

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)  
Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

**магістр**

(освітній (освітньо-кваліфікаційний) рівень)

на тему: Вибір методів компенсації реактивної потужності системи  
електропостачання ФОП Тереля І.А.

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕЕМ-61

напряму підготовки (спеціальності) 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Долопікула В.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Поталіцин С.Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Завідувач кафедри ЕІ

Тарасенко М. Г.

« 02 » вересня 2019 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Долопікулі Вікторії Мирославівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вибір методів компенсації реактивної потужності системи електропостачання ФОП Тереля І.А.

Керівник проекту (роботи) Поталіцин С.Ю., к.т.н., старший викладач

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

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

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 10 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Параметри споживачів підприємства, план розташування електрообладнання, паспортні дані обладнання

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

1. Вступ

2. Аналітична частина

3. Науково-дослідна частина

4. Технологічна частина

5. Проектно-конструкторська частина

6. Спеціальна частина

7. Обґрунтування економічної ефективності

8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

9. Екологія

10. Загальні висновки до дипломної роботи

11. Перелік посилань

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

1. План об'єкту 1 л. ф – А1

2. Компенсація реактивної потужності 1 л. ф – А1

3. КТП 1 л. ф – А1

4. Схема електропостачання 1 л. ф – А1

5. Релейний захист 1 л. ф – А1

6. 1 л. ф – А1

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання **02 вересня 2019 року**

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)          | Термін виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1     | Вступ   |  |          |
| 2     | Аналітична частина                                |  |          |
| 3     | Науково-дослідна частина                          |  |          |
| 4     | Технологічна частина                              |  |          |
| 5     | Проектно-конструкторська частина                  |  |          |
| 6     | Спеціальна частина                                |  |          |
| 7     | Обґрунтування економічної ефективності            |  |          |
| 8     | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях |  |          |
| 9     | Екологія  |  |          |
| 10    | Висновки  |  |          |
| 11    | Оформлення пояснювальної записки                  |  |          |
| 12    | Оформлення графічної частини                      |  |          |
|       |   |  |          |
|       |   |  |          |
|       |   |  |          |
|       |   |  |          |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)Долопікула В.М.  
(прізвище та ініціали)Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
(підпис)Поталіцин С.Ю.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Долопікула В.М. Вибір методів компенсації реактивної потужності системи електропостачання ФОП Тереля І.А. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор. – 90; рис. – 5; табл. – 12; креслень - 7; джерел - 15; додатків - 4.

У дипломній роботі була визначена категорія надійності електропостачання і проведена характеристика споживачів електроенергії. Проведено вибір схеми електропостачання та визначення розрахункового навантаження цеху. Складена відомість споживачів електроенергії. Проведено вибір числа і потужності силових трансформаторів. Зроблено розрахунки потужності та вибір компенсуючого пристрою. Проведена розробка конструкції комплектної трансформаторної підстанції, розрахунки і вибір розподільчої електромережі.

**Ключові слова:** трансформаторна підстанція, електроенергія, електрична частина, силовий трансформатор.

## ANNOTATION

Dolopikula V. Selection of reactive power compensation methods of the IE Terelia I.A. power supply system. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, group EEm-61. – Ternopil.: TNTU, 2019.

Pages – 90; Illustrations – 5; Tables – 12; Blueprints – 7; Sources – 15; Additions – 4.

In diploma paper, the category of power supply reliability was defined and performed characterization of consumers. Carried out a choice of power supply circuits and determined the estimated loading plant. Compiled the roll of electricity consumers. Conducted selection of the number and capacity of power transformers. Carried out calculations of power and choice of compensating device. Developed the construction of complex transformer substations, calculations and choice of distribution mains.

**Keywords:** transformer substation, electricity, electric parts, power transformer.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 8  |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....  | 10 |
| 1.1 Причини компенсації реактивної потужності.....   | 10 |
| 1.2 Переваги конденсаторних установок.....   | 11 |
| 1.3 Організаційні та технічні заходи зменшення споживання реактивної потужності споживачами..... | 13 |
| 1.4 Вплив вищих гармонічних складових на термін служби конденсаторних установок.....             | 16 |
| 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....   | 18 |
| 2.1 Засоби компенсації реактивної потужності.....  | 18 |
| 2.2 Характеристика споживачів електричної енергії. Визначення категорії по надійності.....       | 22 |
| 2.3 Схема електропостачання.....   | 22 |
| 2.4 Висновки до розділу 2.....   | 23 |
| 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....   | 24 |
| 3.1 Відомість споживачів електричної енергії.....  | 24 |
| 3.2 Розрахунок електричних навантажень цеху.....   | 25 |
| 3.3 Розрахунок системи освітлення.....   | 30 |
| 3.4 Вибір площі перерізу проводів та жил кабелів. Вибір захисту ЕМ                               | 35 |
| 3.5 Висновки до розділу 3.....   | 38 |
| 4. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....   | 39 |
| 4.1 Розрахунок компенсуючого пристрою.....   | 39 |
| 4.2 Вибір трансформаторів.....   | 41 |
| 4.3 Розробка конструкції КТП-630.....  | 44 |
| 4.4 Розрахунок струмів КЗ.....   | 45 |
| 4.5 Висновки до розділу 4.....   | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....  | 53 |
| 5.1 Вибір електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції і перевірка на стійкість до дії струмів короткого замикання.. | 53 |
| 5.2 Розрахунок і вибір електромережі живлення.....  | 59 |
| 5.3 Вибір і розрахунок релейного захисту силового трансформатора....  | 62 |
| 6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....  | 67 |
| 6.1 Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень.....   | 67 |
| 6.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору масляного трансформатора.....   | 68 |
| 6.3 Оцінка економічної ефективності вибору масляного трансформатора..   | 69 |
| 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....  | 71 |
| 7.1 Пожежна безпека.....  | 71 |
| 7.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....  | 73 |
| 7.3 Забезпечення оповіщення персоналу та населення у разі виникнення аварій на потенційно небезпечних об'єктах.....               | 79 |
| 8.ЕКОЛОГІЯ.....   | 81 |
| 8.1 Шкідливі фактори впливу електромагнітних полів.....   | 81 |
| 8.2 Заходи щодо охорони навколишнього середовища на промислових підприємствах.....  | 82 |
| 8.3 Вплив на довкілля лісопилно-деревопереробної промисловості....  | 84 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ .....   | 88 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....   | 89 |
| ДОДАТКИ.....  | 1  |
| Додаток А. Порівняльний розрахунок трансформаторів ТМ-400 і ТМ-630.....   | 2  |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Компенсація реактивної енергії – це одне з основних питань, яке вирішується як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації системи промислового електропостачання. Воно включає: вибір доцільності джерел живлення, розрахунок і регулювання їх потужності, розташування джерел живлення в системі електропостачання.

Особливу увагу цьому питанню почали надавати в останні роки із-за кількісних і якісних змін, які проходять в промисловому електропостачанні. Техніко-економічні показники електропостачання істотно погіршує передача реактивної потужності на значні відстані від місць генерації до місць споживання. Реактивна потужність є невід’ємним елементом ланцюга виробництва, передачі і споживання електроенергії. Однак транспортування її електричними мережами викликає низку негативних явищ, які виявляються в погіршенні якості та в збільшенні втрат електроенергії. Вона також впливає на стійкість вузлів навантаження, зменшує пропускну здатність всієї мережі.

Для підвищення якості електричної енергії та компенсації реактивної потужності в електричних мережах з нелінійним та різко змінним навантаженням застосовують фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКП) прямої або непрямой компенсації, що складаються з фільтрів для зменшення рівнів вищих гармонічних складових, в яких ємність конденсатора служить для компенсації реактивної потужності. Проте в реальних умовах встановлення ФКП приводить до неоправданого зростання капітальних затрат і до додаткових витрат електроенергії.

Головним джерелом реактивної енергії для електропостачальної системи є генератори електростанцій – турбогенератори або гідрогенератори (їхнє основне завдання). Крім генераторів електричних станцій, джерелами реактивної енергії в електропостачальних системах є лінії електропередачі. Приймачами реактивної енергії можуть бути як окремі елементи електропостачальної системи (силові трансформатори, реактори, лінії



електропередач), так і електроприймачі. Загальною характерною особливістю всіх приймачів реактивної енергії є те, що за своїм принципом дії вони використовують магнітне поле, на створення якого і використовується реактивна енергія.

Тому, дослідження методів компенсації реактивної потужності для промислових підприємств є актуальною задачею.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дипломної роботи є вибір методів компенсації реактивної потужності для підвищення надійності електроспоживання на електроустановках цеху підприємства.

Відповідно до вказаної мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- провести аналіз методів компенсації реактивної потужності;
- визначити розрахункове навантаження цеху;
- обґрунтувати вибір числа та потужності силових трансформаторів;
- провести розрахунки компенсуючого пристрою;
- розробити схему електропостачання підприємства;
- провести розрахунки струмів короткого замикання;
- здійснити розробку комплектної трансформаторної підстанції.

**Об'єкт дослідження** - режими процесів електроспоживання.

**Предмет дослідження** – методи компенсації реактивної потужності в цехових мережах електроспоживання.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Отримано подальший розвиток дослідження методів компенсації реактивної потужності для підвищення надійності роботи електроустаткування.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичним значенням отриманих результатів є проведене технічне переоснащення електричного обладнання цеху та силового трансформатора, що дозволить знизити втрати потужності та електроенергії підприємства.

**Апробація.** Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (27-28 листопада

2019 року), Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

**Структура роботи.** Робота складається з вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (15 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 94 сторінок, 12 таблиць, 5 рисунків.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Причини компенсації реактивної потужності

В умовах дефіциту і збільшення вартості енергоресурсів, зростання обсягів виробництва та інфраструктури міст дедалі актуальнішою стає проблема енергозбереження і зокрема, ефективного використання енергії. Більшість електричних установок поряд з активною потужністю споживають і реактивну потужність, яка витрачається на створення електромагнітних полів та є марною для споживача. Наявність реактивної потужності знижує якість електроенергії, призводить до таких явищ, як збільшення плати за електроенергію, додаткові втрати і перегрів проводів, перевантаження підстанцій, необхідність завищення потужності трансформаторів і перерізу кабелів, просадки напруги в електромережі. В даний час приріст споживання реактивної потужності перевищує зростання споживання активної потужності внаслідок бурхливого впровадження сучасних електротехнічних і радіотехнічних пристроїв (системи освітлення і реклами, кондиціонування, частотні перетворювачі електроприводів, імпульсні блоки живлення). Для зниження реактивної потужності найбільш часто застосовують конденсаторні установки [13].

В електричних колах при чисто активному навантаженні струм, що протікає, не випереджає і не запізнюється від напруги. При індуктивному навантаженні струм відстає від напруги, при ємнісному - випереджає напругу. Індуктивний характер навантаження має при роботі електродвигунів, компресорів, електромагнітів, що найбільш типово для більшості споживачів. В цьому випадку знижується коефіцієнт потужності і для його підвищення необхідно підключати ємнісне навантаження, яке компенсує індуктивну складову. В ідеалі це призводить до того, що результуюче навантаження стає чисто активним і коефіцієнт потужності набуває максимального значення. Для цього служать конденсаторні установки, які в автоматичному режимі

компенсують реактивну потужність і тим самим, знижують загальні втрати споживача. Зокрема, при підвищенні  $\cos \varphi$  з 0.5 до 0.9 зниження загальної споживаної потужності становить 44%. [13]

Рівень реактивної потужності двигунів, генераторів і мережі підприємства в цілому характеризується коефіцієнтом потужності споживача, який визначається як відношення споживаної активної потужності до повної, дійсно взятої з мережі, тобто  $\cos \phi = P/S$ . Чим ближче значення  $\cos \varphi$  до одиниці, тим менше частка взятої з мережі реактивної потужності. Наприклад,  $\cos \varphi$  асинхронних двигунів становить приблизно 0,7;  $\cos \varphi$  електродугових печей і зварювальних трансформаторів - приблизно 0,4;  $\cos \varphi$  верстатів і машин не більше 0,5, тому повне використання потужностей мережі можливе тільки при компенсації реактивної складової потужності. [13]

Компенсація реактивної потужності особливо необхідна для споживачів, що мають низький  $\cos \varphi$ . В першу чергу, це стосується споживачів з великим числом експлуатованих асинхронних двигунів ( $\cos \varphi \approx 0,7$ ), особливо в режимі їх недозавантаження ( $\cos \varphi \approx 0,5$ ), підйомних механізмів ( $\cos \varphi \approx 0,5$ ). [13]

## 1.2 Переваги конденсаторних установок

Слід зазначити, що зазвичай не рекомендується компенсувати реактивну потужність повністю (до  $\cos \varphi = 1$ ), тому що при цьому можлива перекомпенсація (за рахунок змінної величини активної потужності навантаження та інших випадкових факторів). Зазвичай намагаються досягти значення  $\cos \varphi = 0,9 \dots 0,95$ . Компенсувати реактивну потужність можливо синхронними компенсаторами, синхронними двигунами, косинусними конденсаторами (конденсаторними установками). У даний час для компенсації широке застосування отримали конденсаторні установки КРП (УКМ58, УККРМ, АКУ), що володіють рядом переваг перед іншими пристроями компенсації [14]:

- малі втрати активної потужності;
- відсутність обертових частин, схильних до механічного зносу;
- невисокі капіталовкладення і витрати при експлуатації;
- відсутність шуму під час роботи;
- простота в монтажі та експлуатації.

Вибір обладнання компенсації залежить від типу підключеного до мережі силового обладнання. Компенсація може бути індивідуальною (місцевою), централізованою (загальною) та груповою [15]. У першому випадку паралельно навантаженню підключають один або кілька (батарею) косинусних конденсаторів, у другому - деяка кількість конденсаторів (батареї) підключається до головного розподільного щита.

Індивідуальна компенсація реактивної потужності [15] - найпростіший і найбільш дешевий спосіб. Число конденсаторів (конденсаторних батарей) відповідає числу навантажень і кожен конденсатор розташований безпосередньо у відповідного навантаження (поруч із двигуном). Така компенсація хороша тільки для постійних навантажень (наприклад, один або кілька асинхронних двигунів з постійною швидкістю обертання валу), тобто там, де реактивна потужність кожного з навантажень (у включеному стані навантажень) з плином часу змінюється незначно і для її компенсації не потрібно зміни номіналів підключених конденсаторних батарей. Тому індивідуальні компенсаційні установки зважаючи на незмінний рівень реактивної потужності навантаження і відповідної реактивної потужності конденсаторів називається також нерегульованою.

Централізована компенсація реактивної потужності [15] - за допомогою однієї регульованої установки компенсації реактивної потужності, підключеної до головного розподільного щита. Застосовується в системах з великою кількістю споживачів (навантажень), що мають великий розкид коефіцієнта потужності протягом доби, тобто для змінного навантаження (наприклад, кілька двигунів, розміщених на одному підприємстві, що підключаються поперемінно). У таких системах індивідуальна компенсація неприйнятна,

оскільки, по-перше, стає занадто дорогою (при великій кількості обладнання встановлюється велика кількість конденсаторів), і, по-друге, виникає ймовірність перекомпенсації (виникнення в мережі перенапруги). У разі централізованої компенсації конденсаторна установка оснащується спеціалізованим контролером (автоматичним регулятором реактивної потужності) і комутаційно-захисною апаратурою (контакторами і запобіжниками). При відхиленні значення  $\cos \varphi$  від заданого значення контролер підключає або відключає певні конденсаторні батареї (компенсація здійснюється східчасто). Таким чином, контроль здійснюється автоматично, а потужність підключених конденсаторів відповідає споживаній в даний конкретний момент часу реактивній потужності, що виключає генерацію реактивної потужності в мережу і появу в мережі перенапруги.

При груповій компенсації [15], коли конденсаторні установки встановлюються в цехах і приєднуються безпосередньо до цехових розподільних пунктів (РП) або шин 0,38 кВ, розвантажуються від реактивної потужності і трансформатори на підстанції і мережі живлення 0,38 кВ. Нерозвантаженими залишаються тільки розподільні мережі до окремих електроприймачів. З метою рівномірного розподілу компенсуючих пристроїв доцільно підключати конденсаторну установку до шин РП таким чином, щоб реактивне навантаження цього РП становило більше половини потужності конденсаторної установки, що підключається.

### **1.3 Організаційні та технічні заходи зменшення споживання реактивної потужності споживачами**

Зменшення споживання реактивної потужності споживачами можна досягти також за рахунок організаційних та технічних заходів. Організаційні заходи необхідно розглядати та застосовувати найперше, оскільки вони не вимагають витрат значних коштів. Зважаючи на те, що основними споживачами реактивної потужності є асинхронні двигуни, трансформатори та

вентильні перетворювачі, то насамперед необхідно проаналізувати їх роботу та схеми в таких аспектах [13]:

- заміна мало завантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;
- можливість зниження напруги на двигунах з систематичним недовантаженням;
- обмеження тривалості неробочого ходу двигунів та зварювальних трансформаторів;
- застосування синхронних двигунів замість асинхронних;
- заміна мало завантажених трансформаторів на менш потужні;
- застосування оптимальних силових схем та систем керування перетворювачів;
- оптимізація технологічних процесів із збільшенням коефіцієнтів використання основного обладнання.

Заміна мало завантажених асинхронних двигунів та трансформаторів завжди доцільна, якщо коефіцієнт використання менший від 0,45. Під час завантаження з коефіцієнтом використання, більшим від 0,7, заміна не доцільна. За умов завантаження в межах від 0,45 до 0,7 доцільність заміни необхідно обґрунтувати спеціальним розрахунком. Цей розрахунок враховує не тільки зменшення втрат активної потужності, але і вартість двигунів та роботи щодо їх заміни, витрати на компенсацію реактивної потужності. [13]

Зниження напруги на двигуні на практиці здійснити доволі важко, тому що ця операція потребує відповідних пристроїв. Але, якщо двигун завантажений менше ніж на 30% від номінальної потужності, доцільно переєднати обмотки з «трикутника» на «зірку», якщо це можливо. Споживання реактивної потужності при цьому зменшиться майже в три рази. [13]

Обмеження тривалості неробочого ходу двигунів та зварювальних трансформаторів зменшує відносне споживання реактивної потужності, його застосовують на підприємствах з нестабільним технологічним процесом, коли можливі тривалі режими неробочого ходу обладнання. [13]

Застосування синхронних двигунів замість асинхронних завжди зменшує споживання реактивної потужності, але далеко не завжди можливе за технічними умовами, особливо за умовами пуску. Крім того, необхідно зважати на те, що синхронний двигун значно дорожчий. Тому така заміна може бути доцільною лише тоді, коли одночасно досягається збільшення продуктивності агрегату за рахунок збільшення швидкості приводного механізму на величину ковзання або це надає інші переваги. [13]

Як комутуючий елемент в конденсаторних установках можуть застосовуватися електромеханічні реле (контактори) або тиристри. Релейні конденсаторні установки є найпоширенішими через більш просту реалізацію і низьку вартість в порівнянні з тиристорними конденсаторними установками. Однак там, де навантаження має різкоперемінний характер, для компенсації реактивної потужності доцільно застосовувати саме тиристорні конденсаторні установки, так як вони мають вищу швидкодію. А факт того, що комутація конденсаторів в тиристорних конденсаторних установках відбувається при нульовому значенні струму, значно збільшує термін служби як конденсаторних батарей, так і всієї установки в цілому. Для захисту від перегріву, при проектуванні тиристорної конденсаторної установки необхідно приділяти особливу увагу розрахунку її теплового режиму і передбачити примусову вентиляцію тиристорів.

Для енергозбереження також застосовуються так звані конденсаторні установки змішаного типу, коли основна ємність комутується релейними установками, а проміжна - менш потужними тиристорними. У цьому випадку досягається максимальний ефект - велика частина реактивної енергії, в більшості випадків має інерційний характер, компенсується за допомогою конденсаторних батарей, керованих недорогими контакторами, а швидкі і порівняно малі зміни характеру навантаження компенсуються конденсаторними батареями, що підключаються через тиристри. У цьому випадку досягається зниження витрат на впровадження і експлуатацію конденсаторних установок і підтримання максимального коефіцієнта



потужності, в тому числі і при різких змінах  $\cos \varphi$  в електромережі. Крім цього існують специфічні установки компенсації реактивної потужності, що не містять конденсатори, в яких фазовий зсув між струмом і напругою компенсується за допомогою генераторів струму, побудованих на нелінійних елементах або синхронних генераторах, проте вони не набули широкого розповсюдження в силу складності технічної реалізації та їх високу вартість.

#### **1.4 Вплив вищих гармонічних складових на термін служби конденсаторних установок**

У сучасних мережах електропостачання навантаження нерідко має нелінійний характер внаслідок застосування напівпровідникових перетворювачів змінного струму (наприклад, при роботі імпульсних стабілізаторів і перетворювачів електроенергії). Це призводить до появи вищих гармонік струму, які за своєю величиною стають подібними з першою (50 Гц) гармонікою. Наприклад, в шестипівперіодних перетворювачах електроенергії дуже вагомою є третя гармоніка (150 Гц). Конденсатори в установках компенсації реактивної потужності в сукупності з індуктивністю навантаження можуть утворювати коливальні контури, близькі по частоті резонансу до частоти одного з вищих гармонік. Це може привести до значного збільшення струму конденсаторів і істотно скоротити їх термін служби. А перенапруги, що виникають при резонансі на елементах конденсаторної установки і навантаження можуть привести до пробію ізоляції. Для усунення подібних проблем на етапі обстеження об'єкта до впровадження конденсаторних установок компенсації реактивної потужності необхідно проводити аналіз спектра струму споживаної електроенергії. При виявленні вищих гармонік, подібних до першої гармоніки, їх потрібно придушувати в місці їх виникнення.

Способів придушення не так вже й багато, це установка вхідних силових дроселів, пасивних вхідних фільтрів гармонік і активних фільтрів. Вхідні силові дроселі, встановлені в ланці постійного струму перетворювача частоти (ПЧ) або

на його вході покращують форму вхідного струму і зменшують рівень вищих гармонік, що генерує ПЧ в мережу. Однак вхідні силові дроселі ефективні в тому випадку, коли встановлена потужність перетворювальної техніки становить не більше 20% від потужності трансформаторного введення, якщо більше, то доведеться використовувати вхідні фільтри гармонік або активні фільтри.

Вхідні пасивні фільтри гармонік, це смугові LC-фільтри, параметри яких, як правило, розраховані на 5 і 7 гармонік. Це гарне технічне рішення, що дозволяє отримати коефіцієнт нелінійних спотворень вхідного струму перетворювача частоти не більше 10% або 5% залежно від модифікації LC-фільтра.

На особливу увагу заслуговують активні фільтри, які останнім часом все частіше використовуються на підприємствах з великою кількістю перетворювальної техніки. Вони можуть програмуватися на вибіркове придушення будь-якої гармоніки до 25 включно, або на якусь смугу частот, при цьому можуть коригувати коефіцієнт потужності, а якщо простіше, то компенсувати реактивну потужність.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Засоби компенсації реактивної потужності

Для компенсації реактивної потужності у вузлах електроенергетичної системи і системах електроспоживання споживачів використовують такі засоби [1]:

- батареї конденсаторів (БК);
- синхронні компенсатори (СК);
- синхронні двигуни (СД);
- статичні джерела реактивної потужності (СДРП).

Батареї конденсаторів. Споживачі реактивної потужності мають активно-індуктивний опір навантаження. Розглянемо з позицій теоретичної електротехніки спільну роботу конденсаторів і електроприймачів з активним та індуктивним опором, підключених паралельно до однієї точки електричної мережі (ЕМ). Робота споживачів індуктивного характеру заснована на створенні магнітного поля, енергія якого в першу чверть періоду береться від джерела, в другу чверть – віддається назад джерелу, в третю чверть енергія для створення магнітного поля знову береться від джерела, а в четверту – знов віддається джерелу і т. д.

Конденсатори мають ємнісний опір навантаження. Таким чином, протягом кожної чверті періоду індуктивні і ємнісні навантаження обмінюються енергією. Для створення магнітного поля в індуктивному навантаженні використовується енергія електричного поля ємнісного навантаження і навпаки. Отже, конденсатори є джерелом енергії для індуктивного навантаження.

Батареї конденсаторів застосовують для генерації реактивної потужності у вузлах мережі і для зменшення реактивного опору лінії електропередачі. При застосуванні батарей конденсаторів (БК) для генерації реактивної потужності у вузлах мережі (на підстанціях) або у споживачів батареї конденсаторів приєднують до шин паралельно з навантаженням. Такі батареї називають

установками поперечної компенсації або шунтовими (шунтами). Батареї конденсаторів, які застосовують у лініях електропередачі (ЛЕП) для зменшення реактивного опору лінії вмикають у розтин кола (послідовно). Їх називають установками поздовжньої компенсації (УПК).

Батареї конденсаторів виготовляють у вигляді комплектних пристроїв, які складаються з паралельно і послідовно ввімкнених конденсаторів, комутаційної і захисної апаратури. Конденсаторні батареї встановлюють у вузлах електричної мережі напругою від 0,4 кВ до 110 кВ. Серійні конденсатори виготовляють на номінальні напруги від 0,22 до 10,5 кВ і номінальні потужності від 4,5 кВА до 75 кВА і ємністю від 0,37 мкФ до 366 мкФ [2]. При застосуванні конденсаторів при напрузі мережі більшій за напругу конденсатора їх з'єднують послідовно, а для збільшення ємності й потужності їх з'єднують паралельно. Тому батареї конденсаторів складаються з кількох паралельних груп послідовно з'єднаних конденсаторів.

У трифазну мережу батареї конденсаторів вмикають зіркою або трикутником, як показано на рис. 2.1.

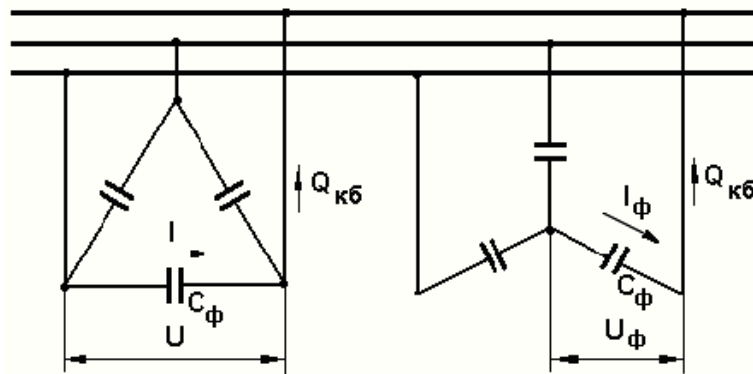


Рис. 2.1 – Ввімкнення батарей конденсаторів у трифазну мережу зіркою або трикутником

При з'єднанні батарей конденсаторів зіркою потужність батареї дорівнює [1]:

$$Q_C = 3U_\phi^2 \omega C_\phi,$$

а при з'єднанні батарей конденсаторів трикутником:

$$Q_C = 3U^2 \omega C_\phi = 9U_\phi \omega C_\phi.$$

У мережах з напругою до 1 кВ батареї або окремі конденсатори з'єднують трикутником, а у мережах з напругою 6 кВ (20 кВ) і вище батареї конденсаторів з'єднують тільки зіркою з ізольованою або глухо заземленою нейтраллю, залежно від режиму нейтралі. До кожної батареї паралельно приєднують розрядний резистор, на який батарея розряджається при вимиканні напруги.

При регулюванні генерованої реактивної потужності пристрій працює наступним чином. При зростанні реактивної потужності навантаження вмикається додаткова секція батареї конденсаторів. Якщо доданої реактивної потужності недостатньо, то через певний інтервал часу вмикається наступна секція. Якщо ж потужність батареї конденсаторів стане більшою за реактивну потужність навантаження, то в мережі буде підтримуватись  $\cos \varphi \approx 1$ . При зменшенні споживання реактивної потужності пристрій буде послідовно вимикати секції батареї з певним кроком.

Батареї конденсаторів є поширеними засобами компенсації реактивної енергії у системах електроспоживання промислових споживачів. Основними перевагами батарей конденсаторів є їх найменша питома вартість, простота монтажу та обслуговування і малі питомі втрати активної потужності (0,07 – 0,25 Вт/кВАр). Недоліками батарей конденсаторів є залежність генерованої потужності від напруги та неможливість плавного регулювання (певного кроку регулювання).

Синхронні компенсатори й синхронні електродвигуни. Синхронний компенсатор (СК) є синхронним двигуном (СД), що працює на холостому ході (ХХ) без активного навантаження на валу. У режимі перезбудження синхронний компенсатор видає в електричну мережу реактивну потужність, у режимі недозбудження – споживає реактивну потужність з мережі. Відсутність активного навантаження на валу дозволяє виконувати конструкцію синхронного

компенсатора у металі значно полегшеною у порівнянні з синхронним двигуном. Незважаючи на це, синхронні компенсатори на підприємствах мають обмежене застосування тому, що питомі витрати на установку синхронного компенсатора і втрати активної потужності значно перевищують ці показники при застосуванні батарей конденсаторів.

Синхронні двигуни (СД ) застосовують на потужних промислових підприємствах [2]. Їх доцільно застосовувати в електроприводах потужних (від 100 до 1500 кВт) виробничих машин, які працюють у довготривалому неперервному режимі S1, не потребують регулювання частоти обертання і можуть запускатися без навантаження. Це приводи потужних шахтних вентиляторів, компресорів, кульових млинів і дробарок на гірничо-збагачувальних підприємствах.

Як і синхронний компенсатор, синхронний двигун залежно від режиму збудження видає або споживає реактивну потужність. При перезбудженні синхронний двигун, нормально навантажений на валу, може працювати з  $\cos \varphi = 0,9$ . При цьому реактивна потужність становить [1]:

$$Q = S \cdot \sin \varphi = 0,436S .$$

Отже, на підприємствах, де працюють синхронні електроприводи, баланс реактивної енергії можна підтримувати регулюванням режиму синхронного двигуна.

Статичні джерела реактивної потужності. Основою статичного джерела реактивної потужності (СДРП) є контур, створений з паралельно з'єднаних шунтуючого реактора (ШР) та батареї конденсаторів (БК). Шунтуючий реактор – це статичний пристрій з індуктивним опором, який споживає реактивну потужність [1]:

$$Q_P = U^2 / X_p ,$$

батарея конденсаторів генерує реактивну потужність [5]

$$Q_C = U^2 / X_C .$$

Залежно від співвідношення опорів такий контур буде генерувати або споживати реактивну потужність. Регулюючи індуктивність реактора (або ємність батареї), можна керувати генерованою потужністю. Якщо реактор виконати з осердям магнітопровідного типу, то регулювати індуктивність можна регулюванням струму підмагнічування від регульованого тиристорного регулятора. Схема регульованого статичного джерела реактивної потужності (СДРП) зображена на рис. 2.2.

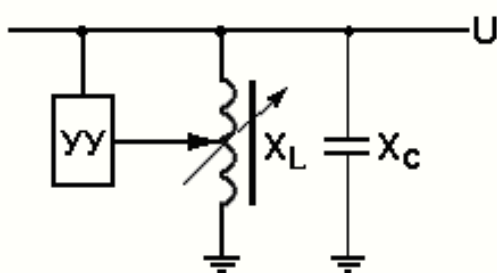


Рис. 2.2 - Схема регульованого статичного джерела реактивної потужності

## 2.2 Характеристика споживачів електричної енергії. Визначення категорії по надійності

Основними споживачами електроенергії даного цеху є деревообробні верстати та інше електроустаткування, зупинка якого, при виході трансформатора з ладу, не призведе до нещасних випадків, пошкодження основного обладнання, масового браку продукції, тому, всі споживачі електроенергії цеху можна віднести до III категорії по надійності електропостачання.

## 2.3 Схема електропостачання

Враховуючи розміщення обладнання в цеху, вибрано радіальну схему цехової ЕМ. Схема передбачає встановлення розподільчих пунктів (РП), що з'єднанні з цеховою  $TTP-10/0,4$  кВ кабельними лініями. Кабельні лінії прокладаються в кабельних каналах. Від розподільчих пунктів (РП) до споживачів електричної енергії прокладаються проводи в сталевих трубах. Труби будуть розміщені в бетонній підлозі.

Для трансформаторній підстанції, яка розміщена в цеху передбачається встановлення трансформатора  $10/0,4$  кВ. На НН силового трансформатора:

- 0,4 кВ – силове навантаження;
- 0,22 кВ – освітлювальне навантаження.

#### **2.4 Висновки до розділу 2**

1. Відмічено, що обладнання підприємства належить до *III* категорії згідно надійності електропостачання.
2. Запропонована радіальна схема ЕП, що є найраціональнішою для підприємства.



### 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Відомість споживачів електричної енергії

Розділимо споживачів підприємства на групи. Група буде складатися із споживачі електроенергії з однаковим коефіцієнтом використання (КВ) і коефіцієнтом потужності  $\cos\varphi$ .

В табл. 3.1 показано відомість споживачів електроенергії.

Таблиця 3.1 - Відомість споживачів електричної енергії даного цеху

| Назва та номер джерела живлення;<br>назва електроприймача | $n$ ,<br>шт. | $P_n$ ,<br>кВт | $k_g$ | $\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$ |
|---|--------------|----------------|-------|--|
| <b>РП-1</b>   |              |                |       |  |
| Форматно-різальний верстат                                | 1            | 8,5            | 0,17  | 0,65/1,17                                |
| Витяжка   | 1            | 2              | 0,17  | 0,8/0,75                                 |
| Поклеєчний верстат  | 1            | 3,5            | 0,16  | 0,6/1,33                                 |
| Компресор   | 1            | 10             | 0,7   | 0,8/0,75                                 |
| Електроопалювальний котел                                 | 1            | 4,5            | 0,5   | 0,95/0,33                                |
| Витяжний вентилятор                                       | 2            | 2,5            | 0,65  | 0,8/0,75                                 |
| Свердлильний верстат                                      | 1            | 1,5            | 0,14  | 0,5/1,73                                 |
| Різальний верстат   | 1            | 2              | 0,14  | 0,5/1,73                                 |
| Заточувальний верстат                                     | 1            | 1,5            | 0,14  | 0,5/1,73                                 |
| <b>РП-2</b>   |              |                |       |  |
| Заточувальний верстат                                     | 2            | 1,5            | 0,14  | 0,5/1,73                                 |
| Нагрівальний агрегат                                      | 1            | 25             | 0,75  | 0,95/0,33                                |
| Фугувальний верстат                                       | 1            | 6              | 0,14  | 0,5/1,73                                 |
| Електрорізальний верстат                                  | 1            | 3,5            | 0,6   | 0,5/1,73                                 |
| Шліфувальний верстат                                      | 1            | 5              | 0,14  | 0,5/1,73                                 |
| Витяжний вентилятор                                       | 2            | 2,5            | 0,65  | 0,8/0,75                                 |

| <b>РП-3</b>               |   |     |      |           |
|---------------------------|---|-----|------|-----------|
| Електроопалювальний котел | 1 | 4,5 | 0,5  | 0,95/0,33 |
| Компресор                 | 1 | 10  | 0,7  | 0,8/0,75  |
| Сушарні агрегати          | 2 | 15  | 0,75 | 0,5/1,73  |
| Витяжний вентилятор       | 1 | 2,5 | 0,65 | 0,8/0,75  |

### 3.2 Розрахунок електричних навантажень цеху

Розраховуємо РП-1.

Форматно-різальний верстат:

- загальна кількість електроспоживачів:

$$n = 1 \text{ шт};$$

- потужність:

$$P_{n.max} = P_{n.min} = 8,5 \text{ кВт};$$

- номінальна потужність [3]:

$$\Sigma P_n = (\Sigma P_{n.min} + \Sigma P_{n.max}) / 2$$

$$P_{n.max} = P_{n.min} = 8,5 \text{ кВт},$$

тобто

$$\Sigma P_n = 8,5 \text{ кВт};$$

- модуль силового пункту (СП) живлення [3]:

$$m = \frac{P_{n.max}}{P_{n.min}} = \frac{8,5}{8,5} = 1 < 3$$

- середня за зміну потужність [3]:

- активна:

$$P_c = \Sigma P_n k_g,$$

де  $k_g$  – коефіцієнт використання (КВ);

$$k_g = 0,17,$$

тоді

$$P_c = 8,5 \cdot 0,17 = 1,45 \text{ кВт};$$

- реактивна:

$$Q_c = \operatorname{tg}\varphi \cdot P_c,$$

де  $\operatorname{tg}\varphi$  – тангенс кута;

$$\operatorname{tg}\varphi = 1,17;$$

$$Q_c = 1,17 \cdot 1,45 = 1,7 \text{ кВАр}.$$

Витяжка:

$$n = 1 \text{ ум};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 2 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,17;$$

$$\cos\varphi = 0,8;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,75;$$

$$P_c = 2 \cdot 0,17 = 0,34 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 0,75 \cdot 0,34 = 0,26 \text{ кВАр}.$$

Поклеєчний верстат:

$$n = 1 \text{ ум};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 3,5 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,16;$$

$$\cos\varphi = 0,6;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 1,33;$$

$$P_c = 3,5 \cdot 0,16 = 0,56 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 0,56 \cdot 1,33 = 0,74 \text{ кВАр}.$$

Компресор:

$$n = 1 \text{ ум};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 10 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,7;$$

$$\cos \varphi = 0,8;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,75;$$

$$P_c = 10 \cdot 0,7 = 7 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 0,75 \cdot 7 = 5,25 \text{ кВАр}.$$

Электро-опалювальний котел:

$$n = 1 \text{ шт};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 4,5 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,5;$$

$$\cos \varphi = 0,95;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,33;$$

$$P_c = 4,5 \cdot 0,5 = 2,25 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 0,33 \cdot 2,25 = 0,74 \text{ кВАр}.$$

Витяжний вентилятор:

$$n = 2 \text{ шт};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 2 \cdot n = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,65;$$

$$\cos \varphi = 0,8;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,75;$$

$$P_c = 5 \cdot 0,65 = 3,35 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 0,75 \cdot 3,35 = 2,44 \text{ кВАр}.$$

Свердильний верстат:

$$n = 1 \text{ шт};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 1,5 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,14;$$

$$\cos \varphi = 0,5;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 1,73;$$

$$P_c = 1,5 \cdot 0,14 = 0,21 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 1,73 \cdot 0,21 = 0,36 \text{ кВАр}.$$

Різальний верстат:

$$n = 1 \text{ шт};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 2 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,14;$$

$$\cos \varphi = 0,5;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 1,73;$$

$$P_c = 2 \cdot 0,14 = 0,28 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 1,73 \cdot 0,28 = 0,48 \text{ кВАр}.$$

Заточувальний верстат:

$$n = 1 \text{ шт};$$

$$P_{н.маx} = P_{н.миn} = 1,5 \text{ кВт};$$

$$k_g = 0,14;$$

$$\cos \varphi = 0,5;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 1,73;$$

$$P_c = 1,5 \cdot 0,14 = 0,21 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 1,73 \cdot 0,21 = 0,36 \text{ кВАр}.$$

Груповий коефіцієнт використання [3]:

$$k_{г.зр} = \frac{\sum P_c}{\sum P_n},$$

де  $\sum P_c$  – активна потужність, кВт;

$$\sum P_c = 15,65 \text{ кВт};$$

$\sum P_n$  – потужність по РП-1, кВт;

$$\sum P_n = 38,5 \text{ кВт},$$

отже

$$k_{в.зр} = \frac{15,65}{38,5} = 0,4.$$

Коефіцієнт потужності:

$$tg \varphi_{зр} = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c},$$

де  $\sum Q_c$  – реактивна потужність,  $кВАр$ ,

$$\sum Q_c = 12,33 \text{ кВАр},$$

отже

$$tg \varphi_{зр} = \frac{12,33}{15,65} = 0,79,$$

звідси,

$$\cos \varphi_{зр} = \arctg \varphi_{зр} = 0,78;$$

- ефективне число споживачів [3]:

$$n_{эф} = \frac{2\sum P_n}{P_{н.мах}},$$

де  $P_{н.мах}$  – потужність споживачів,  $кВт$ ;

$$P_{н.мах} = 10 \text{ кВт},$$

звідси

$$n_{эф} = \frac{2 \cdot 38,5}{10} = 8 \text{ шт.}$$

оскільки  $n_{эф} < n$ , прийmemo  $n_{эф} = 8 \text{ шт.}$

- з [3] коефіцієнт максимуму становить:

$$k_{в.зр} = 0,4,$$

і

$$n_{эф} = 8 \text{ шт.},$$

тобто,

$$k_m = 1,52.$$

- з [3] потужності становлять:

- активна:

$$P_p = k_m \cdot \Sigma P_c = 1,52 \cdot 15,65 = 24 \text{ кВт};$$

- реактивна:

$$Q_p = 1,1 \cdot \Sigma Q_c,$$

$n_{\text{эф}} \leq 10$ , звідси,

$$Q_p = 1,1 \cdot 12,33 = 14 \text{ кВАр};$$

- повна потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{24^2 + 14^2} = 28 \text{ кВА}.$$

Інші розрахунки заводимо в табл. 3.2.

По цеху:

$$n = 10 + 8 + 5 = 23 \text{ шт};$$

$$k_{\text{в.зр}} = 75,1 / 133 = 0,6;$$

$$\text{tg} \varphi_{\text{зр}} = 74,2 / 75,1 = 0,99;$$

$$\cos \varphi_{\text{зр}} = 0,71;$$

$$n_{\text{эф}} = 2 \cdot 133 / 25 = 11;$$

$$K_{\text{max}} = 1,45;$$

$$P_p = 1,45 \cdot 75,1 = 109 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 74,2 = 82 \text{ кВАр};$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{109^2 + 82^2} = 137 \text{ кВА}.$$

### 3.3 Розрахунок системи освітлення

Активне навантаження освітлення деревообробного цеху [4]:

$$P_{\text{уст.о}} = k \cdot p_{\text{н.о.}} \cdot S \cdot 10^{-3},$$

де  $k$  – для ламп ДРЛ [4]:

$$k = 1,1;$$

$p_{n.o.}$  – питоме навантаження освітлення,  $Bm / m^2$  [4]:

$$p_{n.o.} = 12 Bm / m^2$$

$S$  – площа деревообробного цеху,  $m^2$ ;

$$S = A \cdot B,$$

де  $A$  – довжина деревообробного цеху,  $m$ ;

$$A = 25 m;$$

$B$  – ширина деревообробного цеху,  $m$ ;

$$B = 13 m;$$

$$S = 25 \cdot 13 = 325 m^2,$$

отже

$$P_{уст.o} = 1,1 \cdot 12 \cdot 325 \cdot 10^{-3} = 4,3 \text{ кВт}.$$

- для загального освітлення [4]:

- активне:

$$P_{p.o.} = k_n P_{уст.o},$$

де  $k_n$  – коефіцієнт попиту [4]:

$$k_n = 0,95,$$

отже:

$$P_{p.o.} = 0,95 \cdot 4,3 = 4,1 \text{ кВт};$$

- реактивне:

$$Q_{p.o.} = tg \varphi_o \cdot P_{p.o.},$$

де

$tg \varphi_o$  – знаходиться на основі:

$$\cos \varphi_o = 0,95;$$

з [6]:

$$tg \varphi_o = 0,33,$$

отже,

$$Q_{p.o.} = 0,33 \cdot 4,1 = 1,35 \text{ кВАр};$$



- повне навантаження:

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{p.o.}^2 + Q_{p.o.}^2} = \sqrt{4,1^2 + 1,35^2} = 4,3 \text{ кВА}.$$

Інші розрахунки занесено в табл. 3.2.

Всього по деревообробного цеху:

$$P_u = 109 + 4,1 = 113,1 \text{ кВт};$$

$$Q_u = 82 + 1,35 = 83,35 \text{ кВАр};$$

$$S_u = 137 + 4,3 = 141,3 \text{ кВА}.$$

Потужність сусідніх цехів:

$$P = 222 \text{ кВт};$$

$$Q = 204 \text{ кВАр};$$

$$S = 301 \text{ кВА}.$$

Разом:

$$P_{\Sigma} = 113,1 + 222 = 335,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = 83,35 + 204 = 287,35 \text{ кВАр};$$

$$S_{\Sigma} = 141,3 + 301 = 442,3 \text{ кВА}.$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок електричного навантаження цеху

| Силовий пункт з'явлення;<br>найменування електроприймачів | n,<br>шт. | Потужність     |                           |                          | m    | k <sub>с</sub> | cosφ/tgφ | Середня<br>потужність     |                         | k <sub>ср</sub> | Розрахункова<br>потужність |                         |    |
|---|-----------|----------------|---------------------------|--------------------------|------|----------------|----------|---------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|----|
|   |           | Одного,<br>кВт | Σ P <sub>н</sub> ,<br>кВт | P <sub>ср</sub> ,<br>кВт |      |                |          | Q <sub>ср</sub> ,<br>кВАр | P <sub>р</sub> ,<br>кВт |                 | Q <sub>р</sub> ,<br>кВАр   | S <sub>р</sub> ,<br>кВА |    |
| 1   | 2         | 3              | 4                         | 5                        | 6    | 7              | 8        | 9                         | 10                      | 11              | 12                         | 13                      | 14 |
| <b>РП-1</b>   |           |                |                           |                          |      |                |          |                           |                         |                 |                            |                         |    |
| Форматно-різальний верстат                                | 1         | 8,5            | 8,5                       |                          | 0,17 | 0,65/1,17      | 1,45     | 1,7                       |                         |                 |                            |                         |    |
| Витяжка   | 1         | 2              | 2                         |                          | 0,17 | 0,8/0,75       | 0,34     | 0,26                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Поклеєчний верстат  | 1         | 3,5            | 3,5                       |                          | 0,16 | 0,6/1,33       | 0,56     | 0,74                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Компресор   | 1         | 10             | 10                        |                          | 0,7  | 0,8/0,75       | 7        | 5,25                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Електроопалювальний котел                                 | 1         | 4,5            | 4,5                       |                          | 0,5  | 0,95/0,33      | 2,25     | 0,74                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Витяжний вентилятор                                       | 2         | 2,5            | 5                         |                          | 0,65 | 0,8/0,75       | 3,35     | 2,44                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Свердильний верстат                                       | 1         | 1,5            | 1,5                       |                          | 0,14 | 0,5/1,73       | 0,21     | 0,36                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Різальний верстат   | 1         | 2              | 2                         |                          | 0,14 | 0,5/1,73       | 0,28     | 0,48                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Загочувальний верстат                                     | 1         | 1,5            | 1,5                       |                          | 0,14 | 0,5/1,73       | 0,21     | 0,36                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Всього по РП-1  | 10        |                | 38,5                      | > 3                      | 0,4  | 0,78/0,79      | 15,65    | 12,33                     | 8                       | 1,52            | 24                         | 14                      | 28 |
| <b>РП-2</b>   |           |                |                           |                          |      |                |          |                           |                         |                 |                            |                         |    |
| Загочувальний верстат                                     | 2         | 1,5            | 3                         |                          | 0,14 | 0,5/1,73       | 0,42     | 0,73                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Нагрівальний агрегат                                      | 1         | 25             | 25                        |                          | 0,75 | 0,95/0,33      | 18,75    | 6,2                       |                         |                 |                            |                         |    |
| Фугувальний верстат                                       | 1         | 6              | 6                         |                          | 0,14 | 0,5/1,73       | 0,84     | 1,45                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Електрорізальний верстат                                  | 1         | 3,5            | 3,5                       |                          | 0,6  | 0,5/1,73       | 2,1      | 3,63                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Шліфувальний верстат                                      | 1         | 5              | 5                         |                          | 0,14 | 0,5/1,73       | 0,7      | 1,21                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Витяжний вентилятор                                       | 2         | 2,5            | 5                         |                          | 0,65 | 0,8/0,75       | 3,25     | 2,44                      |                         |                 |                            |                         |    |
| Всього по РП-2  | 8         |                | 47,5                      | > 3                      | 0,5  | 0,86/0,6       | 26,1     | 15,66                     | 4                       | 1,65            | 43                         | 17                      | 46 |

Продовження таблиці 3.2

|  |   |     |     |     |     |      |           |      |       |    |      |     |     |
|--|---|-----|-----|-----|-----|------|-----------|------|-------|----|------|-----|-----|
| <b>РП-3</b><br>Електроопалювальний котел | 1 | 4,5 | 4,5 |     |     | 0,5  | 0,95/0,33 | 2,25 | 0,74  |    |      |     |     |
|  | 1 | 10  | 10  |     |     | 0,7  | 0,8/0,75  | 7    | 5,25  |    |      |     |     |
|  | 2 | 15  | 30  |     |     | 0,75 | 0,5/1,73  | 22,5 | 39    |    |      |     |     |
|  | 1 | 2,5 | 2,5 |     |     | 0,65 | 0,8/0,75  | 1,63 | 1,22  |    |      |     |     |
|  | 5 |     | 47  | > 3 |     | 0,7  | 0,58/1,38 | 33,4 | 46,21 | 5  | 1,26 | 42  | 51  |
| <b>Всього по РП-3</b>                    |   |     |     | 133 | > 3 | 0,6  | 0,71/0,99 | 75,1 | 74,2  | 11 | 1,45 | 109 | 82  |
| <b>Силове навантаження</b>               |   | 23  |     |     |     |      |           |      |       |    |      |     | 137 |

### 3.4 Вибір площі перерізу проводів та жил кабелів. Вибір захисту ЕМ

Переріз кабелю, що прокладений від ПС до РП-1:

Розрахунковий струм [5]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

де  $S_p$  – потужність споживачів електроенергії, які отримують живлення від РП-1,  $\text{kVA}$ ;

$$S_p = 28 \text{ kVA};$$

$U_n$  – напруга споживачів електроенергії,  $\text{kV}$ ;

$$U_n = 0,4 \text{ kV},$$

тоді:

$$I_p = \frac{28}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 40 \text{ A}.$$

Вибираємо автомати *УкрЕМ ВА–04* з [6] з умов [7]:

$$U_{н.а} \geq U_{н.м} - U_{н.а} = 380 \text{ B} = U_{н.м} = 380 \text{ B};$$

$$I_{н.а} \geq I_p - I_{н.а} = 60 \text{ A} > I_p = 40 \text{ A};$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 I_p;$$

$$1,25 I_p = 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ A};$$

$$I_{н.р} = 50 \text{ A} = 1,25 \cdot I_p = 50 \text{ A}.$$

Умови виконуються.

Вибираємо автомат типу *ВА–04–36*.

Визначаємо переріз кабелю згідно [8], з врахуванням умови термічної стійкості [7]:

$$I_p \leq I_{доп} \cdot K,$$

де  $K$  – коефіцієнт, який згідно [8] для чотирижильних кабелів становить:

$$K = 0,92,$$

$I_{доп}$  – струм навантаження,  $\text{A}$ ;

$$I_{\text{доп}} = 70 \text{ A};$$

для кабелю з перерізом

$$S_{\text{ст}} = 10 \text{ мм}^2,$$

звідси:

$$I_p = 40 \text{ A} < I_{\text{доп}} \cdot K = 700,92 = 64,4 \text{ A}.$$

Отже, умова виконується.

Приймаємо: АБВГ1 – 4 x 10.

Автомат перевіряємо на відповідність [7]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н.р}};$$

$$I_{\text{доп}} = 70 \text{ A} > I_{\text{н.р}} = 50 \text{ A}.$$

Отже, умова виконується.

Інші розрахунки занесено в табл. 3.3

Таблиця 3.3 - Параметри розподільчої ЕМ

| Кабельна лі-<br>нія | $I_p$ ,<br>А | $I_{\text{н.р}}$ ,<br>А | $I_{\text{н.д}}$ ,<br>А | Тип АВ | Тип і переріз кабелю | $I_{\text{доп}}$ ,<br>А | $l$ ,<br>м | $\Delta U$ ,<br>% |   |
|---------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|--------|----------------------|-------------------------|------------|-------------------|---|
| ТП                  | РП-1         | 40                      | 60                      | 50     | ВА-04-36             | АБВГ1 – 4 x 10          | 70         | 23                | - |
|                     | РП-3         | 66                      | 100                     | 100    | ВА-04-36             | АБВГ1 – 4 x 25          | 115        | 8                 | - |
|                     | РП-4         | 95                      | 150                     | 125    | ВА-04-36             | АБВГ1 – 4 x 35          | 140        | 1,5               | - |

Перевірку на втрату напруги непотрібно проводити, оскільки довжина кабелів не буде перевищувати 30 м.

По [9] вибрано РП серії ПР21.

Від РП до споживачів прокладаються проводи АПВ в сталевих трубах.

Для РП-1:

Розрахунковий струм для одного споживача [5]:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}$$

де  $P_n$  – потужність одного споживача,  $\text{кВт}$ ;

$$P_n = 8,5 \text{ кВт},$$

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності;

$$\cos\varphi = 0,65,$$

тобто:

$$I_p = \frac{8,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65} = 19 \text{ А}.$$

По [6] вибрано автомат *УкрЕМ ВА–2004* та перевіряємо за умовами:

$$U_{н.а} \geq U_{н.м} - U_{н.а} = 380 \text{ В} = U_{н.м} = 380 \text{ В};$$

$$I_{н.а} \geq I_p - I_{н.а} = 30 \text{ А} > I_p = 19 \text{ А};$$

$$I_{н.р} \geq 1,25I_p;$$

$$1,25I_p = 1,25 \cdot 19 = 23,75 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 25 \text{ А} > 1,25I_p = 23,75 \text{ А}.$$

Отже, умови виконуються.

Вибираємо автомат типу *ВА–2004 / 30*.

З [8] вибираємо переріз проводу:

$$S_{ст} = 5 \text{ мм}^2.$$

з струмом

$$I_{дон} = 27 \text{ А}.$$

Записуємо марку проводу: АПВ – 4(1 х 5).

Автомат перевіряємо на відповідність:

$$I_{дон} \geq I_{н.р};$$

$$I_{дон} = 27 \text{ А} > I_{н.р} = 25 \text{ А}.$$

Отже, умова виконується.

Аналогічні розрахунки занесено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Вибір апаратури

| Номер<br>ШП; РП | Тип<br>ШП   | Автоматичні вимикачі               |             |           |                  |
|-----------------|-------------|------------------------------------|-------------|-----------|------------------|
|                 |             | Лінійні змінного струму            |             |           |                  |
|                 |             | ВА-2004/30; ВА-2004/50 ВА-2004/100 |             |           | кількість<br>шаф |
|                 |             | $I_{на}, A$                        | $I_{нр}, A$ | кількість |                  |
| РП-1            | ПР21.7.2.10 | 10 ÷ 30                            | 6,3 ÷ 25    | 10        | 1                |
| РП-2            | ПР21.7.2.20 | 10 ÷ 50                            | 6,3 ÷ 50    | 8         | 1                |
| РП-3            | ПР21.7.2.18 | 10 ÷ 75                            | 6,3 ÷ 63    | 5         | 1                |

### 3.5 Висновки до розділу 3

1. На основі відомості споживачів розраховано навантаження цеху та встановлено, що потужність цеху становить 137 кВА.

2. Проведені розрахунки освітлення. Встановлено, що освітлювальне навантаження становить 4,3 кВА.

3. Підвищено надійність системи електроспоживання за рахунок розрахунків розподільчої ЕМ цеху.

## 4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок компенсуючого пристрою

Дане підприємство споживає реактивну потужність. Споживачами реактивної потужності є: силові споживачі, сусідні цехи, освітлення цехів.

Реактивна потужність силового навантаження цеху:

$$P_{\text{сил}} = 109 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{сил}} = 82 \text{ кВАр};$$

$$S_{\text{сил}} = 137 \text{ кВА}.$$

Активна потужність, що припадає на освітлення цеху:

$$P_{\text{осв}} = 4,3 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт використання для активного навантаження:

$$K_g = 0,95.$$

$$P_{\text{сер.осв}} = K_g \cdot P_{\text{осв}} = 0,95 \cdot 4,3 = 4,1 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = 0,95.$$

Отже:

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\arccos(\cos\varphi)) = \operatorname{tg}(\arccos(0,95)) = 0,33.$$

Реактивна потужність для освітлювального навантаження:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{сер.осв}} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 4,1 \cdot 0,33 = 1,35 \text{ кВАр}.$$

Повна потужність освітлювального навантаження:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2} = \sqrt{4,1^2 + 1,35^2} = 4,3 \text{ кВА}.$$

Сусідні цехи:

$$P_{\text{цех}} = 222 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{цех}} = 204 \text{ кВАр}.$$

$$S_{\text{цех}} = \sqrt{P_{\text{цех}}^2 + Q_{\text{цех}}^2} = \sqrt{222^2 + 204^2} = 301 \text{ кВА}.$$



В сумі:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{сил}} + P_{\text{сер.осв}} + P_{\text{цех}} = 109 + 4,1 + 222 = 335,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{сил}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{цех}} = 82 + 1,35 + 204 = 287,35 \text{ кВАр};$$

$$S_{\Sigma} = S_{\text{сил}} + S_{\text{осв}} + S_{\text{цех}} = 137 + 4,3 + 301 = 442,3 \text{ кВА}.$$

Потужність КП [3]:

$$Q_{\text{кп}} = \Sigma P_p \cdot (\operatorname{tg} \varphi_p - \operatorname{tg} \varphi_H) \cdot \alpha$$

де  $\Sigma P_p$  – потужність цеху;

$$\Sigma P_p = 335 \text{ кВт},$$

$\operatorname{tg} \varphi_p$  – розрахунковий тангенс кута;

$$\operatorname{tg} \varphi_p = 0,88,$$

$\operatorname{tg} \varphi_H$  – шуканий тангенс кута;

$$\operatorname{tg} \varphi_H = 0,3,$$

$\alpha$  – враховує підвищення КП;

$$\alpha = 0,9,$$

$$Q_{\text{кп}} = 335(0,88 - 0,3)0,9 = 175 \text{ кВАр}.$$

Вибираємо *УКРП10,4–180–20У3* потужністю  $Q_{\text{кп.ст}} = 180 \text{ кВАр}$  з [4].

Потужність цеху [3]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{кп.ст}})^2} = \sqrt{335^2 + (288 - 180)^2} = 352 \text{ кВА}.$$

Знайдемо струм КУ:

$$I_{\text{ном.КП}} = \frac{Q_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot \sqrt{3}} \cdot 1,3 = \frac{108}{380 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1,3 = 213,3 \text{ А}.$$

За [6] вибрано тип автомата *ВА–88–37*.

Показано значення потужностей з врахуванням компенсуючого пристрою та без нього (рис. 4.1).

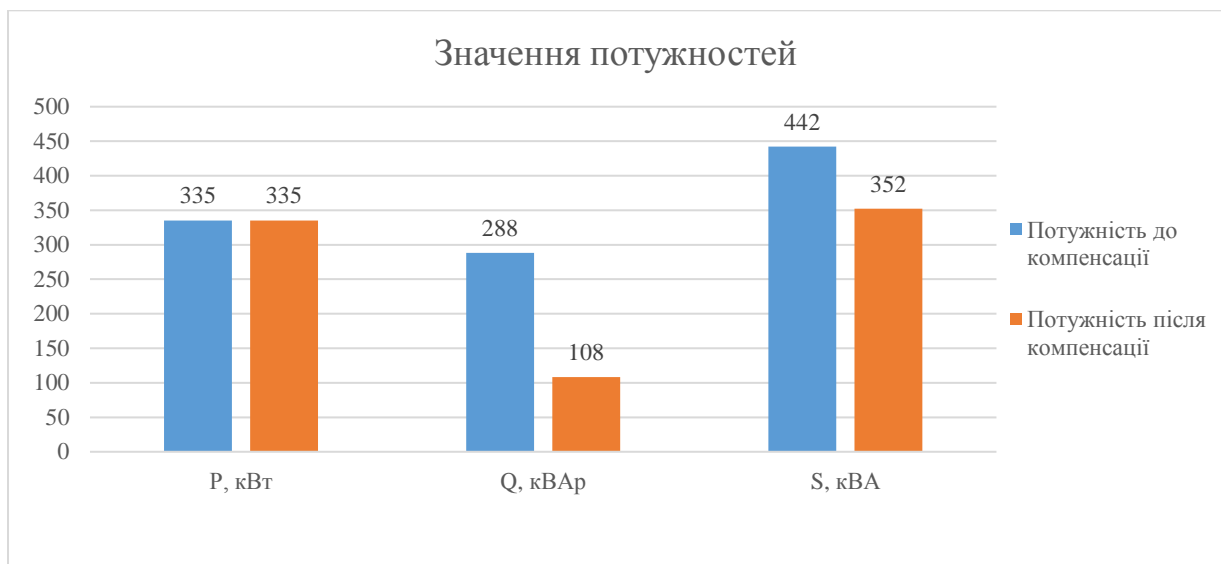


Рис. 4.1 - Значення потужностей з врахуванням компенсуючого пристрою та без нього

## 4.2 Вибір трансформаторів

Паспортні дані силового трансформатора (втрати ХХ, струм ХХ, втрати КЗ, напруга КЗ) взято з [10]. Вартість взято з [11]:

Перший варіант:

$$TM - 400 / 10;$$

$$S_m = 400 \text{кВА};$$

$$\Delta P_{xx} = 0,83 \text{кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 5.5 \text{кВт};$$

$$U_{к.з} = 4,5 \%;$$

$$I_{xx} = 1,8 \%;$$

$$Ц = 38 \text{тис.грн.}$$

Другий варіант

$$TM - 630 / 10;$$

$$S_m = 630 \text{кВА};$$

$$\Delta P_{xx} = 1,05 \text{кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт};$$

$$U_{к.з} = 5,5 \%;$$

$$I_{xx} = 1,6 \%;$$

$$Ц = 70 \text{ тис. грн.}$$

Зміни втрат відображає коефіцієнт [3]:

$$K_{зм.втр} = 0,02 \text{ кВт} / \text{кВАр}.$$

Приведені втрати:

Для трансформатора ТМ – 400 / 10:

$$\Delta Q_{xx} = 400 \cdot \frac{1,8}{100} = 7,2 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{кз} = 400 \cdot \frac{4,5}{100} = 18 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P'_{xx} = 0,83 + 0,02 \cdot 7,2 = 0,974 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{кз} = 5,5 + 0,02 \cdot 18 = 5,86 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_1 = 0,974 + 0,88^2 \cdot 5,86 = 5,512 \text{ кВт}.$$

Для трансформатора ТМ – 630 / 10:

$$\Delta Q_{xx} = 630 \cdot \frac{1,6}{100} = 10,08 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{кз} = 630 \cdot \frac{5,5}{100} = 34,65 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P'_{xx} = 1,05 + 0,02 \cdot 10,08 = 1,252 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{кз} = 7,6 + 0,02 \cdot 34,65 = 8,293 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_1 = 1,252 + 0,559^2 \cdot 8,293 = 3,841 \text{ кВт}.$$

В двох трансформаторах:

$$\Delta P'_{1,2} = 1 \cdot 5,512 = 5,512 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{1,2} = 1 \cdot 3,841 = 3,841 \text{ кВт}.$$

Час включення протягом року:

$$t_{\text{вкл}} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год}.$$

Втрати енергії протягом року:

$$\Delta E = \Delta P'_{1,2} \cdot t_{\text{вкл}};$$

$$\Delta E = 5,512 \cdot 8760 = 48284,98 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta E = 3,841 \cdot 8760 = 33642,812 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для промислового підприємства вартість кіловата електроенергії [12]:

$$c = 2,24 \text{ грн}.$$

Втрати електроенергії протягом року вартують:

$$C_e = \Delta E \cdot c;$$

$$C_e = 48284,98 \cdot 2,24 = 108158,355 \text{ тис. грн};$$

$$C_e = 33642,812 \cdot 2,24 = 75359,899 \text{ тис. грн}.$$

На проект підстанції необхідно здійснити капітальні затрати:

$$K_1 = 1 \cdot 38 = 38 \text{ тис.грн};$$

$$K_2 = 1 \cdot 70 = 70 \text{ тис.грн}.$$

Експлуатаційні затрати за рік:

$$C_a = \phi \cdot K,$$

де  $\phi$  - коефіцієнт амортизації:

$$\phi = 0,1.$$

$$C_a = 0,1 \cdot 38 = 3,8 \text{ тис.грн}.$$

$$C_a = 0,1 \cdot 70 = 7,0 \text{ тис.грн}.$$

Сумарні затрати за рік:

$$C = C_e + C_a$$

$$C_1 = 108,158 + 3,8 = 111,958 \text{ тис. грн};$$

$$C_2 = 75,360 + 7,0 = 82,360 \text{ тис. грн}.$$

Термін окупності становить:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = \left| \frac{70 - 38}{111,958 - 82,360} \right| = 1,081 \text{ року}.$$

Вибираємо трансформатор *ТМ 630/10*. Цей вибір дає можливість збільшити навантаження цеху в майбутньому.

Економічна ефективність дорівнює:

$$E = C_2 - C_1 = |111,958 - 82,360| = 29,598 \text{ тис. грн.}$$

Паспортні дані [10]:

$$S_{nom} = 630 \text{ кВА};$$

$$U_{nomBH} / U_{nomHN} = 10 / 0,4 \text{ кВ};$$

$$\Delta P_{xx} = 1,05 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт};$$

$$u_k = 5,5\% ;$$

$$I_{xx} = 1,6\% .$$

### 4.3 Розробка конструкції КТП-630

Дані КТП-630 подано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Дані КТП-630

| Найменування параметра                                | Розрахункові дані | Дані КТП-630 |
|---|-------------------|--------------|
| 1.Потужність силового трансформатора (кВА):           | 352               | 630          |
| 2.Номінальна напруга на стороні високої напруги (кВ): | 10                | 10           |
| 3.Номінальна напруга на стороні низької напруги (кВ): | 0,4               | 0,4          |
| 4.Частота змінного струму (Гц):                       | 50                | 50           |

|   |        |      |
|---|--------|------|
| 5. Номінальний струм збірних шин (кА):                  |        |      |
| УВН   | 0,036  | 0,4  |
| РУНН  | 0,91   | 0,91 |
| 6. Струм електродинамічної стійкості (кА):              |        |      |
| УВН   | 35,6   | 51   |
| РУНН  | 17,691 | 50   |
| 7. Струм термічної стійкості за 1с (кА <sup>2</sup> с): |        |      |
| УВН   | 219,52 | 400  |
| РУНН  | 103,7  | 625  |

#### 4.4 Розрахунок струмів КЗ

В електричних установках виникають короткі замикання різних видів. КЗ супроводжуються різким зростанням струму. Це є причиною того, що все обладнання, яке встановлюється в СЕП має бути стійким до дії струмів КЗ. Це обладнання повинне вибиратись із урахуванням величини струмів КЗ.

Розрахунок струмів КЗ проводиться з метою забезпечення надійної роботи ЕМ, пристроїв РЗ та обладнання.

Розрахунок здійснюється в відносних одиницях.

Розрахункова схема ЕМ складається з джерел живлення місця КЗ, елементи СЕП. Розрахункова схема являє собою основні параметри елементів та намічені точки КЗ.

Запишемо з [9] паспортні дані трьохобмоточного трансформатора *ТДТН* – 40000/110 / 35/10:

$$S_n = 40 \text{ МВА};$$

$$P_{x.x.} = 63 \text{ кВт};$$

$$P_{кз} = 230 \text{ кВт};$$

$$\begin{aligned}
 I_{x.x.} &= 0,9 \% ; \\
 U_{кз} - BH - CH &= 10,5 \% ; \\
 -BH - HH &= 17 \% ; \\
 -CH - HH &= 6 \% .
 \end{aligned}$$

Складено схему заміщення, в якій проведено заміну всіх елементів схеми на опори.

Базисний струм [3]:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}},$$

де  $S_{\bar{o}}$  – базисна потужність, *MVA*;

$$S_{\bar{o}} = 100 \text{ MVA}$$

$U_{\bar{o}}$  – базисна напруга (значення напруги у точці КЗ);

$$U_{\bar{o}} = 10,5 \text{ кВ},$$

отже:

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

Відносний опір системи [3]:

$$x_{*\bar{o}c} = x_c \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_c} = 0,1 \cdot \frac{100}{400} = 0,025.$$

Відносний опір для першої лінії [3]:

$$x_{*\bar{o}l1} = x_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{cp}^2},$$

де  $x_0$  – реактивний опір лінії (для довжини в 1 км,).

Для ПЛ становить:

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом / км}$$

$l_1$  – довжина лінії, *км*;

$$l_1 = 25 \text{ км}$$

$U_{cp}$  – міжфазна напруга,

$$U_{cp} = 115 \text{ кВ},$$

Отже:

$$x_{*бл1} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,076.$$

Відносний опір обмоток трансформатора [3]:

$$U_{кз1 B} = \frac{U_{KB-C} + U_{KB-H} - U_{KC-H}}{2} = \frac{10,5 + 17 - 6}{2} = 10,75 \% ;$$

$$U_{кз2 H} = \frac{U_{KB-H} + U_{KC-H} - U_{KB-C}}{2} = \frac{17 + 6 - 10,5}{2} = 6,25 \% ;$$

$$U_{кз3 C} = \frac{U_{KB-C} + U_{KC-H} - U_{KB-H}}{2} = \frac{10,5 + 6 - 17}{2} = 0 \% .$$

Отже,

$$x_{*бтр1} = \frac{U_{кз1, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{н.тр}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,269.$$

$$x_{*бтр2} = \frac{U_{кз2, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{н.тр}} = \frac{6,25}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,156 ;$$

$$x_{*бтр3} = 0.$$

Відносний опір другої лінії:

$$x_{*бл2} = x_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2},$$

де  $x_0$  – індуктивний опір лінії (довжиною в 1 км).

Для КЛ:

$$x_0 = 0,08 \text{ Ом / км}$$

$l_2$  – довжина лінії, км;

$$l_2 = 0,6 \text{ км};$$

$$x_{*бл2} = 0,08 \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,044.$$

Результуючий опір до точки КЗ К-1 [3]:

$$\begin{aligned} x_{*брез1} &= x_{*бс} + x_{*бл1} + \frac{(x_{*бтр1} + x_{*бтр2}) \cdot (x_{*бтр1} + x_{*бтр2})}{(x_{*бтр1} + x_{*бтр2}) + (x_{*бтр1} + x_{*бтр2})} + x_{*бл2} = \\ &= 0,025 + 0,076 + \frac{(0,269 + 0,156) \cdot (0,269 + 0,156)}{(0,269 + 0,156) + (0,269 + 0,156)} + 0,044 = 0,36 \end{aligned}$$

Розрахунковий опір КЗ для К-1 [3]:



$$x_{роз1} = x_{*брез1} \cdot \frac{S_c}{S_{\bar{\sigma}}} = 0,36 \cdot \frac{400}{100} = 1,44.$$

Так як,  $x_{роз1} < 3$ , то струм КЗ знаходимо по кривим [5].

Тоді [3]:

$$I_{\kappa1} = I_{н.с.} \cdot k_t,$$

де  $I_{н.с.}$  – струм системи:

$$I_{н.с.} = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23 \text{ кА}.$$

$k_t$  – кратність струму КЗ:

$$k_t = 0,78 \text{ нпут} = \infty \text{ с } i x_{роз1} = 1,44,$$

тому:

$$I_{\kappa1} = 23 \cdot 0,78 = 18 \text{ кА}.$$

Ударний струм [3]:

$$i_{y\partial1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\kappa1}$$

де  $k_y$  – ударний коефіцієнт.

З [9]:

$$k_y = 1,8$$

отже,

$$i_{y\partial1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 18 = 45,8 \text{ кА}.$$

Потужність КЗ [3]:

$$S_{\kappa31} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\kappa1} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 18 = 312 \text{ МВА}.$$

Відносний опір третьої лінії:

$$x_{*бл3} = x_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2} = 0,08 \cdot 0,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,029.$$

Результуючий опір до точки КЗ  $K-2$ :

$$x_{*брез2} = x_{*брез1} + x_{*бл3} = 0,36 + 0,029 = 0,389.$$

Розрахунковий опір КЗ для точки  $K-2$ :

$$x_{роз2} = x_{*брез2} \cdot \frac{S_c}{S_{\sigma}} = 0,389 \cdot \frac{400}{100} = 1,6.$$

Оскільки,  $x_{роз2} < 3$ , то струм КЗ знаходимо по кривим [5].

Отже:

$$I_{к2} = I_{н.с.} \cdot k_t,$$

кратність струму КЗ  $n_{put} = 0 \text{ с } i x_{роз2} = 1,6$ :

$$k_t = 0,6:$$

отже:

$$I_{к2} = 23 \cdot 0,6 = 14 \text{ кА}.$$

Ударний струм:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 14 = 35,6 \text{ кА}.$$

Потужність КЗ:

$$S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 14 = 242,5 \text{ МВА}.$$

Струм КЗ в точці К-3.

Визначимо опір системи [5]:

$$x_c = \frac{U_{н.ном}^2}{S_{відкл}},$$

де  $U_{н.ном}$  – номінальна напруга з НН;

$$U_{н.ном} = 0,4 \text{ кВ} = 400 \text{ В};$$

$S_{відкл}$  – потужність відключення вимикача;

$$S_{відкл} = S_{кз2} = 242,5 \text{ МВА} = 242,5 \cdot 10^6 \text{ ВА};$$

$$x_c = \frac{400^2}{242,5 \cdot 10^6} = 0,00066 \text{ Ом} = 0,66 \text{ мОм}.$$

Опір трансформатора у відносних одиницях [5]:

- активний:

$$r_{*m} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{н.тр}},$$

де  $\Delta P_{кз}$  – втрати КЗ в трансформаторі,  $\text{кВт}$ ;

$$\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт};$$

$S_{н.тр}$  – потужність трансформатора,  $кВА$ ;

$$S_{н.тр} = 630 \text{ кВА};$$

$$r_{*m} = \frac{7,6}{630} = 0,012;$$

- реактивний:

$$x_{*m} = \sqrt{U_{кз}^2 - r_{*m}^2}$$

де  $U_{кз}$  – напруга КЗ,

$$U_{кз} = 5,5 \%$$

$$x_{*m} = \sqrt{0,055^2 - 0,012^2} = 0,054.$$

Приведені опори трансформатора до напруги  $0,4 \text{ кВ}$  [5]:

$$r_m = r_{*m} \cdot \frac{U_{н.ном}^2}{S_{н.тр}} = 0,012 \cdot \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 0,003 \text{ Ом} = 3 \text{ мОм}.$$

$$x_m = x_{*m} \cdot \frac{U_{н.ном}^2}{S_{н.тр}} = 0,054 \cdot \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 0,0137 \text{ Ом} = 13,7 \text{ мОм}.$$

Опори шин при міжфазній відстані  $l = 250 \text{ мм}$  та опорах

$$x_0 = 0,179 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$r_0 = 0,06 \text{ мОм} / \text{м},$$

довжина шин  $5 \text{ м}$  [5]:

$$r_{ш} = r_0 \cdot l_{ш} = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ мОм} = 0,0003 \text{ Ом};$$

$$x_{ш} = x_0 \cdot l_{ш} = 0,179 \cdot 5 = 0,895 \text{ мОм} = 0,000895 \text{ Ом}.$$

Опір контактів автоматичного вимикача:

$$R_{конт} = 0,8 \text{ мОм};$$

опір самого автомата

$$R_{авт} = 0,3 \text{ мОм};$$

опір в місцях приєднання шин та в місці КЗ –  $15 \text{ мОм}$ .

Результуючий опір кола КЗ в  $K-3$  [5]:

$$r = r_m + r_{ш} + r' = 0,003 + 0,0003 + 0,015 = 0,0183 \text{ Ом};$$

$$x = x_m + x_{ш} + x' = 0,0137 + 0,000895 + 0,0008 = 0,0154 \text{ Ом}.$$

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{0,0183^2 + 0,0154^2} = 0,024 \text{ Ом.}$$

Струм КЗ в К-3 [5]:

$$I_{кз3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,024} = 9623 \text{ А.}$$

Ударний струм:

$$i_{y03} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{кз3},$$

де  $k_y$  – ударний коефіцієнт [6]:

$$k_y = 1,3,$$

Отже,

$$i_{y03} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 9623 = 17692 \text{ А.}$$

Потужність КЗ:

$$S_{кз3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{кз3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 9623 = 6,7 \text{ МВА.}$$

Дані струмів КЗ показано в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Струми КЗ.

| Точка короткого замикання | $U_n$ ,<br>кВ | $I_{кз}$ ,<br>кА | $i_{y0}$ ,<br>кА | $S_{кз}$ ,<br>МВА |
|---------------------------|---------------|------------------|------------------|-------------------|
| К-1                       | 10            | 18               | 45,8             | 312               |
| К-2                       | 10            | 14               | 35,6             | 242,5             |
| К-3                       | 0,4           | 9,623            | 17,692           | 6,7               |

#### 4.5 Висновки до розділу 4

1. В результаті проведених розрахунків навантажень цеху, повна потужність становить  $352 \text{ кВА}$ .
2. На основі розрахунків реактивної потужності проведено вибір КП типу  $УКРПІ - 0,4 - 180 - 20УЗ$ .
3. Обґрунтовано встановлення підстанції  $630/10/0,4 \text{ кВ}$ , коефіцієнт завантаження якої складає  $0,6$ .
4. Проведена реконструкція  $КТП - 630$ .
5. Проведені розрахунки струмів КЗ. Це забезпечить надійну роботу РЗ.

## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Вибір електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції і перевірка на стійкість до дії струмів короткого замикання

Електричне обладнання в умовах експлуатації, працює в трьох основних режимах: в тривалому режимі, в режимі перевантаження, в режимі короткого замикання.

В тривалому режимі надійна робота електричного обладнання забезпечується правильним вибором його по номінальному струму і напрузі, виходячи з умов [2]:

$$I_p \leq I_{н.а.};$$

$$U_{н.м.} \leq U_{н.а.}$$

В режимі перевантаження надійна робота електричного обладнання забезпечується обмеженням величини та тривалості підвищення напруги або струму в таких межах, при яких гарантується нормальна робота електричних установок за рахунок запасу міцності.

В режимі короткого замикання надійна робота електричного обладнання забезпечується відповідністю вибраних параметрів пристроїв по умовам термічної та електродинамічної стійкості, відповідно до умов [2]:

$$B_k \leq I_{н.т.у.}^2 \cdot t_{н.т.у.}$$

$$i_{н.дин} \geq i_{уд.р.}$$

Визначаємо розрахунковий струм підстанції [2]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

де  $S_p$  – розрахункова потужність підстанції, кВА;

$$S_p = 630 \text{ кВА}$$

$U_n$  – напруга високої сторони (ВН) трансформатора:

$$U_n = 10 \text{ кВ}$$

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}$$

Визначаємо тепловий імпульс короткого замикання в точці К-2 [2]:

$$B_k = I_{n.o.}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a)$$

де  $I_{n.o.}$  – зверхперехідний струм короткого замикання:  $I_{n.o.} = I_{кз2} = 14 \text{ кА}$

$t_{відкл}$  – час протікання струму короткого замикання:

$$t_{відкл} = t_3 + t_{o.в.},$$

де  $t_3$  – час спрацювання максимального струмового захисту:

$$t_3 = (0,5 \div 1) \text{ с};$$

приймаємо

$$t_3 = 1 \text{ с}$$

$t_{o.в.}$  – час відключення масляного вимикача, що встановлений на підстанції підприємства [8] табл. 31.1;

$$t_{o.в.} = 0,11 \text{ с}$$

$T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання; для мережі 10 кВ

$$T_a = 0,01 \text{ с},$$

тоді:

$$B_k = 14^2 \cdot [(1 + 0,11) + 0,01] = 219,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Далі вибір і перевірку апаратів проводимо в табличній формі, дані заносимо в табл. 5.1

Таблиця 5.1 Вибір електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції

| Умови вибору                                   | Розрахункові дані | Табличні дані     |                      |                       |
|--|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
|  |                   | Вимикач вакуумний | Трансформатор струму | Трансформатор напруги |
|  |                   | ВВТЄ-10-20/630ХЛ2 | ТПК-10               | НОЛ-08-10УТ2          |
| 1  | 2                 | 3                 | 4                    | 5                     |
| 1.Вибір по напрузі:<br>$U_{уст} \leq U_{н.а.}$ | 10 кВ             | 10 кВ             | 10 кВ                | 10 кВ                 |

## Продовження таблиці 5.1

|   |                            |   |  |   |
|---|----------------------------|---|--|---|
| 2. Вибір по номінальному струму:<br>$I_p \leq I_{н.а.}$                     | 36,4 А                     | 630 А                                     | 75 А                                     | - |
| 3. Перевірка на динамічну стійкість:<br>$i_{уд.р} \leq i_{пр.екв}$          | 35,6 кА                    | 52 кА                                     | 52 кА                                    | - |
| 4. Перевірка на термічну стійкість:<br>$B_k \leq I_{н.т.}^2 \cdot t_{н.т.}$ | 219,52 кА <sup>2</sup> · с | $20^2 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> · с | $20^2 \cdot 1 = 400$ кА <sup>2</sup> · с | - |
| 5. Вибір по відключаючій здатності:<br>$I_{н.о.} \leq I_{н.відкл}$          | 14 кА                      | 20 кА                                     | -  | - |
| 6. Тип приводу  | -                          | ПС-11                                     | -  | - |

Вакуумний вимикач типу ВВТЄ-10-20/630ХЛ2 задовольняє умови вибору та перевірки і може бути прийнятий до установки.

Здійснюємо перевірку по класу точності трансформатора струму (ТС) типу ТПК-10. Робота трансформатора повинна забезпечуватись в класі точності 0,5.

Приводимо схему підключення обмоток приладів до вторинних обмоток трансформатора струму (ТС) (рис. 5.1):



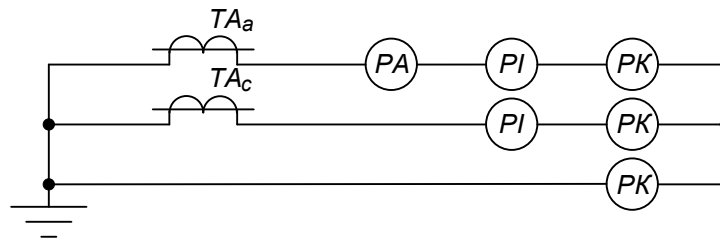


Рис. 5.1 - Схема підключення обмоток приладів до вторинних обмоток трансформатора струму

Складаємо таблицю навантажень на вторинній обмотці трансформаторів струму (ТС) (табл. 5.2):

Таблиця 5.2 - Навантаження вторинної обмотки трансформаторів струму

| Назва приладу                | Тип   | Навантаження, ВА |        |        |
|------------------------------|-------|------------------|--------|--------|
|                              |       | Фаза А           | Фаза В | Фаза С |
| Амперметр                    | Є-335 | 0,5              | -      | -      |
| Лічильник активної енергії   | I-680 | 2,5              | -      | 2,5    |
| Лічильник реактивної енергії | I-676 | 2,5              | 2,5    | 2,5    |
| Всього                       |       | 5,5              | 2,5    | 5,0    |

Подальший розрахунок проводиться по найбільш завантаженій фазі – фазі А.

Визначаємо загальний опір обмоток приладів [2]:

$$R_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{2н}^2},$$

де  $S_{прил}$  – сумарне навантаження фази А по табл. 5.2, кВА;

$$S_{прил} = 5,5 \text{ кВА}$$

$I_{2н}$  – вторинний номінальний струм трансформатора струму (ТС), А;

$$I_{2н} = 5 \text{ А},$$

тоді

$$R_{прил} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}$$

По технічним даним трансформатора, [8] таблиця 31.9, його вторинне номінальне навантаження в класі точності 0,5 складає  $S_{2H} = 10 \text{ ВА}$ , а розрахункове навантаження вторинної обмотки (ВО)  $S_p = 5,5 \text{ ВА}$ , для забезпечення роботи трансформатора струму (ТС) в потрібному класі точності 0,5 повинна виконуватись умова [2]:

$$S_{2H} \geq S_p$$

$$S_{2H} = 10 \text{ ВА} > S_p = 5,5 \text{ ВА} \text{ – умова виконується.}$$

Визначаємо повний допустимий опір зовнішнього кола [2]:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_{2H}^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом}$$

Визначаємо допустимий опір з'єднувальних проводів [2]:

$$R_{пров} = Z_{2H} - R_{прил} - R_k$$

де  $R_k$  – опір контактів, Ом; приймаємо

$$R_k = 0,1 \text{ Ом,}$$

тоді

$$R_{пров} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом}$$

Визначаємо переріз з'єднувальних проводів [2]:

$$S_{пров} = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пров}}$$

де  $\rho$  – питомий опір проводу; для алюмінію

$$\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

$l_p$  – розрахункова довжина з'єднувальних проводів; при схемі “неповна зірка”

$$l_p = 1,5l,$$

де  $l$  – довжина проводу, що з'єднує трансформатор струму (ТС) і прилад; приймаємо

$$l = 4,5 \text{ м,}$$

тоді

$$l_p = 1,5 \cdot 4,5 = 6,75 \approx 7 \text{ м,}$$

отже:

$$S_{пров} = \frac{0,0283 \cdot 7}{0,08} = 2,48 \text{ мм}^2$$

По умовам механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів у вторинному колі трансформатора струму (ТС) повинен бути не менше 2,5 мм<sup>2</sup>. На основі проведеного розрахунку приймаємо переріз алюмінієвих проводів 2,5 мм<sup>2</sup> і записуємо марку проводу АПВ – 4 (1×2,5). Остаточню до встановлення приймаємо трансформатор струму (ТС) типу ТПК-10.

В мережах напругою 10 КВ, необхідно здійснювати контроль за станом ізоляції. Для цієї мети встановлюються трансформатори напруги (ТН). Таким чином, на даній КТП-630 встановлюється два однофазних трансформатора напруги (ТН), що з'єднані в неповну зірку.

Відповідність класу точності перевіряється шляхом співставлення номінальної потужності вторинного кола з фактичним навантаженням від підключених приладів, виходячи з умови [2]:

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

Складаємо таблицю навантажень вторинних кіл трансформатора напруги (табл. 5.3):

Таблиця 5.3 - Навантаження вторинної обмотки трансформатора напруги

| Назва приладу                | Тип    | Повна потужність приладу, ВА | Кількість приладів |
|------------------------------|--------|------------------------------|--------------------|
| Вольтметр                    | Є-377  | 4,7                          | 1                  |
| Лічильник активної енергії   | I-680  | 1,75                         | 2                  |
| Лічильник реактивної енергії | I-676  | 1,73                         | 3                  |
| Реле напруги                 | РСВ-84 | 1,0                          | 3                  |
| Всього                       |        | 16,39 ВА                     |                    |

По таблиці 31.13 [8] визначаємо номінальну потужність вторинного кола трансформатора напруги (ТН) в класі точності 0,5, вона складає

$$S_{2н.а.} = 75 \text{ ВА}$$

Відповідність класу точності перевіряємо виходячи з умови:

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

для двох трансформаторів:

$$2S_{2н.а.} \geq S_p,$$

тоді

$$2S_{2н.а.} = 2 \cdot 75 = 150 \text{ ВА} > S_p = 16,39 \text{ ВА} - \text{умова виконуються.}$$

Таким чином, до встановлення приймаємо два трансформатори напруги (ТН) типу НОЛ-08-10УТ2.

Від струмів короткого замикання трансформатор захищається струмообмежуючим запобіжником типу ПКТ102-10-31,5У3; з таблиці 31.14 [8] виписуємо технічні дані запобіжника:

$$U_{н.а.} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{н.а.} = 40 \text{ А};$$

$$I_{н.відкл} = 31,5 \text{ кА.}$$

Перевіримо вибраний запобіжник по умовам [7]:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.м.} - U_{н.а.} = 10 \text{ кВ} = U_{н.м} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{н.а.} \geq I_p - I_{н.а.} = 40 \text{ А} > I_p = 36,4 \text{ А}$$

$$I_{н.відкл} \geq I_{н.о.} - I_{н.відкл} = 31,5 \text{ кА} > I_{н.о.} = 14 \text{ кА}$$

умови вибору виконуються.

## 5.2 Розрахунок і вибір електромережі живлення

Згідно правил улаштування електричних установок (ПУЕ) [1] переріз кабелів вибирається по:

- Нагріву;
- Економічній густині струму

та перевіряється по втраті напруги.

Вибір перерізу кабелів напругою вище 1 кВ здійснюється по економічній густині струму [2]:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм установки (підстанції (ПС));

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

де  $S_p$  – розрахункова потужність підстанції, кВА;

$$S_p = 630 \text{ кВА}$$

$U_H$  – напруга високої сторони (ВН) трансформатора:

$$U_H = 10 \text{ кВ}$$

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}$$

$j_{ек}$  – економічна густина струму; для кабелів з алюмінієвими жилами, згідно [1] ст.37,

$$j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2,$$

тоді:

$$S_{ек} = \frac{36,4}{1,4} = 26 \text{ мм}^2$$

По [1] табл. 1.3.16 приймаємо стандартний переріз кабелю 35 мм<sup>2</sup>, тривало-допустимий струм якого складає

$$I_{дон} = 115 \text{ А}$$

Перевіряємо вибраний кабель по нагріву згідно умови:

$$I_{дон} \geq I_p;$$

$$I_{дон} = 115 \text{ А} > I_p = 36,4 \text{ А}$$

– умова виконується.

Попередньо для вводу приймаємо кабель ААБ-10-3×35

Перевіряємо кабель на термічну стійкість:

- визначасмо тепловий імпульс короткого замикання [2]:

$$B_k = I_{н.о.}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a)$$

де  $I_{n.o.}$  – зверхперехідний струм короткого замикання в точці К-1;

$$I_{n.o.} = 18 \text{ кА}$$

$t_{відкл}$  – час протікання струму короткого замикання

$$t_{відкл} = t_3 + t_{o.в.},$$

де  $t_3$  – час спрацювання максимального струмового захисту;

$$t_3 = 0,5 \div 1 \text{ с};$$

приймаємо

$$t_3 = 1 \text{ с}$$

$t_{o.в.}$  – час відключення масляного вимикача;

$$t_{o.в.} = 0,11 \text{ с}$$

$T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання, для мережі 10 кВ

$$T_a = 0,01 \text{ с},$$

отже:

$$B_k = 18^2 \cdot [(1 + 0,11) + 0,01] = 363 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

- визначаємо мінімально допустимий переріз кабелю по умові нагріву струмом короткого замикання [2]:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \geq S_{ek}$$

де  $C$  – термічний коефіцієнт; для кабелів з алюмінієвими жилами з паперовою ізоляцією на 10 кВ ([4] додаток “Т”)

$$C = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2,$$

тоді:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{363}}{94} \cdot 10^3 = 203 \text{ мм}^2$$

По [1] табл. 1.3.16 вибираємо стандартний переріз кабелю, що складає 240 мм<sup>2</sup>:

$$S_{min.cm} = 240 \text{ мм}^2 > S_{ek.cm} = 35 \text{ мм}^2$$

Остаточо приймаємо кабель марки ААБ-10-3×240.

### 5.3 Вибір і розрахунок релейного захисту силового трансформатора

Відповідно до ПУЕ, п.3.2.51, для силових трансформаторів повинні бути передбачені пристрої релейного захисту (РЗ) від таких видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

- багатофазних замикань в обмотках та на їх виводах;
- однофазних замикань на землю в обмотці та на виводах, що приєднанні до мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- міжвиткових замикань в обмотках;
- струмів в обмотках, зумовлених зовнішніми короткого замикання;
- струмів в обмотках, зумовлених перевантаженнями;
- від зниження рівня масла.

Релейний захист (РЗ) від перерахованих пошкоджень передбачає дію на відключення і сигнал.

Вибираємо тип пристроїв релейного захисту силового трансформатора цехової трансформаторної підстанції (ТП), що забезпечуватимуть:

- максимальну струмову відсічку без витримки часу;
- максимальний струмовий захист з витримкою часу;
- максимальний струмовий захист від перевантажень;
- захист від замикань на землю.

Максимальна струмова відсічка без витримки часу:

- визначаємо первинний струм спрацювання захисту [8]:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}$$

де  $I_{к.мах}$  – трьохфазний струм короткого замикання, що протікає через силовий трансформатор:

$$I_{к.мах} = I_{к2} \cdot \frac{U_2}{U_1} = 9623 / K_{с.т.} = 9623 / 25 = 384,9 \text{ А}$$

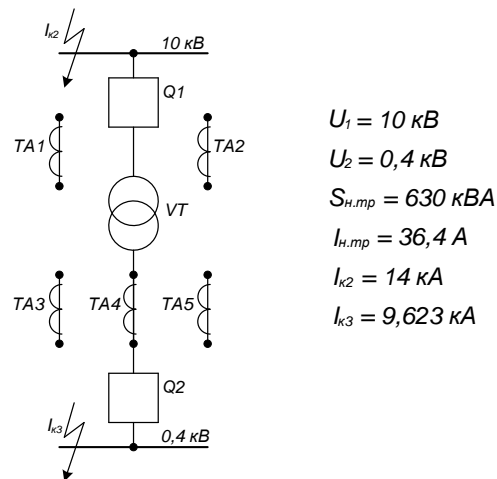


Рис. 5.2 – Розрахункова схема

$k_n$  – коефіцієнт надійності; для реле РТ- 40

$$k_n = 1.4,$$

отже:

$$I_{c.з.} = 1,4 \cdot 384,9 = 538,8 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле [8]:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{c.x}}{k_{m.c.}}$$

де  $k_{c.x}$  – коефіцієнт схеми; трансформатори струму (ТС) з'єднані в неповну зірку, тому,

$$k_{c.x} = 1$$

$k_{m.c.}$  – коефіцієнт трансформації трансформатора струму (ТС) ТПК-10:

$$k_{m.c.} = \frac{I_{H1}}{I_{H2}} = \frac{75}{5} = 15,$$

тоді

$$I_{c.p.} = 538,8 \cdot 1/15 = 35,92 \text{ А},$$

отже, по розрахунковому струму спрацювання реле вибираємо реле струму РТ- 40 з  $I_{c.p.} = 50 \text{ А}$  – РТ- 40/50.

- визначаємо коефіцієнт чутливості [8]:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{k.\text{min}}}{I_{c.з.}} \geq 2$$



де  $I_{к.min}$  – трьохфазний струм короткого замикання на низькій стороні трансформатора:

$$I_{к2.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 14000 = 12180 \text{ А,}$$

тоді

$$k_{ч} = I_{к2.min}^{(2)} / I_{с.з} = 12180 / 538,8 = 22,6 > 2 \text{ – по первинному струму.}$$

$$k_{ч} = I_{к2.min}^{(2)} / I_{с.р} / K_{т.с} = 12180 / 15 / 35,92 = 22,6 > 2 \text{ – по вторинному струмі.}$$

Максимальний струмовий захист з витримкою часу:

- визначаємо струм спрацювання захисту [8]:

$$I_{с.з} = \frac{k_H \cdot k_{с.з}}{k_{II}} \cdot I_p$$

де  $k_H$  – коефіцієнт надійності;

$$k_H = 1,1 \div 1,25,$$

приймаємо;

$$k_H = 1,2$$

$k_{с.з}$  – коефіцієнт самозапуску, що враховує струми навантаження при самозапуску електричних двигунів;

$$k_{с.з} = 2 \div 3,$$

приймаємо

$$k_{с.з} = 2,5$$

$k_n$  – коефіцієнт повернення;

$$k_n = 0,8 \div 0,85,$$

для реле типу РТ-40 приймаємо, що

$$k_n = 0,82$$

$I_p$  – розрахунковий струм навантаження на високій стороні (ВН) трансформатора;

$$I_p = I_{н.тр} = 36,4 \text{ А,}$$

тоді:

$$I_{с.з} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,82} \cdot 36,4 = 133,2 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{ex}}{k_{m.c.}} = \frac{133,2 \cdot 1}{15} = 9 \text{ А},$$

отже,

вибираємо струмове реле типу РТ- 40/10 із

$$I_{c.p.} = 10 \text{ А}$$

- визначаємо коефіцієнт чутливості:

$$k_u = I^{(2)}_{кз.min} / I_{c.з.} = (0,87 \cdot 9623) / K_{т.с.} / 133,2 = 2,5 > 1,5 \text{ – по первинному струму.}$$

$$k_u = I^{(2)}_{кз.p} / I_{c.p.} / K_{т.с.} = 334 / 15 / 9 = 2,5 > 1,5 \text{ – по вторинному струмі.}$$

$$k_u = \frac{I_{k.min}}{I_{c.з.}} \geq 1,5$$

$$k_u = \frac{8334}{133,2} = 62,6 > 1,5 \text{ – умова виконується.}$$

Вибираємо реле часу типу ЄВ-215 і уставку  $t_{c.з.} = 0,5 \div 1 \text{ с}$ . Захист працює.

Максимальний струмовий захист від перевантажень:

- визначаємо струм спрацювання захисту [8]:

$$I_{c.з.} = \frac{k_H}{k_H} \cdot I_{н.мр}$$

де  $k_H$  – коефіцієнт надійності;

$$k_H = 1,05$$

$k_n$  – коефіцієнт повернення;

$$k_n = 0,82,$$

тоді

$$I_{c.з.} = \frac{1,05}{0,82} \cdot 36,4 = 47 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{ex}}{k_{m.c.}} = \frac{47 \cdot 1}{15} = 3 \text{ А}$$

вибираємо струмове реле типу РТ- 40/6 з

$$I_{c.p.} = 6 \text{ А.}$$

Захист від перевантаження працює з витримкою часу 5 – 10 с, з дією на сигнал, через реле часу ЄВ-215.

Захист від замикань на землю:

Захист від замикань на землю, ліній напругою 10 кВ, виконується з дією на сигнал.

Найбільш розповсюдженим захистом для селективного захисту лінії напругою 10 кВ, від однофазних замикань на землю є:

- захист нульової послідовності типу ЗЗП-1;
- захист виконаний на реле РТ-40/0,2;
- пристрій типу УСЗ-2/2; УСЗ-3М; УСЗ3-3.

Остаточно приймаємо захист виконаний на реле типу РТ- 40/0,2 при мінімальному коефіцієнті чутливості, для кабельних ліній

$$k_{\text{ч}} = 1,25.$$

Струм спрацювання захисту, виконаного на реле РТ40/0,2, з витримкою часу в декілька секунд, складає 8,6 А.

Вибираємо трансформатор струму (ТС) ТЗЛМ-10, реле РТ-40/0,2 з уставкою на 0,1 А по [9] табл. 3.8.

## 6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1 Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень

Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень допускає виконання наступного комплексу робіт:

- вибір об'єкта для порівняння;
- вибір системи показників, які відображають особливості рішень, які аналізуються, і виявлення переваг рішення, яке пропонується порівняно з базовим;
- підготовка і збір вихідної інформації;
- розрахунок і аналіз показників економічної ефективності.

Вимоги до вибору бази для порівняння варіантів інженерного рішення відрізняються в залежності від того, на якому етапі проводиться аналіз. На етапі формування планів науково-дослідницьких і експериментально-конструкторських робіт в якості бази для порівняння приймаються показники найкращої техніки.

На етапі формування планів по освоєнню перших промислових серій, введення прогресивної технології, нових методів організації виробництва і праці, а також введення і експлуатації нової техніки – показники техніки, що замінюється.

Необхідно мати на увазі, що в якості бази порівняння необхідно приймати аналоги не по конструктивних якостях, а по призначенню, по тих функціях, які має виконувати виріб. При створенні засобів механізації і автоматизації, які не мають аналогів, в якості об'єктів для порівняння необхідно приймати комплект засобів, який забезпечує виконання тих самих операцій.

Система показників, необхідних для техніко-економічних розрахунків, виявляється в процесі встановлення переваг інженерних рішень, що розглядаються, порівняно з базовим варіантом. При цьому конкретно визначається, за рахунок чого може боти отриманий економічний ефект.

При визначенні річного економічного ефекту повинно бути забезпечене співвідношення порівнюваних варіантів нової і базової техніки по об'єму виготовленої з допомогою нової техніки продукції (роботи), якісних параметрах, фактору часу, соціальним факторам виробництва і використання продукції.

## **6.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору масляного трансформатора**

Вибір потужності і числа силових трансформаторів для трансформаторних підстанцій промислових підприємств має бути технічно і економічно обумовлений, так як він відіграє важливу роль в раціональній побудові промислового електропостачання.

Критерієм при виборі трансформаторів являються надійність електропостачання (в залежності від того, яка категорія споживача), розхід кольорового металу і споживана трансформаторна потужність. Оптимальний варіант вибирається на основі порівняння капітальних вкладень і річних експлуатаційних розходів.

Для зручності експлуатації систем електропостачання необхідно вибирати не більше двох стандартних потужностей основних трансформаторів (не враховуючи допоміжних). Це веде до скорочення резерву, який знаходиться на складі і полегшує заміну пошкоджених трансформаторів.

В даній дипломній роботі проводиться порівняння двох варіантів: масляного трансформатора ТМ-1000 та масляного трансформатора меншої потужності ТМ-630.

### 6.3 Оцінка економічної ефективності вибору масляного трансформатора

Втрати електроенергії протягом року вартують:

$$C_e = \Delta E \cdot c;$$

Для першого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$C_e = 48284,98 \cdot 2,24 = 108158,355 \text{ тис. грн};$$

Для другого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$C_e = 33642,812 \cdot 2,24 = 75359,899 \text{ тис. грн}.$$

На проект підстанції необхідно здійснити капітальні затрати:

Для першого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$K_1 = 1 \cdot 38 = 38 \text{ тис.грн};$$

Для другого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$K_2 = 1 \cdot 70 = 70 \text{ тис.грн}.$$

Експлуатаційні затрати за рік:

$$C_a = \phi \cdot K,$$

де  $\phi$  - коефіцієнт амортизації:

$$\phi = 0,1.$$

Для першого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$C_a = 0,1 \cdot 38 = 3,8 \text{ тис.грн}.$$

Для другого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$C_a = 0,1 \cdot 70 = 7,0 \text{ тис.грн}.$$

Сумарні затрати за рік:

$$C = C_e + C_a$$

Для першого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$C_1 = 108,158 + 3,8 = 111,958 \text{ тис. грн.};$$

Для другого варіанту, який запропонований для порівняльного аналізу двох трансформаторів:

$$C_2 = 75,360 + 7,0 = 82,360 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності становить:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = \left| \frac{70 - 38}{111,958 - 82,360} \right| = 1,081 \text{ року.}$$

Вибираємо трансформатор *ТМ 630/10*. Цей вибір дає можливість збільшити навантаження цеху в майбутньому.

Економічна ефективність дорівнює:

$$E = C_2 - C_1 = |111,958 - 82,360| = 29,598 \text{ тис. грн.}$$





|     |     |       |        |        |        |     |        |         |        |
|-----|-----|-------|--------|--------|--------|-----|--------|---------|--------|
| III | 1/0 | 0,5/0 | 0,2/40 | 0,2/40 | 0,25/0 | 1/0 | 0,25/0 | 0,25/25 | 0,25/0 |
|-----|-----|-------|--------|--------|--------|-----|--------|---------|--------|

В таблиці 7.2 приведені протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Таблиця 7.2 - Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

| Номер п/п | Протипожежна перешкода     | Типи протипожежних перешкод або їх елементів | Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх |
|-----------|----------------------------|--|--|
| 1         | Протипожежні стіни         | 1  | 2.5  |
|           |                            | 2  | 0.75   |
| 2         | Протипожежні перегородки   | 1  | 0.75   |
|           |                            | 2  | 0.25   |
| 3         | Протипожежні перекриття    | 1  | 2.5  |
|           |                            | 2  | 1  |
| 4         | Протипожежні вікна і двері | 1  | 1.2  |
|           |                            | 2  | 0.6  |

Таблиця 7.3 - Допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі.

| Категорія будівлі (пожежних відсіків) | Допустима кількість поверхів | Ступінь вогнестійкості будівлі | Площа поверху в межах пожежного відсіку, м <sup>2</sup> , будівель |                  |                    |
|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|------------------|--------------------|
|                                       |                              |                                | Одно-поверхових  | багатоповерхових |                    |
|                                       |                              |                                |  | 2 поверхи        | 3 поверхи і більше |
| Д                                     | 1                            | III                            | не обмежується   |                  |                    |
|                                       |                              |                                | 5200   | -                | -                  |

Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до III ступеня вогнестійкості становлять 12 м.

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

Будівля, де розташоване приміщення для технічного огляду, обладнане системою протипожежної сигналізації і спеціальним водогоном. Його площа становить 572 м<sup>2</sup>, необхідно встановити біля входу 1 пожежний щит (стенд). До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщені на ньому, включенні: вогнегасники ВП-5 - 3 шт., ящик з піском місткість 3,0 м - 1 шт. з совковою лопатою, покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2 м x 2 м - 1 шт., гаки - 3 шт., лопати - 2 шт., ломи - 2 шт., сокири - 2 шт.

Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

Для гасіння невеликих пожеж на маршруті, викликаной всіма видами горючих речовин, що знаходяться під струмом використовується вогнегасник, який встановлено за сидінням водія на лівій частині перегородки.

## **7.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта**

Живлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні цеху використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням

малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Електропривод насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил улаштування електричних установок.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5 см [3]. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробоя і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустановками використовують основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмо-вимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів відокремлювачів і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не

включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

Зону обробки універсальних верстатів, призначених для обробки заготовок діаметром до 630 мм включно, необхідно огороджувати захисним пристроєм (екраном). З боку, протилежного робочому місцю, у цій зоні також повинен бути екран. Затискні патрони універсальних токарних та токарно-револьверних верстатів повинні мати огороження, яке можна легко відводити убік під час установлювання та знімання заготовок, не обмежуючи технологічні можливості верстатів.

Планшайба токарно-карусельних верстатів повинна мати огороження, яке не повинне перешкоджати обслуговуванню цих верстатів. У разі розміщення верхньої площини планшайби на 700 мм вище від рівня підлоги вона повинна мати суцільне огороження. Це огороження повинно перемішуватись, бути на 50-100 мм вищим від рівня верхньої площини планшайби і додатково мати знімні щити заввишки від 400 до 500 мм. У разі розміщення верхньої площини планшайби на відстані менше 700 мм від рівня підлоги огороження повинно бути стаціонарним і виконуватись у вигляді обода, верх якого повинен розміщуватись на рівні низу Т-подібних пазів планшайби на відстані не менше 100 мм від неї. На огороженні повинні встановлюватись знімні щитки Г-подібної форми, горизонтальна полиця яких повинна доходити (із прозіром) до периферії планшайби, а вертикальна — до підлоги.

У разі розміщення нижньої кромки периферії планшайби на 200 мм вище від рівня підлоги Г-подібні щитки можна не встановлювати. Можна застосовувати огороження (допускається ланцюгом) заввишки 1000 мм і більше. У цьому разі під час завантажування та вивантажування заготовок необхідно передбачати зручне переміщення і надійне закріплення огороження під час роботи верстата. Корпуси пристроїв, які закріплюються на планшайбах токарно-карусельних верстатів і повинні затискувати оброблювану деталь, повинні утримуватись на планшайбах в основному за допомогою жорстких упорів і додатково силою тертя, що утворюється кріпильними гвинтами.

У планшайбах карусельних верстатів необхідно передбачати обмежувачі - для унеможливлення падіння затискних пристроїв з обертових планшайб. У разі надягання планшайби на кінець шпинделя її необхідно очищати від стружки та забруднення. У разі закріплення деталі в кулачковому патроні або використання планшайб деталей необхідно захоплювати кулачками на якомога більшу довжину. Після закріплення деталі кулачки не повинні виступати з патрона або планшайби за межі їхнього зовнішнього діаметра. Якщо кулачки виступають, слід замінити патрон або установити спеціальне огороження. У разі установлення патрона або планшайби на шпиндель під них на верстат повинні підкладатись дерев'яні підкладки з виїмкою за формою патрона (планшайби).

Забороняється згвинчувати патрон (планшайбу) раптовим гальмуванням шпинделя. Згвинчувати патрон (планшайбу) ударами кулачків об підставку допускається тільки у разі його ручного обертання; в цьому випадку повинні застосовуватись підставки з довгими ручками.

Допускається закріплювати в кулачковому патроні без підпирання центром задньої бабки тільки короткі, завдовжки не більше двох діаметрів, зрівноважені деталі; в іншому разі для підпирання необхідно використовувати задню бабку. Для обробки в центрах деталей завдовжки 12 діаметрів і більше, а також у разі швидкісного та силового різання деталей завдовжки 8 діаметрів і

більше необхідно застосовувати додаткові опори (люнети). Перед обробкою деталей в центрах спочатку необхідно перевірити закріплення задньої бабки і тільки після встановлення деталі змастити центр; задній центр під час виконання робіт також повинен періодично змащуватись, а у разі обробки довгомірних деталей - повинен перевірятись також осьовий затискач.

Пруткові токарні автомати та пруткові револьверні верстати повинні мати по всій довжині прутків огороження, оснащене шумопоглинальним пристроєм. У разі застосування огороження у вигляді напрямних труб, що обертаються разом із прутками (або коли прутки із заднього боку виступають за межі огорожі), прутковий магазин повинен мати кругове огороження по всій довжині. Розміщений зовні верстата пристрій для подавання прутків по винен мати огороження, яке не перешкоджає доступу до цього пристрою. Універсальні верстати у разі використання їх для обробки прутків повинні бути, за необхідності, оснащені пристроєм, який обгороджує пруток з боку задньої частини шпинделя. Пруток не повинен виступати за відгороджувальний пристрій. Прутковий матеріал, який подається для обробки на верстат, не повинен мати кривизни.

Різці необхідно закріплювати з мінімально можливим вильотом з різцетримача (виліт різця не повинен перевищувати більше ніж у 1,5 раза висоту державки) і не менше ніж двома болтами. Різальна кромка різця повинна виставлятись по осі оброблюваної деталі. Для правильного установлення різців відносно осі центрів та підвищення надійності закріплення їх у супорті необхідно застосовувати шліфовані прокладки. Прокладки повинні відповідати лінійним опорам частини державки різців.

Для обробки в'язких металів (сталей), що дають зливну стрічкову стружку, необхідно застосовувати різці з викружками, накладним і стружколамачами або стружкозавивачами. Для обробки крихких металів (чавуну, бронзи тощо) з утворенням мілко-подрібненої сталевої стружки необхідно застосовувати захисні пристрої: спеціальні стружковідвідники, прозорі екрани або індивідуальні щитки для захисту обличчя.

У разі замінювання супорта, під час установлювання або знімання деталей та інструмента, ручної обробки деталі (зачищення, шліфування), усунення биття револьверну головку та супорт з інструментом необхідно відводити на безпечну відстань. Для зачищення виробів на верстаті шкуркою або порошком необхідно застосовувати притискні колодки.

Забороняється під час виконання робіт на металообробних верстатах токарної групи [13]:

- користуватись затискними патронами, - якщо спрацьовані робочі площини кулачків;
- працювати з необертним центром задньої бабки - у разі швидкісного різання;
- працювати без закріплення патрона сухарями - для запобігання самовідвертанню у разі реверсування;
- гальмувати обертання шпинделя натискуванням руки на обертові частини верстата або деталі;
- залишати в револьверній головці інструмент, який не використовується для обробки даної деталі;
- перебувати між деталлю та верстатом - під час установлення деталі на верстат;
- притримувати руками кінець важкої деталі або заготовки, що відрізається;
- класти деталі, інструмент та інші предмети на станину верстата та кришку передньої бабки;
- закладати та подавати рукою у шпиндель оброблюваний пруток - у разі ввімкненого верстата;
- вимірювати оброблювану деталь скобою, калібром, масштабною лінійкою, штангенциркулем, мікрометром тощо - до повного зупинення верстата, відведення супорта та револьверної головки на безпечну відстань;
- заточувати короткі різці без застосування відповідної оправки.

### **7.3 Забезпечення оповіщення персоналу та населення у разі виникнення аварій на потенційно небезпечних об'єктах**

Надзвичайні ситуації техногенного характеру виникають, як правило, на потенційно, техногенно небезпечних виробництвах. До них належать в першу чергу хімічно небезпечні, радіаційно небезпечні, вибухо - та пожежонебезпечні об'єкти, а також гідро небезпечні об'єкти.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру класифікуються за такими основними ознаками:

- за масштабами наслідків (об'єктового, місцевого, регіонального і загальнодержавного рівня);
- за галузевою ознакою (надзвичайні ситуації у сільському господарстві; у лісовому господарстві; заповідній території, об'єкти особливого природоохоронного значення; у водоймах; матеріальних об'єктах - об'єктах інфраструктури, промисловості, транспорті, житлово-комунального господарства тощо).

Внаслідок техногенних аварій та катастроф складається надзвичайна ситуація, раптове виникнення якої призводить до значних соціально-екологічних і економічних збитків, виникає необхідність захисту людей від дії шкідливих для здоров'я факторів, проведення рятувальних, невідкладних медичних і евакуаційних заходів, а також ліквідації негативних наслідків, які сталися.

Техногенна надзвичайна ситуація - це стан, при якому внаслідок виникнення джерела техногенної надзвичайної ситуації на об'єкті, визначеній території або акваторії порушуються нормальні умови життя і діяльності людей, виникає загроза їх життю і здоров'ю, завдається шкода майну населення, економіці і довкіллю.



Про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій радіоактивного, хімічного, бактеріологічного зараження, катастрофічного затоплення та інших видів небезпеки керівництво отримує інформацію від органів місцевого самоврядування, обласного (міського) управління з питань надзвичайних ситуацій і цивільного захисту населення, територіального управління ДСНС, обласного (міського, районного) управління (відділу) цивільного захисту (ЦЗ) по телефонному зв'язку, радіо, телебаченню.

Виникнення аварій (катастроф) на атомних енергетичних установках може призвести до радіоактивного забруднення повітря і довкілля, що становить серйозну небезпеку для населення усієї України.

Радіаційно небезпечними об'єктами для населення України є:

- атомні електростанції;
- об'єкти господарської діяльності, які використовують у виробничій та іншій діяльності прилади та устаткування на основі радіоізотопів.

Оповіщення про аварію (катастрофу) на радіаційно небезпечному об'єкті проводить управління цивільного захисту облдержадміністрації. З цією метою по обласній (міських і районних) радіотрансляційній мережі передається спеціальне повідомлення. Дублювання повідомлення здійснюється за допомогою радіо, телебачення і рухомих звукомовних установок, а також інформація про надзвичайну ситуацію доводиться до персоналу керівництвом.

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Шкідливі фактори впливу електромагнітних полів

Біосфера впродовж усієї еволюції знаходилась під впливом електромагнітних полів (ЕМП), так званого фонового випромінювання, викликаного природними причинами. В процесі індустріалізації людство додало цілий ряд факторів, посиливши фонове випромінювання. В зв'язку з цим електромагнітні поля антропогенного походження почали значно перевищувати природний фон і на даний час перетворились у небезпечний екологічний фактор.

Під впливом ЕМП та випромінювань спостерігаються загальні слабкість, підвищена втома, пітливість, сонливість, а також розлад сну, головний біль, біль в ділянці серця. З'являється роздратування, зростає тривалість мовнорухової та зоровомоторної реакцій, підвищується межа нюхової чутливості. Виникає ряд симптомів, які є свідченням порушення роботи окремих органів — шлунку, печінки, селезінки, підшлункової та інших залоз. Пригнічуються харчовий та статевий рефлекс.

Реєструються зміни артеріального тиску, частота серцевого ритму, форма електрокардіограми. Це свідчить про порушення діяльності серцево-судинної системи. Фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, збільшується вміст азоту в крові та сечі, знижується концентрація альбуміну та зростає вміст глобуліну, збільшується кількість лейкоцитів, тромбоцитів, виникають й інші зміни складу крові.

Дослідження показали, що опромінення ЕМП малої інтенсивності впливає на тварин практично так само, як і на людей.

В перший період опромінення спостерігаються зміни поведінки тварин: у них з'являються неспокій, збудження, рухова активність, прагнення втекти із зони випромінювання. Тривалий вплив ЕМП призводив до зниження збудження, зростання процесів гальмування.

Вплив ЕМП на тварин у період вагітності призводив до зростання кількості мертвонароджених, викиднів, каліцтв. Спостерігалися аналогічні наслідки, які проявлялись у наступних поколіннях.

Мікроскопічні дослідження внутрішніх органів тварин виявили дистрофічні зміни тканин головного мозку, печінки, нирок, легенів. Було зафіксовано порушення на клітинному рівні. На підставі клінічних та експериментальних матеріалів виявлені основні симптоми уражень, які виникають при впливі ЕМП. Їх можна класифікувати як радіохвильову хворобу. Ступінь патологій прямо залежить від напруженості ЕМП, тривалості впливу, фізичних особливостей, діапазонів частот, умов зовнішнього середовища, а також від функціонального стану організму, його стійкості до впливу різних факторів, можливостей адаптації.

## **8.2 Заходи щодо охорони навколишнього середовища на промислових підприємствах**

Основні принципи охорони навколишнього середовища допускають дію підприємств на природне середовище, виходячи з вимог в області охорони навколишнього середовища. При цьому зниження негативної дії на навколишнє середовище повинне досягатися на основі використання щонайкращих існуючих технологій з врахуванням економічних і соціальних чинників.

Загальні вимоги в області охорони навколишнього середовища при експлуатації підприємств встановлені Законом України «Про охорону навколишнього середовища». Законом визначено, що експлуатація підприємств і інших об'єктів, що роблять пряму або непряму негативну дію на навколишнє середовище, здійснюється відповідно до вимог в області охорони навколишнього середовища. При цьому повинні передбачатися заходи щодо охорони навколишнього середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки. У

відповідність з вимогами Закону України «Про охорону навколишнього середовища» юридичні і фізичні особи, що здійснюють експлуатацію підприємств, зобов'язані дотримувати затверджені технології і вимоги в області охорони навколишнього середовища і зобов'язані забезпечувати дотримання нормативів якості навколишнього середовища на основі застосування технічних засобів і технологій знешкодження і безпечного розміщення відходів виробництва і споживання, знешкодження викидів і скидів забруднюючих речовин, а також інших щонайкращих існуючих технологій, що забезпечують виконання вимог в області охорони навколишнього середовища.

За порушення законодавства в області охорони навколишнього середовища передбачена майнова, дисциплінарна, адміністративна і кримінальна відповідальність. Накладення адміністративних штрафів на винних в екологічних правопорушеннях не звільняє їх від відшкодування шкоди, заподіяної навколишньому природному середовищу. Компенсація заподіяної шкоди здійснюється добровільно або за рішенням суду. Визначення розміру шкоди здійснюється виходячи з фактичних витрат на відновлення порушеного стану навколишнього середовища, з врахуванням збитків, що зазнали, зокрема упущеної вигоди, а також відповідно до проектів рекультиваційних і інших відновних робіт. Позови про компенсацію шкоди навколишньому середовищу, заподіяного порушенням законодавства в області охорони навколишнього середовища, можуть бути пред'явлені протягом двадцяти років.

Порушення вимог в області охорони навколишнього середовища також спричиняє за собою призупинення або припинення експлуатації підприємств. Виконання розпоряджень про обмеження або про припинення фінансування господарської і іншої діяльності є обов'язковими для виконання.

Відповідальність за ухвалення рішень при здійсненні господарської або іншій діяльності, яка робить або може робити негативну дію на навколишнє середовище, несе керівник підприємства і (або) особа ним призначена. Для крупних підприємств організаційно вигідне створення екологічної служби

підприємства. Для середніх і дрібних підприємств призначається інженер з довілля (еколог) охорони підприємства.

У відповідність з наказом від 1 вересня 1999 року N 65 Про Довідник типових професійних характеристик посад державних службовців, затверджений Головним Управлінням Державної Служби України, у складі можливих посад фахівців передбачена посада інженера з довілля охорони (еколога). Даний кваліфікаційний довідник рекомендований для застосування на підприємствах, в установах і організаціях різних галузей економіки незалежно від форм власності і організаційно-правових форм в цілях забезпечення правильного підбору, розстановки і використання кадрів.

### **8.3 Вплив на довілля лісопильно-деревопереробної промисловості**

Технологічні процеси цієї промисловості пов'язані з виділенням в атмосферу шкідливих, речовин: пилу, пари розчинників та розріджувачів, формальдегіду, оксиду вуглецю, оксидів азоту, аміаку, деревних відходів та ін.

Забруднення атмосфери. До основних джерел забруднення атмосферного повітря на деревообробних підприємствах відносяться: опоряджувальні, клеїльно-личкувальні, фанерні та сушильні цехи, а також цехи механічної обробки деревини з виробництва деревостружкових плит (ДСП), дерево – волокнистих плит (ДВП), деревочаруватих пластиків (ДШП), клеєної фанери, деревної муки, котельні, автотранспортні засоби тощо.

У лісопильній та деревообробній промисловості в процесі одержання та обробки пиломатеріалів в атмосферне повітря надходить значна кількість деревного пилу. Потрапляючи в легені людей, деревний пил негативно впливає на стан їхнього здоров'я. Результати досліджень підтвердили, що запиленість атмосферного повітря багатьох деревообробних підприємств значно перевищує допустимі концентрації внаслідок недосконалості конструкції технологічного обладнання, циклонів, відсутності пиловловлювачів та фільтрів у системах вентиляції тощо.

Найбільшими забруднювачами атмосфери є виробництва деревостружкових та деревоволокнистих плит, шаруватих пластиків опоряджувальних цехів меблевих виробництв та ін. В атмосферу виділяються пари стиrolу, ацетону, ксилолу, бензолу, бутилацетату, етилацетату тощо. Деревообробні виробництва є джерелами забруднення аспіраційними викидами деревного та лакового пилу.

Забруднення гідросфери. Внаслідок інтенсивного використання деревообробними підприємствами води відбувається забруднення водоймищ, що у результаті призводить до значних якісних та кількісних змін водного басейну. Більшість водоймищ, річок, озер є не лише джерелами водопостачання, а й басейнами для скидання промислових та господарсько-побутових стоків. Часом ступінь очищення цих вод є незадовільним, унаслідок чого вода стає непридатною для споживання, гинуть водні рослини, організми, риби, птахи та тварини.

Основним джерелом забруднення стічних вод деревообробних підприємств є цехи з виробництва деревоволокнистих плит мокрим способом. Екологічність технології деревоволокнистих плит мокрим способом характеризується в основному об'ємами, ступенем забруднення технологічних та стічних вод, які визначаються параметрами технологічного процесу, складом використовуваної деревинної сировини, хімікатів та обладнання. Зі збільшенням вмісту кори у трісці забрудненість технологічних та стічних вод значно зростає, чим ускладнюється створення малостічних та безстічних систем водовикористання. Вирішення цієї проблеми ускладнюється також унаслідок збільшення застосування частки деревини листяних порід, зокрема осики та берези. Забрудненість вод розчиненими та зваженими речовинами значною мірою визначається вмістом у воді деревини, ураженої дереворуйнівними грибами. Особливості хімічного складу деревини листяних порід, кори та ураженої гнилизною деревини сприяють підвищенню концентрації забруднень у стічних водах. У випадку збільшення в балансі сировини частки деревини листяних порід виникає необхідність підвищення в 1,6 – 1,8 рази норм витрат

зміцнювальних домішок, що також є додатковим джерелом забруднення технологічних та стічних вод.

Порушення режимів проклеювання під час виробництва деревоволокнистих плит призводить до збільшення виносу хімічних домішок та підвищення їх концентрації у стоках. Основне забруднення стічних вод у цих виробництвах створюють зважені та розчинені органічні речовини.

У стоках містяться:

- волокна деревини;
- колоїдні речовини – целюлоза, геміцелюлоза, лігнін;
- розчинені органічні речовини – цукри, фурфурол, спирти, альдегіди, кислоти, барвники, дубильні речовини;
- розчинні та нерозчинні хімікалії – сульфат алюмінію, парафін тощо, що застосовуються для проклеювання деревоволокнистої маси.

За концентрацією забруднень стічні води, що утворюються у виробництві деревоволокнистих плит, поділяють на три групи:

- 1) концентровані, які утворюються під час розмелювання тріски та гарячого пресування деревоволокнистого полотна;
- 2) середньої концентрації, які утворюються в басейні оборотної води (основна кількість стоків);
- 3) малоконцентровані, виділені в процесі промивання сіток, глясових і транспортних листів, охолодженні обладнання, а також в процесі миття виробничих приміщень.

Джерелами забруднення виробничих стічних вод у процесі виробництва деревоволокнистих плит, клеєної фанери, меблів є гідропреси, вальці для нанесення клею, лаконаливні машини, пульверизаційні kabіни, теплові та енергетичні установки, ремонтно- механічні майстерні та ін.

Суміші шкідливих речовин у вигляді відходів синтетичних смол, клеїв, лаків, розчинників, розріджувачів, паливно-мастильних матеріалів часто зливаються у водоканалізаційні мережі або у заздалегідь викопані ями, звідки потрапляють у водоймища, забруднюючи води та ґрунти.

Забруднення літосфери. У результаті діяльності підприємств лісопильно-деревообробної промисловості непоправної шкоди зазнають ґрунти. Це насамперед, забруднення ґрунтів шкідливими речовинами та відходами меблевих підприємств (розчинники, розріджувачі, синтетичні смоли), підприємств з виробництва клеєної фанери, ДСП (формальдегід, фенол, кислоти), ДВП (альдегіди, сірчана кислота, фурфурол та ін.), паливно-мастильними матеріалами, мінеральними добривами та отрутохімікатами, що використовуються підприємствами лісового господарства.

Ґрунти забруднюються також відпрацьованими газами автотракторної техніки, мастилами та пальним, що часто виливаються під час виконання робіт. Негативно впливає на якість ґрунту надмірне його ущільнення колесами важкої техніки – тракторів, лісовозів тощо. Нормальна об'ємна маса структурного ґрунту – 1,1 – 1,2 г/см<sup>3</sup>, а після ущільнення у ряді випадків збільшується аж до 1,6- 1,7 г/см<sup>3</sup>, що значно перевищує критичні величини. У таких ґрунтах майже вдвічі зменшується загальна пористість, різко знижується водопроникна і водоутримуюча здатність, зменшується стійкість ґрунту до ерозійних процесів.

Значних збитків зазнає лісове господарство внаслідок ерозії ґрунтів. Основною причиною ерозії є вирубування лісів на схилах, знищення трав'яного та чагарникового покриву автотракторною технікою. Ерозії ґрунтів сприяє також активне яроутворення зумовлене діяльністю людини. Ріст рослин на таких ґрунтах різко сповільнюється, знижується врожайність лісових плодово-ягідних рослин. На гірських схилах, в місцях інтенсивних вирубувань лісу часто виникають порохові бурі, під час яких у повітря підіймаються сотні тонн пилу, піску, внаслідок чого пошкоджується ґрунтовий покрив, на декілька сантиметрів оголюється земна поверхня. У таких місцях активно діє не тільки вітрова, але й водна ерозія, яка зменшує в ґрунті вміст азоту, фосфору, калію та інших мікроелементів, що погіршують його родючість.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

У роботі здійснено вибір методів компенсації реактивної потужності СЕП цеху.

Отримано результати:

1. Відмічено, що обладнання підприємства належить до *III* категорії згідно надійності електропостачання.
2. Запропонована радіальна схема ЕП, що є найраціональнішою для підприємства.
3. Проведені розрахунки освітлення. Встановлено, що освітлювальне навантаження становить  $4,3 \text{ кВА}$ .
4. Підвищено надійність системи електроспоживання за рахунок розрахунків розподільчої ЕМ цеху.
5. В результаті проведених розрахунків навантажень цеху, повна потужність становить  $352 \text{ кВА}$ .
6. На основі розрахунків реактивної потужності проведено вибір КП типу *УКРП – 0,4 – 180 – 20УЗ*.
7. Обґрунтовано встановлення підстанції  $630/10/0,4 \text{ кВ}$ , коефіцієнт завантаження якої складає  $0,6$ .
8. Проведена реконструкція *КТП – 630*.
9. Проведені розрахунки струмів КЗ. Це забезпечить надійну роботу РЗ.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Наука и жизнь.1983; №4: Экибастуз – Центр: Мост в завтрашнюю энергетику; с.39-44, – М.: изд. "Правда".
2. Решетник В.Я. Электричні системи і мережі: Навч. посіб. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2010. - 191 с.
3. Федоров А.А. “ Основы электроснабжения промышленных предприятий” Москва:”Энергия”,1967 г.
4. Рудницький В.Г. “Внутрішньозаводське електропостачання”.Курсове проектування: навчальний посібник. - Суми: ВТД”Університетська книга”, 2006р.
5. Липкин Б.Ю. “Электроснабжение промышленных предприятий и установок”. Москва: ”Высшая школа”, 1990 г.
6. Українська електротехнічна корпорація АСКОУКРЕМ “Каталог електротехнічної продукції”, 2009 р.
7. Беляев А.В. “Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ”,-Л.: “Энергоатомиздат”.Ленинградское отделение, 1988 г.
8. “ПУЕ”. Видання третє, перероблене і доповнене. - Мінпаливенерго України, 2010 р.
9. “Справочник по проектированию электроснабжения линий электропередачи и сетей”, под редакцией Большама Я.М., Круповича В.И., Самовера М.Л. 1975 г.
10. Методичні вказівки до курсового проекту з курсу „Електропостачання”./ укладач Біленький Й.Т.–ТДТУ, Тернопіль – 2004 р.
11. <http://atrans.in.ua>
12. <https://www.toe.com.ua/index.php/component/content/article?id=2>
13. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – 324 с.

14. Кузьмин В. В. Анализ средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях Украины / В. В. Кузьмин, И. Г. Кирисов, С. В. Малинин // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2012. - № 5. - С. 45-50.

15. Хіргій А. Г. Москаленко О. В. Аналіз існуючих і перспективних методів компенсації реактивної потужності. Проблеми інтегрування та управління. 2005'13, ст 132-137.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

## Порівняльний розрахунок трансформаторів ТМ-400 і ТМ-630

Потужність трансформаторів вибирається з урахуванням повної потужності силових споживачів, освітлення та компенсаційної установки:  $S_p := 352 \text{ кВА}$

Вибираємо один трансформатор, оскільки споживачі належать до третьої категорії. Будемо розраховувати два варіанти:

Перший варіант:

ТМ400 – 10

Потужність трансформаторів:

Перший варіант:

$$S_{tr1} := 400 \text{ кВА}$$

Другий варіант:

ТМ630 – 10

Другий варіант:

$$S_{tr2} := 630 \text{ кВА}$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

Перший варіант:

$$K_{zav.tr1.nom} := \frac{S_p}{1 \cdot S_{tr1}} = 0.88$$

Другий варіант:

$$K_{zav.tr2.nom} := \frac{S_p}{1 \cdot S_{tr2}} = 0.559$$

Значення втрат холостого ходу, втрат короткого замикання, струму холостого ходу, напруги короткого замикання виберемо [10]. Вартість трансформаторів виберемо із [11]:

Перший варіант:

$$\begin{aligned} \Delta P_{xx.tr1} &:= 0.83 \text{ кВт} & \Delta P_{kz.tr1} &:= 5.5 \text{ кВт} & I_{xx.tr1} &:= 1.8 \% \\ U_{kz.tr1} &:= 4.5 \% & C_{tr1} &:= 38000 \text{ грн} \end{aligned}$$

Другий варіант:

$$\begin{aligned} \Delta P_{xx.tr2} &:= 1.05 \text{ кВт} & \Delta P_{kz.tr2} &:= 7.6 \text{ кВт} & I_{xx.tr2} &:= 1.6 \% \\ U_{kz.tr2} &:= 5.5 \% & C_{tr2} &:= 70000 \text{ грн} \end{aligned}$$

Час включення:

$$t_{vk1} := 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год}$$

Коефіцієнт зміни втрат вибираємо з [2] ст. 86:

$$K_{zm.vtr} := 0.02 \frac{\text{кВт}}{\text{кВАр}}$$

Визначаємо приведені втрати електроенергії:

Перший варіант:

$$\Delta Q_{xx.tr1} := S_{tr1} \cdot \frac{I_{xx.tr1}}{100} = 7.2 \text{ кВАр}$$

$$\Delta Q_{kz.tr1} := S_{tr1} \cdot \frac{U_{kz.tr1}}{100} = 18 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_{xx.sh.tr1} := \Delta P_{xx.tr1} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{xx.tr1} = 0.974 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{kz.sh.tr1} := \Delta P_{kz.tr1} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{kz.tr1} = 5.86 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{sh.tr1} := \Delta P_{xx.sh.tr1} + K_{zav.tr1.nom}^2 \cdot \Delta P_{kz.sh.tr1} = 5.512 \text{ кВт}$$

Приведені втрати в двох трансформаторах:

$$\Delta P_{1.2.sh.tr1} := 1 \cdot \Delta P_{sh.tr1} = 5.512 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії за рік:

$$\Delta E_{tr1} := \Delta P_{1.2.sh.tr1} \cdot t_{vkl} = 48284.98 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість одного кіловата електроенергії для підприємства (для промислових і порівнянних до них споживачі з приєднаною потужністю до 750 кВА 2-го класу до 3 кВ [12]):

$$m := 2.24 \text{ грн}$$

Вартість втрат електроенергії за рік:

$$C_{e.tr1} := \Delta E_{tr1} \cdot m = 108158.355 \text{ грн}$$

По другому варіанті:

$$\Delta Q_{xx.tr2} := S_{tr2} \cdot \frac{I_{xx.tr2}}{100} = 10.08 \text{ кВАр}$$

$$\Delta Q_{kz.tr2} := S_{tr2} \cdot \frac{U_{kz.tr2}}{100} = 34.65 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_{xx.sh.tr2} := \Delta P_{xx.tr2} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{xx.tr2} = 1.252 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{kz.sh.tr2} := \Delta P_{kz.tr2} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{kz.tr2} = 8.293 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{sh.tr2} := \Delta P_{xx.sh.tr2} + K_{zav.tr2.nom}^2 \cdot \Delta P_{kz.sh.tr2} = 3.841 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{1.2.sh.tr2} := 1 \cdot \Delta P_{sh.tr2} = 3.841 \text{ кВт}$$

$$\Delta E_{tr2} := \Delta P_{1.2.sh.tr2} \cdot t_{vkl} = 33642.812 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{e.tr2} := \Delta E_{tr1} \cdot m = 75359.899 \quad \text{грн}$$

Капітальні затрати становлять:

По першому варіанті:

$$K_{z.tr1} := 1 \cdot C_{tr1} = 38000 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$K_{z.tr2} := 1 \cdot C_{tr2} = 70000 \quad \text{грн}$$

Річні експлуатаційні затрати:

$$C_a = \phi \cdot K_{z.tr}$$

де  $\phi$  - коефіцієнт амортизаційних відрахувань на трансформатор

$$\phi := 0.1$$

По першому варіанті:

$$C_{a1} := \phi \cdot K_{z.tr1} \quad C_{a1} = 3800 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$C_{a2} := \phi \cdot K_{z.tr2} \quad C_{a2} = 7000 \quad \text{грн}$$

Сумарні річні затрати:

По першому варіанті:

$$C_1 := C_{e.tr1} + C_{a1} = 111958.355 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$C_2 := C_{e.tr2} + C_{a2} = 82359.899 \quad \text{грн}$$

Визначаємо термін окупності:

$$T_{ok} := \frac{K_{z.tr1} - K_{z.tr2}}{C_2 - C_1} = 1.081 \quad \text{роки}$$

Розрахунки підтвердили, що найкращим варіантом для вибору є трансформатор ТМ630 – 10. Також встановлення потужнішого трансформатора дасть змогу розширити виробництво в майбутньому.

Економічна ефективність при встановленні масляного трансформатора ТМ-630 а не масляного трансформатора ТМ-400 буде становити:

$$E := C_1 - C_2 = 29598.455 \quad \text{грн}$$