdot 0,9 \cdot (0,37)^2 \cdot 1,67 \cdot 3000 = 43209,74 \\ Вв.л.1.2 = 85 \cdot 0,9 \cdot (0,31)^2 \cdot 1,67 \cdot 3000 = 36831,76 \\ Вв.л.1.3 = 110 \cdot 0,9 \cdot (0,25)^2 \cdot 1,67 \cdot 3000 = 30999,37 \end{cases}$$

$$U_{н2}=10Кв=\begin{cases} Вв.л.2.1 = 46 \cdot 0,9 \cdot (0,31)^2 \cdot 1,67 \cdot 3000 = 19932,48 \\ Вв.л.2.2 = 65 \cdot 0,9 \cdot (0,26)^2 \cdot 1,67 \cdot 3000 = 19812,54 \\ Вв.л.2.3 = 80 \cdot 0,9 \cdot (0,20)^2 \cdot 1,67 \cdot 3000 = 14428,8 \ . \end{cases}$$

Визначаємо експлуатаційні витрати на експлуатацію кабельної лінії в грн:

$$B_е=B_{в.л}+B_а \qquad (2.20)$$

$$U_{н1} = 6кВ = \begin{cases} Ве1.1 = 43209,74 + 121,5 = 43331,24 \\ Ве1.2 = 36831,76 + 170,1 = 37001,86 \\ Ве1.3 = 30999,37 + 243 = 31242,37 \end{cases}$$

$$U_{н1} = 10кВ = \begin{cases} Ве2.1 = 19932,48 + 78,97 = 20011,45 \\ Ве2.2 = 19812,54 + 121,5 = 19934,04 \\ Ве2.3 = 14428,8 + 170,1 = 14598,9 \end{cases}$$

Визначаємо річні витрати в грн:

$$B_{р.л.}=B_{є}+0,15\cdot K_{л} \quad (2.21)$$

$$Uн1 = 6кВ = \begin{cases} Вр.л.1.1 = 43331,24 + 0,15 \cdot 2700 = 43736,24 \\ Вр.л.1.2 = 37001,86 + 0,15 \cdot 3780 = 37568,86 \\ Вр.л.1.3 = 31242,37 + 0,15 \cdot 5400 = 32052,37 \end{cases}$$

$$Uн2 = 10кВ = \begin{cases} Вр.л.2.1 = 20011,45 + 0,15 \cdot 1755 = 20274,7 \\ Вр.л.2.2 = 19934,04 + 0,15 \cdot 2700 = 20339,04 \\ Вр.л.2.3 = 14598,9 + 0,15 \cdot 3780 = 15165,9 \end{cases}$$

Визначаємо активний опір кабельної лінії в Ом:

$$R=R_0\cdot l \quad (2.22)$$

де R_0 - питомий активний опір кабельної лінії табл. 4, Ом/км

$$U_{н1} = 6кВ = \begin{cases} R1.1 = 1,24 \cdot 0,9 = 1,11 \\ R1.2 = 0,89 \cdot 0,9 = 0,80 \\ R1.2 = 0,62 \cdot 0,9 = 0,55 \end{cases}$$

$$U_{н2} = 10кВ = \begin{cases} R2.1 = 1,94 \cdot 0,9 = 1,74 \\ R2.2 = 1,24 \cdot 0,9 = 1,11 \\ R2.2 = 0,89 \cdot 0,9 = 0,80 . \end{cases}$$

Визначаємо реактивний опір кабельної лінії в Ом:

$$X=X_0\cdot l \ , \quad (2.23)$$

де X_0 – питомий реактивний опір кабельної лінії табл. 4, Ом/км

$$U_{н1}= 6кВ \begin{cases} X1.1 = 0{,}091 \cdot 0{,}9 = 0{,}08 \\ X1.2 = 0{,}084 \cdot 0{,}9 = 0{,}076 \\ X1.3 = 0{,}083 \cdot 0{,}9 = 0{,}074 \end{cases}$$

$$U_{н2} = 10кВ \begin{cases} X2.1 = 0{,}113 \cdot 0{,}9 = 0{,}10 \\ X2.2 = 0{,}099 \cdot 0{,}9 = 0{,}089 \\ X2.2 = 0{,}095 \cdot 0{,}9 = 0{,}085 . \end{cases}$$

Визначаємо втрати напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U = (P'max \cdot R + Q'max \cdot X) / (U_н^2 \cdot 10^3) * 100\% \quad (2.24)$$

$$\Delta U \leq 5\%,$$

де P'_{max} - загальна активна енергія, що проходить через лінію живлення, кВт;

$$P'_{max} = P_{max} + P_{р.осв.}, \quad (2.25)$$

де P_{max}= 379,13 кВт,

$P_{р.осв.}$= 19,38 кВт (з розрахунку електричних навантажень),

$$P'_{max} = 379{,}13 + 19{,}38 = 359{,}75 ,$$

$$Q'_{max} = Q_{max} - Q_{к.у}, \quad (2.26)$$

де Q'_{max} - загальна реактивна енергія, що проходить через лінію живлення, кВАр;

Q_{max}=208,87кВАр (з розрахунку електричних навантажень),

$Q_{к.у}$= 2·60кВАр (з розрахунку вибору компенсаційного обладнання)

$$Q'_{max}= 208,87-120=88,87;$$

$$U_{н1} = 6кВ \begin{cases} \Delta U1.1 = (359,75 \cdot 1,11 + 88,87 \cdot 0,08)/(6^2 \cdot 10^3) \cdot 100\% = 1,13\ \% \\ \Delta U2.2 = (359,75 \cdot 0,80 + 88,87 \cdot 0,076)/(6^2 \cdot 10^3) \cdot 100\% = 0,82\ \% \\ \Delta U2.2 = (359,75 \cdot 0,55 + 88,87 \cdot 0,074)/(6^2 \cdot 10^3) \cdot 100\% = 0,57\ \% \end{cases}$$

$$U_{н2} = 10кВ \begin{cases} \Delta U2.1 = (359,75 \cdot 1,74 + 88,87 \cdot 0,10)/(10^2 \cdot 10^3) \cdot 100\% = 0,63\ \% \\ \Delta U2.2 = (359,75 \cdot 1,11 + 88,87 \cdot 0,089)/(10^2 \cdot 10^3) \cdot 100\% = 0,41\% \\ \Delta U2.2 = (359,75 \cdot 0,80 + 88,87 \cdot 0,085)/(10^2 \cdot 10^3) \cdot 100\% = 0,29\ \% \end{cases}$$

На підставі техніко-економічних міркувань, там де найменший коефіцієнт завантаження та втрати напруги в кабельній лінії, а також враховуючи вартість втрат, вибираємо кабель АСБ перетином 3х35 мм^2 на 10 кВ.

Дані заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані вибору високовольтного кабелю

$S_н$, кВ	Перетин кабеля, мм2	$P_{пит}$ кВт	$B_л$, грн	R_0, Ом	X_0, Ом	$B_{вл}$, грн.	$I_{доп}$, А	$B_а$, грн.	$B_{рл}$, грн.	$B_е$, грн.	ΔU, %
6	25	70	2700	1,11	0,08	43209,74	105	121,5	43736,24	43331,24	0,011
	35	85	3780	0,80	0,07	36831,76	125	170,1	37568,86	37001,86	0,008
	50	110	5400	0,55	0,07	30999,37	155	243	32052,37	31242,37	0,005
10	16	46	1755	1,74	0,10	19932,48	75	78,97	20274,7	20011,45	0,017
	25	65	2700	1,11	0,08	19812,54	90	121,5	20339,04	19934,04	0,011
	35	80	3780	0,80	0,08	14428,8	115	170,1	15165,9	14598,9	0,038

2.3 Розрахунок і вибір кількості і потужності трансформаторів на підстанції

Вибираємо два варіанта розрахунку на підставі необхідного ступеня надійності і повної потужності споживачів. В залежності від категорії споживачів II необхідно вибирати два варіанти розрахунку трансформаторних підстанцій:

для II категорії 1 варіант з 2 трансформаторами, 2 варіант з 1 трансформатором.

Для кожного з варіантів проводимо розрахунок коефіцієнта навантаження і перевіряємо можливість роботи з припустимим перенавантаженням при максимальному навантаженні трансформаторів табл. 1:

$$K_{з.роз.}=\frac{Sроз}{\sum Sн.тр} \quad , \tag{2.27}$$

де $S_{роз}$ =284,68кВА (з розрахунку компенсаційного обладнання);

$\sum S_{н.тр.}$ - сумарна номінальна повна потужність трансформатора, кВА

$$K_{з.роз\ 1} = \frac{284,68}{630} = 0,45 \text{ кВА};$$

$$K_{з.роз.2} = \frac{284,68}{2 \cdot 400} = 0,35 \text{ кВА}.$$

$$K_{з.\ max}=\frac{Smax}{\sum Sн.тр} \text{, кВа,} \tag{2.28}$$

де S_{max} = 408,29кВА (з розрахунку компенсаційного обладнання).

$$K_{з.max1.} = \frac{408,29}{630} = 0,64 \text{ кВА};$$

$$K_{з.max.2} = \frac{408,29}{2 \cdot 400} = 0,51 \text{кВА}.$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження одного трансформатора при аварії іншого на двотрансформаторній КТП:

$$K_{за} = \frac{Smax}{Sн.тр.} \cdot 0,75 \leq 1,18, \quad (2.29)$$

де $S_{н.тр.}$- номінальна повна потужність одного трансформатора, кВт ;

$$K_{за} = \frac{408,29}{400} \cdot 0,75 = 0,76.$$

Робимо висновок: якщо коефіцієнт завантаження при аварії менше допустимого ми можемо приймати цей трансформатор до установки.

Визначаємо втрати потужності у трансформаторі при холостому ході:

$$\Delta P'_{х.х.}1 = \Delta P_{х.х.} + K_в \cdot \sum S_{н.тр.} \cdot \frac{Iх.х\%}{100\%} \text{ кВт}, \quad (2.30)$$

де $\Delta P_{х.х.}$ - втрати потужності в трансформаторі при холостому ході, що виникли у сталі табл. 1, кВт ;$\Delta P_{х.х.}$ =1,05кВт;

$K_в$ - коефіцієнт використання [1] с.52; $K_в$ = 0,12 ;

$I_{х.х.}$- струм холостого ходу табл. 1, $I_{х.х.}$ =1,0 %

Для двотрансформаторної системи:

$$\Delta P'_{х.х}2 = 2 \cdot \Delta P_{х.х} + K_в \cdot \sum S_{н.тр.} \cdot 2 \cdot \frac{Iх.х\%}{100\%} \text{ кВт}, \quad (2.31)$$

де $\Delta P_{х.х.}$– втрати потужності в трансформаторі при холостому ході, що виникли у сталі табл. 1; $\Delta P_{х.х.} = 0,83$ кВт;

$I_{х.х.}$ – струм холостого ходу табл. 1; $I_{х.х.} = 1,1$ %,

$$\Delta P'_{х.х\ 1}=1,05+0.12\cdot 630\cdot \frac{1,0}{100} = 1,80\text{кВт};$$

$$\Delta P'_{х.х\ 2}= 2\cdot 0,83+0,12\cdot 2\cdot 400\cdot \frac{2\cdot 1,1}{100} = 2,71\text{кВт}.$$

Визначаємо втрати потужності в трансформаторі при короткому замиканні:

$$\Delta P'_{к.з.1} = \Delta P_{к.з.} + K_в \cdot \sum S_{н.тр.} \cdot \frac{Uк.з\%}{100\%} \text{ кВт}, \qquad (2.32)$$

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати потужності в трансформаторі при короткому замиканні, що виникли в обмотці табл. 1, кВт; $\Delta P_{к.з.}= 7,6$кВт;

$U_{к.з.}$ – напруга короткого замикання табл. 1, %, $U_{к.з.}= 5,5$ %.

Для двотрансформаторної системи:

$$\Delta P'_{к.з.2} = 2\Delta P_{к.з.} + K_в \cdot \sum S_{н.тр.} \cdot \frac{2Uк.з\%}{100\%} \text{ кВт}, \qquad (2.33)$$

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати потужності в трансформаторі при короткому замиканні, що виникли в обмотці табл. 1, кВт; $\Delta P_{к.з.} = 5,5$кВт;

$U_{к.з.}$ – напруга короткого замикання табл. 1, %, $U_{к.з.} =4,5$ %.

$$\Delta P'_{к.з.1} =7,6+0,12\cdot 630\cdot \frac{5,5\%}{100\%} = 11,75\text{кВт};$$

$$\Delta P'_{к.з2} = 2 \cdot 5,5 + 0,12 \cdot 2 \cdot 400 \cdot \frac{2 \cdot 4,5\%}{100\%} = 13,16 кВт.$$

Визначаємо загальні витрати в трансформаторі (загальні втрати потужності):

$$\Delta P' = \Delta P'_{х.х} + K^2_{з.max} \cdot \Delta P'_{к.з.}, кВт; \qquad (2.34)$$

$$\Delta P'_1 = 1,80 + (0,64)^2 \cdot 11,75 = 6,61 кВт,$$

$$\Delta P'_2 = 2,71 + (0,51)^2 \cdot 13,16 = 6,13 кВт.$$

Визначаємо загальні втрати в трансформаторі:

$$\Delta W = \Delta P' \cdot T, кВт год, \qquad (2.35)$$

де Т – річний час роботи трансформатора; Т = 4300 год;

$$\Delta W_1 = 6,61 \cdot 4300 = 28555,2 кВт год,$$

$$\Delta W_2 = 6,13 \cdot 4300 = 26481,6 кВт год.$$

Визначаємо вартість втрат електроенергії в трансформаторі:

$$В_в = \Delta W \cdot \beta, грн, \qquad (2.36)$$

де β- вартість 1 кВт енергії, грн. β = 2,50 грн.

$$В_{в1} = 28555,2 \cdot 2,50 = 71388 грн,$$

$$В_{в2} = 26481,6 \cdot 2,50 = 66204 \text{ грн.}$$

Визначаємо вартість амортизаційних відрахувань:

$$В_а = \frac{Ра\%}{100\%} \cdot К_т \text{ , грн ,} \qquad (2.37)$$

де $Р_а$ - відсоток амортизаційних відрахувань [1] с. 152, $Р_а$ = 7,3 %;

$К_т$ - вартість одного трансформатора табл. 1,$К_{т1}$ =148800грн., $К_{т2}$=2·49750грн.

$$В_{а1} = \frac{7,3\%}{100\%} \cdot 148800 = 10862,4 \text{ грн;}$$

$$В_{а2} = \frac{7,3\%}{100\%} \cdot 2 \cdot 49750 = 7263,5 \text{ грн.}$$

Визначаємо експлуатаційні витрати на трансформаторну підстанцію,грн:

$$В_е = В_в + В_а \text{ ,} \qquad (2.38)$$

$$В_{е1} = 71388 + 10862,4 = 82250,4,$$

$$В_{е2} = 66204 + 7263,5 = 73467,5 .$$

Визначаємо річні витрати на трансформаторну підстанцію,грн:

$$В_р = В_е + 0,15 \cdot К_т, \text{ грн.} \qquad (2.39)$$

$$В_{р1} = 82250,4 + 0,15 \cdot 148800 = 104570,4 ,$$

$$В_{р2} = 73467,5 + 0,15 \cdot 2 \cdot 99500 = 88392,5 .$$

Розрахунки зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові дані для вибору трансформаторів

Тип тр-ра	Потуж-ність $S_т$, кВт	Рх.х, кВт	Іх.х. %	Uк.з. %	Вартість $К_т$, тис. грн.	$\Delta P'_{х.х.}$ кВт	ΔW, кВт·год	$В_в$, грн.	$В_а$, грн	$В_е$, грн	$В_р$, грн
ТМ	630	1,05	1,0	5,5	99500	1.4	28555,2	71388	10862,4	82250,4	104570,4
ТМ	2·400	0,83	1,1	4,5	2·49750	3.4	26481,6	66204	7263,5	73467,5	88392,5

На підставі техніко-економічних міркувань при порівнянні річних та експлуатаційних витрат, коефіцієнта завантаження та втрат енергії в трансформаторі вибираємо однотрансформаторну підстанцію з трифазним трансформатором з двома обмотками типу ТМ потужністю $S_т$=2·400кВА і вартістю $К_т$=2·49750грн.

2.4Розрахунок струму короткого замикання на високій стороні трансформатора

Складаємо схему електропостачання системи (рисунок 2.3).

Для розрахунку кожної точки короткого замикання складається схема заміщення, яка потім перетворюється і приводиться до одного еквівалентного опору.

Для двотрансформаторної системи:

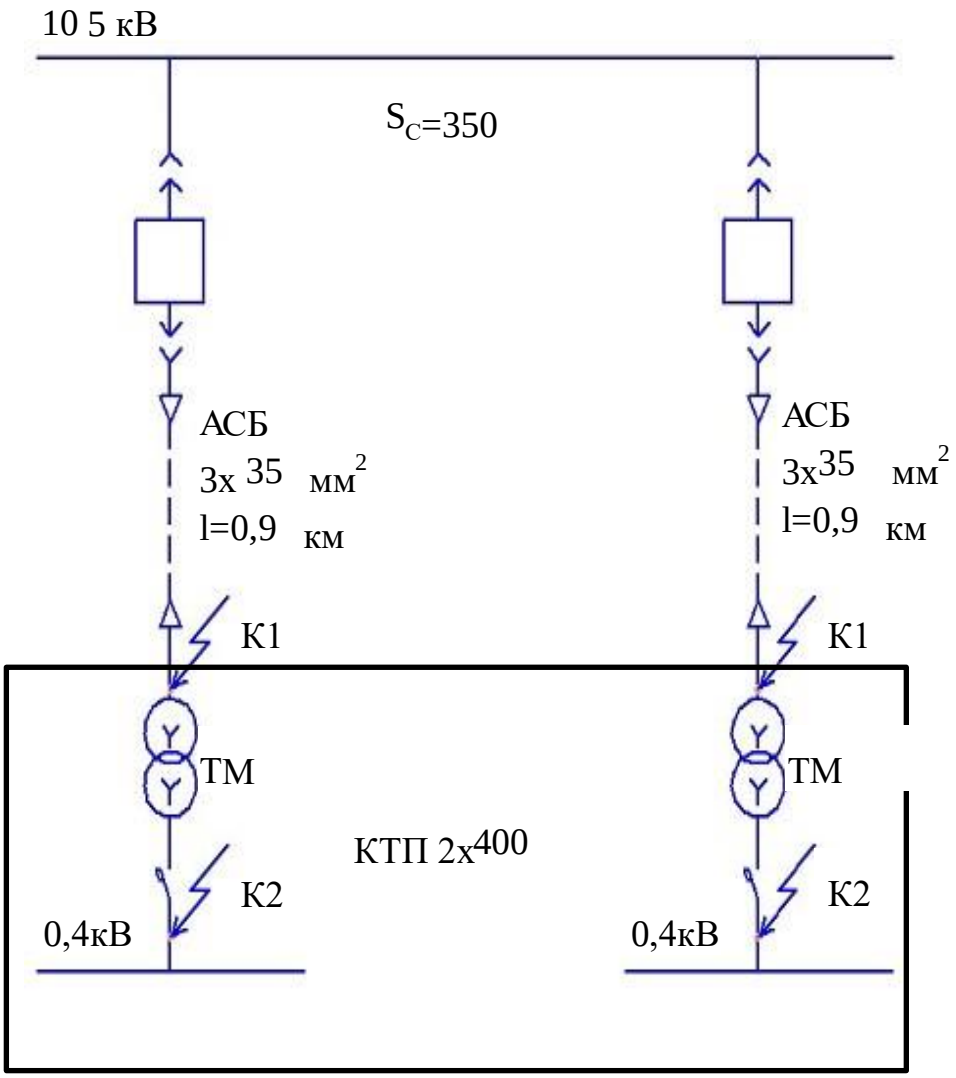


Рисунок 2.3 – Схема електропостачання двох трансформаторної системи

Складаємо схему заміщення струмів короткого замикання в точці K_1 (рис.2.4).

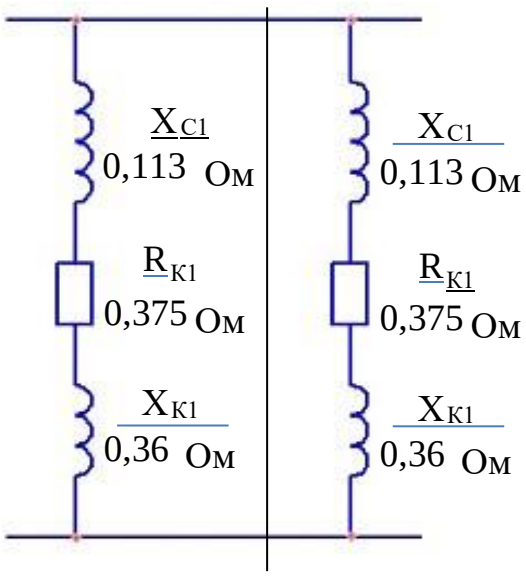


Рисунок 2.4 - Схема заміщення для точки $К_1$

Визначаємо реактивний опір системи для струмів короткого замикання в точці $К_1$:

$$X_{c1} = \frac{U1^2}{S_{відкл}} \text{ Ом}, \quad (2.40)$$

де U_1 - напруга високої сторони трансформатора, U_1 = 10,5 кВ;

$S_{відкл}$ - потужність відключення трансформатора, $S_{відкл}$= 350 МВА,

$$X_{c1} = \frac{10,5^2}{350} = 0,315 \text{ Ом}.$$

Визначаємо активний опір кабельної лінії, Ом:

$$R_{кл} = \frac{1000 * l}{S\hat{}0 \cdot \gamma}, \quad (2.41)$$

де l - довжина лінії живлення, l =0,9км;

S^0 - перетин кабельної лінії живлення, 3·35 мм^2;

γ - питома провідність: мідь – 54 мм/Ом мм^2, алюміній – 32 мм/Ом мм^2

$$R_{кl} = \frac{1000 \cdot 0.9}{3 \cdot 35 \cdot 32} = 0{,}268 .$$

Визначаємо реактивний опір кабельної лінії, Ом:

$$X_{кl} = X_0 \cdot l, \qquad (2.42)$$

де X_0 - реактивний опір 1 км кабельної лінії, Ом/км:

X_0 - по землі 0,08 Ом/км; у повітрі 0,4 Ом/км,

$$X_{кl} = 0{,}4 \cdot 0{,}9 = 0{,}36.$$

Визначаємо повний опір схеми заміщення для точки K_1:

$$Z_1 = \sqrt{R к^2 1 + (Xc1 + X к1)^2} \text{ , Ом} \qquad (2.43)$$

$$Z_1 = \sqrt{0{,}268^2 + (0{,}315 + 0{,}36)^2} = 0{,}73 \text{ Ом.}$$

Визначаємо сталий струм короткого замикання для точки K_1:

$$I_1^{(к^3)}{}_{з.} = \frac{U1}{\sqrt{3} \cdot Z1} \text{ , кА;} \qquad (2.44)$$

$$I_1^{(к^3)}{}_{з.}. = \frac{10{,}5}{\sqrt{3} \cdot 0{,}73} = 8{,}31 \text{ кА;}$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot I_{1к.з.}^{(3)} \cdot K_y \text{ , кА} \qquad (2.45)$$

Визначаємо ударний струм короткого замикання в точці K_1:

$$K_{y1} = \frac{X_{R1}}{R_{к1}}, \text{ Ом} \tag{2.46}$$

На рис.2.5 наведено Графік для визначення ударного коефіцієнту.

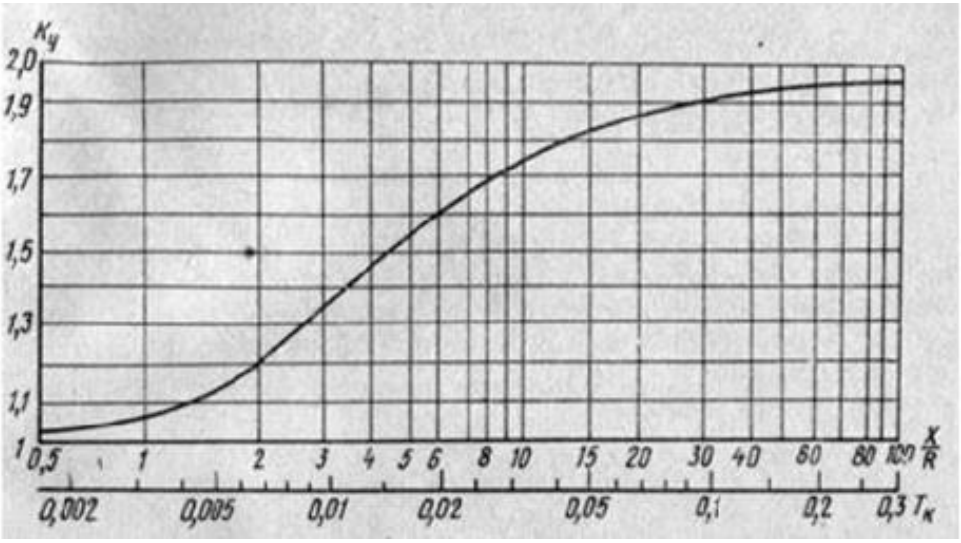


Рисунок 2.5 – Графік для визначення ударного коефіцієнту

$$X_{R1}=X_{c1}+X_{k1,} \text{ Ом}, \tag{2.47}$$

$$X_{R1} = 0{,}315+0{,}36=0{,}675 \text{ Ом},$$

$$К_{y1} = \frac{0{,}675}{0{,}268} = 2{,}51 \rightarrow 1{,}25 \text{ Ом},$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 8{,}31 \cdot 1{,}25 = 14{,}69 \text{ кА}.$$

Визначаємо потужність короткого замикання для точки K_1:

$$S_1 = \sqrt{2} \cdot I^{(3)}_{1к.з.} \cdot U_1, \text{ МВА}, \tag{2.48}$$

$$S_{кз1} = \sqrt{2} \cdot 8{,}31 \cdot 10{,}5 = 123{,}39 \text{ МВА}.$$

2.5 Розрахунок і вибір високовольтного обладнання і перевірки його на дію струмів короткого замикання

Вибір високовольтного обладнання виконується по номінальному струму, номінальній напрузі, конструктивному виконанню і місцю установки.

Перевіряється на стійкість струмів короткого замикання, динамічну і термічну стійкість. Вибір високовольтного обладнання відбувається шляхом порівняння каталожних і розрахункових даних.

Вибір і перевірка високовольтного автоматичного вимикача.

Визначаємо розрахунковий струм, А:

$$I_{Роз}=\frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3}\cdot U_н}, \quad (2.49)$$

де $S_{н.тр}$=400кВА (з розрахунку і вибору кількості і потужності тр-рів на підстанції);

$U_н$ – напруга установки, $U_н$=10,5кВ (з розрахунку і вибору високовольтної лінії живлення і величина напруги 10,5кВ) ,

$$I_{роз} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 10,5} = 22,02 .$$

Порівняльні дані високовольтного автоматичного вимикача наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Порівняльні дані високовольтного автоматичного вимикача

Параметри	Розрахункові дані			Каталожні дан		
	Позна-чення	Одиниці вимірювання	Величина	Позна-чення	Одиниці вимірю-вання	Вели-чина
Номінальна напруга	$U_{н.1}$	кВ	10,5	$U_{н.а.}$	кВ	6
Розрахунковий струм	$I_{роз} = I_{н.1}$	А	137,66	$I_{н.а.}$	А	630
Номінальний струм відключення	$I_{к.з.1}$	кА	8,29	$I_{н.в.}$	кА	20
Потужність відключення	$S_{к.з.1}$	МВА	123,39	$S_{н.в.}$	МВА	363,738
Струм електро-динамічної стійкості	$i_{у.1}$	кА	14,69	$I_{д.с}$	$кА^2/с$	51
Струм термічної стійкості	$I_{т,с}$	кА	3,85	$I_{т.с}/t$	кА/с	20

Визначаємо струм термічної стійкості:

$$I_{т.с} = I^{(3)}_{к.з.1.} \cdot \sqrt{\frac{t_{пр}}{t}} \ , \qquad (2.50)$$

де $I^{(3)}_{к.з.1.}$ = 8,31 кА (з розрахунку струмів короткого замикання на високій стороні трансформатора);

t- час дії термічного струму табл. 1, t=3с,

$t_{пр}$ −проведений час дії струмів короткого замикання,

$$t_{пр} = t_в + t_{р.з.} \ , с \qquad (2.51)$$

де $t_в$ - власний час відключення вимикача, $t_в$ =0,057с ,

$t_{р.з.}$ - час спрацьовування релейного захисту (з умови завдання), $t_{р.з.}$ = 0,6с.

$$t_{пр} = 0,057+0,6=0,65 \text{ с},$$

$$I_{т.с.} = 8,31 \cdot \sqrt{\frac{0,65}{3}} = 3,86 \text{ кА}.$$

З огляду на каталожні дані визначаємо потужності відключення автомата:

$$S_{н.в.} = \sqrt{3} \cdot I_{н.в.} \cdot U_{н.а.}, \text{ мВА} \quad (2.52)$$

де $U_{н.а.}$ - номінальна напруга автомата табл. 1, $U_{н.а.}$ = 10,5 кВ,

$I_{н.в.}$ - номінальний струм відключення табл. 1, $I_{н.в.}$ = 20 кА ,

$$S_{н.в.} = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10,5 = 363,73 \text{ мВА}.$$

В результаті порівняння каталожних і розрахункових даних вибираємо високовольтний вимикач ВР-1.

Вибір і перевірка трансформаторів струму:

Вибирають трансформатор струму по номінальному струму і напрузі, по навантаженню на первинній і вторинній обмотках, класу точності і припустимій похибці. Перевіряються на термічну і динамічну стійкість до струмів короткого замикання, на 10% похибку в мережах захисту.

$$I_{ном} > I_{роз}$$

Навантаження вторинного кола для забезпечення роботи трансформатору струму потрібного класу точності, повинно бути

$$S_{2ном} > S_{2роз}$$

Визначаємо сумарну розрахункову потужність на вторинній обмотці трансформатора струму:

$$S_{2\,роз} = S_{прил} + I_{2ном}^2 \cdot (\frac{\sqrt{3} \cdot l}{\gamma \cdot S_{дрот}} + R_{кон}), \text{ ВА} \quad (2.53)$$

де $I_{2ном}$- номінальний струм на вторинній обмотці трансформатора,

$I_{2ном}$ =5А;

γ - питома провідність матеріалу, для алюмінію γ =32 м/ом·мм^2;

$S_{дрот}$ - перетин дроту, який з'єднує прилади між собою, $S_{дрот}$ =4мм;

l - довжина дротів, які з'єднують між собою приладів, l =5−7 м;

$R_{кон}$- перехідний контактний опір, $R_{кон}$ =0,1 Ом;

$S_{прил}$ - сумарна потужність приладів ввімкнених до вторинної обмотки трансформатора:

$$S_{прил} = 0{,}25+0{,}25+0{,}25+2{,}5+2{,}5+3+3=11{,}75 \text{ ВА},$$

$$S_{2\,роз} = 11{,}75 + 5^2 \cdot (\frac{\sqrt{3} \cdot 7}{32 \cdot 4} + 0{,}1) = 16{,}62 BA$$

Потужність вимірювальних приладів наведена в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Потужність вимірювальних приладів

Найменування	Фаза А	Фаза В	Фаза С
	ВА	ВА	ВА
Амперметр	0,25	0,25	0,25
Струмова обмотка лічильника	2,5	-	2,5
Струмове реле	3	-	3

– Дані трансформатора струму наведені в табл.2.6.

Таблиця 2.6 – Дані трансформатора струму

Параметри	Розрахункові дані			Каталожні дані		
	Позначення	Одиниці вимірювання	Величина	Позначення	Одиниці вимірю-вання	Вели-чина
Номінальна напруга	$U_{н.1}$	кВ	10,5	$U_{н.т}$	кВ	12
Первинний струм	$I_{н.1}$	А	22,02	$I_{н.1}$	А	50
Потужність	$S_{2роз}$	ВА	16,62	$S_{2ном}$	ВА	25
Струм ударний	$i_{у.1}$	кА	14,69	$I_{д.с}$	кА	18,68
Струм термічної стійкості	$I_{т.с.р}$	к $А^2$ с	3,85	$I_{т.с}/\tau$	к $А^2$ с	15,18

Визначаємо сумарну номінальну потужність на вторинній обмотці трансформатора струму:

$$S_{2ном} = I_2{}^2_{ном} \cdot R_{ном}, \text{ ВА}, \quad (2.54)$$

де $R_{ном}$ - номінальний опір вторинної обмотки трансформатора, $R_{ном}$ =1Ом;

$$S_{2ном} = 5^2 \cdot 1 = 25\text{ВА}.$$

Визначаємо струм термічної стійкості трансформатору струму:

$$I_{т.с.} = (К_{т.с.} \cdot I_{н.т.})^2 \cdot \tau, \text{ кА}, \quad (2.55)$$

де τ - граничний струм термічної стійкості табл. 2, τ=3 с;

$К_{т.с.}$ - кратність термічного струму табл. 2, $К_{т.с.}$ = 45,

$I_{н.т.}$ - струм первинної обмотки трансформатору табл. 2, $I_{н.т.}$ =0,050 кА;

$$I_{т.с.} = (45 \cdot 0{,}050)^2 \cdot 3 = 15{,}18 \text{ кА}.$$

Визначаємо розрахунковий струм термічної стійкості:

$$I_{т.с.р.} = I_{т}^{2}{}_{.с.} \cdot \tau, \text{ кА с}, \qquad (2.56)$$

де $I_{т.с.р.}$ - струм термічної стійкості роз'єднувача табл. 2,

$$I_{т.с.р.} = 15{,}18 \cdot 3 = 45{,}56 \text{ кА}.$$

Визначаємо струм динамічної стійкості:

$$\overline{I_{д.с.}} = \sqrt{2} \cdot I_{н.т.} \cdot I_{д.с.}, \text{ кА} \qquad (2.57)$$

де $I_{д.с.}$ - табличне значення струму електродинамічної стійкості табл. 2,

$$I_{д.с.} = 1{,}4 \cdot 17{,}5 \cdot 0{,}050 = 1{,}23 \text{кА}.$$

На основі каталожних даних вибираємо трансформатор струму типу ТОЛК-10 табл. 2.

Вибір трансформатора напруги:

Трансформатор напруги вибираємо по параметрам: класу точності і навантаження, яке визначається потужністю, що споживається котушками електровимірювальних приладів приєднуваних до даного трансформатора, а також на можливість контролю ізоляції в мережах з ізольованою нейтраллю.

Трансформатори напруги не перевіряються на електродинамічну і термічну стійкість.

Визначаємо потужність приладів:

$$S_{прил}=2,6+2,6+2,6+1,5+1,5+15+15=40,8 \text{ ВА}.$$

Визначаємо сумарну розрахункову потужність:

$$S_{роз} = S_{прил} + I_{2ном}^2 \cdot (\frac{\sqrt{3} \cdot l}{\gamma \cdot S_{дрот}} + R_{кон}) \text{, ВА} \qquad (2.58)$$

$$S_{роз} = 40,8 + 5^2 \cdot (\frac{\sqrt{3} \cdot 7}{32 \cdot 4} + 0,1) = 12,8BA$$

До вторинної обмотки трансформатора напруги підключаються наступні прилади (табл. 2.7):

Таблиця 2.7 – Потужність вимірювальних приладів

Найменування	Фаза А	Фаза В	Фаза С
	ВА	ВА	ВА
Вольтметр	2,6	2,6	2,6
Обмотки напруги лічильника електричної енергії	1,5	-	1,5
Реле напруги	1,5	-	1,5

Відповідно до умови каталожних даних вибираємо трансформатор напруги типу НАМИ-10.

2.6 Розрахунок струмів короткого замикання на низькій стороні трансформатора

Всі опори знайдені для точки $К_1$ приводяться до сторони 0,4 кВ, складається схема заміщення в точці $К_2$:

Визначаємо реактивний опір системи для точки $К_2$:

$$X_{с2} = X_{с1} \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2},\ \text{мОм}, \qquad (2.59)$$

де U_2 - напруга низької сторони трансформатора, U_2 = 0,4кВ,

$$X_{с2} = 0{,}315 \cdot \frac{0{,}4^{\,2}}{10{,}5^{\,2}} = 0{,}46\ \text{мОм}.$$

Визначаємо індуктивний опір кабельної лінії в точці $К_2$, мОм:

$$X_{к2} = X_{к1} \cdot \frac{U_2{}^2}{U_1{}^2}, \qquad (2.60)$$

де $X_{к1}$ - індуктивний опір кабельної лінії в точці $К_1$, $X_{к1}$= 0,36 (з п.р. №5);

$$X_{к2} = 0{,}36 \cdot \frac{0{,}4^2}{10{,}5^{\,2}} = 0,\ 52\ .$$

Визначаємо активний опір в точці $К_2$:

$$R_{к2} = R_{к1} \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2},\ \text{мОм} \qquad (2.61)$$

де $R_{к1}$ - активний опір кабельної лінії в точці $К_1$, $R_{к1}$= 0,375 Ом (з п.р. №5);

$$R_{к2} = 0{,}268 \cdot \frac{0{,}4^2}{10{,}5^{\,2}} = 0{,}39 \text{ мОм.}$$

Визначаємо активний опір силового трансформатора:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_2^2}{S_{тр}^2}, \text{ мОм} \qquad (2.62)$$

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати в трансформаторі при короткому замиканні табл.1(пр.р.№4), $\Delta P_{к.з.}$ =5,5кВт;

$S_{тр}$ - потужність одного трансформатора, $S_{тр}$ =400кВА (з розрахунку і вибору кількості потужності трансформатора на підстанції):

$$R_{тр} = \frac{5{,}5 \cdot 400^2}{400^2} = 0{,}55 \text{ мОм.}$$

Визначаємо індуктивний опір силового трансформатора:

$$X_{тр} = \frac{U_2^2}{S_{тр}} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{к.з.}\%}{100\%}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{тр}}\right)^2}, \text{ мОм} \qquad (2.63)$$

де $U_{к.з.}$ – напруга короткого замикання, $U_{к.з.}$ = 4,5%.

$$X_{тр} = \frac{400^2}{400} \cdot \sqrt{\left(\frac{4{,}5\%}{100\%}\right)^2 - \left(\frac{5{,}5}{400}\right)^2} = 17{,}13 \text{ мОм.}$$

Схема заміщення струмів короткого замикання в точці К2 зображена на рисунку 2.6.

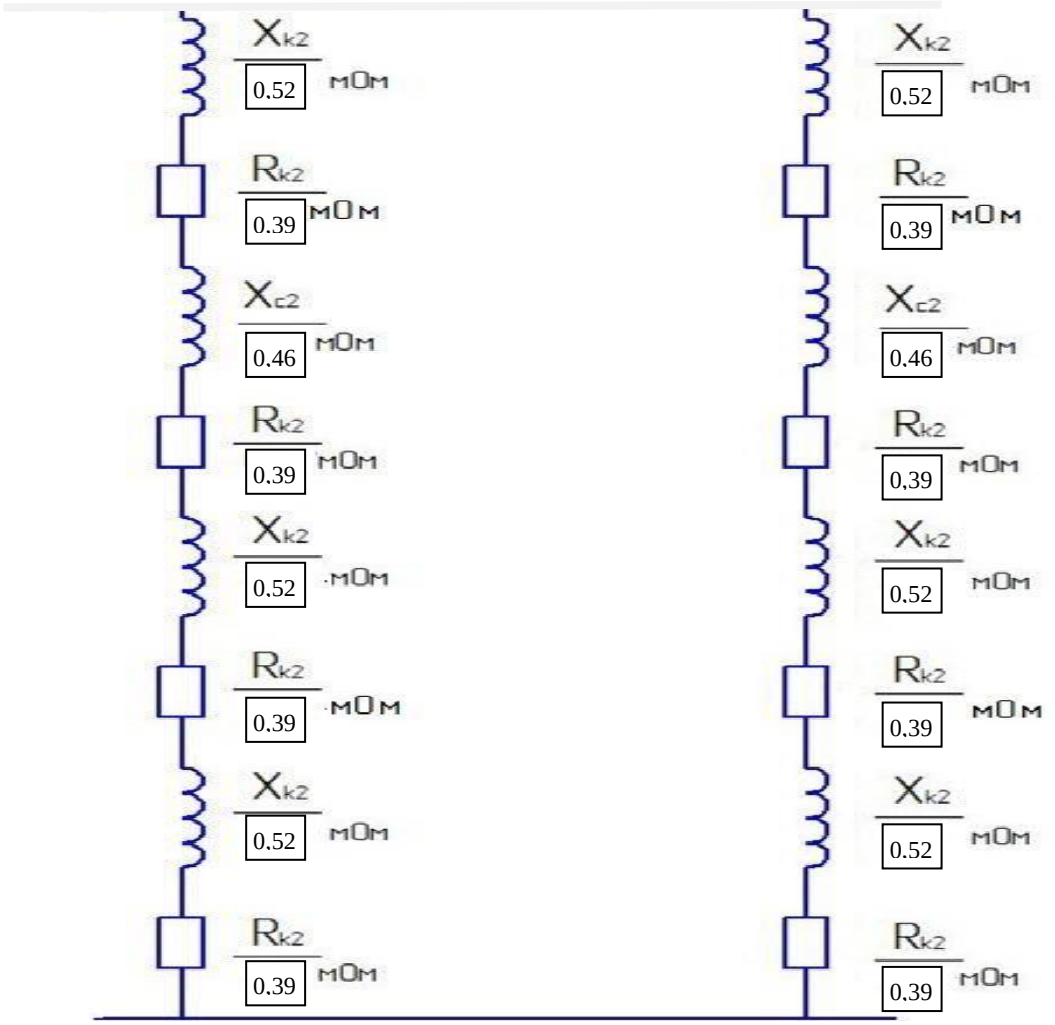


Рисунок 2.6–Схема заміщення струмів короткого замикання в точці К2

Визначаємо номінальний струм трансформатора:

$$I_н = \frac{1{,}4 \cdot S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_2}, \text{ А} \quad (2.64),$$

де 1,4 – коефіцієнт враховуючий додаткову загрузку на автомат і шини трансформатора,

$$I_н = \frac{1{,}4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 808{,}29 \text{ А}.$$

Вибираємо активний і реактивний опори шин по номінальному струму табл.1:

$$I_{н.к.} > I_н$$

де $I_{н.к.}$ - номінальний каталожний струм шини, А.

Обираю шину 60х6 , за таблицею 2 записати активний та індуктивний опір шини:

$$R_{ош} = 0,099 мОм/м,$$

$$X_{ош} = 0,189 мОм/м.$$

Визначаємо активний і реактивний опори автомата по номінальному струму. Номінальний струм автомата визначаємо за формулою:

$$I_{на} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos\varphi} \quad (2.65)$$

$$I_{на} = \frac{408,29}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88} = 716,29,$$

де S_{max} – максимальна потужність з розрахунку компенсаційного обладнання, $S_{max} = 408,29 кВА$

cos φ - формула 8, з пр.р №3, cos φ= 0,88

Користуючись таблицею №3 обираємо опір котушок максимального струму автоматів:

$$R_а = 0,12 мОм,$$

$$X_а = 0,094 мОм.$$

Визначаємо активний і реактивний опор шини відповідно до її довжини:

$$R_ш = R_{ош} \cdot l, мОм, \quad (2.66)$$

де $R_{ош}$ - активний опір одного метра шини, мОм/м;

l - довжина шини, 3-10 м

$$R_{ш} = 0{,}099 \cdot 8 = 0{,}792 \text{ мОм/м}$$

$$X_{ш} = X_{ош} \cdot l \,, \qquad (2.67)$$

де $X_{ош}$ - реактивний опір одного метра шини, мОм/м;

$$X_{ш} = 0{,}189 \cdot 8 = 1{,}512 \text{ мОм/м.}$$

Перехідні контактні опори для точки K_2 приймаємо:

$$R_{пк} = 15 \text{мОм.}$$

Визначаємо загальний активний, реактивний опори системи для точки K_2:

$$R_{рез.2} = R_{k2} + \frac{R\text{тр} + R\text{а} + R\text{ш} + R\text{пк}}{2}, \text{ мОм} \qquad (2.68)$$

де $R_{рез2}$ - загальний активний опір системи в точці K_2, мОм;

R_a - активний опір автомата, мОм,

$$R_{рез.2} = 0{,}39 + \frac{5{,}5 + 0{,}12 + 0{,}792 + 15}{2} = 8{,}62 \text{ мОм,}$$

$$X_{рез.2} = X_{с2} + X_{к2} + \frac{X\text{тр} + X\text{а} + X\text{ш}}{2}, \text{ мОм,} \qquad (2.69)$$

де $X_{рез2}$ - загальний реактивний опір системи в точці K_2, мОм;

X_a - реактивний опір автомата, мОм ,

$$X_{рез.2} = 0{,}45 + 0{,}52 + \frac{17{,}3 + 0{,}094 + 1{,}512}{2} = 10{,}352 \text{ мОм,}$$

$$Z_2=\sqrt{R_{рез.2}^2+X_{рез.2}^2}\ \text{, мОм,} \qquad (2.70)$$

де Z_2 - повний опір системи в точці $К_2$, мОм ,

$$Z_2=\sqrt{8{,}62^2+10{,}35^2}=13{,}47\text{мОм.}$$

Визначаємо сталий струм короткого замикання для точки $К_2$:

$$I_{2к.з.}^{(3)}=\frac{U_2}{\sqrt{3}\cdot Z_2}\text{ , кА,} \qquad (2.71)$$

$$I_{2к.з.}^{(3)}=\frac{400}{\sqrt{3}\cdot 13{,}47}=17{,}14\text{ кА.}$$

Визначаємо ударний струм короткого замикання:

$$i_{у2}=\sqrt{2}\cdot I_{2к.з.}^{(3)}\cdot К_у\text{ , кА,} \qquad (2.72)$$

де $К_у$ - ударний коефіцієнт який знаходиться по графіку [1] с. 228 рис. 6.2.

$$К_у=\frac{X_{R1}}{R_{К1}}\text{ ,} \qquad (2.73)$$

де X_{R2} - сумарний реактивний опір схеми замикання в точці $К_2$, Ом ,

$$X_{R2}=X_{с2}+X_{к2}\text{ , мОм ,} \qquad (2.74)$$

$$X_{R2}=0{,}45+0{,}52=0{,}94\text{ мОм,}$$

$$К_у=\frac{0{,}94}{0{,}39}=2{,}49\rightarrow 1{,}25\text{ Ом,}$$

$$i_{у2}=\sqrt{2}\cdot 17{,}14\cdot 1{,}25=30{,}31\text{кА.}$$

Визначаємо потужність короткого замикання для точки K_2:

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot I_{2к.з.}^{(3)} \cdot U_2, \text{ кВА} \quad (2.75)$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot 17{,}14 \cdot 0{,}4 = 11{,}87 \text{МВА}.$$

Порівняємо струм короткого замикання, ударний струм і потужність короткого замикання на високій і низькій стороні трансформатора

$$I_{2к.з.}^{(3)} > I_{1к.з.}^{(3)};$$

$$17{,}14 \text{ кА} > 8{,}31 \text{ кА};$$

$$i_{y2} > i_{y1};$$

$$30{,}31 \text{ кА} > 14{,}69 \text{ кА};$$

$$S_2 < S_1;$$

$$11{,}87 \text{ МВА} < 123{,}39 \text{ МВА}.$$

Висновок: розрахунок струмів короткого замикання виконано вірно, якщо виконується порівняння.

2.7 Розрахунок і вибір релейного захисту

Апарати релейного захисту – це спеціальні пристрої, що забезпечують автоматичне відключення пошкодженої частини електричної установки або мережі. Якщо пошкодження не представляє для установки безпосередньої небезпеки, то релейний захист приводить в дію сигнальні пристрої. Для забезпечення надійної роботи релейний захист повинен: мати вибірковість, володіти досить високою чутливістю, бути виконаним по найбільш простій схемі з найменшим числом апаратів.

Види захисту установлюються на трансформаторі залежно від потужності, місця його установки і режиму експлуатації. У нашому випадку

для обраного трансформатора потужністю 1600 кВА з урахуванням категорії електропостачання, можливості роботи у режимах перевантажень, намічаємо такі типи релейного захисту:

1) максимально-струмовий захист з витримкою часу;
2) максимально-струмова відсічка;
3) захист від замикання на землю;
4) максимальний захист від перенавантаження;
5) газовий захист.

Максимально струмовий захист з витримкою часу діє при надструмах, виникаючих при зовнішніх к.з. на відключення трансформатору.

Визначаємо струм спрацьовування захисту в А:

$$I_{с.з.} = \frac{К_н \cdot I_н}{К_{т.т.}}, \quad (2.76)$$

де $К_н$ – коефіцієнт надійності $К_н$ =3;

$I_н$ – первинний струм трансформатора струму,

$К_{т.т.}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора $К_{т.т.} = 10(50/5)$.

$$I_{с.з.} = \frac{3 \cdot 50}{10} = 15.$$

Максимально струмова відсічка діє на відключення трансформатора без витримки часу при між фазних к.з. в обмотках трансформатора і на його виводах.

Встановлюється зазвичай з боку живлення на всіх трансформаторах, не маючих диференційного захисту.

Визначаємо максимальний струм захисту в А:

$$I_{max} = \frac{S_{н.тр}}{1.73 \cdot U_н}, \quad (2.77)$$

$$I_{max} = \frac{400}{1{,}73 \cdot 10{,}5} = 22{,}02.$$

Визначаємо струм спрацювання захисту в А:

$$I_{с.з.} = \frac{К_н \cdot К_{сз} \cdot Ксх}{К_п \cdot К_{т.т.}} \cdot Imax\ , \qquad (2.78)$$

де $К_н$ – коефіцієнт надійності $К_н = 1{,}5$;

$К_{сз}$ – коефіцієнт самозапуску $К_{сз} = 3$;

$К_п$ – коефіцієнт повернення $К_в = 0{,}89$;

$К_{сх}$ – коефіцієнт схеми $К_{сх} = 1$;

$$I_{с.з.} = \frac{1{,}5 \cdot 3 \cdot 1}{0{,}89 \cdot 10} \cdot 22{,}02 = 11{,}13\ .$$

Визначаємо коефіцієнт чутливості:

$$К_ч = \frac{I_{к.з2}}{I_{с.з2}}\ , \qquad (2.79)$$

$$К_ч = \frac{17{,}14}{11{,}13} = 1{,}54.$$

Газовий захист діє на сигнал та відключення трансформатора при ушкодженнях в середині кожуху трансформатору, що супроводжується виділенням газів і зниженням рівня масла.

Встановлюється на внутрішньо цехових трансформаторах потужністю 400 кВА і вище. Принцип дії газового захисту заснований на тому, що всіляк і ушкодження трансформатора всередині бака супроводжуються виділенням

газоподібних продуктів розкладання трансформаторного масла і тому піднімаються вгору у бік розширювача. газовий захист виконується таким чином, що при повільному газоутворенні подаються сигнали, а при бурхливому (що відбувається при виткових замиканнях) – відбулося відключення трансформатора. Схема газового захисту наведена на рис.2.7.

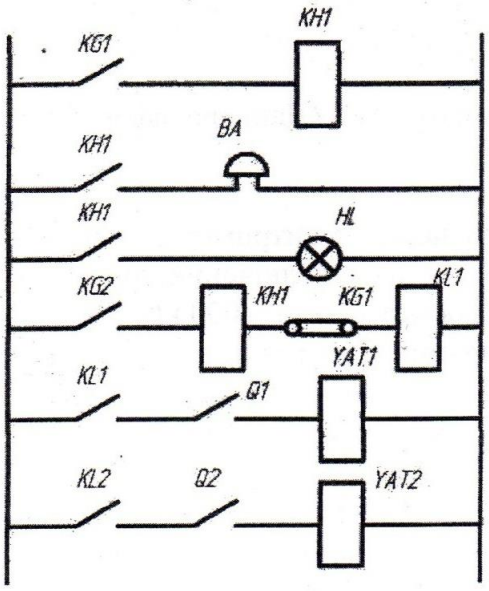


Рисунок 2.7 - Схема газового захисту

2.8 Розрахунок і вибір розподільчих мереж напругою до 1000В

Мережі напругою до 1 кВ служать для розподілу електроенергії усередині цехів промислових підприємств. Схема внутрішньо-цехової мережі визначається технологічним процесом виробництва, плануванням приміщень цеху, розрахунковою потужністю, вимогами безперебійності електропостачання, техніко - економічними міркуваннями, умовами довкілля.

Розділяють магістральні, радіальні, змішані.

Радіальні схеми застосовують за наявності груп зосереджених навантажень з нерівномірним розподілом їх по площі цеху. Розподіл енергії в них робиться радіальними лініями від розподільних пунктів, винесених в окремі приміщення. Радіальні схеми внутріцехових мереж виконують

кабелями або ізольованими дротами. Вони можуть бути застосовані для навантажень будь-якої надійності. Недоліками є: мала економічність, пов'язана зі значною витратою провідникового матеріалу, розподільних шаф; велике число захисної і комутаційної апаратури; обмежена гнучкість мережі при переміщенні приймачів, викликаних зміною технологічного процесу.

Магістральні схеми застосовують для живлення силових і освітлювальних навантажень розподілених відносно рівномірно по площі цеху. Магістральний шинопровід приєднується безпосередньо до КТП. Шино проводом називається жорсткий струмопровід заводського виготовлення напругою до 1 кВ, що поставляється комплектними секціями. При магістральній схемі електроприймачі можуть бути підключені у будь-якій точці магістралі. Достоїнства: висока гнучкість мережі дає можливість перестановок технологічного устаткування без переробок мережі, економічність. Недоліки: менша надійність в порівнянні з радіальними схемами, застосування шинопроводу постійного перерізу призводить до перевитрати провідникового матеріалу, при ушкодженні магістральної мережі відключаються усі споживачі живлені від неї.

Найбільше поширення мають змішані схеми. Такі схеми поєднують в собі елементи радіальних і магістральних схем і придатні для будь-якої категорії електропостачання.

За номінальною потужністю необхідно обрати до кожного обладнання двигун, при цьому потужність двигуна повинна бути більшою ніж номінальна потужність обладнання. Обираємо двигуни (табл. 2.8.).

Таблиця 2.8 – Каталожні дані двигунів

Найменування	Тип двигуна	$P_н$	$P'_н$	$U_н$	$\cos\varphi$	$\eta_н$
		кВт	кВт	В	-	%
1. Водяний насос	5AMX132S4	5,6	7,5	380	0,85	0,875
2.Вентилятор витяжний	5AMX132S4	7	7,5	380	0,85	0,875
3.Дросель	5AMX132M4	8	11	380	0,85	0,89
4.Насос	5AMX132M4	10	11	380	0,85	0,89

5.Вентилятор	5АМХ112М4	2,5	5,5	380	0,83	0,86
6. Електролізер	5АМ315М4е	180	200	380	0,89	0,956
7. Шафа сигналізації	5А80МА4	0,5	1,1	380	0,79	0,73

Визначаємо номінальний довготривалий струм:

$$I_{н.д.} = \frac{P'_н \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi_н \cdot \eta_н}, \quad (2.80)$$

де $I_{н.д.}$ – номінальний довготривалий струм, А;

$P'_н$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$U_н$ – номінальна напруга електромережі, $U_н = 380$ В;

$\cos\varphi_н$ – номінальний коефіцієнт потужності;

$\eta_н$ – номінальний коефіцієнт корисної дії,

$$I_{н.д.1} = \frac{7,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,875} = 15,32 \text{ А},$$

$$I_{н.д.2} = \frac{7,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,875} = 15,32 \text{ А},$$

$$I_{н.д.3} = \frac{11 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,89} = 22,09 \text{ А},$$

$$I_{н.д.4} = \frac{11 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,89} = 22,09 \text{ А},$$

$$I_{н.д.5} = \frac{5,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,86} = 11,70 \text{ А},$$

$$I_{н.д.6} = \frac{200 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,956} = 357,13 \text{ А},$$

$$I_{н.д.7} = \frac{1,1 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,79 \cdot 0,73} = 2,89 \text{ А}.$$

Визначаємо тип і перетин кабелю за таблицею 2 по допустимому струму за умовою:

$$I_{доп.} \geq \frac{I_{н.д.}}{К_{попр.}}, \quad (2.81)$$

де $К_{попр.}$ – коефіцієнт поправки, $К_{попр.} = 1$.

1. Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос: 19А>15,32А. Обираємо кабель типу АВВГ(4х2,5)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=12,1Ом/км.

2. Електродвигун 5АМХ132S4; Вентилятор витяжний: 19А>15,32А. Обираємо кабель типу АВВГ(4х2,5)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=12,1Ом/км.

3. Електродвигун 5АМХ132М4; Дросель: 27А>22,09А. Обираємо кабель типу АВВГ(4х4)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=7,41Ом/км.

4. Електродвигун 5АМХ132М4; Насос: 27А>22,09А. Обираємо кабель типу АВВГ(4х4)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=7,41Ом/км.

5. Електродвигун 5АМХ112М4; Вентилятор: 19А>11,70А. Обираємо кабель типу АВВГ(4х2,5)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=12,1Ом/км.

6. Електродвигун 5АМ315М4е; Електролізер: 499А>357,13А. Обираємо кабель типу АВВГ(3х240+1х185)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=0,0754Ом/км.

7. Шафа сигналізації: 19А>2,89А. Обираємо кабель типу АВВГ(4х2,5)мм^2. Прокладку ведемо в повітрі. Z_o=12,1Ом/км.

Визначаємо критичний струм для кожного виду обладнання.

Так як всі двигуни, обрані для змінного струму знаходимо критичний струм за формулою:

$$I_{к.р.} = 5 \div 7 \cdot I_{н.д.}, \quad (2.82)$$

де $I_{к.р.}$ – критичний струм, А,

$$I_{к.р.1} = 6 \cdot 15{,}32 = 91{,}92 \text{ А},$$

$$I_{к.р.2} = 6 \cdot 15{,}32 = 91{,}92 \text{ А},$$

$$I_{к.р.3} = 6 \cdot 22{,}09 = 132{,}54 \text{ А},$$

$$I_{к.р.4} = 6 \cdot 22{,}09 = 132{,}54 \text{ А},$$

$$I_{к.р.5} = 6 \cdot 11{,}70 = 70{,}2 \text{ А},$$

$$I_{к.р.6} = 6 \cdot 357{,}13 = 2142{,}78 \text{ А},$$

$$I_{к.р.7} = 6 \cdot 2{,}89 = 17{,}34 \text{ А}.$$

Визначаємо струм теплового розчіплювача:

$$I_{т.р.} = 1{,}25 \cdot I_{н.д.}\,, \qquad (2.83)$$

де $I_{т.р.}$ – струм теплового розчіплювача, А.

$$I_{т.р.1} = 1{,}25 \cdot 15{,}32 = 19{,}15 \text{ А},$$

$$I_{т.р.2} = 1{,}25 \cdot 15{,}32 = 19{,}15 \text{ А},$$

$$I_{т.р.3} = 1{,}25 \cdot 22{,}09 = 27{,}61 \text{ А},$$

$$I_{т.р.4} = 1{,}25 \cdot 22{,}09 = 27{,}61 \text{ А},$$

$$I_{т.р.5} = 1{,}25 \cdot 11{,}70 = 14{,}62 \text{ А},$$

$$I_{т.р.6} = 1{,}25 \cdot 357{,}13 = 446{,}61 \text{ А},$$

$$I_{т.р.7} = 1{,}25 \cdot 2{,}89 = 3{,}61 \text{ А}.$$

Визначаємо струм електромагнітного розчіплювача для таблиці:

$$I_{е.р.} = 1{,}25 \cdot I_{к.р.}\,, \qquad (2.84)$$

де $I_{к.р.}$ – струм теплового розчіплювача автомата, А,

$$I_{е.р.1} = 1{,}25 \cdot 91{,}92 = 114{,}9 \text{ А},$$

$$I_{е.р.2} = 1{,}25 \cdot 91{,}92 = 114{,}9 \text{ А},$$

$$I_{е.р.3} = 1{,}25 \cdot 132{,}54 = 165{,}67 \text{ А},$$

$$I_{е.р.4} = 1{,}25 \cdot 132{,}54 = 165{,}67 \text{ А},$$

$$I_{е.р.5} = 1{,}25 \cdot 70{,}2 = 87{,}75 \text{ А},$$

$$I_{е.р.6} = 1{,}25 \cdot 2142{,}78 = 2678{,}47 \text{ А},$$

$$I_{е.р.7} = 1{,}25 \cdot 17{,}34 = 21{,}67 \text{ А}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач на напругу 380 В для приєднання кожного електрообладнання за умовою (таблиця 3) :

$$I_{н.а.} > I_{т.р},$$

1. Електродвигун 5AMX132S4; Водяний насос: $I_{н.а.1} = 20\text{А} > I_{т.р.1} = 19{,}15\text{А}$. Обираємо тип автоматичного вимикача А3114/1-триполюсні.

2. Електродвигун 5AMX132S4; Вентилятор витяжний: $I_{н.а.1} = 20\text{А} > I_{т.р.1} = 19{,}15\text{А}$. Обираємо тип автоматичного вимикача. А3114/1-триполюсні

3. Електродвигун 5AMX132M4; Дросель: $I_{н.а.1} = 32\text{А} > I_{т.р.1} = 27{,}61\text{А}$. Обираємо тип автоматичного вимикача А3114/1-триполюсні.

4. Електродвигун 5AMX132M4; Насос: $I_{н.а.1} = 32\text{А} > I_{т.р.1} = 27{,}61\text{А}$. Обираємо тип автоматичного вимикача А3114/1-триполюсні.

5. Електродвигун 5AMX112M4; Вентилятор: $I_{н.а.1} = 16\text{А} > I_{т.р.1} = 15{,}62\text{А}$. Обираємо тип автоматичного вимикача А3114/1-триполюсні.

6. Електродвигун 5AM315M4e; Електролізер: $I_{н.а.1} = 499\text{А} > I_{т.р.1} = 446{,}61\text{А}$. Обираємо тип автоматичного вимикача А-3144.

7. Шафа сигналізації: $I_{н.а.1} = 4{,}6А > I_{т.р.1} = 3{,}61А$. Обираємо тип автоматичного вимикача АЕ-2016.

Визначаємо струм електромагнітного розчеплювача для кожного автоматичного вимикача (для приєднання кожного електрообладнання):

$$I_{е.р.} = I_{т.р.} \cdot К_{п.}\ , \qquad (2.85)$$

де $К_{п.}$ – поправочний коефіцієнт для вимикачів , $К_{п.}$ =10 [5],

$I_{т.р.} = I_{н.а.}$- струм теплового розчеплювача автоматичного вимикача, який дорівнює номінальному струму автоматичного вимикача, А,

$$I_{е.р.1} = 20 \cdot 10\text{=}200\ А,$$

$$I_{е.р.2} = 20 \cdot 10\text{=}200\ А,$$

$$I_{е.р.3} = 32 \cdot 10\text{=}320\ А,$$

$$I_{е.р.4} = 32 \cdot 10\text{=}320\ А,$$

$$I_{е.р.5} = 16 \cdot 10\text{=}160\ А,$$

$$I_{е.р.6} = 500 \cdot 10\text{=}5000\ А,$$

$$I_{е.р.7} = 4{,}6 \cdot 10\text{=}46\ А.$$

Визначаємо опір кабельної лінії, що живить кожне електрообладнання:

$$Z_{кл} = Z_0 \cdot l,\ Ом, \qquad (2.86)$$

де $Z_{кл}$ - опір кабельної лінії, що живить електрообладнання, Ом;

Z_0 – питомий опір кабельної лінії, Ом/км;

l – довжина кабельної , що живить електрообладнання, км.

$$Z_{кл1-1} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121\ Ом,$$

$$Z_{кл1-2} = 12{,}1 \cdot 0{,}013 = 0{,}15 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл1-3} = 12{,}1 \cdot 0{,}014 = 0{,}16 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл1-4} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл1-5} = 12{,}1 \cdot 0{,}013 = 0{,}15 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл1-6} = 12{,}1 \cdot 0{,}014 = 0{,}16 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл2-1} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл2-2} = 12{,}1 \cdot 0{,}022 = 0{,}26 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл2-3} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл2-4} = 12{,}1 \cdot 0{,}022 = 0{,}26 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл3-1} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл3-2} = 12{,}1 \cdot 0{,}022 = 0{,}26 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл3-3} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл3-4} = 12{,}1 \cdot 0{,}023 = 0{,}27 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл4-1} = 12{,}1 \cdot 0{,}012 = 0{,}14 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл4-2} = 12{,}1 \cdot 0{,}011 = 0{,}13 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл5-1} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом}$$

$$Z_{кл5-2} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл5-3} = 12{,}1 \cdot 0{,}026 = 0{,}31 \text{Ом},$$

$$Z_{кл5-4} = 12{,}1 \cdot 0{,}026 = 0{,}31 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл6-1} = 0{,}125 \cdot 0{,}098 = 0{,}012 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл6-2} = 0{,}125 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом},$$

$$Z_{кл7-1} = 12{,}1 \cdot 0{,}010 = 0{,}121 \text{ Ом}.$$

Визначаємо струм однофазного короткого замикання в А:

$$I_{к.з}^{(1)} = \frac{U_ф}{Z_N + \frac{Z_{т.р.}}{3}}, \quad (2.87)$$

де $I_{к.з}^{(1)}$ – струм короткого замикання, А;

$U_ф$ – фазна напруга, $U_ф = 220$ В;

Z_N – опір кабелю, Ом/км;

$\frac{Z_{т.р.}}{3}$ – опір обмотки трансформатора[5]с.100 Ом(таблиця 4).

$\frac{Z_{т.р.}}{3} = 0{,}06$ Ом

$$I_{к.з1-1}^{(1)} = \frac{220}{0{,}090+0{,}06} = 1466{,}6 \text{ А},$$

$$I_{к.з1-2}^{(1)} = \frac{220}{0{,}15+0{,}06} = 1047{,}6 \text{ А},$$

$$I_{к.з1-3}^{(1)} = \frac{220}{0{,}16+0{,}06} = 1000 \text{ А},$$

$$I_{к.з1-4}^{(1)} = \frac{220}{0{,}15+0{,}06} = 1496{,}5 \text{ А},$$

$$I_{к.з1-5}^{(1)} = \frac{220}{0{,}15+0{,}06} = 1047{,}6 \text{ А},$$

$$I_{к.з1-6}^{(1)} = \frac{220}{0{,}16+0{,}06} = 1000 \text{ А},$$

$$I_{к.з2-1}^{(1)} = \frac{220}{0{,}062+0{,}06} = 1803{,}3 \text{ А},$$

$$I_{к.з2-2}^{(1)} = \frac{220}{0{,}26+0{,}06} = 687{,}5 \text{ А},$$

$$I_{к.з2-3}^{(1)} = \frac{220}{0{,}067+0{,}06} = 1732{,}3 \text{ А},$$

$$I_{к.з2-4}^{(1)} = \frac{220}{0{,}26+0{,}06} = 687{,}5 \text{ А},$$

$$I_{к.з3-1}^{(1)} = \frac{220}{0{,}036+0{,}06} = 2291{,}6 \text{ А},$$

$$I_{к.з3-2}^{(1)} = \frac{220}{0,26+0,06} = 687,5 \text{ А},$$

$$I_{к.з3-3}^{(1)} = \frac{220}{0,041+0,06} = 2178,2 \text{ А},$$

$$I_{к.з3-4}^{(1)} = \frac{220}{0,27+0,06} = 666,6 \text{ А},$$

$$I_{к.з4-1}^{(1)} = \frac{220}{0,14+0,06} = 1100 \text{ А},$$

$$I_{к.з4-2}^{(1)} = \frac{220}{0,13+0,06} = 1157,9 \text{ А},$$

$$I_{к.з5-1}^{(1)} = \frac{220}{0,33+0,06} = 564,1 \text{ А},$$

$$I_{к.з5-2}^{(1)} = \frac{220}{0,030+0,06} = 2444,4 \text{ А},$$

$$I_{к.з5-3}^{(1)} = \frac{220}{0,31+0,06} = 594,6 \text{ А},$$

$$I_{к.з5-4}^{(1)} = \frac{220}{0,31+0,06} = 594,6 \text{ А},$$

$$I_{к.з6-1}^{(1)} = \frac{220}{0,012+0,06} = 3055,5 \text{ А},$$

$$I_{к.з6-2}^{(1)} = \frac{220}{0,0012+0,06} = 3594,7 \text{ А},$$

$$I_{к.з7-1}^{(1)} = \frac{220}{0,075+0,06} = 1629,6 \text{ А}.$$

Розподіляємо обладнання по РП від КТП:

РП-1 підключаємо наступне обладнання:

1)Електродвигун 5АМХ112М4; Вентилятор (5.1),

$P_н$=2,5кВт, cosϕ=0,83

2) Електродвигун 5АМХ132М4; Дросель (3.1),

$P_н$=8кВт, cosϕ=0,85

3) Електродвигун 5АМХ132S4; Вентилятор витяжний (2.1),

$P_н$=7кВт, cosϕ=0,85

4) Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос (1.1),

$P_н$=5,6кВт, cosϕ=0,85

5) Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос (1.2),

$P_н$=5,6кВт, cosϕ=0,85

6) Електродвигун 5АМ315М4е; Електролізер (6.1),

$P_н$=180кВт, cosϕ=0,89

7) Електродвигун 5АМХ132М4; Насос (4.1),

$P_н$=10кВт, cosϕ=0,85

8) Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос (1.3),

$P_н$=5,6кВт, cosϕ=0,85

9) Електродвигун 5АМХ132S4; Вентилятор витяжний (2.2),

$P_н$=7кВт, cosϕ=0,85

10) Електродвигун 5АМХ132М4; Дросель (3.2),

$P_н$=8кВт, cosϕ=0,85

11) Електродвигун 5АМХ112М4; Вентилятор (5.3),

$P_н$=2,5кВт, cosϕ=0,83

До РП-2 підключаємо наступне обладнання:

1)Електродвигун 5АМХ112М4; Вентилятор (5.2),

$P_н$=2,5кВт, cosϕ=0,83

2) Електродвигун 5АМХ112М4; Дросель (3.3),

$P_н$=8кВт, cosϕ=0,85

3) Електродвигун 5АМХ132S4; Вентилятор витяжний (2.3),

$P_н$=7кВт, cosϕ=0,85

4) Електродвигун 5А80МА4; Шафа сигналізації (7.1),

$P_н$=0,5кВт, cosϕ=0,79

5) Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос (1.4),

$P_н$=5,6кВт, cosϕ=0,85

6) Електродвигун 5АМХ132М4; Насос (4.2),

$P_н$=10кВт, cosϕ=0,85

7) Електродвигун 5АМ315М4е; Електролізер (6.2),

$P_н$=180кВт, cosϕ=0,89

8) Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос (1.5),

$P_н$=5,6кВт, cosϕ=0,85

9) Електродвигун 5АМХ132S4; Водяний насос (1.6),

$P_н$=5,6кВт, cosϕ=0,85

10) Електродвигун 5АМХ132S4; Вентилятор витяжний (2.4),

$P_н$=7кВт, cosϕ=0,85

11) Електродвигун 5АМХ132М4; Дросель (3.4),

$P_н$=8кВт, cosϕ=0,85

12) Електродвигун 5АМХ112М4; Вентилятор (5.4),

$P_н$=2,5кВт, cosϕ=0,83

Визначаємо довготривалий струм від РП до КТП(для кожного РП):

$$I_{н.д.} = \frac{P_н \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi_{ср.зв.}}, \quad (2.88)$$

де $P_н$ – сума всіх потужностей обладнання підключених до одного РП, кВт;

$\cos\varphi_{ср.зв.}$ – коефіцієнт потужності середньозважений,

$$\cos\varphi_{ср.зв.} = \frac{P_{н.1}+P_{н.2}+P_{н.3}+...+P_{н.а.}}{\frac{P_{н.1}}{\cos\varphi_1}+\frac{P_{н.2}}{\cos\varphi_2}+\frac{P_{н.3}}{\cos\varphi_3}+...+\frac{P_{н.а.}}{\cos\varphi_{н.а.}}}, \quad (2.89)$$

де $P_{н1}$ – номінальна потужність першого споживача, що живеться від РП, кВт;

$\cos\varphi_1$ – коефіцієнт потужності першого споживача, що живеться від РП.

Для РП-1

$$I_{н.д.рп1} = \frac{241,8 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87} = 422,27 \text{ кВт},$$

$$\cos\phi_{\text{ср.вз.рп1}} = \frac{2,5 + 8 + 7 + 5,6 + 5,6 + 180 + 10 + 5,6 + 7 + 8 + 2,5}{\frac{2,5}{0,83} + \frac{8}{0,85} + \frac{7}{0,85} + \frac{5,6}{0,85} + \frac{5,6}{0,85} + \frac{180}{0,89} + \frac{10}{0,85} + \frac{5,6}{0,85} + \frac{7}{0,85} + \frac{8}{0,85} + \frac{2,5}{0,83}} = 0,87$$

Для РП-2

$$I_{\text{н.д.рп2}} = \frac{242,3 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87} = 423,14 \text{ кВт},$$

$$\cos\phi_{\text{ср.вз.рп2}} = \frac{2,5+8+7+0,5+5,6+10+180+5,6+5,6+7+8+2,5}{\frac{2,5}{0,83}+\frac{8}{0,85}+\frac{7}{0,85}+\frac{0,5}{0,79}+\frac{5,6}{0,85}+\frac{10}{0,85}+\frac{180}{0,89}+\frac{5,6}{0,85}+\frac{5,6}{0,85}+\frac{7}{0,85}+\frac{8}{0,85}+\frac{2,5}{0,83}} = 0,87$$

Визначаємо довготривалий струм для щитка освітлення:

$$I_{\text{н.д. щ.о.}} = \frac{P_{\text{роз.осв.}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}, \quad (2.90)$$

$$I_{\text{к.р. щ.о.}} = 5 \div 7 \cdot I_{\text{н.д. щ.о.}}, \quad (2.91)$$

$$I_{\text{т.р. щ.о.}} = 1,25 \cdot I_{\text{н.д. щ.о.}}, \quad (2.92)$$

$$I_{\text{н.д. щ.о.}} = \frac{7,69 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,88} = 22,93,$$

$$I_{\text{к.р. щ.о.}} = 6 \cdot 22,93 = 137,58,$$

$$I_{\text{т.р. щ.о.}} = 1,25 \cdot 22,93 = 28,66.$$

Визначаємо для кожного РП переріз та тип кабельної лінії за умовою:

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{I_{\text{н.д.}}}{K_{\text{попр}}}, \text{А} \quad (2.93)$$

$$I_{доп.РП1} \geq \frac{422,27}{1} = 422,27 \text{ А},$$

$$I_{доп.РП2} \geq \frac{423,14}{1} = 423,14 \text{А},$$

де $I_{доп.}$ – довготривалий допустимий струм на обраний переріз кабелю, А; коефіцієнт поправки;

$I_{н.д.}$ – номінальний довготривалий струм для РП, А;

$К_{попр}$ – коефіцієнт поправки; $К_{попр} = 1$

1.РП-1: 499А>422,27А. Обираю кабель типу ВВГ(3х240+1х120)мм^2. Прокладку веду трубі, Z_o=0,074 Ом/км.

2.РП-2: 499А>423,14А. Обираю кабель типу ВВГ(3х240+1х120)мм^2. Прокладку веду трубі, Z_o=0,074 Ом/км.

Визначаємо критичний струм для кожного РП:

$$I_{к.р.} > 5 \div 7 \cdot I_{н.д.}, \quad (2.94)$$

$$I_{к.р1.} > 6 \cdot 422,27 = 2533,62 \text{ А},$$

$$I_{к.р2.} > 6 \cdot 423,14 = 2538,84 \text{ А}.$$

Визначаємо струм теплового розчіплювача для РП:

$$I_{т.р.} = 1,25 \cdot I_{н.д.}, \quad (2.95)$$

$$I_{т.р.рп1} = 1,25 \cdot 422,27 = 527,83 \text{ А},$$

$$I_{т.р.рп2} = 1,25 \cdot 423,14 = 528,92 \text{ А},$$

де $I_{т.р.}$ – теплового розчеплювача, А.

Визначаємо струм електромагнітного розчеплювача для кожного РП:

$$I_{е.р.} = 1{,}25 \cdot I_{к.р.}, \text{ А} \quad (2.96)$$

$$I_{е.р.рп1} = 1{,}25 \cdot 2533{,}62 = 3167{,}02 \text{ А},$$

$$I_{е.р.рп2} = 1{,}25 \cdot 2538{,}84 = 3173{,}55\text{А},$$

де $I_{е.р.}$ – струм електромагнітного розчеплювача, А.

Вибираємо автоматичний вимикач на напругу 380В для приєднання кожного РП за умовою:

$$I_{н.а.} > I_{т.р.},$$

1. РП-1: $I_{н.а.рп1} = 3500 > I_{т.р.рп1} = 3167{,}02$ А. Обираю тип автоматичного вимикача А-3144.

2. РП-2: $I_{н.а.рп1} = 3500 > I_{т.р.рп1} = 3173{,}55$ А. Обираю тип автоматичного вимикача А-3144.

3. ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

3.1 Розрахунок і вибір компенсаційного обладнання

Визначаємо розрахункову величину, потужності компенсаційної установки в кВАр:

$$Q'_{ку} = P_{max} \cdot \alpha(tg\varphi_{ср.зв.} - tg\varphi_2), \quad (3.1)$$

де P_{max}=70,83кВт (з розрахунку електричних навантажень);

α – коефіцієнт, що враховує можливість зменшення потужності, яка споживається природним способом, α = 0,9;

$tg\varphi_2$- нормоване значення установлене «Дніпроенерго»,$tg\varphi_2$=0,2; $tg\varphi_{ср.зв.}$– середньозважене значення до компенсації, яке визначається за формулою:

$$tg\varphi_{ср.зв} = \frac{Q_{max}}{P_{max}}, \quad (3.2)$$

де $Q_{max.} = \sum Q_{зм}$ = 208,87кВАр(з розрахунку електричних навантажень);

$$tg\varphi_{ср.зв} = \frac{208,87}{379,13} = 0,55,$$

$$Q'_{ку} = 379,13 \cdot 0,9(0,55 - 0,2) = 119,42 \text{ кВАр}.$$

По отриманій величині розрахункової потужності компенсаційного обладнання визначаємо стандартну величину потужності компенсаційної установки за умовою в кВАр:

$$Q_{ку} \geq Q'_{ку}$$

$$Q_{ку}= 2\cdot60 \text{ кВАр},$$

де $Q_{ку}$- стандартна величина потужності компенсаційної установки.

Вибираю дві установки УКРП-0,4-60-10УЗ 9 (рис.3.1), вартістю:

$$К_{ку} = 2\cdot6588=13176 \text{ грн.}$$



Рисунок 3.1 – Компенсаційна установка УКРП-0,4-60-10УЗ

Визначаємо вартість втрат електроенергії компенсаційного обладнання в грн:

$$В_{вку} = Р_{ку}\cdot Т\cdot ß\cdot Q_{ку} \quad (3.3)$$

де $Р_{ку}$ - питомі втрати в компенсаційному обладнанні, $Р_{ку}$ = 0,0045 кВт/кВАр;

ß- вартість 1 кВт енергії, ß =2,50грн.

Т – річна кількість годин роботи КУ, Т=4320 годин ,

$$В_{вку} = 0,0045 \cdot 4320 \cdot 2,50 \cdot 120 = 5832 .$$

Визначаємо вартість амортизаційних відрахувань в грн:

$$В_{Аку} = 0,1 \cdot К_{ку} \quad (3.4)$$

$$В_{Аку} = 0,1 \cdot 13176 = 1317,6 .$$

Визначаємо витрати на установку і експлуатацію конденсаторної батареї в грн:

$$В_{ку} = В_{вку} + В_{Аку} + 0,15 \cdot К_{ку} \quad (3.5)$$

$$В_{ку} = 5832 + 1317,6 + 0,15 \cdot 13176 = 9126.$$

Визначаємо річну економію електроенергії за рахунок зниження втрат від КУ в грн:

$$В_{р.е.} = К_{в} \cdot Q_{ку} \cdot ß \cdot Т , \quad (3.6)$$

де $К_{в}$- коефіцієнт зниження втрат (економічний еквівалент), $К_{в} = 0,12$;

$$В_{р.е} = 0,12 \cdot 120 \cdot 2,50 \cdot 4320 = 155520.$$

Визначаємо повну розрахункову потужність після установки компенсаційного обладнання в кВА:

$$S_{max}=\sqrt{(\sum Pmax + Pp.осв.)^2 + (\sum Qmax - Qку)^2}, кВА \quad (3.8)$$

$$S_{роз} = \sqrt{(\sum Pзм + Pp.осв.)^2 + (\sum Qзм - Qку)^2}, кВА \quad (3.7)$$

$$S_{роз} =\sqrt{(251,08 + 19,38)^2 + (208,87 - 120)^2} = 284,68 кВА$$

$$S_{max} =\sqrt{(379,13 + 19,38)^2 + (208,87 - 120)^2} = 408,29 кВА.$$

Висновок: на підставі техніко економічних міркувань, щорічна економія складає 155520 грн., а витрати на установку і експлуатацію 9126 грн., приймаємо компенсаційне обладнання до установки.

$$B_{р.е}>B_{ку,}$$

155520 грн >9126 грн.

1.1 Заміна електровентиляторів старого типу на нові з високим ККД

Електровентилятори встановлені в киснево компресорному цеху у кількості 4 од. Їх характеристики:

1) $P_Н$– номінальна потужність, $P_Н$ = 7 кВт;
2) тиск вентилятора h=1500,
3) продуктивність Q=20м^3/с,
4) коефіцієнт використання, $К_В$= 0,6;
5) час роботи вентилятора в рік, Т = 5556 год;
6) ККД вентилятора η_1=0,63.

Заміна вентиляторів старого типу з низьким ККД вентиляторами нового типу ВЦ 4-75 (рис.3.2) дає суттєву економію електричної енергії.



Рисунок 3.2 – Вигляд вентилятора ВЦ 4-75-8

Характеристики ВЦ 4-75-8:

1) P_H– номінальна потужність, P_H = 7кВт;
2) тиск вентилятора h=1500,
3) продуктивність Q=20,1м^3/с,
4) ККД вентилятора η_2=0,87.

$$\Delta W = \frac{h \cdot Q(\eta_1 - \eta_2) \cdot T \cdot K_B}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_E \cdot \eta_T} \quad (3.9)$$

де η_1,η_2 – ККД старого і нового вентиляторів,

η_E, η_T – ККД електродвигуна та транспортування повітря, η_E=0,8; η_T=0,9

h – тиск вентилятора, h=1500 Па;

Q- продуктивність, Q=20,1;

$К_в$- коефіцієнт використання, $К_в$=0,6;

Т- час роботи вентилятора в рік, Т=5556 год;

Отримаємо економію електричної енергії від заміни вентилятора:

$$\Delta W = \frac{2500 \cdot 2 \cdot (0{,}87 - 0{,}63) \cdot 5556 \cdot 0{,}6}{0{,}63 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9} \cdot 10^{-3} = 10303{,}3 \text{ кВт·год.}$$

Розраховуємо економію в грошовому еквіваленті:

$$E=4\Delta W\cdot b, \text{ грн,} \quad (3.10)$$

де b – тариф на електроенергію, b = 2,50 грн/кВт·год

Підставивши значення в формулу отримаємо:

$$E=4\cdot 10303{,}3\cdot 2{,}50=103033 \text{ грн.}$$

Вартість заміни вентиляторів складає:

1) вартість вентиляторів 97121 грн;
2) монтаж і обслуговування 23640 грн.

Таким чином капітальні витрати на встановлення нових вентиляторів складають КВ= 120761 грн.

Простий термін окупності:

$$T_{ок}^{пр}=\frac{КВ}{E}, \quad (3.11)$$

Отримуємо:

$$T_{ок}^{пр}=\frac{120761}{103033}=\text{ 1 рік та 2 місяці.}$$

3.2Альтернативні та відновлювані джерела енергії

Нині впровадження альтернативних джерел енергії, автономних і децентралізованих, в багатьох країнах вигідніше, як з економічної, так і з екологічної точки зору. Викопне паливо стає джерелом енергії вчорашнього дня, яке не може забезпечити стійкий розвиток людства в довгостроковій перспективі.

Україна – сонячний регіон, тому застосування сонячних фотоелектричних панелей тут, особливо актуально.

Сонячна фотоелектрична система - це сонячна електростанція, в якій використовується спосіб прямого перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну. Установка складається з набору сонячних модулів - панелей, що розміщуються на опорній конструкції або даху житлового будинку, акумуляторної батареї, регулятора заряду-розряду акумулятора, і інвертора, на випадок, коли необхідно мати напругу змінного струму.

Сонячні панелі є основним компонентом для побудови фотоелектричних систем.

Збираються вони з окремих сонячних елементів, принцип роботи яких побудований на основі явища внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках.

У фотоелектричних перетворювачах сонячної енергії використовується кремній з добавками інших елементів, що утворюють структуру з p-n - переходом. Причому товщина напівпровідника не перевищує 0,2-0,3 мм.

Так само можна виділити 2 типи фотоелектричних систем : автономні і сполучені з електричною мережею. Станції другого типу віддають надлишки електричної енергії в мережу, яка служить резервом у разі виникнення внутрішнього дефіциту електричної енергії.

Сонячні фотоелектричні системи мають ряд переваг :

1) Їх робота механічно дуже проста, немає частин, що обертаються, і не треба експлуатаційного обслуговування, окрім періодичного очищення поверхні сонячних панелей.

2) Сонячні панелі виробляють електрику, яка може запасатися в акумуляторних батареях і використовуватися залежно від місткості акумуляторної батареї.

3) Вироблення електричної енергії фотоелектричним процесом зовсім безшумне і не робить ніяких вуглекислотних і інших токсичних випарів.

4) Фотоелектричні сонячні панелі незамінні у важкодоступних і видалених районах, де прокладення ліній електропередач економічно невигідно.

Кремній, з якого виготовляються сонячні елементи, називають "нафтою 21-го століття". Розрахунки показують, що сонячний елемент з ККД 15 %, на які пішов 1 кг кремнію, за 30 років служби можуть зробити 300 МВт·год електроенергії. Рівну кількість електроенергії можна отримати, витративши 75 т нафти (з урахуванням ККД теплоелектростанцій 33 % і теплотворній здатності нафти 43,7 МДж/кг). Таким чином, 1 кг кремнію виявляється еквівалентний 75 т нафти.

Залежно від того, яким чином організовані атоми кремнію в кристалі, сонячні елементи діляться на види:

1) Сонячні модулі з монокристалічного кремнію.

2) Сонячні елементи з полікристалічного кремнію .

3) Сонячні елементи з аморфного кремнію .

Розрахунок фотоелектричної системи включає в себе наступні етапи:

1. Визначення навантаження, споживаної енергії і необхідної потужності інвертора.

2. Визначення величини ємності акумуляторних батарей та їхньої кількості.

3. Розрахунок необхідної кількості сонячних панелей.

СПЗ за один тиждень споживає 11888 кВт год.

Знаходимо енергію постійного струму з урахуванням втрат в інверторі. Для цього необхідно помножити отримане значення потужності на коефіцієнт k = 1,2

$$W_i=11888\cdot1,2=14265,6 \text{ кВт·год .} \quad (3.12)$$

Розраховуємо потужність інвертора:

$$P_i = \frac{W_i}{5840} \quad (3.13)$$

$$P_i= \frac{14265,6}{5840} = 127,4 \text{ кВт.}$$

Вибираємо інверторну систему «Штиль» PSI60-32/1500-220-42U 150 кВт 60/220 В (рис.3.3), в цій системі підключаємо на паралельну роботу 23 елементи типу PS60/2000K.



Рисунок 3.3 - Інверторна система «Штиль» PSI60-32

Розраховуємо число Ампер-годин в тиждень для покриття навантаження змінного струму, за формулою:

$$Q_i = \frac{W_i}{60}, \quad (3.14)$$

$$q_i = \frac{14265,6}{60} = 237,76 \text{ кА·год.}$$

Приймаємо що навантаження постійного струму рівне 0.

Денне значення спожитих ампер-годин:

$$Q_д = \frac{q_i}{60}, \quad (3.15)$$

$$q_д = \frac{237,76}{60} = 33,96 \text{ кА·год.}$$

Для розрахунку необхідної кількості акумуляторних батарей, потрібно знати максимальне число послідовних «днів без сонця» $N_{бс}$ (тобто коли сонячної енергії не достатньо для заряду акумуляторних батарей і відповідно для роботи навантаження із-за негоді або хмарності). Оскільки фотоелектросистема буде працювати з дублером, тобто при нестачі потужності виробленої фотоелектро системою споживач буде брати енергію від мережі, а при надлишку енергії виробленої фотоелектро системою, буде віддавати в мережу, кількість днів без сонця беремо мінімально можливою.

Вибираємо $N_{бс}$=6 днів.

Сумарна ємність акумуляторних батарей, враховуючи кількість днів без сонця $N_{бс}$.

$$q_N = q_д \cdot N_{бс} \quad (3.16)$$

$$q_N = 33,96 \cdot 6 = 203,76 \text{ кА·год.}$$

Задаємося величиною глибини розрядження акумуляторних батарей. При цьому враховуємо те, що чим більше значення глибини розряду акумуляторних батарей, тим швидше батареї вийдуть з ладу. Виходячи з цього значення глибини розряду акумуляторних батарей беремо 50%. Відповідно коефіцієнт використання γ становить 0,5.

Заряд акумуляторних батарей з урахуванням глибини розряду акумуляторних батарей.

$$q_γ = \frac{q_N}{γ} \quad (3.17)$$

$$q_\gamma = \frac{203,76}{0,5} = 407,52 \text{ кА·год.}$$

Вибираємо коефіцієнт α, який враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні, де будуть встановлені акумуляторні батареї. Даний коефіцієнт враховує зменшення ємності акумуляторних батарей при зниженні температури.

$$q_\alpha = q_\gamma \cdot \alpha \qquad (3.18)$$

$$q_\alpha = 407,52 \cdot 1,11 = 452,34 \text{ кА·год.}$$

Вибираємо тип акумуляторних батарей та виписуємо для них номінальну ємність та напругу. Вибираємо акумуляторні батареї HAZE серії HZB12 2В 3000 кА·год (рис.3.4)



Рисунок 3.4 - Акумуляторна батарея HAZE серії HZB12

Ділимо загальну потрібну ємність батарей на номінальну ємність акумуляторних батарей і округлюємо отримане значення до найближчого цілого. Це буде кількість батарей, з'єднаних паралельно.

$$N = \frac{q_\alpha \cdot 10^3}{3000} \qquad (3.19)$$

$$N = \frac{452,34 \cdot 10^3}{3000} = 150 \text{ од.}$$

Розділив номінальну напругу постійного струму системи на номінальне значення напруги акумуляторних батарей і округлив його до найближчого цілого отримаємо кількість батарей з'єднаних послідовно, тобто 30 од. Загальна кількість акумуляторних батарей 4500.

Вибираємо сонячні батареї типу RZMP-240 (рис.3.5), номінальна напруга 24 В, а номінальна потужність 240 Вт, струм максимальної потужності 8,25 А.



Рисунок 3.5 - Сонячна батарея типу RZMP-240

Ділимо отримане значення на число пікових сонце-годин для даної місцевості. В результаті отримаємо значення струму, який повинні генерувати сонячні батареї.

$$I = \frac{40,75}{4,4} = 9,3 \text{ кА.}$$

Число модулів працюючих паралельно, знаходимо як значення струму, виробленого батареями , розділено на максимальний струм одного модуля і округлюємо отримане значення до найближчого цілого.

$$N=\frac{I\cdot 10^3}{8,25} \quad (3.20)$$

$$N=\frac{9,3\cdot 10^3}{8,25}=1120 \text{ од.}$$

Для знаходження числа модулів, з’єднаних послідовно, потрібно розділити напругу постійного струму системи на номінальне значення напруги сонячної батареї, тобто 24 В. Число таких модулів 3 од.

Загальна кількість фотоелектричних модулів розраховується як добуток паралельно працюючих батарей на послідовно працюючих. Тобто 3360 од.

Площа сонячних батарей:

$$S=N\cdot S_{ел} \quad (3.21)$$

$$S=3360\cdot 1,6=5376 \text{ м}^2.$$

Як видно з розрахунків використання сонячних панелей для живлення потужної системи електроприймачів проблематичне. Це насамперед зумовлено низьким коефіцієнтом корисної дії сонячних фотоелементів. Але на мою думку з подальшим розвитком науки, в майбутньому, використання сонячних фотоелементів для живлення таких систем стане більш доступним.

ВИСНОВКИ

В роботі дана загальна характеристика енергетичного устаткування, споживачів електричної енергії та електроспоживання на ККЦ «Запоріжсталь».

Були проаналізовані можливості впровадження енергозберігаючих заходів із зниження підприємством електроспоживання задля підвищення енергоефективності підприємства в цілому. Проведений аналіз показав, що найбільший потенціал енергозбереження має електрична енергія.

Запропоновані енергозберігаючі заходи із зниження споживання і втрат електричної енергії дають значний економічний ефект.

Найбільш енергоефективними заходами з енергозбереження на підприємстві є:

1. Встановлення компенсаційного установки УКРП-0,4-60-10УЗ, дало можливість економити 155520 грн.

2. Заміна вентиляторів старого типу ВЦ 4-75 з низьким коефіцієнтом корисної дії на нові ВЦ 4-75-8 з високим ККД. Капітальні витрати на встановлення нових вентиляторів складають КВ = 120761 грн. Термін окупності складає 1 рік та 2 місяці.

3. Розраховано сонічні панелі, до них акумулятори та перетворювачи.

Таким чином, запропоновані заходи з енергозбереження дали значний економічний ефект, що дало змогу витрачати менше електроенергії і обладнання має максимальний коефіцієнт корисної дії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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

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

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

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

5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Основа, 2023, 328 с.

6.Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці: навч. посіб. 2-ге вид., стер. Львів: Новий Світ, 2005. ,232 с.

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

8. Розрахункові електричні навантаження: ДБН В.2.5-23 2003. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2003. – 20с

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

10. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

11. Правила улаштування електроустановок [Текст] : вид. 5-є, перероб.

і доп. – Офіц. вид. – К. : Мінпаливенерго України, 2017. – 793 с.

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

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

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

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

16. Каталог автоматичних вимикачів фірми КЭАЗ, 2014, 55 с.

17. Закон України «Про охорону праці» (нова редакція із 319 змінами та доповненнями станом на 1 квітня 2005 року). К.: Основа, 2005, 56 с.

18. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці: навч. посіб. 2-ге вид., стер. Львів: Новий Світ, 2005. ,232 с.

19. Богданець Г.В Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електропостачання підприємств та цивільних споруд, Запоріжжя: ЗМК ЗНУ, 2019, 64 с.

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