

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 26 » квітня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Тишку Владиславу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання промислового підприємства на основі техніко-економічного аналізу (комплексна тема).

Керівник роботи Мовчан Леонід Тимофійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2024 року № 4/7-444

2. Термін подання студентом завершеної роботи 01 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи генеральний плану проєктованого об'єкта із відомостями про навантаження підприємства, план цеху із відомостями про споживачів електричної енергії

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Генеральний план проєктованого об'єкта з картограмою навантажень, розведенням зовнішніх мереж, розведенням силової мережі; однолінійною схемою мережі підприємства та механічного цеху; плану проєктованого цеху з розведенням силової та освітлювальної мереж; конструктивне креслення комірки КРПУ 2–10–20УЗ; схем вимірювальних та оперативних кіл релейного захисту; зведена таблиця техніко-економічних показників електропостачання підприємства.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05.2024	
2	Аналітичний розділ	05.05.2024	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	15.05.2024	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.05.2024	
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	31.05.2024	
6	Висновки	31.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	31.05.2024	
8	Оформлення графічної частини	31.05.2024	

Студент

_____ (підпис)

Тишко В. І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Мовчан Л. Т.

_____ (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 26 » квітня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ярощуку Дмитру Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання промислового підприємства на основі техніко-економічного аналізу (комплексна тема).

Керівник роботи Мовчан Леонід Тимофійович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2024 року № 4/7-444

2. Термін подання студентом завершеної роботи 01 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи генеральний плану проєктованого об'єкта із відомостями про навантаження підприємства, план цеху із відомостями про споживачів електричної енергії

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Генеральний план проєктованого об'єкта з картограмою навантажень, розведенням зовнішніх мереж, розведенням силової мережі; однолінійною схемою мережі підприємства та механічного цеху; плану проєктованого цеху з розведенням силової та освітлювальної мереж; конструктивне креслення комірки КРПУ 2–10–20УЗ; схем вимірвальних та оперативних кіл релейного захисту; зведена таблиця техніко-економічних показників електропостачання підприємства.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05.2024	
2	Аналітичний розділ	05.05.2024	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	15.05.2024	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.05.2024	
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	31.05.2024	
6	Висновки	31.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	31.05.2024	
8	Оформлення графічної частини	31.05.2024	

Студент

_____ (підпис)

Ярощук Д. М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Мовчан Л. Т.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

**Тишко Владислав Іванович, Ярощук Дмитро Миколайович –
Розробка системи електропостачання промислового підприємства на
основі техніко-економічного аналізу (комплексна тема).**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Стор.– 91; рис. - 16; табл. - 39; слайдів - 21; джерел - 23; додатків - 2.

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено систему електропостачання промислової бази та механічного цеху, що входить до складу цього підприємства. Цех налічує 31 електроприймач, підприємство 19 цехів. У процесі проектування було враховано основні характеристики приймачів електричної енергії. У розрахунку було розглянуто два варіанти електропостачання для цеху та два варіанти для всього підприємства, з яких у кожному випадку було обрано найбільш підходящий та вигідний варіант, з урахуванням усіх технічних та економічних особливостей цього підприємства.

Для варіанта цеху, що залишився, був зроблений докладний електротехнічний розрахунок електричного та аварійного освітлень. Для всіх цехів перевірено необхідність компенсації реактивної потужності та підібрано конденсаторні компенсуючі пристрої. Також враховано струми короткого замикання в характерних точках системи, проаналізовано якість напруги цехової мережі та розраховано відхилення напруги для характерних електроприймачів. Було спроектовано необхідне заземлення та пристрій блискавкозахисту. Розраховано та відбудовано уставки реле захисту: кабельних ліній розподільної мережі підприємства; трансформаторів ГПП; повітряної лінії.

Перелік ключових слів: ЦЕНТР ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, РОЗПОДІЛЬНИЙ ПУНКТ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Надійність електропостачання промислового підприємства	9
1.2 Падіння напруги у системах електропостачання промислових підприємств	12
1.3 Економія електроенергії на промислових підприємствах	13
1.4 Характеристика об'єкта та технічних показників електроприймачів	15
1.5 Вибір напруги та джерел живлення цехової електричної мережі	17
1.6 Висновки до розділу 1	18
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Розрахунок першого рівня електропостачання	19
2.1.1 Визначення центру електричних навантажень та вибір місця розташування ЦТП	26
2.1.2 Проектування схем внутрішньоцехового електропостачання	30
2.2 Розрахунок другого рівня електропостачання	31
2.3 Світлотехнічний розрахунок електричного освітлення	36
2.3.1 Розрахунок робочого освітлення	37
2.3.2 Розрахунок аварійного освітлення	39
2.4 Розрахунок третього рівня електропостачання	39
2.5 Вибір типу, числа та потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності	44
2.6 Техніко-економічне порівняння варіантів	45
2.7 Висновки до розділу 2	51
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	52
3.1. Вибір перерізів проводів та кабельних ліній	52
3.2 Вибір розподільчих пунктів та шинопроводів	54
3.3 Вибір комутаційно-захисних апаратів	54

3.4 Вибір обладнання на боці ВН	56
3.4.1 Визначення втрат потужності та напруги у трансформаторах	56
3.4.2 Розрахунок кабельних та повітряних ліній	58
3.4.3 Вибір вимикачів на стороні 10-110 кВ	58
3.5 Розрахунок компенсації реактивної потужності в цеховій мережі	59
3.6 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка основного обладнання мережі	63
3.6.1 Розрахунок струмів короткого замикання	63
3.6.2 Перевірка основного обладнання мережі	68
3.6.3 Перевірка обладнання на стороні 0,4 кВ	70
3.7 Аналіз якості напруги цехової мережі та розрахунок відхилення напруги	70
3.8 Висновки до розділу 3	78
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
4.1 Електробезпека	79
4.2 Пожежна безпека	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	89

ВСТУП

Актуальність проблеми.

Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення живлення електроенергією промислових приймачів електричної енергії, до яких належать електродвигуни різних машин та механізмів, електричні печі, електролізні установки, апарати та машини для електричного зварювання, освітлювальні установки та інші промислові приймачі електроенергії. Завдання електропостачання промислових підприємств виникло одночасно з широким впровадженням електроприводу як рушійна сила різних машин і механізмів і будівництво електричних станцій.

З розвитком електроспоживання ускладнюються і системи електропостачання промислових підприємств. Вони включаються мережі високих напруг, розподільні мережі, а деяких випадках і мережі промислових ТЕЦ. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств та виробничих процесів. Здійснювати в широких масштабах диспетчеризацію процесів виробництва із застосуванням телесигналізації та телеуправління та вести активну роботу з економії електроенергії.

Інтенсифікація виробничих процесів, підвищення продуктивності праці пов'язані з удосконаленням існуючої та запровадженням нової, передової технології. Цьому процесу супроводжує широке впровадження потужних вентильних перетворювачів, електродугових печей, зварювальних установок та інших пристроїв, які при всій технологічній ефективності негативно впливають на якість електроенергії в електричних мережах.

Проблема електромагнітної сумісності електроприймачів з мережею живлення породжує нові наукові та технічні проблеми при проектуванні та експлуатації промислових електричних мереж. Ця проблема може бути вирішена шляхом освоєння швидкодіючих багатофункціональних засобів компенсації реактивної потужності, що покращують якість електроенергії

відразу за декількома параметрами. Використання цих пристроїв веде до зменшення втрат електроенергії.

Економне використання електроенергії набуває все більшого значення, що необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації промислових мереж високої та низької напруги. Один із напрямів скорочення втрат електроенергії в мережах є впровадження автоматизованих систем управління електропостачанням та врахуванням електроенергії.

Мета і задачі дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання промислового підприємства на основі техніко-економічного порівняння варіантів.

Визначена мета досягається розв'язанням наступних основних задач:

1. Аналіз шляхів підвищення надійності електропостачання та економії на промислових підприємствах
2. Аналіз та вибір варіанту електропостачання для цеху для всього підприємства з урахуванням усіх технічно-логічних особливостей підприємства.
3. Розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках системи.
4. Докладний електротехнічний розрахунок електричного та аварійного освітлень
5. Розрахунок компенсації реактивної потужності та підбір компенсуючих пристроїв.
6. Аналіз якості напруги цехової мережі та розрахунок відхилення напруги для характерних електроприймачів.
7. Проектування необхідного заземлення та пристроїв блискавкозахисту.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Надійність електропостачання промислового підприємства

Одним із завдань підвищення надійності схеми електропостачання хімічного виробничого підприємства є визначення технічної можливості використання пристрою автоматичного увімкнення резервного джерела живлення (АВР). Друге завдання – виявити допустимість можливих режимів перемикання, які визначаються станом електромережі.

У електромеханічних пристроях автоматичного включення резервного живлення (АРВ), що застосовуються в даний час, час циклу перемикання досягає 3÷5 с, перехідні процеси затримуються на 10 с. і більше. У цьому дію АВР неспроможна забезпечити умови самозапуску всіх електродвигунів, необхідно вибирати лише частина найбільш відповідальних, що може призвести до порушення технологічного процесу.

В останні роки промисловістю запропоновано ряд пристроїв АРВ другого покоління з швидкодіючими пускачами на базі мікропроцесора, що забезпечують перемикання протягом менше 0,1 с. Їх реалізація потребує встановлення швидкодіючих вимикачів та захистів, що здорожчує їх використання. Але навіть одне успішне перемикання, яке забезпечує безперервність роботи підприємства, запобігає простому і дорогому процесу перезапуску. І це забезпечує практично повну окупність інвестицій, необхідні установки комплекту устаткування.

Перевага використання ШАВР полягає в тому, що знімаються обмеження сумарної потужності електродвигунів, які знаходяться в роботі і живляться від секції, що втратила потужність. Як відомо, сумарна потужність електричних двигунів, які мають самозапуск, не може перевищувати 30 % номінальної потужності силового трансформатора. Окрім того, немає необхідності гасити

поле та ресинхронізувати синхронні двигуни, а пускові струми двигунів становлять лише $2 \div 2,5 I_{ном}$, що збільшує ресурс електродвигунів.

Електропостачання більшості промислових підприємств здійснюється через двотрансформаторні знижувальні підстанції напругою (110-35)/(6-10) кВ, із незалежними секціями на напругу 6-10 кВ. Кожна секція ("робоча"/"резервна") отримує живлення від власного трансформатора через вхідний перемикач. Секційний вимикач зазвичай вимкнено. У разі пошкодження мережі, що живить одну із секцій, пристрій АРР повинен відключити її вхід живлення та увімкнути вимикач секції.

До комплексу пристроїв швидкодіючого АВР має входити пусковий пристрій (ПП) з швидкодіючим терміналом релейного захисту та автоматики (РЗА), що ініціалізує роботу ПУ, та швидкодіючі вимикачі. Необхідна швидкість (менше 0,1 с) забезпечується модернізованими вакуумними або електрогазовими вимикачами зі спеціальним пристроєм керування електродинамічний привод, час відключення якого становить близько 0,015 с, а увімкнення - 0,02 с. Використання ШАВР дозволяє скоротити час циклу АРН з $0,7 \div 5$ с до $0,04 \div 1$ с.

Логіка дій ПУ передбачає адаптований АВР, який діє по-різному залежно від типу та наслідків аварії. Є такі режими перемикавання:

- власне "швидке перемикавання" – за присутності критеріїв синхронності секції;
- швидке перемикавання – під час першого збігу фази напруги аварійної та резервної секцій шин;
- включення залишкової напруги – при зниженні напруги аварійної секції до встановленого граничного значення $U \leq U$;
- перемикавання по часу – після закінчення заданого часу ($T \sim 2$ с.), якщо раніше не проводилося інших перемикань (як і звичайному АРН).

Найоптимальніший режим – швидке перемикавання. В такому режимі забезпечується мінімальний час зниження напруги. Розділи залишаються синхронізованими, що значно полегшує перехід режиму під час перемикавання на

резервне джерело. До критеріїв синхронності належать такі параметри миттєвих значень напруги секцій:

- кутсув фаз між ділянками напруги $\Delta\varphi < \pm \Delta\varphi_{max}$ ($\approx 20^\circ$);
- різницю частот напруги секцій $\Delta f < \pm \Delta f_{max}$ ($\approx 1 \text{ Гц}$),

при цьому рівень напруги непошкодженої (резервної) ділянки становить $U_{min} \geq 0,8U$, а рівень напруги ділянки з пошкодженням в електромережі $U_{min} \geq 0,7U$.

У разі відсутності умов синхронності ділянок напруги пристрою ШАВР без затримки відключає автоматичний вимикач пошкодженого вводу. Тоді споживачі втрачають потужність і електродвигуни обертаються за інерцією. Увімкнення автоматичного вимикача може відбуватись у різний час, залежно від режиму роботи мережі.

- Пусковий пристрій визначає момент збігу 1-ї напруги секції з пошкодженням і резервом і формує команду на увімкнення секційного вимикача. Для забезпечення швидкої роботи команда на увімкнення генерується до першої мінімальної різниці напруг.

- Комутація залишкової напруги відбувається без забезпечення синхронізму, коли напруга на пошкодженій ділянці впала до заданого значення і включення при 1 збігу фаз стало неможливим.

- Перемикання часу відбувається, якщо жодне з раніше заданих перемикань не було виконано протягом встановленого часу ($T \sim 2c$).

На рис. 1.1 представлена структурна схема приєднання ШАВР до секцій шин 10 кВ двохтрансформаторної підстанції.

З метою оцінки ефективності впровадження та технічної можливості БАВР у мережу 10 кВ було проведено аналіз системи електропостачання та умов роботи електрообладнання у нормальних та аварійному режимах. Джерелом електропостачання є мережа сторонніх організацій.

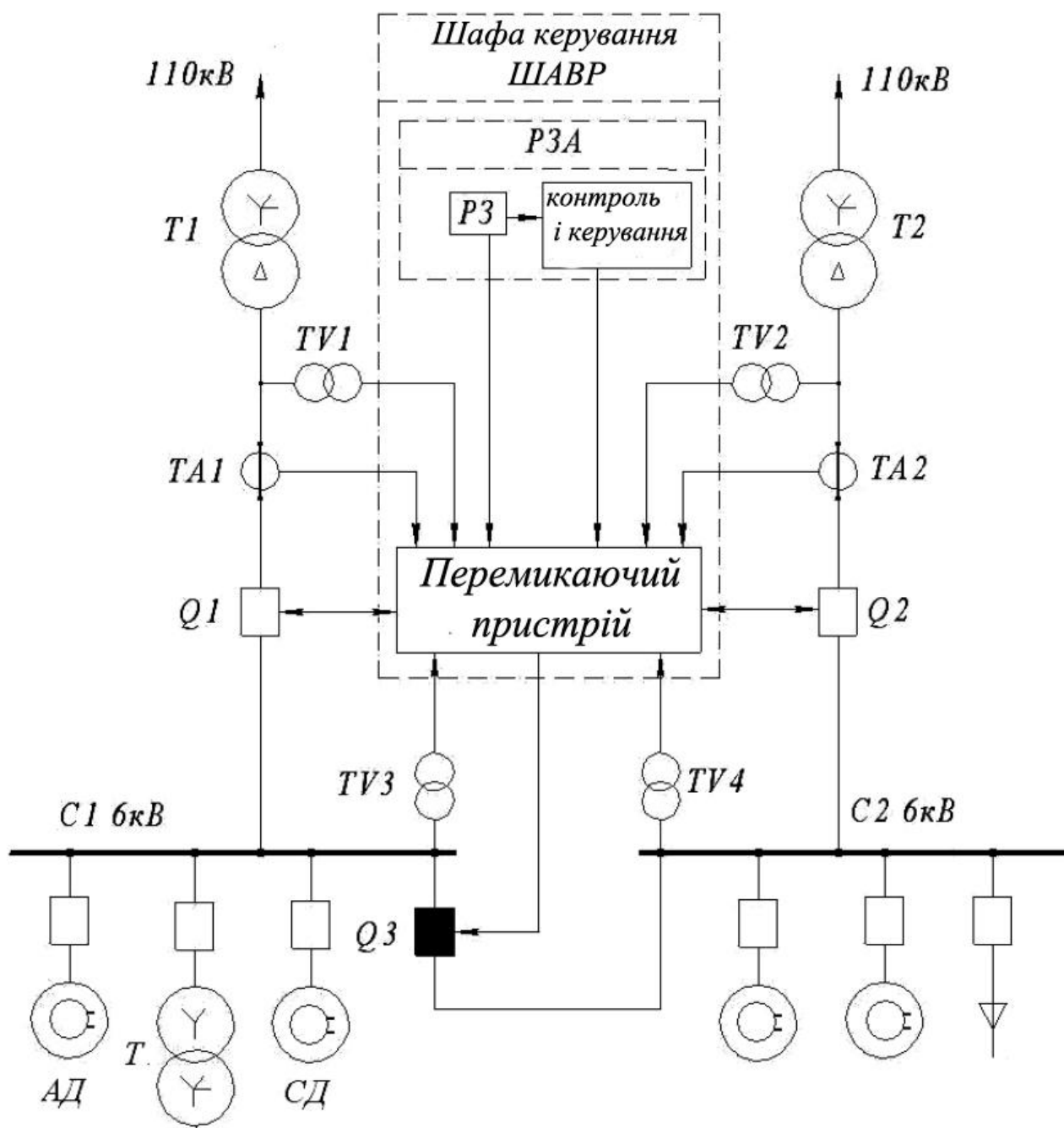


Рисунок 1.1 – Схема підключення ШАВР

1.2 Падіння напруги у системах електропостачання промислових підприємств

Безперервність технологічних процесів промислових підприємств висуває високі вимоги до якості електропостачання. Щоб забезпечити надійність

електропостачання основні струмоприймачі цих підприємств I-ої категорії мають у своєму складі електроприймачі спеціальної групи. Відповідно, має бути забезпечена безперервність електропостачання, життєздатність системи та якість електроенергії на енергоприймачах. При цьому під безперебійним електропостачанням розуміється забезпечення споживачів електроенергією в будь-який момент часу відповідно до характеру його навантаження, а під живучістю – здатність системи електропостачання запобігати розвитку аварій, порушення складних технологічних процесів у споживача у разі порушення електропостачання. Проблема живучості системи включає питання живлення електроприймачів спеціальної групи в аварійних умовах і питання самозапуску електричних двигунів відповідальних механізмів.

Під час проектування систем електропостачання промислових підприємств передбачається забезпечення заданих показників якості електропостачання. Однак при їх вирішенні передбачається, що напруга незалежних джерел живлення постійно та пошкодження в енергосистемі не впливають на якість електропостачання. Таке рішення цілком зрозуміле, оскільки аварійні ситуації в енергосистемі мають імовірнісний характер, і при проектуванні складно оцінити їх вплив на якість електропостачання і які збитки будуть у разі його погіршення. Тому останнє виявляється лише у процесі експлуатації.

1.3 Економія електроенергії на промислових підприємствах

У процесі проектування та експлуатації СЕП повинні бути прийняті технічні та організаційні рішення, що забезпечують раціональне споживання електроенергії як окремих технологічних установок, так і промислового об'єкта в цілому. Найбільшу ефективність енергозбереження на промислових підприємствах мають такі основні напрямки:

- 1) використання раціональних видів та параметрів енергоносіїв для виробничих процесів;

- 2) застосування вторинних енергетичних ресурсів;
 - 3) використання енергоефективних технологій та обладнання;
 - 4) інтенсифікація виробничих процесів;
 - 5) зниження втрат електроенергії в електрообладнанні та електричних мережах;
- б) удосконалення енергетичних режимів виробництва та електрообладнання.

Ефективність використання оптимальних енергоносіїв та його параметрів визначається тим, що з реалізації технологічних процесів можуть застосовуватися різні види енергоносіїв. Оптимізація типів та параметрів енергетичних носіїв на основі техніко-економічного розрахунку є важливим елементом енергозбереження.

В багатьох випадках доцільно використовувати вторинні енергоресурси для нагрівання продукції, енергетичних потреб, а також вироблення електроенергії.

Використання в промисловості енергоефективних технологій та обладнання дозволяє виробляти продукцію з меншими значеннями питомої витрати електроенергії.

Суттєве значення для енергозбереження має також інтенсифікація виробничого процесу, наприклад збільшення швидкості різання обробних верстатів, прискорення нагріву за рахунок збільшення питомої потужності без зміни виду нагріву і т.п.

Слід прагнути раціонального використання енергії в освітлювальних установках, раціонально використовуючи ефективні джерела світла і освітлювальні прилади.

Також дуже важливо правильно організувати роботу освітлювальних установок та керування ними.

Суттєву роль економії електроенергії відіграє автоматизація виробничих процесів та окремих технологічних установок.

Покращення енергетичних режимів обладнання досягається за рахунок раціонального завантаження технологічних агрегатів, вибору енергетично доцільних режимів роботи та графіків навантаження електрообладнання, ліній електропередачі та виробничих об'єктів тощо.

Зменшення втрат електроенергії у елементах СЕП може забезпечити відчутну економію електричної енергії на промислових підприємствах.

1.4 Характеристика об'єкта та технічних показників електроприймачів

В даній кваліфікаційній роботі розробляється схема електропостачання цементного заводу. Цементний завод складається з 17 цехів, сумарна потужність яких 10359,5 кВт. Площа підприємства 112860 м². Джерело живлення віддалено від підприємства на 3 км.

Технологічне обладнання, що споживає електроенергію, розміщено з урахуванням дотримання і правил експлуатації. Розміщення в цеху електроу-статкування є компактним та зручним з погляду умов роботи робітника.

Завод складається з наступних виробничих підрозділів:

1. Головний корпус шиферного виробництва
2. Котельня шиферного виробництва
3. Відділення сировинних млинів
4. Склад сировини
5. Адміністративний корпус
6. Пакувальна та склад цементу
7. Матеріальний склад
8. Механічний цех
9. Мазутне відділення
10. Склад клінкеру
11. Сушильне відділення
12. Склад добавок

13. Глинопідготовче відділення

14. Склад сухих добавок

15. Відділення клінкеру

16. Арматурно-агрегатний цех

17. Відділення цементних млинів

Механічний цех

Механічний цех розрахований на механічну обробку деталей та збирання вузлів із заготовок, лиття та поковок, що одержуються з інших цехів (сталіварного, ковальського), а також одержуваних від інших заводів.

Цех оснащений металорізальним та металообробним обладнанням: токорно-гвинторізними, розточувальними, свердлильними, фрезерними, шліфувальними верстатами.

Арматурно-агрегатний цех.

Цех має розміри 24×15 м загальною площею 360 м^2 . Встановлена потужність електроприймачів цеху $1009,5 \text{ кВт}$. Загальна кількість електроприймачів 39.

Характеристика електроприймачів:

За виробничим призначенням: всі електроприймачі відносяться до двигунів силових загальнопромислових установок та виробничих механізмів. Усі електроприймачі мають напругу живлення $0,4 \text{ кВ}$.

За родом струму: всі електроприймачі відносяться до споживачів, які працюють від мережі змінного струму промислової частоти 50 Гц .

За стабільністю розташування: всі електроприймачі мають стаціонарне розташування, крім самохідного візка.

Усі споживачі електроенергії є споживачами другої категорії надійності електропостачання.

Цех, що проектується, живиться від ГПП $110/10 \text{ кВ}$. Живлення здійснюється за кабельною лінією напругою 10 кВ .

Характеристика приміщення:

Умови навколишнього середовища в цеху нормальні, наявність шкідливих речовин, що знаходяться в повітрі, відповідає нормам ГДК.

По пожежонебезпечності приміщення цеху належать до класу П-Па – не пожежонебезпечне. По вибухонебезпечності – не вибухонебезпечне. За рівнем доступності – загальнодоступне.

Зупинка окремих електроприймачів на загальний технологічний процес суттєво не впливає, але може призвести до пошкодження обладнання та економічної шкоди.

1.5 Вибір напруги та джерел живлення цехової електричної мережі

Вибір напруги розподільчої мережі був із вирішенням питань електропостачання підприємства. Остаточне рішення приймають у результаті техніко-економічного порівняння варіантів, що враховують різне поєднання на-пруг окремих ланок системи.

Відповідно до заданих умов харчування промислової бази здійснюватиметься від ТЕЦ на напрузі 110 кВ. Для розподільчої мережі підприємства найбільш доцільним варіантом є напруга 10 кВ. Так як на підприємстві відсутні електродвигуни великої одиничної потужності (250 – 630 кВт), які, як правило, мають напругу живлення 6 кВ, а висока напруга 10 кВ економічно доцільніше, ніж 6 кВ. Для зменшення втрат у проводах та кабелях рекомендується наблизити високу напругу до центру електричних навантажень (ЦЕН) – виконати глибоке введення. Але глибоке введення має свої недоліки: на території підприємства необхідно встановити опори ЛЕП, що створить додаткові труднощі при транспортуванні матеріалів і готової сировини по території; електромагнітне поле високовольтних ліній електропередач (ЛЕП) при тривалому впливі негативно впливає на здоров'я людини. Тому при проектуванні будуть розглянуті два варіанти електропостачання підприємства: 1) з глибоким введенням та розташуванням головної знижувальної підстанції (ДПП) у ЦЕН; 2) ДПП та ЛЕП розташовуються за територією підприємства.

Напруга 380/220 є основною в електроустановках до 1 кВ. Система 380 – 220 В задовольняє основним умовам живлення споживачів:

а) можливості спільного живлення освітлювальних приладів та електродвигунів;

б) щодо низької напруги між «землею» та «проводом» (220В).

Використання напруг 127 і 220 В для живлення електродвигунів економічно не виправдане через великі втрати електроенергії та більшу витрату кольорового металу.

Напруга 660 В застосовується лише у випадках, коли за умовами планування цехового обладнання, технології, екологічності не можна наблизити ЦТП до електроприймачів, що має місце у вугільних шахтах, кар'єрах.

Цехова електрична мережа полягає у групі з електричними мережами ще кількох цехів і запитана від цехової трансформаторної підстанції (ЦТП), розташованої поруч із найпотужнішим цехом групи. ЦТП запитують від ДПП.

1.6 Висновки до розділу 1

У цьому розділі докладно розглянуті шляхи підвищення надійності електропостачання промислових підприємств.

Розглянуто питання “провалів напруги” у системах електропостачання промислових підприємств. З метою забезпечення надійності електропостачання основних струмоприймачів I-ої категорії цих підприємств, безперервності, тобто безперервності електропостачання, живучості системи та якості електроенергії на енергоприймачах, має бути забезпечено.

Розглянуто основні способи економії електричної енергії на промисловому підприємстві та доведено, що зниження втрат електричної енергії в елементах системи електропостачання може забезпечити значну економію електроенергії на промисловому підприємстві.

Розглянуто загальні характеристики технологічного процесу та споживачів електроенергії, а також технічних показників електроприймачів.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок першого рівня електропостачання

Генеральний план підприємства представлено на рис. 2.1, вихідні дані для підприємства в цілому представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні дані електроприймачів підприємства

№ з/п	Найменування	Площа цеху, м ²	Кількість ЕП	Встановлена потужність електроприймачів, кВт = 0,8		cos φ	tg φ	ККД	K _B	K _C	ПВ, %	P _{ном} приведена до ПВ = 100%, кВт
				одного	загальна							
1	Корпус виробництва бетонних конструкцій	2483.03	40	10-40	1100	0.7	1.02	88	0.24	0.34	60	968.24
2	Корпус виробництва керамзитобетонних конструкцій	2287.06	60	1-50	1300	0.64	1.17	88	0.24	0.34	50	935.31
3	Бетоно-змішувальний цех	146.96	30	1-50	640	0.64	1.17	88	0.24	0.34	50	567.14
4	Склад цементу	179.38	10	1-10	40	0.54	1.98	88	0.06	0.1	60	55.01
5	Склад арматурної сталі	496.53	14	1-20	80	0.54	1.98	88	0.06	0.1	60	70.52
6	Автоматизований склад із приймальними пристроями	627.82	20	1-30	296.4	0.7	1.02	88	0.6	0.7	60	260.99
7	Блок механічних цехів	865.00	31	0.6-42.2	328.4	-	-	-	-	-	-	-
8	Адміністративний корпус	2690.66	30	1-30	240	0.8	0.74	88	0.64	0.74	100	285.09
9	Майданчик для зберігання готової продукції	2623.39	4	1-30	40	0.8	0.74	88	0.24	0.2	60	55.01
10	Склад металовиробів	896.89	4	1-20	50	0.54	1.98	88	0.06	0.1	60	34.21
11	Гараж на 24 автомобілів	951.73	20	1-30	140	0.8	0.74	88	0.24	-	60	132.03
12	Парковка автомашин	7103.35	-	-	-	0.8	0.74	-	0.84	0.8	100	-
13	Корпус керамзитових труб №1	1433.67	40	1-60	900	0.8	0.74	88	0.14	0.2	50	656.83
15	Корпус бетонних труб	1883.56	70	1-60	1200	0.8	0.74	88	0.14	0.2	50	862.55
14	Склад керамзиту	354.30	4	1-20	40	0.54	1.98	88	0.06	0.1	60	55.01
16	Склад готових труб	807.20	4	1-20	40	0.54	1.98	88	0.06	0.1	60	55.01
17	Деревообробний цех	1363.27	30	1-30	140	0.6	1.33	88	0.16	0.2	60	132.03
18	Котельня	1278.06	30	1-80	570	0.7	1.02	88	0.6	0.7	50	337.79
19	Компресорна	252.16	14	1-240	1200	0.8	0.74	88	0.64	0.74	60	1046.27

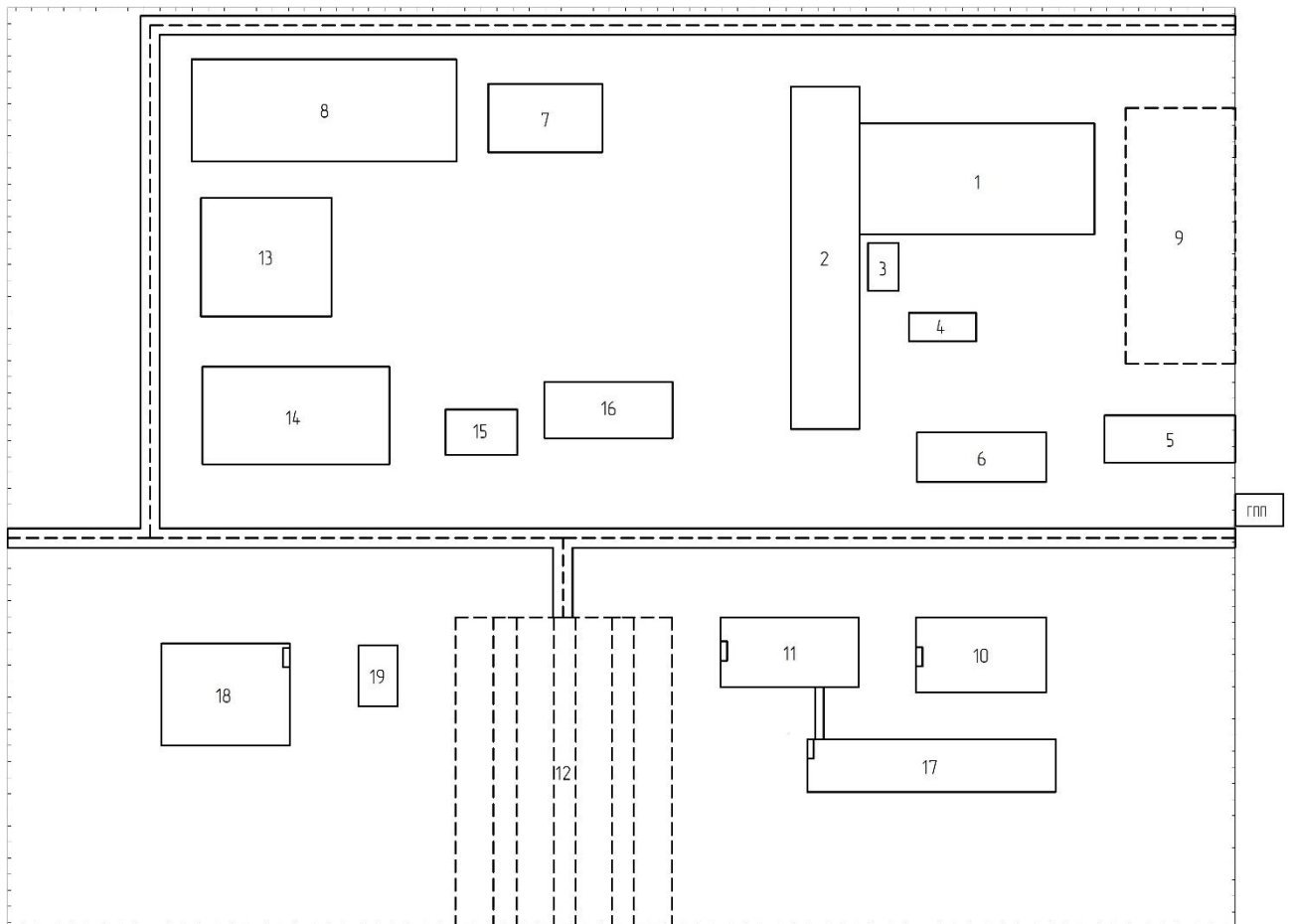


Рисунок 2.1 – Генеральний план підприємства.

Вихідні дані для цеху, що проектується, представлені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Дані електроприймачів проектного цеху.

№п/п	Найменування ел.	Тип двигуна	Число ЕД	ККД, %	Uном, В	Pвст, кВт	ПВ пасп, %	Pном, кВт	Pном ЕП, кВт	cos φ ЕД	cos φ	tg φ	Кв	Кс	Категорія
1	2	3	5	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	16
1	Молот пневматичний	5A132M2У3	1	88	380	10	50	11.36	7.19	0.9	0.90	0.58	0.22	0.74	3
2	Піч нагрівальна	-	-	100	380	12	100	12.00	12.00	0.94	0.94	0.33	0.6	1	3
3	Молот пневматичний	5A132M2У3	1	88	380	10	50	11.36	7.19	0.9	0.90	0.58	0.22	0.74	3
4	Абразивно-відрізний верстат	5A100L2У3	1	87.4	380	5.4	50	4.15	3.24	0.91	0.91	0.56	0.15	0.74	3
5	Прес ножиці	5A80B2У3	1	83	380	2.2	50	2.64	1.68	0.87	0.87	0.47	0.22	0.74	3
6	Обдирно-шліфувальний верстат	5A100S2У3	1	86.4	380	5	50	5.62	2.92	0.89	0.89	0.41	0.17	0.74	3

продовження таблиці 2.2.

1	2	5	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	16
7	Обдирно-шліфувальний верстат	5A100S2Y3	1	86.4	380	5	50	5.62	2.92	0.89	0.89	0.41	0.17	0.74	3
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	7.74	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
		5A80B2Y3		83	380	2.2	50	2.64		0.87			0.15	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.8	50	1.03		0.87			0.15	0.74	3
9	Прес кривошипний	5A112M2Y3	1	87.4	380	7.4	50	8.47	4.52	0.88	0.88	0.45	0.22	0.74	3
10	Гільйотинні ножиці	5A132M2Y3	1	88	380	10	50	11.36	7.19	0.9	0.90	0.58	0.17	0.74	3
11	Прес	5A180M2Y3	1	90.4	380	30	50	33.14	20.97	0.9	0.90	0.58	0.22	0.74	3
12	Токарний 8-ми шпіндельний напівавтомат №1	5A200L2Y3	3	91	380	50	50	53.96	36.66	0.9	0.90	0.59	0.24	0.74	3
		5A132M2Y3		88	380	10	50	11.36		0.9			0.24	0.74	3
		5A80B2Y3		83	380	2.2	50	2.64		0.87			0.24	0.74	3
13	Токарний верстат	5A90L2Y3	2	85.4	380	3	50	3.44	2.49	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
		5AA63B2Y3		73	380	0.5	50	0.44		0.86			0.15	0.74	3
15	Радіально-свердильний верстат	5A132M2Y3	3	88	380	10	50	11.36	8.75	0.9	0.89	0.40	0.15	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	1.1	50	1.52		0.87			0.15	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.8	50	1.03		0.87			0.15	0.74	3
14	Токарний верстат	5A90L2Y3	2	85.4	380	3	50	3.44	2.49	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
		5AA63B2Y3		73	380	0.5	50	0.44		0.86			0.15	0.74	3
16	Токарно-револьверний верстат	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	8.85	0.88	0.88	0.43	0.17	0.74	3
		5A100S2Y3		86.4	380	5	50	5.62		0.89			0.17	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.6	50	0.77		0.87			0.17	0.74	3
17	Токарно-револьверний верстат	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	8.85	0.88	0.88	0.43	0.17	0.74	3
		5A100S2Y3		86.4	380	5	50	5.62		0.89			0.17	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.6	50	0.77		0.87			0.17	0.74	3
18	Токарно-револьверний верстат	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	8.85	0.88	0.88	0.43	0.17	0.74	3
		5A100S2Y3		86.4	380	5	50	5.62		0.89			0.17	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.6	50	0.77		0.87			0.17	0.74	3
19	Токарно-револьверний верстат №5	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	8.85	0.88	0.88	0.43	0.17	0.74	3
		5A100S2Y3		86.4	380	5	50	5.62		0.89			0.17	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.6	50	0.77		0.87			0.17	0.74	3
20	Універсальний заточувальний верстат №1	5A90L2Y3	1	85.4	380	3	50	3.44	2.24	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
21	Вертикально-свердильний верстат №1	5A100S2Y3	2	86.4	380	5	50	5.62	3.07	0.89	0.88	0.43	0.15	0.74	3
		5AA46A2Y3		66	380	0.2	50	0.23		0.76			0.15	0.74	3
22	Вертикально-свердильний верстат №2	5A100S2Y3	2	86.4	380	5	50	5.62	3.07	0.89	0.88	0.43	0.15	0.74	3
		5AA46A2Y3		66	380	0.2	50	0.23		0.76			0.15	0.74	3
23	Токарно-револьверний верстат №4	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	8.85	0.88	0.88	0.43	0.17	0.74	3
		5A100S2Y3		86.4	380	5	50	5.62		0.89			0.17	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.6	50	0.77		0.87			0.17	0.74	3

продовження таблиці 2.2.

1	2	5	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	16
24	Токарно-револьверний верстат №6	5A112M2Y3	3	87.4	380	7.4	50	8.47	8.85	0.88	0.88	0.43	0.17	0.74	3
		5A100S2Y3		86.4	380	5	50	5.62		0.89			0.17	0.74	3
		5A71B2Y3		77.4	380	0.6	50	0.77		0.87			0.17	0.74	3
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	5A200L2Y3	3	91	380	50	50	53.96	36.66	0.9	0.90	0.59	0.24	0.74	3
		5A132M2Y3		88	380	10	50	11.36		0.9			0.24	0.74	3
		5A80B2Y3		83	380	2.2	50	2.64		0.87			0.24	0.74	3
26	Універсальний заточувальний верстат №2	5A90L2Y3	1	85.4	380	3	50	3.44	2.24	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
27	Затяжний верстат	5A100S2Y3	1	86.4	380	5	50	5.62	2.92	0.89	0.89	0.41	0.15	0.74	3
28	Точильно-шліфувальний верстат	5A90L2Y3	1	85.4	380	3	50	3.44	2.24	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
29	Верстат для доведення різців	5A71B2Y3	1	77.4	380	0.8	50	1.03	0.64	0.87	0.87	0.47	0.15	0.74	3
30	Напівавтомат для заточування свердел	5A90L2Y3	1	85.4	380	3	50	3.44	2.24	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3
31	Напівавтомат для заточування свердел	5A90L2Y3	1	85.4	380	3	50	3.44	2.24	0.88	0.88	0.44	0.15	0.74	3

Першим етапом проектування системи електропостачання є визначення електричних навантажень. Розрахунок виконується методом упорядкованих діаграм і полягає у визначенні розрахункової потужності кожного електроприймача залежно від режиму роботи.

За значенням електричних навантажень вибирають та перевіряють електрообладнання системи електропостачання, визначають втрати потужності та енергії. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні витрати на систему електропостачання, експлуатаційні витрати, надійність роботи електроустановки.

За вихідними даними визначається номінальна активна потужність електроприймача, кВт:

а) електроустановки, що працюють у тривалому режимі,
 $P_{НОМ} = Q_{см}, \text{кВмIn}, \text{ААПВ} - 2.5100 \% :$

$$P_{НОМ} = \frac{P_{ВСТ}}{\eta}$$

б) електроустановки, що працюють у повторно-короткочасному режимі, $ПВ < 100 \% кВт$, $кВАр$ і $кВАПВ = 40\%$; $P_{НОМ} = 3253 кВт$;:

$$P_{НОМ} = \sqrt{ПВ} \cdot \frac{P_{ВСТ}}{\eta}$$

2) Розраховується активне, реактивне та повне навантаження створюване одним електроприймачем, $кВт$, $кВАр$ і $кВА$ відповідно:

$$P_{M1} = K_3 \cdot P_{НОМ}$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2}$$

3) Для зварювальних трансформаторів повна потужність, $кВА$:

$$S_{НОМ} = S_{УСТ} \sqrt{ПВ}$$

Наведемо приклад розрахунку для відрізного верстата (№ 1) з повторно короткочасним режимом роботи.

Абразивно-відрізний верстат (№ 5): $ПВ = 40\%$; $P_{НОМ} = 3253 кВт$;

$K_3 = 0,75$; $\cos \varphi = 0,91$.

$$P_{M1} = K_3 \cdot P_{НОМ} = 0,75 \cdot 3,253 = 2,439 кВт ;$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2,439 \cdot 0,46 = 1,111 кВАр ;$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2} = \sqrt{2,439^2 + 1,111^2} = 2,681 кВА ;$$

Розрахунок для інших приймачів зведемо до таблиці 2.3, провівши розрахунок аналогічно наведеному прикладу для електроприймача під №5.

Таблиця 2.3 – Зведені дані розрахунку електроприймачів цеху

№ ЕП з генплану	Найменування електроприймачів	$P_{ном},$ кВт	K_3	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_M,$ кВт	$Q_M,$ кВар	$S_M,$ кВА	$P_{CM},$ кВт	$Q_{CM},$ кВт
1	Молот пневматичний №1	7.187	0.74	0.90	0.58	4.390	2.611	4.989	1.481	0.766
2	Пекти нагрівальна(супротиви)	12.000	1	0.94	0.33	12.000	3.955	12.632	7.200	2.367
3	Молот пневматичний №2	7.187	0.74	0.90	0.58	4.390	2.611	4.989	1.481	0.766
4	Абразивно-відрізний верстат	3.243	0.74	0.91	0.56	2.539	1.111	2.681	0.544	0.207
5	Прес ножиці	1.676	0.74	0.87	0.47	1.247	0.713	1.554	0.369	0.209
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	2.924	0.74	0.89	0.41	2.193	1.125	2.564	0.597	0.244
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	2.924	0.74	0.89	0.41	2.193	1.125	2.564	0.597	0.244
8	Фрезерно-відрізний верстат	7.740	0.74	0.88	0.44	4.813	3.184	6.604	1.084	0.494
9	Прес кривошипний	4.521	0.74	0.88	0.45	5.066	2.195	5.620	1.193	0.655
10	Гільйотинні ножиці	7.187	0.74	0.90	0.58	4.390	2.611	4.989	1.222	0.492
11	Прес	20.964	0.74	0.90	0.58	14.725	7.614	17.571	5.612	2.235
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	36.665	0.74	0.90	0.59	27.598	13.528	30.443	9.166	5.576
13	Токарний верстат №1	2.492	0.74	0.88	0.44	1.955	1.065	2.209	0.363	0.199
15	Радіально-свердлильний верстат	8.738	0.74	0.89	0.40	6.443	3.274	7.281	1.259	0.625
14	Токарний верстат №2	2.492	0.74	0.88	0.44	1.955	1.065	2.209	0.363	0.199
16	Токарно-револьверний верстат	8.834	0.74	0.88	0.43	6.627	3.427	7.430	1.402	0.800
17	Токарно-револьверний верстат	8.834	0.74	0.88	0.43	6.627	3.427	7.430	1.402	0.800
18	Токарно-револьверний верстат	8.834	0.74	0.88	0.43	6.627	3.427	7.430	1.402	0.800
19	Токарно-револьверний верстат	8.834	0.74	0.88	0.43	6.627	3.427	7.430	1.402	0.800
20	Універсальний заточувальний верстат №1	2.254	0.74	0.88	0.45	1.685	0.921	1.915	0.315	0.172
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	3.068	0.74	0.88	0.43	2.301	1.225	2.486	0.530	0.228
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	3.068	0.74	0.88	0.43	2.301	1.225	2.486	0.530	0.228
23	Токарно-револьверний верстат	8.834	0.74	0.88	0.43	6.627	3.427	7.430	1.402	0.800
25	Токарно-револьверний верстат	8.834	0.74	0.88	0.43	6.627	3.427	7.430	1.402	0.800
24	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	36.665	0.74	0.90	0.59	27.598	13.528	30.443	9.166	5.576
26	Універсальний заточувальний верстат №2	2.254	0.74	0.88	0.45	1.685	0.921	1.915	0.315	0.172
27	Затяжний верстат	2.924	0.74	0.89	0.41	2.193	1.125	2.564	0.509	0.210
28	Точильно-шліфувальний верстат	2.254	0.74	0.88	0.45	1.685	0.921	1.915	0.315	0.172
29	Верстат для доведення різців	0.643	0.74	0.87	0.47	0.590	0.277	0.463	0.091	0.042
30	Для заточування свердел	2.254	0.74	0.88	0.45	1.685	0.921	1.915	0.315	0.172
31	Для заточування свердел	2.254	0.74	0.88	0.45	1.685	0.921	1.915	0.315	0.172

Визначаємо пусковий струм кожного електроприймача, А:

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{M1}} \cdot K_{\text{п}}$$

де $I_{\text{M1}} = \frac{S_{\text{M1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$ - Максимальний струм електроприймача, А.

$K_{\text{п}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}$ - Коефіцієнт пуску електроприймача. Так приймаємо: для

верстатів $K_{\text{п}} =$ від 3 до 4; для зварювальних трансформаторів, напівавтоматів та різних електричних машин $K_{\text{п}} = 3$;

Визначимо пусковий струм для електроприймача № 5:

$$I_{\text{M1}} = \frac{P_{\text{M1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos(\phi)} = \frac{2,134}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4} = 6,586 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{M1}} = 5 \cdot 6,586 = 24,954 \text{ А}.$$

Значення пускових струмів інших електроприймачів визначаються аналогічно, тому результати розрахунків зведемо в таблицю 3.1.5.

Таблиця 2.5 – Значення пускових струмів електроприймачів цеху

№ ЕП	Найменування електроприймачів	P_{M1} , кВт	Q_{M1} , кВар	I_{M} , А	$K_{\text{п}}$	$I_{\text{п}}$, А	F , мм ²	Марка дроту
1	2	3	5	4	6	7	8	9
1	Молот пневматичний №1	4.390	2.611	9.100	5	36.398	2.4	АПВ – 2.5
2	Піч нагрівальна	12.000	3.955	19.192	5	76.767	5	АПВ – 4
3	Молот пневматичний №2	4.390	2.611	9.100	5	36.398	2.4	АПВ – 2.5
4	Абразивно-відрізний верстат	2.539	1.111	5.073	5	16.292	2.4	АПВ – 2.5
5	Прес ножиці	1.247	0.713	2.196	5	8.783	2.4	АПВ – 2.5
6	Обдирно-шліфувальний верстат	2.193	1.125	3.754	5	15.978	2.4	АПВ – 2.5
7	Обдирно-шліфувальний верстат	2.193	1.125	3.754	5	15.978	2.4	АПВ – 2.5
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	4.813	3.184	10.036	5	50.153	2.4	АПВ – 2.5
9	Прес кривошипний	5.066	2.195	7.020	5	28.079	2.4	АПВ – 2.5
10	Гільйотинні ножиці	4.390	2.611	9.100	5	36.398	2.4	АПВ – 2.5
11	Прес	14.725	7.614	26.454	5	106.179	10	АПВ – 10
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	27.598	13.528	56.521	3	139.262	24	АПВ – 25
13	Токарний верстат №1	1.955	1.065	3.346	5	13.524	2.4	АПВ – 2.5
15	Радіально-свердлильний верстат	6.443	3.274	11.063	5	55.241	2.4	АПВ – 2.5
14	Токарний верстат №2	1.955	1.065	3.346	5	13.524	2.4	АПВ – 2.5
16	Токарно-револьверний верстат	6.627	3.427	11.551	5	54.763	2.4	АПВ – 2.5
17	Токарно-револьверний верстат	6.627	3.427	11.551	5	54.763	2.4	АПВ – 2.5
18	Токарно-револьверний верстат	6.627	3.427	11.551	5	54.763	2.4	АПВ – 2.5
19	Токарно-револьверний верстат	6.627	3.427	11.551	5	54.763	2.4	АПВ – 2.5
20	Універсальний заточувальний верстат №1	1.685	0.921	2.908	5	11.630	2.4	АПВ – 2.5

продовження таблиці 2.5

1	2	3	5	4	6	7	8	9
21	Вертикально-свердильний верстат №1	2.301	1.225	3.929	5	14.715	2.4	АПВ – 2.5
22	Вертикально-свердильний верстат №2	2.301	1.225	3.929	5	14.715	2.4	АПВ – 2.5
23	Токарно-револьверний верстат №4	6.627	3.427	11.551	5	54.763	2.4	АПВ – 2.5
24	Токарно-револьверний верстат №6	6.627	3.427	11.551	5	54.763	2.4	АПВ – 2.5
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	27.598	13.528	56.521	3	139.262	24	АПВ – 25
26	Універсальний заточувальний верстат №2	1.685	0.921	2.908	5	11.630	2.4	АПВ – 2.5
27	Затяжний верстат	2.193	1.125	3.754	5	15.978	2.4	АПВ – 2.5
28	Точильно-шліфувальний верстат	1.685	0.921	2.908	5	11.630	2.4	АПВ – 2.5
29	Верстат для доведення різців	0.590	0.277	0.844	5	3.520	2.4	АПВ – 2.5
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	1.685	0.921	2.908	3	8.723	2.4	АПВ – 2.5
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	1.685	0.921	2.908	3	8.723	2.4	АПВ – 2.5

2.1.1 Визначення центру електричних навантажень та вибір місця розташування ЦТП

Розташування цехової трансформаторної підстанції (ЦТП) поблизу навантажень ними дозволяє наблизити високу напругу до центру споживання електроенергії і скоротити протяжність цехових електричних мереж. Це призводить до зменшення витрати провідникового матеріалу та зниження втрат електроенергії в системі електропостачання.

При пошуку центру електричних навантажень (ЦЕН) цеху використовується план цеху з розташуванням окремих електроприймачів, який представлено на рис 2.2.

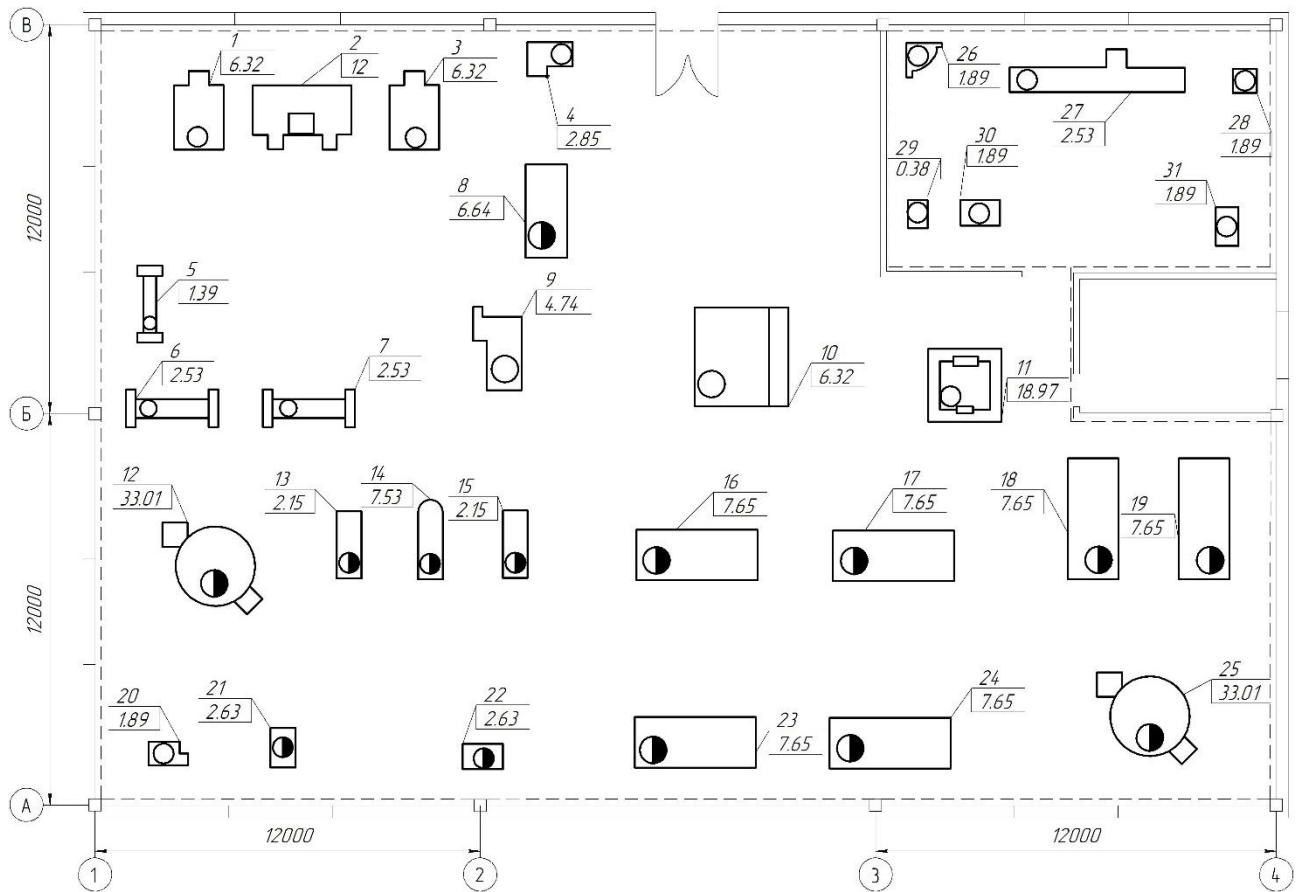


Рисунок 2.2 – План цеху з розташуванням електроприймачів.

Центр електричних навантажень визначимо за такими формулами:

$$X_P = \frac{\sum P_{Mi} \cdot x_i}{\sum P_{Mi}};$$

$$Y_P = \frac{\sum P_{Mi} \cdot y_i}{\sum P_{Mi}};$$

$$X_Q = \frac{\sum Q_{Mi} \cdot x_i}{\sum Q_{Mi}};$$

$$Y_Q = \frac{\sum Q_{Mi} \cdot y_i}{\sum Q_{Mi}};$$

де x_i та y_i – координати електроприймачів за планом цеху.

Зафіксовані значення координат електроприймачів зведемо до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення та координати електроприймачів цеху

№ ЕП	Найменування електроприймачів	P_{m1} , кВт	Q_{m1} , кВАр	Координати	
				X, м	Y, м
1	Молот пневматичний №1	5,753	7,395	3,34	21,06
2	Пекти нагрівальна(супротиви)	12,000	3,955	6,61	21,06
3	Молот пневматичний №2	5,753	7,395	10,04	21,06
4	Абразивно-відрізний верстат	2,134	5,930	13,98	22,60
5	Прес ножиці	1,055	1,627	1,82	14,22
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	1,897	5,382	2,30	12,06
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	1,897	5,382	6,61	12,06
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	5,981	8,845	13,79	18,96
9	Прес кривошипний	3,448	4,456	12,45	13,60
10	Гільйотинні ножиці	5,753	10,945	19,72	13,60
11	Прес	15,230	22,183	26,53	12,83
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	25,761	55,019	3,83	7,18
13	Токарний верстат №1	1,613	2,867	7,76	7,94
15	Радіально-свердлильний верстат	4,654	10,034	10,24	7,94
14	Токарний верстат №2	1,613	2,867	12,83	7,94
16	Токарно-револьверний верстат №1	4,750	10,205	18,58	7,66
17	Токарно-револьверний верстат №2	4,750	10,205	25,41	7,66
18	Токарно-револьверний верстат №3	4,750	10,205	30,54	8,81
19	Токарно-револьверний верстат №5	4,750	10,205	33,89	8,81
20	Універсальний заточувальний верстат №1	1,523	2,430	2,39	1,43
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	1,969	3,400	4,85	1,72
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	1,969	3,400	11,97	1,43
23	Токарно-револьверний верстат №4	4,750	10,205	18,58	1,92
25	Токарно-револьверний верстат №6	4,750	10,205	25,41	1,92
24	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	25,761	55,019	31,79	2,87
26	Універсальний заточувальний верстат №2	1,523	2,430	24,09	22,60
27	Затяжний верстат	1,897	5,382	30,54	21,93
28	Точильно-шліфувальний верстат	1,523	3,286	34,05	21,93
29	Верстат для доведення різців	0,284	0,647	25,89	17,81
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	1,523	3,286	27,00	17,81
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	1,523	3,286	35,66	17,62

Виходячи з даних таблиці 2.4 визначимо ЦЕН з активної та реактивної потужності за формулами:

$$X_P = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_P = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$$X_Q = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i}; \quad Y_Q = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i}.$$

Таблиця 2.6 – Координати центру електричних навантажень цеху

Координата	X, м	Y, м
Центр активного навантаження	17,814	10,195
Центр реактивного навантаження	18,616	9,494

Ці дві точки опинилися приблизно в центрі цеху, проте, за технологічним циклом і через розташування електроприймачів центральна трансформаторна підстанція (ЦТП) там не може розташовуватися. Тому ЦТП перемістимо від ЦЕН у бік джерела живлення на десять метрів та винесемо за межі цеху.

Розрахуємо ЦЕН для всього підприємства. Зафіксовані значення координат цехів зведемо до табл. 2.7, а координати ЦЕН у табл. 2.8.

Таблиця 2.7 – Значення та координати електроприймачів підприємства

№ ЕП	Найменування електроприймачів	P_{m1} , кВт	Q_{m1} , кВАр	Координати	
				X, м	Y, м
1	Корпус виробництва бетонних конструкцій	1100	875,939	295	228
2	Корпус керамзитобетонних конструкцій	1300	1122,174	258	205,4
3	Бетоно-змішувальний цех	640	461,088	265,4	201,4
4	Склад цементу	40	44,202	282	183
5	Склад арматурної сталі	80	88,322	341	141,4
6	Автоматизований склад із приймальними пристроями	296,4	234,836	295,4	154,4
7	Блок механічних цехів	328,4	209,841	147,4	54,4
8	Адміністративний корпус	240	160,874	96	257
9	Майданчик для зберігання готової продукції	40	32,174	345	211,4
10	Склад металовиробів і труб	50	55,161	294,4	84,4
11	Гараж на 240 автомобілів	140	96,424	228	86
12	Парковка автомашин	0	0,000	169	58
13	Корпус керамзитових труб №1	900	479,141	77,4	198,4
15	Корпус бетонних труб	1200	1885,946	87,4	144,4
14	Склад керамзиту	40	44,202	353	141
16	Склад готових труб	40	44,202	182,4	148,4
17	Деревообробний цех	140	139,095	275,4	47,4
18	Котельня	570	373,837	66,4	72
19	Компресорна	1200	772,201	112	78

Таблиця 2.8 – Координати центру електричних навантажень підприємства

Координата	X, м	Y, м
Центр активного навантаження	179,750	160,253
Центр реактивного навантаження	175,812	161,876

2.1.2 Проектування схем внутрішньоцехового електропостачання

Характерною особливістю схем внутрішньоцехового розподілу електроенергії є велика розгалуженість мережі та наявність великої кількості комутаційно – захисної апаратури, що значно впливає на техніко-економічні показники та на надійність системи електропостачання. На вибір схеми та конструктивне виконання цехової мережі надають такі фактори, як ступінь відповідальності приймачів електроенергії, режим їх роботи та розміщення на території цеху, номінальні струми та напруги.

Складаємо два варіанти схем електропостачання:

- варіант №1 - схема, виконана на шинопроводах (рис. 2.3);
- варіант №2 -схема, виконана на силових пунктах (рис. 2.5).

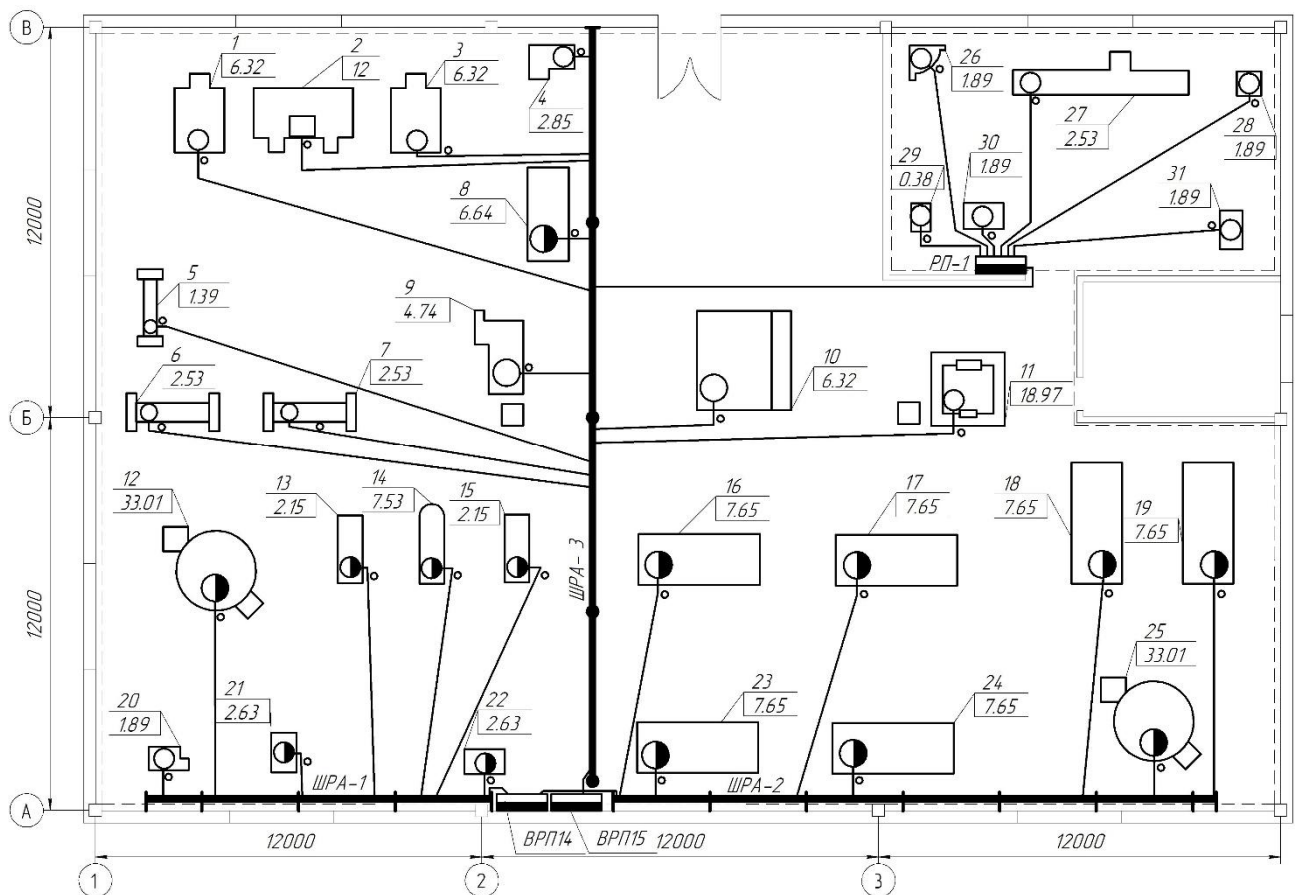


Рисунок 2.3 – Схема електропостачання виконана на шинопроводах.

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} = K_M \cdot K_G \cdot P_H,$$

де P_{CM} – змінна потужність робочих електроприймачів за найбільш завантажену зміну, кВт;

P_H – сумарна номінальна активна потужність електроприймачів, кВт;

K_G – груповий коефіцієнт використання активної потужності;

K_M – коефіцієнт максимуму активної потужності.

Для приймачів одного режиму роботи значення індивідуального k і групового K збігаються. Для групи електроприймачів з різними режимами роботи груповий коефіцієнт використання визначається за такою формулою:

$$K_G = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_{НОМ}} = \frac{\sum_1^n k_i \cdot P_{НОМ}}{\sum_1^n P_{НОМ}}.$$

Коефіцієнт максимуму активної потужності K_M визначається за таблицею 4.2 [4] залежно від величини K_G та ефективного числа групи електроприймачів n_e . Так як розрахункові значення n_e зазвичай не збігаються з табличними, то використовуємо для їхнього знаходження лінійну інтерполяцію.

Змінна потужність за найбільш завантажену зміну, кВт:

$$P_{CM} = K_G \cdot P_H.$$

Реактивна потужність за найбільш завантажену зміну, кВАр:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Коефіцієнт ефективного числа групи електроприймачів - n_e має кілька способів його спрощеного визначення:

1) При $n_e \geq 4$ допускається вважати $n_e = n$ при величині відношення:

$$m = \frac{P_{H.макс}}{P_{H.мін}} \leq 3;$$

2) При $m > 3$ і $K_G \geq 0,2$ n_e визначається за формулою:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_{НОМ i}}{P_{НОМ.макс}};$$

Якщо n_e виявляється більше n , слід приймати $n_e = n$;

- 3) При $m > 3$ і $K_\theta < 0,2$ n_e визначається за допомогою кривих та таблиць [5].

Для електроприймачів з практично постійним графіком навантаження K_M приймається рівним одиниці і максимальне електричне навантаження – рівного середнього за найбільш завантажену зміну:

$$P_M = K_M \cdot K_\theta \cdot P_H = P_{CM}.$$

Максимальне реактивне навантаження від силових електроприймачів дорівнюватиме:

1) при $n_e \leq 10$, $Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM}$;

2) при $n_e > 10$, $Q_M = Q_{CM}$.

Повна потужність (максимальна), кВА:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}.$$

Максимальний струм навантаження силового пункту, А:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}.$$

Знаходимо середньозважене значення $tg\phi$ для силового пункту:

$$tg\phi = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{CM}}{\sum_{i=1}^n P_{CM}}.$$

Значення $P_{ном}$, $\cos\phi$, $tg\phi$ та K_θ приймаємо з табл. 2.2.

Виходячи з цього заповнимо таблицю розрахунків електричних навантажень мережі трифазного струму, таблиці 2.9 і 2.10 відповідно перший і другий варіанти.

Таблиця 2.9 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1 кВ Варіант 1

Найменування вузлів живлення та груп електроприймачів	К-сть ЕП	Встановлена потужність		m	$K\epsilon$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		n_e	K_M	Максимальне розрахункове навантаження			I_M, A
		$P_{ном}$	$P_{ном}$ (заг)					$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВАр			$P_M,$ кВт	$Q_M,$ кВАр	$S_M,$ кВА	
Силовий пункт 1															
Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (12)	1	36,66	36,665	<3	0,24	0,90	0,59	9,166	5,576						
Верстати різні (13-14, 20-22)	6	2,254-8,738	22,305	>3	0,15	0,79	0,76	3,12	2,38						
<u>Разом СП-1</u>	7	2,254-36,66	48,967	>3	0,21	0,87	0,46	12,288	6,849	3,217	-	55,224	55,224	62,455	94,026
Силовий пункт 2															
Токарно-револьверний верстат (16-19, 23, 25)	6	8,834	43,012	>3	0,17	0,88	0,43	9,012	5,797						
Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (24)	1	36,66	36,665	<3	0,24	0,90	0,59	9,166	5,576						
<u>Разом СП-2</u>	7	8,834-36,66	89,676	<3	0,20	0,89	0,41	18,178	9,273	7,000	2,1	38,175	10,201	39,413	60,035
Силовий пункт 3															
Верстати різні (4, 9, 11)	3	1,676-20,97	28,063	>3	0,2	0,89	1,17	4,613	6,462						
Верстати різні (6, 7, 10)	3	2,924-7,187	13,036	<3	0,15	0,90	0,40	1,824	0,907						
Фрезерно-відрізний верстат (8)	1	7,740	7,740	<3	0,15	0,88	0,44	1,084	0,494						
<u>Разом по СП-3</u>	7	1,676-20,97	58,859	>3	0,17	0,73	0,94	8,423	8,065	5,649	2,9	25,716	8,870	26,249	39,898
Піч нагрівальна (2)	1	12	12,000	<3	0,6	0,94	0,33	7,200	2,367						
Силовий пункт 5															
Молот пневматичний (1, 3)	2	7,187	15,375	>3	0,2	0,90	0,58	2,874	1,392						
Абразивно-відрізний верстат (5)	1	3,243	3,243	<3	0,15	0,91	0,56	0,544	0,207						
<u>Разом СП-5</u>	3	2,856-6,324	17,627	>3	0,19	0,90	0,58	3,330	1,600	-	-	17,627	13,220	22,033	33,577
Силовий пункт 4															
Заточувальний верстат (26)	1	2,254	2,254	<3	0,15	0,88	0,45	0,315	0,170						
Верстати різні (27-31)	4	0,643-2,924	7,389	>3	0,15	0,88	0,43	1,035	0,443						
<u>Разом СП-4</u>	6	0,643-2,924	9,635	>3	0,15	0,71	1,00	1,359	1,359	6,488	2,4	3,372	1,585	3,685	4,497

Таблиця 2.9 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1 кВ Варіант 2

Найменування вузлів живлення та груп електроприймачів	К-сть ЕП	Встановлена потужність		m	K_v	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		n_e	K_M	Максимальне розрахункове навантаження			I_M, A
		$P_{ном}$	$R_{ном}$ (заг)					$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВАр			$P_M,$ кВт	$Q_M,$ кВАр	$S_M,$ кВА	
ШРА – 1															
Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (12)	1	36,66	36,66	<3	0,24	0,90	0,59	9,17	5,58						
Верстати різні (13-14, 20-22)	6	2,254-8,738	22,305	>3	0,15	0,794	0,76	3,123	2,383						
<u>Разом ШРА – 1</u>	7	2,254-36,66	48,967	>3	0,21	0,873	0,46	12,288	6,849	3,216	-	55,224	55,224	62,455	94,026
ШРА – 2															
Токарно-револьверний верстат (16-19, 23, 25)	6	8,834	43,012	>3	0,17	0,883	0,43	9,012	5,797						
Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (24)	1	36,66	36,66	<3	0,24	0,90	0,59	9,17	5,58						
<u>Разом ШРА – 2</u>	7	8,834-36,66	89,674	<3	0,2	0,891	0,41	18,178	9,273	7	2,1	38,175	10,201	39,413	60,035
Піч нагрівальна (2)	1	12	12,000	<3	0,6	0,94	0,33	7,200	2,367						
Силовий пункт 1															
Заточувальний верстат (26)	1	2,254	2,254	<3	0,15	0,88	0,45	0,315	0,170						
Верстати різні (27 - 31)	4	0,643-2,924	7,389	>3	0,15	0,882	0,43	1,035	0,443						
<u>Разом СП-1</u>	6	0,643-2,924	9,635	>3	0,15	0,707	1	1,359	1,359	6,488	2,4	3,372	1,585	3,685	4,497
ШРА – 3															
Верстати різні (1, 3, 4, 9, 11)	4	1,676-20,97	52,537	>3	0,2	0,896	1,17	8,587	9,923						
Верстати різні (5, 6, 7, 10)	5	2,43-6,324	16,289	<3	0,15	0,898	0,59	2,280	1,114						
Фрезерно-відрізний верстат (8)	1	7,740	7,740	<3	0,15	0,877	0,44	1,084	0,494						
СП-1	6	0,643-2,924	9,635	>3	0,15	0,707	1	1,359	1,359	6,488	2,4	3,372	1,585	3,685	4,497
<u>Разом</u>	16	1,676-20,97	76,110	>3	0,17	0,713	0,983	13,202	12,981	7,249	2,4	33,005	15,279	34,961	45,637
ПЕЧ	1	12	12	<3	0,6	0,94	0,33	7,2	2,366	1	-	12	9	14	22,791
<u>Разом ШРА – 3</u>	17	1,676-20,97	88,110	>3	0,23	0,799	0,742	20,502	14,358	-	-	54,005	23,279	40,669	76,983

2.3 Світлотехнічний розрахунок електричного освітлення

Іподібними даними на світлотехнічний розрахунок є (рис. 2.4): Довжина цеху - $L_{ц}$, м; ширина цеху - $B_{ц}$, м; висота цеху - $H_{ц}$, м; h_c – висота підвісу світильників, м; h_p – висота робочої поверхні, м; h – відстань від джерела до робочої поверхні, м; h_n – висота підвісу щодо підлоги, м.

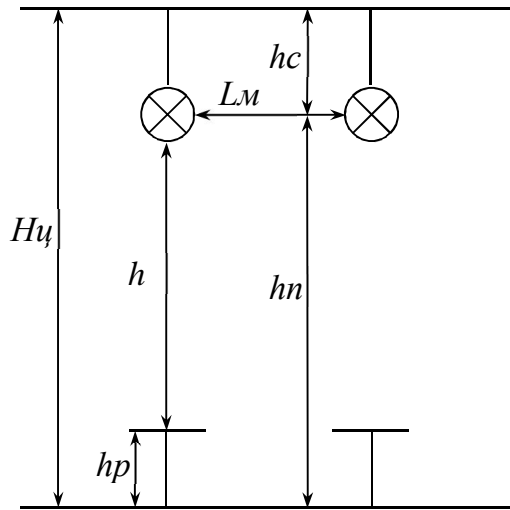


Рисунок 2.4 – Розміщення освітлювальних приладів

Відповідно до ПУЕ висота робочої поверхні h_p = від 0,8 до 1 м, а висота підвісу h_c = від 1 до 1,2 м.

Важливе значення має відношення відстані між світильниками до розрахункової висоти, яка знаходиться за такою формулою, м:

$$\lambda_E = \frac{L}{a}.$$

Відстань від світильників до стіни можна визначити за формулою, м:

$$l_a = (0,3 \div 0,5) \cdot L_a$$

Для забезпечення рівномірного розподілу потоку прийнято, що відстань від ряду до стіни $l_a = (1 \div 15)$ м.

Розрахунок освітлювальної установки здійснимо методом коефіцієнта використання. Світловий потік ламп у кожному світильнику, необхідний створення заданої мінімальної освітленості визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{зан} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta};$$

де $K_{зан}$ – коефіцієнт запасу;

F – площа освітленої поверхні, m^2 ;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

N – число світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла.

За значенням світлового потоку вибирається стандартна лампа, щоб її потік відрізнявся від розрахункового значення Φ на $-10 \dots +20 \%$.

Коефіцієнт використання світлового потоку є функцією індексу приміщення i , що визначається за формулою:

$$i = \frac{L_u \cdot B_u}{h \cdot (L_u + B_u)}.$$

2.3.1 Розрахунок робочого освітлення

Цех, що розраховується, не має перегородок, тому в ньому можна виділити лише одну зону освітлення. Випишемо її основні розміри:

$$L_u = 6 \text{ м}; H_u = 10 \text{ м}; B_u = 24 \text{ м}; h_p = 0,8 \text{ м}; h_c = 1,2 \text{ м}.$$

Визначимо площу цеху, m^2 :

$$F = L_u \cdot B_u = 36 \cdot 24 = 864 \text{ м}^2.$$

Освітлення цеху виконаємо світлодіодними світильниками.

Відстань від джерела до робочої поверхні, м:

$$h = H_u - h_c - h_p = 10 - 1,2 - 0,8 = 8$$

Відстань між світильниками, м:

$$L_a = \lambda_{\text{э}} \cdot h = 1 \cdot 8 = 8.$$

При $L_a = 8 \text{ м}$ у ряду можна розмістити 4 світильники, Приймаємо число рядів 5 тоді $L_b = 6 \text{ м}$; $2 \cdot l_b = 24 - 3 \cdot 6 = 6 \text{ м}$; $l_b = 3 \text{ м}$.

Порівнюємо відношення відстаней:

$$L_a/L_b = 8/6 = 1,33 < 1,5.$$

Розрахуємо загальну кількість ламп:

$$N = 5 \cdot 4 = 20.$$

Розміщення світильників у цеху показано на рис. 2.6.

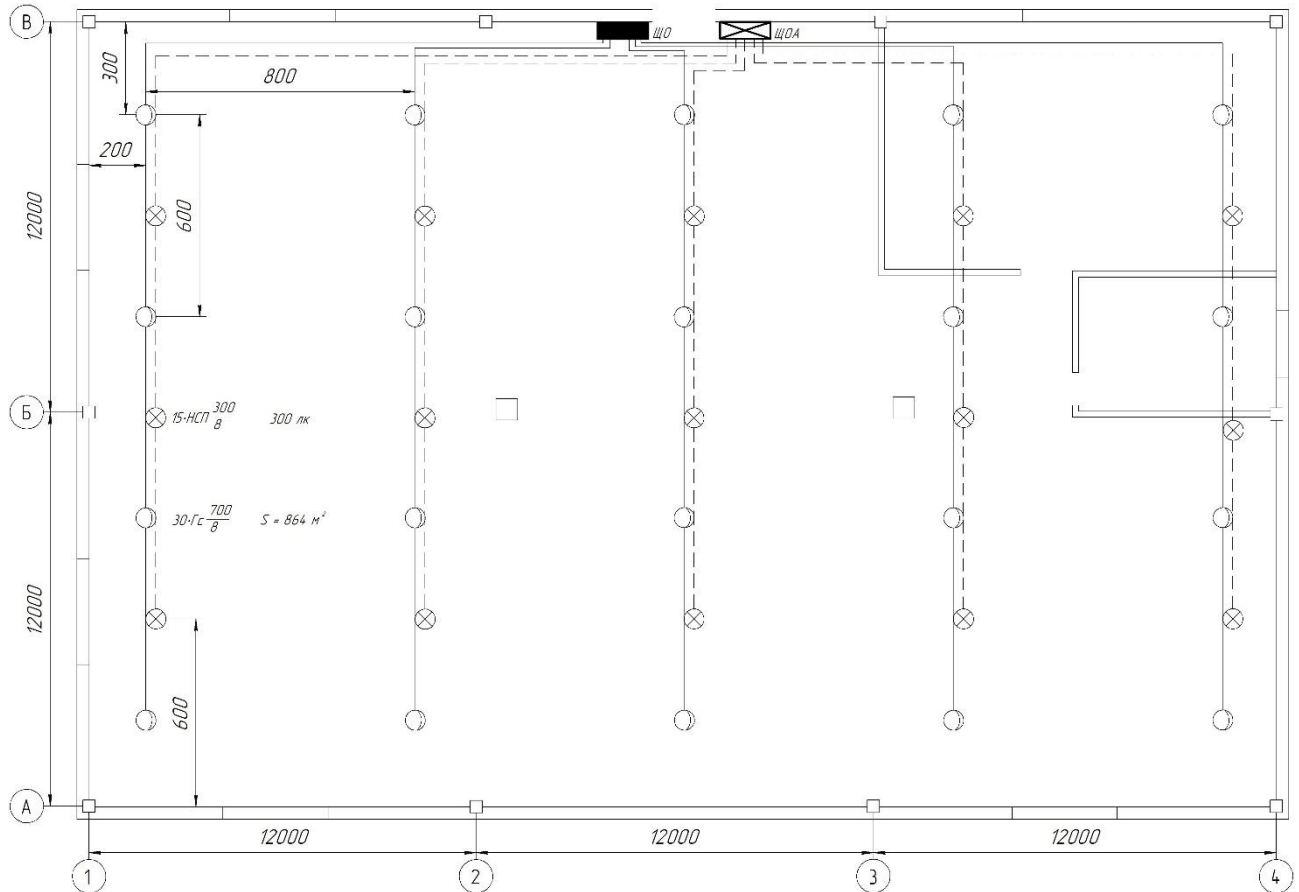


Рисунок 2.6 – Освітлення цеху

Розрахуємо індекс приміщення та світловий потік, лм.

По таблиці 5-1 та 5-4 [12] визначимо $E_n = 300$ лк, $K_{зан} = 1,5$, $a_z = 1,15$; звідки таблиці 4-3 [12] приймаємо $\eta = 0,46$.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 864 \cdot 1,15}{20 \cdot 0,72} = 31050 \text{ лм};$$

Цех освітлюватимуть світлодіодні світильники зі світловим потоком 33000 лм.

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{ном}} - \Phi}{\Phi_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{33000 - 31050}{33000} \cdot 100 = 5,91\%$$

Відмінність +5,91% допустима.

2.3.2 Розрахунок аварійного освітлення

Розрахунок освітленості:

$$E_n = 15 \text{ лк}, K_{зан} = 1,3, a_z = 1,15$$

$$N = 5 \cdot 3 = 15;$$

$$i = \frac{36 \cdot 24}{8 \cdot (36 + 24)} = 1,8;$$

$$\Phi = \frac{15 \cdot 1,3 \cdot 864 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,37} = 3491,03;$$

Приймаємо світлодіодний світильник типу OLEDIM 12040W 58W 1200мм.

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{НОМ} - \Phi}{\Phi_{НОМ}} \cdot 100 = \frac{3700 - 3491,03}{3700} \cdot 100 = 5,65 \%$$

Відхилення світлового потоку становить 4,64%.

2.5 Розрахунок третього рівня електропостачання

Розрахункове максимальне навантаження від електричного освітлення приймається рівною середньою за найбільш завантажену зміну:

$$P_{мо} = P_{см.о} = K_{ПРА} \cdot K_{н.о.} \cdot P_{н.о.},$$

де $K_{н.о.} = 0,8$ – коефіцієнт попиту виробничих будівель;

$P_{н.о.}$ – номінальна потужність освітлювального навантаження;

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі, для ламп ДРЛ $K_{ПРА} = 1,1$ [4].

Визначаємо номінальну потужність робочого освітлення:

$$P_{н.о.} = N \cdot P_l,$$

де N – кількість ламп;

P_l – номінальна потужність лампи.

$$P_{н.о.} = 20 \cdot 700 = 14000 \text{ Вт}$$

$$P_{мо} = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 14000 = 123200 \text{ Вт} = 12,320 \text{ кВт}$$

Підсумки розрахунку зафіксовані у таблицях 2.10-2.12.

Таблиця 2.10 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1 кВ 1-ий варіант

Найменування вузлів живлення та груп електроприймачів	К-сть ЕП	Встановлена потужність		m	K_{ϵ}	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		n_e	K_m	Максимальне розрахункове навантаження			I_m, A
		$P_{ном}$	$P_{ном}$ (заг)					$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВАр			$P_m,$ кВт	$Q_m,$ кВт	$S_m,$ кВА	
СП-1	7	2,254-36,66	48,967	>3	0,21	0,87	0,46	12,288	6,849	3,217	-	55,224	55,224	62,455	94,026
СП-1	7	2,254-36,66	48,967	>3	0,21	0,87	0,46	12,288	6,849	3,217	-	55,224	55,224	62,455	94,026
СП-2	7	8,834-36,66	89,676	<3	0,2	0,89	0,41	18,178	9,273	7	2,1	38,175	10,201	39,413	60,035
СП-3	7	1,676-20,97	58,859	>3	0,17	0,73	0,94	8,423	8,065	5,649	2,9	25,716	8,870	26,249	39,898
СП-5	3	2,856-6,324	17,627	>3	0,19	0,9	0,58	3,330	1,600	-	-	17,627	13,220	22,033	33,577
СП-4	6	0,643-2,924	9,635	>3	0,15	0,71	1,00	1,359	1,359	6,488	2,4	3,372	1,585	3,685	4,497
Разом по СП	30	0,643-36,66	225,743	>3	0,19	0,84	0,62	53,668	27,155	12,262	1,6	69,869	27,155	75,947	113,888
Піч	1	12	12,000	<3	0,6	0,94	0,33	7,200	2,367	1	-	12	9,000	14,000	22,791
<i>Разом</i>	31	0,643 – 36,66	236,743	>3	0,21	0,86	0,48	40,868	29,411	-	-	81,869	36,155	89,593	134,975
Робоче освітлення	20	0,7	15,000	>3	1	0,6	1,33	15,000	18,667	-	-	15	18,667	23,333	34,541
<i>Разом</i>	41	-	240,743	>3	0,26	0,8	0,75	65,868	58,178			94,869	45,811	110,531	167,783

Таблиця 2.11 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1 кВ 2-ий варіант

Найменування вузлів живлення та груп електроприймачів	К-сть ЕП	Встановлена потужність		m	K_{ϵ}	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		n_e	K_M	Максимальне розрахункове навантаження			I_M, A
		$P_{ном}$	$P_{ном}$ (заг)					$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВАр			$P_M,$ кВт	$Q_M,$ кВАр	$S_M,$ кВА	
ШРА - 1	7	2,254-36,66	48,967	>3	0,21	0,873	0,46	12,288	6,849	3,217	-	55,224	55,224	62,455	94,026
ШРА - 2	7	8,834-36,66	89,676	<3	0,2	0,891	0,41	18,178	9,273	7,000	2,1	38,175	10,201	39,413	60,035
ШРА - 3+СП	16	1,676-20,97	76,110	>3	0,17	0,713	0,98	13,202	12,981	7,249	2,4	33,005	15,279	34,961	45,637
<u>Разом по ШРА</u>	30	1,676-36,66	225,743	<3	0,19	0,832	0,667	53,668	29,115	12,262	1,6	69,869	29,115	74,692	114,004
Пекти	1	12	12,000	<3	0,6	0,94	0,33	7,200	2,367	1,000	-	12	9,000	14	22,791
<u>Разом</u>	31	1,676-36,66	236,743	<3	0,21	0,84	0,619	40,868	31,580	12,916	1,7	81,869	38,115	90,306	137,206
Робоче освітлення	20	0,7	15,000	>3	1	0,6	1,33	15,000	18,667	-	-	15	18,667	23,333	34,541
<u>Разом</u>	41	-	240,743	>3	0,26	0,791	0,773	65,868	40,157	-	-	94,869	46,780	111,52	169,288

Таблиця 2.12 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму вище 1 кВ

Найменування вузлів живлення та груп електроприймачів	К-сть ЕП	Встановлена потужність		m	K_v	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		n_e	K_M	Максимальне розрахункове навантаження			I_M, A
		$P_{ном}$	$P_{ном}$ (заг)					$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВАр			$P_M,$ кВт	$Q_M,$ кВт	$S_M,$ кВА	
1	2	3	5	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	16
Корпус виробництва бетонних конструкцій	40		968,256	>3	0,24	0,7	1,02	252,061	256,942			726,185	750,846	1037,506	1476,176
Корпус керамзитобетонних конструкцій	60		935,309	>3	0,24	0,64	1,17	233,477	273,082			700,732	819,256	1078,059	1637,926
Бетонозмішувальний цех	30		567,144	>3	0,24	0,64	1,17	116,79	136,45			340,366	509,623	439,024	818,963
Склад цементу	10		55,011	>3	0,06	0,54	1,98	2,651	4,250			33,008	64,404	73,342	111,557
Склад арматурної сталі	14		70,518	>3	0,06	0,54	1,98	5,224	8,384			42,813	105,809	117,363	178,314
Автоматизований склад із приймальними пристроями	20		260,986	>3	0,6	0,7	1,02	146,492	149,746			194,750	199,695	279,628	525,841
Майданчик для зберігання готової продукції	4		55,011	>3	0,24	0,8	0,74	11,003	11,224			33,008	25,746	51,260	62,689
<i>Разом</i>	190		2789,136	>3	0,27	0,675	1,1	766,888	851,181	163,671	1,1	853,477	851,181	1191,304	1810,000
Освітлення (1)			52,000	>3	1	0,6	1,33	52,000	46,000			52,000	46,000	70,000	106,345
Освітлення (2)			37,000	>3	1	0,6	1,33	37,000	59,333			37,000	59,333	61,667	93,693
Освітлення (3)			2,400	>3	1	0,6	1,33	2,400	3,333			2,400	3,333	5,167	6,331
Освітлення (5)			3,000	>3	1	0,6	1,33	3,000	5,000			3,000	5,000	4,000	7,497
Освітлення (4)			10,000	>3	1	0,6	1,33	10,000	13,333			10,000	13,333	16,667	24,322
Освітлення (6)			10,100	>3	1	0,6	1,33	10,100	13,567			10,100	13,567	16,833	24,476
Освітлення (9)			52,400	>3	1	0,6	1,33	52,400	46,667			52,400	46,667	70,833	107,620
<i>Разом з КТП - 1</i>	190		2936,236	>3	0,31	0,661	1,13	913,987	1037,31	-	-	990,677	1037,315	1535,384	2179,323
КТП – 2															
Блок механічних цехів	31		240,743	>3	0,27	0,803	0,75	67,703	40,285			188,064	139,676	235,260	344,922
Адміністративний корпус	30		285,091	>3	0,64	0,8	0,74	185,649	138,595			213,068	149,801	266,334	505,644

продовження таблиці 2.12

1	2	3	5	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	16
Корпус керамзитових труб №1	40		656,830	>3	0,14	0,8	0,74	97,025	72,768			584,122	363,852	606,503	921,335
Корпус бетонних труб	70		862,539	>3	0,14	0,8	0,74	129,366	97,025			656,830	584,122	808,437	1228,554
Склад керамзиту	4		55,011	>3	0,06	0,54	1,98	2,651	4,250			33,008	64,404	73,342	111,557
Склад готових труб	4		55,011	>3	0,06	0,54	1,98	2,651	4,250			33,008	64,404	73,342	111,557
<i>Разом</i>	191		2132,136	>3	0,23	0,794	0,76	585,035	369,041	127,697	1	585,035	369,041	608,677	925,789
Освітлення (7)			15,000	>3	1	0,6	1,33	15,000	18,667			15,000	18,667	23,333	34,541
Освітлення (8)			53,600	>3	1	0,6	1,33	53,600	48,133			53,600	48,133	72,667	110,506
Освітлення (13)			24,000	>3	1	0,6	1,33	24,000	33,333			24,000	33,333	51,667	63,306
Освітлення (15)			30,400	>3	1	0,6	1,33	30,400	50,667			30,400	50,667	40,833	77,233
Освітлення (14)			4,600	>3	1	0,6	1,33	4,600	7,567			4,600	7,567	9,333	15,181
Освітлення (16)			13,100	>3	1	0,6	1,33	13,100	17,567			13,100	17,567	21,833	33,172
<i>Разом КТП -2</i>	31		2263,936	>3	0,27	0,759	0,884	614,835	455,784			614,835	455,784	822,218	1259,231
Склад металовиробів і труб	4		34,209	>3	0,06	0,54	1,98	2,113	5,192			26,507	42,505	48,682	89,147
Гараж на 24 автомобілів	20		132,035	>3	0,24	0,8	0,74	33,008	25,746			99,024	75,269	123,781	188,066
Парковка автомашин	-		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-
Деревообробний цех	30		132,035	>3	0,16	0,6	1,33	21,124	28,167			99,024	132,035	164,052	240,744
Котельня	30		337,789	>3	0,6	0,7	1,02	202,673	206,768			243,352	248,560	361,917	459,874
Компресорна	14		1046,268	>3	0,64	0,8	0,74	686,475	415,931			792,201	495,141	990,241	1405,431
<i>Разом</i>	100		1693,333	>3	0,46	0,772	0,82	954,595	778,814	19,873	1	954,595	778,814	1225,943	1861,125
Освітлення (10)			15,400	>3	1	0,6	1,33	15,400	19,333			15,400	19,333	25,167	36,717
Освітлення (11)			14,300	>3	1	0,6	1,33	14,300	20,500			14,300	20,500	24,400	38,753
Освітлення (12)			114,100	>3	1	0,6	1,33	114,100	143,567			114,100	143,567	191,835	291,561
Освітлення (17)			22,000	>3	1	0,6	1,33	22,000	29,333			22,000	29,333	36,667	44,709
Освітлення (18)			20,700	>3	1	0,6	1,33	20,700	27,600			20,700	27,600	35,400	42,517
Освітлення (19)			5,000	>3	1	0,6	1,33	5,000	4,333			5,000	4,333	6,667	10,129
<i>Разом КТП -3</i>	84		1885,933	>3	0,6	0,75	0,910	1137,095	1035,28			1137,095	1035,282	1437,114	2334,505
<i>Разом</i>	306		7084,104	>3	0,38	0,715	0,981	2666,916	2616,381	-	-	2753,604	2616,381	3791,140	4760,224

2.5 Вибір типу, числа та потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності

Орієнтовний вибір числа та потужності цехових трансформаторів проводиться за питомою площею σ_H навантаження, $кВА / м^2$, [5]:

$$\sigma_H = \frac{S_p}{F \cdot K_{pm}};$$

де S_p – озрахункова навантаження цеху, $кВА$;

F – площа цеху, $м^2$.

$$K_{pm} = 0,9 \dots 0,9$$

Номінальна потужність трансформаторів $S_{ном.т}$ визначається за розрахунковим навантаженням S_p за найбільш завантажену зміну, $кВА$:

$$S_{ном.т} = \frac{S_p}{N \cdot K_{pm} = 0,9 \dots 0,95};$$

де N – число трансформаторів;

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Вся необхідна реактивна потужність вироблятиметься безпосередньо в цеху. Тому трансформатори вибиратимемо за активною потужністю. Розрахунок будемо проводити для групи цехів. Для всіх груп цехів застосуємо двотрансформаторні підстанції.

Зробимо розрахунок для першої групи цехів.

Питома щільність навантаження становитиме:

$$\sigma_H = \frac{\Sigma P_p}{\Sigma F} = \frac{913,677}{2583 + 2287 + 157 + 180 + 569 + 628 + 2623} = 0,11 \text{ кВА} / \text{м}^2,$$

доцільніше застосувати трансформатор до 1000 $кВА$ включно [5].

Визначимо розрахункову потужність трансформаторів, при цьому коефіцієнт завантаження приймаємо рівним 0,7 [5]:

$$S_{ном.тп} = \frac{913,99}{2 \cdot 0,7} = 652,85 \text{ кВА};$$

звідки вибираємо трансформатор ТМ – 1000/10/0,5.

Перевіримо трансформатор на перевантажувальну здатність:

$$\frac{\Sigma P_P}{S_{НОМ\ TP}} = \frac{913,99}{1000} = 0,914 \leq 1,4 - \text{умова перевірки виконується.}$$

При виборі трансформаторів ГПП максимальну розрахункову потужність помножимо на коефіцієнт різночасності максимумів $K_{рм} = 0,9 \dots 0,95$.

Вибір інших трансформаторів аналогічний. Вибір трансформаторів зведемо до табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Вибір трансформаторів

Під-станція	Тип тр-тора	σ_H , кВА / м ²	$S_{НОМ.ТР}$, кВА	Навант., кВт	Перевант., кВт	S , кВА	$U_{НОМ.НН}$, кВ	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	I_{XX} , %	U_k , %
ЦТП-1	ТМ 1000/10/0,5	0,11	642,84	913,99	1500	1000	10	2,54	12,2	1,5	4,4
ЦТП-2	ТМ 630/10/0,5	0,08	539,88	614,83	882	630	10	1,31	7,6	2	4,4
ЦТП-3	ТМ 1000/10/0,5	0,096	812,21	1137,09	1500	1000	10	2,54	12,2	1,5	4,4
ДПП	ТМН 2400/110/11		1949,72	2606,52	3400	2400	110	6,4	22	1,4	10,4

2.6 Техніко-економічне порівняння варіантів

Метою техніко-економічних розрахунків є визначення оптимального варіанта схеми, параметрів електромережі та її елементів.

Критерієм економічності є мінімум наведених витрат, грн:

$$Z = K_H \cdot K + B;$$

де K_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $K_H = 0,125$;

K – одноразові капітальні вкладення;

B – щорічні витрати, грн.

Щорічні витрати визначаються за такою формулою:

$$B = B_{кл} + B_{e.o.} + B_e;$$

де $B_{кл}$, $B_{e.o.}$ – витрати на поточний ремонт та амортизацію для кабельних ліній та іншого електрообладнання відповідно;

B_e – вартість втрат електричної енергії, грн.

Витрати для кабельних ліній визначаються за такою формулою:

$$B_{кл} = \frac{B_A + B_O + B_P}{100} \cdot K_{кл};$$

де B_A – відрахування на амортизацію;

B_O – відрахування обслуговування;

B_P – відрахування на ремонт.

Для решти електрообладнання формула аналогічна.

Вартість втрат електричної енергії визначається за такою формулою:

$$B_B = \beta \cdot \Delta W_{\Sigma};$$

де $\beta = 7$ – вартість електричної енергії, грн/кВт·год.

Проведемо техніко-економічне порівняння варіантів внутрішньоцехового електропостачання. Зведемо до таблиць 2.15 та 2.14 вартості елементів електричних мереж для першого та другого варіантів відповідно.

Таблиця 2.15 – Вартість внутрішньоцехового електропостачання за першим варіантом.

Найменування	Ціна за шт. або за метр, грн	Кількість прим. або довжина, м	Загальна вартість, грн
Провід			
АПВ-2,4	10	212	2120,00
АПВ-5	14	10	140,00
АПВ-10	35	16	455,00
АПВ-24	85	24	2100,00
Кабелі			
АВВГ 5×10	30	74	2240,00
АВВГ 5×24	70	3	210,00
АВВГ 5×34	87	6	422,00
Силові пункти			
ПР-11-3078-21-013	92680	3	278050,00
ПР-11-3060-21-013	72880	1	72880,00
Вимикачі автоматичні			
A3716 – 100 А	11440	1	11440,00
A3716 – 16...80 А	9960	5	39850,00
Разом кабеля/проводи			235 28,70
Разом з іншого електрообладнання			340 920,00
ВСЬОГО			348 816,00

Таблиця 2.14 – Вартість внутрішньоцехового електропостачання за другим варіантом.

Найменування	Ціна за шт. або за метр, грн	Кількість прим. або довжина, м	Загальна вартість, грн
Провід			
АПВ-2,4	10	160	1600,00
АПВ-5	14	10	140,00
АПВ-10	35	10	350,00
АПВ-24	85	8	672,00
Кабелі			
АВВГ 5×10	30	12	360,00
АВВГ 5×24	70	5	280,00
АВВГ 5×34	87	5	358,00
АВВГ 5×70	164	5	660,00
Шинопроводи			
ШРА-1 ШРА73У3-240			
Секція ввідна У-2030	19049	1	19049,00
Секція пряма У-2020	18917	5	74668,00
Секція з 5-ма відгалуженнями У-2022	22126	2	55242,00
Заглушка торцева У-2028	501	1	501,00
ШРА-2 ШРА73У3-240			
Секція ввідна У-2030	19049	1	19049,00
Секція пряма У-2020	18917	2	37835,00
Секція з 5-ма відгалуженнями У-2022	22126	11	253386,00
Заглушка торцева У-2028	501	1	501,00
ШРА-3 ШРА73У3-240			
Секція ввідна У-2030	19049	1	19049,00
Секція пряма У-2020	18917	3	46741,00
Секція з 5-ма відгалуженнями У-2022	22126	15	309765,00
Заглушка торцева У-2028	501	1	501,00
Вимикачі автоматичні			
A3716 – 160 А	23100,00	23100,00	23100,00
A3716 – 16...80 А	9960,00	9960,00	9960,00
Разом кабеля/проводи			5510,00
Разом з іншого електрообладнання			849094,00
ВСЬОГО			863 404,00

Перший варіант.

Визначимо сумарні втрати потужності, кВт :

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{TP} + \Delta P_{KL} + \Delta P_{IP} = 10 + 0,906 + 0,9 = 11,806.$$

Визначимо сумарні втрати енергії, $\text{кВт} \cdot \text{год}$:

$$\Delta W = \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 11,806 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 28396,72.$$

Витрати на втрати електричної енергії, грн:

$$B_g = 7 \cdot 28396,72 = 198777,04.$$

Щорічні витрати, грн:

$$B = \frac{5 + 0,3 + 2}{100} \cdot 2309,77 + \frac{3,5 + 2,9 + 3}{100} \cdot 40231 + 5679,344 = 9629,67.$$

Мінімум приведених витрат, грн:

$$Z = 0,125 \cdot 358816 + 9629,67 = 54481,67.$$

Другий варіант.

Визначимо сумарні втрати потужності, kWt :

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{TP} + \Delta P_{KL\ ma\ III} + \Delta P_{IP} = 10 + 0,353 + 0,51 = 10,857.$$

Визначимо сумарні втрати енергії, kWh -год:

$$\Delta W = \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 10,8573 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 26116,27$$

Витрати на втрати електричної енергії, грн:

$$B_g = 7 \cdot 26116,27 = 182813,89.$$

Щорічні витрати, грн:

$$B = \frac{5 + 0,3 + 2}{100} \cdot 1287,33 + \frac{3,5 + 2,9 + 3}{100} \cdot 94074,56 + 5223,25 = 14\ 160,24.$$

Мінімум наведених витрат, грн:

$$Z = 0,125 \cdot 863505 + 14160,24 = 122098,37$$

Визначимо різницю, %:

$$\Delta B = \frac{122098 - 54481,67}{122,098} \cdot 100\% = 55,38.$$

За результатами розрахунків можна дійти невтішного висновку, перший варіант схеми мережі (із застосуванням кабелів) економічніший, ніж другий, йому віддамо перевагу.

Проведемо техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання цехів підприємства. Зведемо до таблиць 2.16 та 2.17 вартості елементів електричних мереж для першого та другого варіантів відповідно.

Таблиця 2.16 – Вартість електропостачання цехів за першим варіантом

Найменування	Ціна за за км, грн	Довжина, км	Загальна вартість, грн
ВВГ 5×140 5 шт.	616000	0,044	134661.93
ВВГ 5×140 5шт.	616000	0,004	12320.00
ВВГ 5×94 2 шт.	510440	0,035	27820.18
АВВГ 5×16 2 шт.	22900	0,032	2909.48
АВВГ 5×40 2 шт.	62200	0,076	18966.92
АВВГ 5×70 2 шт.	86730	0,026	9182.97
АВВГ 5×70 2 шт.	86730	0,097	33793.35
АВВГ 5×120 2 шт.	147030	0,083	41875.17
АВВГ 5×40 2шт.	62200	0,089	22128.07
АВВГ 5×40 2 шт.	62200	0,182	54309.86
АВВГ 5×94 2 шт.	136070	0,106	47628.37
АВВГ 5×120 2 шт.	147030	0,021	13301.07
ВВГ 5×184 2 шт.	719000	0,044	148354.66
ВВГ 5×140 5 шт.	616000	0,004	12320.00
АВВГ 5×16 2 шт.	22900	0,019	872.87
АВВГ 5×24 2 шт.	35190	0,059	3330.53
АВВГ 5×94 2 шт.	136070	0,136	36882.14
АВВГ 5×120 2 шт.	147030	0,052	13301.07
ВВГ 5×184 2 шт.	719000	0,052	60902.18
ААБл 3×40 2 шт.	146850	0,047	17935.72
ААБл 3×40 2 шт.	146850	0,094	29891.19
ААБл 3×40 2 шт.	146850	0,091	28462.70
АС 70×11 6шт.	70880	0,216	91848.55
Разом кабелі			884 097.88

Таблиця 2.17 – Вартість електропостачання цехів за другим варіантом

Найменування	Ціна за за км, грн	Довжина, км	Загальна вартість, грн
1	2	3	5
ВВГ 5×140 5шт.	616000	0,004	12320,00
ВВГ 5×140 5шт.	616000	0,028	67830,96
ВВГ 5×94 2шт.	510440	0,017	13910,09
АВВГ 5×16 2шт.	22900	0,023	1066,84
АВВГ 5×40 2шт.	62200	0,091	11327,57
АВВГ 5×70 2шт.	86730	0,066	11386,89
АВВГ 5×70 2шт.	86730	0,089	14527,39
АВВГ 5×120 2шт.	147030	0,065	19941,60
АВВГ 5×40 2шт.	62200	0,061	7639,54

продовження таблиці 2.17

1	2	3	5
АВВГ 5×40 2шт.	62200	0,140	18703,59
АВВГ 5×94 2шт.	136070	0,131	34729,49
АВВГ 5×120 2шт.	147030	0,004	1470,30
ВВГ 5×184 2шт.	719000	0,035	58721,75
ВВГ 5×140 5шт.	616000	0,004	12320,00
АВВГ 5×16 2шт.	22900	0,038	1754,74
АВВГ 5×24 2шт.	35190	0,049	5045,55
АВВГ 5×94 2шт.	136070	0,127	35477,02
АВВГ 5×120 2шт.	147030	0,070	21956,76
ВВГ 5×184 2шт.	719000	0,035	58721,75
ААБл 3×40 2шт.	146850	0,155	54168,92
ААБл 3×40 2шт.	146850	0,301	95323,33
ААБл 3×40 2шт.	146850	0,256	77042,86
АС 70×11 6шт.	-	-	-
Разом кабелі			604 596,65

Перший варіант.

Визначимо сумарні втрати потужності, кВт:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{кл}} + \Delta P_{\text{тр}} = 19,635 + 26,25 = 45,883.$$

Визначимо сумарні втрати енергії, кВт·год:

$$\Delta W = \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = 45,883 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 110362.$$

Витрати на втрати електричної енергії, грн:

$$B_{\text{e}} = 7 \cdot 110362 = 772534.$$

Щорічні витрати, грн:

$$B = \frac{5 + 0,3 + 2}{100} \cdot 885097,88 + 772534 = 1657631,88.$$

Мінімум приведених витрат, грн:

$$3 = 0,125 \cdot 885097,88 + 1657631,88 = 1768269,12.$$

Другий варіант.

Визначимо сумарні втрати потужності, кВт:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{кл}} + \Delta P_{\text{тр}} = 18,653 + 26,25 = 44,902.$$

Визначимо сумарні втрати енергії, кВт·год:

$$\Delta W = \Delta P \Sigma \cdot \tau = 44,902 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 108001,21.$$

Витрати на втрати електричної енергії, грн:

$$B_g = 7 \cdot 108001,21 = 756008,47.$$

Щорічні витрати, грн:

$$B = \frac{5 + 0,3 + 2}{100} \cdot 605496,64 + 756008,47 = 1184570,38.$$

Мінімум приведених витрат, грн:

$$Z = 0,125 \cdot 605496,64 + 1184570,38 = 1260257,46.$$

Визначимо різницю, %:

$$\Delta Z = \frac{1768269,12 - 1260257,46}{1768269,12} \cdot 100\% = 28,73.$$

2.7 Висновки до розділу 2

В даному розділі здійснено розрахунки трьох рівнів електропостачання підприємства. Проведено визначення центру електричних навантажень та вибір місця розташування цехових трансформаторних підстанцій. Спроековано схему внутрішньоцехового електропостачання. Представлено світлотехнічний розрахунок електричного освітлення. Вибрано тип, число та потужність силових трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності.

У розрахунку було розглянуто два варіанти електропостачання для цеху та два варіанти для всього підприємства, з яких у кожному випадку було обрано найбільш підходящий та вигідний варіант, з урахуванням усіх технічних та економічних особливостей цього підприємства.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Вибір перерізів проводів та кабельних ліній

Переріз проводів і жил кабелів цехової мережі вибираємо по нагріванню тривалим розрахунковим струмом:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p,$$

де $I_{\text{доп}}$ – тривало допустимий струм провідника;

I_p – розрахунковий струм кабелю.

Розрахунковий струм обчислюємо за такою формулою:

$$I_p = \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi},$$

де P_m – максимальне розрахункове навантаження, визначене на II рівні;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності електроприймача.

Виберемо перерізи кабелів силових пунктів (СП), що живлять, шинопроводи і ВРП цехів, а також перерізу самих шинопроводів.

Таблиця 3.1 – Вибір перерізів жил кабелів силових пунктів. Варіант 1

СП	$I_m,$ A	$F,$ мм^2	$L,$ км	$r,$ Ом/км	$r,$ Ом/км	Марка кабелю
Кабель до СП1	83.78	35	0.005	0.89	0.065	АВВГ 4×35
Кабель до СП2	66.51	25	0.003	1.25	0.067	АВВГ 4×25
Кабель до СП3	30.13	10	0.017	3.13	0.069	АВВГ 4×10
Кабель до СП4	35.76	10	0.028	3.13	0.068	АВВГ 4×10
Кабель до СП5	5.165	10	0.030	3.13	0.069	АВВГ 4×10

Таблиця 3.2 – Вибір перерізів жил кабелів силових пунктів. Варіант 2

СП	$I_m,$ A	$F,$ мм^2	$L,$ км	$r,$ Ом/км	$r,$ Ом/км	Марка кабелю
ШРА 1	83.78	175	0.01	0.21	0.21	–
ШРА 2	66.51	175	0.02	0.21	0.21	–
ШРА 3	175.0	175	0.02	0.21	0.21	–
Кабель до СП1	6.3	10	0.01	3.13	0.068	АВВГ 4×10
Кабель до ШРА1	83.8	35	0.005	0.89	0.065	АВВГ 4×35
Кабель до ШРА2	66.5	25	0.005	1.25	0.066	АВВГ 4×25
Кабель до ШРА3	175.0	70	0.005	0.45	0.064	АВВГ 4×70

Таблиця 3.3 – Вибір перерізів жил кабелів цехових ТП. Варіант 1

Найменування цеху/ТП	$I_m,$ A	$F,$ $мм^2$	$L,$ $км$	$r,$ $Ом/км$	$r,$ $Ом/км$	Марка кабелю
Кабель до цеху 1	291.78	150	0.0551	0.126	0.07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 2	280.22	150	0.005	0.126	0.07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 3	268.06	95	0.0339	0.199	0.07	ВВГ 4Х95
Кабель до цеху 4	27.35	16	0.0318	1.953	0.07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 5	47.72	50	0.0762	0.625	0.07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 6	156.37	70	0.0265	0.446	0.07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 7	153.50	70	0.0974	0.446	0.07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 8	194.98	120	0.0826	0.260	0.07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 9	57.36	50	0.0889	0.625	0.07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 10	31.08	50	0.1821	0.625	0.07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 11	86.85	95	0.1059	0.329	0.07	АВВГ 4Х95
Кабель до автостоянки	174.88	120	0.0212	0.260	0.07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 13	387.53	185	0.0551	0.102	0.07	ВВГ 4Х185
Кабель до цеху 14	257.27	150	0.005	0.126	0.07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 15	29.33	16	0.0191	1.953	0.07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 16	35.03	25	0.0487	1.250	0.07	АВВГ 4Х25
Кабель до цеху 17	91.94	95	0.1355	0.329	0.07	АВВГ 4Х95
Кабель до цеху 18	208.18	120	0.0424	0.260	0.07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 19	302.43	185	0.0424	0.102	0.07	ВВГ 4Х185

Таблиця 3.4 – Вибір перерізів жил кабелів цехових ТП. Варіант 1

Найменування цеху/ТП	$I_m,$ A	$F,$ $мм^2$	$L,$ $км$	$r,$ $Ом/км$	$r,$ $Ом/км$	Марка кабелю
Кабель до цеху 1	291.78	150	0.005	0.126	0.07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 2	280.22	150	0.028	0.126	0.07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 3	268.06	95	0.017	0.199	0.07	ВВГ 4Х95
Кабель до цеху 4	27.35	16	0.023	1.953	0.07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 5	47.72	50	0.091	0.625	0.07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 6	156.37	70	0.066	0.446	0.07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 7	153.50	70	0.089	0.446	0.07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 8	194.98	120	0.064	0.260	0.07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 9	57.36	50	0.061	0.625	0.07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 10	31.08	50	0.150	0.625	0.07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 11	86.85	95	0.131	0.329	0.07	АВВГ 4Х95
Кабель до автостоянки	174.88	120	0.005	0.260	0.07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 13	387.53	185	0.034	0.102	0.07	ВВГ 4Х185
Кабель до цеху 14	257.27	150	0.005	0.126	0.07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 15	29.33	16	0.038	1.953	0.07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 16	35.03	25	0.059	1.250	0.07	АВВГ 4Х25
Кабель до цеху 17	91.94	95	0.127	0.329	0.07	АВВГ 4Х95
Кабель до цеху 18	208.18	120	0.070	0.260	0.07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 19	302.43	185	0.034	0.102	0.07	ВВГ 4Х185

3.2 Вибір розподільчих пунктів та шинопроводів

Для першого варіанта схеми електропостачання, виберемо силові пункти. Результати зведемо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вибір силових пунктів

Позн.	Марка	$I_p,$ A	$I_H,$ A	Необхідна кількість приєднань	Номінальна кількість приєднань
СП-1	ПР11 3077 – 21 – 043	83.78	До 250	7	10
СП-2	ПР11 3077 – 21 – 043	66.51	До 250	7	10
СП-3	ПР11 3077 – 21 – 043	30.13	До 250	7	10
СП-4	ПР11 3077 – 21 – 043	35.73	До 250	4	6
СП-5	ПР11 3077 – 21 – 043	5.16	До 250	6	8

Розподільні шинопроводи типу ШРА вибирають за розрахунковим струмом I_p (II рівень) із умови

$$I_p \leq I_{ном},$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм шинопроводу.

Результати зведемо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вибір шинопроводів

Позначення	Марка	$I_p,$ A	$I_H,$ A
ШРА-1	ШРА4 – 100 – 44 – 1У3	83,77	100
ШРА-2	ШРА4 – 100 – 44 – 1У3	66,51	100
ШРА-3	ШРА4 – 100 – 44 – 1У3	126,85	250

3.3 Вибір комутаційно-захисних апаратів

Перший варіант схеми розподільної мережі 0,4 кВ виконаний силових пунктах. Для захисту приєднань у ящиках повинні встановлюватись запобіжники або автоматичні вимикачі. Так як дане виробництво має низький ступінь пожежо- та вибухонебезпечності, а також з економічної точки зору захист приєднань, що відходять, виконаємо на автоматичних вимикачах.

Другий варіант схеми мережі 0,4 кВ виконаний з використанням шинопроводів. Електроприймачі до шинопроводів типу ШРА підключаються

через запобіжники або автоматичні вимикачі, які встановлюються у відгалужувальних коробках шинопроводу. З міркувань, описаних вище, вибираємо як захисні пристрої електроприймачів автоматичні вимикачі.

Основними характеристиками автоматичних вимикачів є номінальний струм вимикача $I_{ном,а}$, номінальний струм розчіплювача $I_{ном,рас}$.

Вибір вимикачів виконуємо за умовами:

$$U_{ном,пр} \geq U_c;$$

$$I_{ном,рас} \geq I_{р,мах},$$

де U_c – номінальна напруга мережі;

$I_{р,мах}$ – максимальний робочий струм, розрахований на рівні II (таблиця 3.4.1).

Як струм уставки приймаємо найближче з ряду номінальних струмів розчіплювача.

Підсумки вибору вимикачів за першим варіантом у табл. 3.7

Таблиця 3.7 – Вибір вимикачів для струмоприймачів

Розташування вимикача на відгалуженні:	Тип захисного апарату	$I_{р,мах}, A$	$I_{ном,а}, A$	$I_{ном,розч}, A$	$I_{відкл, ном} кА$
1	2	3	4	5	6
ЕП-1	АЕ2030	11.08	25	12.5	3
ЕП-2	ППН 33-100	19.19	100	100	3
ЕП-3	АЕ2030 – 12.5	11.08	25	12.5	3
ЕП-4	АЕ2030 - 8	6.49	25	8	3
ЕП-5	АЕ2030 – 3.2	2.44	25	3.2	3
ЕП-6	АЕ2030 - 6	5.77	25	6	3
ЕП-7	АЕ2030 - 6	5.77	25	6	3
ЕП-8	АЕ2030 – 16	12.6	25	16	3
ЕП-9	АЕ2030 – 10	8.32	25	10	3
ЕП-10	АЕ2030 – 16	14.4	25	16	3
ЕП-11	АЕ2040 – 40	33.26	63	40	6
ЕП-12	АЕ2040 – 80	62.7	63	80	6
ЕП-13	АЕ2030 – 3.2	4.08	25	3.2	3
ЕП-14	АЕ2030 – 16	14.29	25	16	3
ЕП-15	АЕ2030 – 3.2	4.08	25	3.2	3
ЕП-16	АЕ2030 – 16	14.53	25	16	3
ЕП-17	АЕ2030 – 16	14.53	25	16	3
ЕП-18	АЕ2030 – 16	14.53	25	16	3

продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6
ЕП-19	АЕ2030 – 16	14.53	25	16	3
ЕП-20	АЕ2030 - 6	14.53	25	6	3
ЕП-21	АЕ2030 - 6	3.60	25	6	3
ЕП-22	АЕ2030 - 6	4.98	25	6	3
ЕП-23	АЕ2030 – 16	4.98	25	16	3
ЕП-24	АЕ2030 – 16	14.53	25	16	3
ЕП-25	АЕ2040 – 80	14.53	63	80	6
ЕП-26	АЕ2030 - 5	62.70	25	5	3
ЕП-27	АЕ2030 - 8	3.60	25	8	3
ЕП-28	АЕ2030 – 3.2	5.76	25	3.2	3
ЕП-29	АЕ2030 - 2	4.32	25	2	3
ЕП-30	АЕ2030 – 3.2	0.86	25	3.2	3
ЕП-31	АЕ2030 – 3,2	4,32	25	3,2	3

Таблиця 3.8 – Вибір вимикачів для силових пунктів

Розташування вимикача на відгалуженні	Тип захисного апарату	$I_{p, max}, A$	$I_{ном, розч.}, A$	$I_{ном, а}, A$	$I_{відкл. ном} kA$
До СП-1	А-3716	83.77	100	160	75
До СП-2	А-3716	66.50	80	160	75
До СП-3	А-3716	30.13	40	160	75
До СП-4	А-3716	13.07	50	160	75
До СП-5	А-3716	5.16	16	160	75
ДО ШРА-1	А-3716	83.77	100	160	75
До ШРА-2	А-3716	66.50	80	160	75
До ШРА-3	А-3716	126.8 5	160	160	75

3.4 Вибір обладнання на боці ВН

3.4.1 Визначення втрат потужності та напруги у трансформаторах

Втрату активної потужності у трансформаторах визначимо за формулою:

$$\Delta P = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot P_K \cdot \frac{S^2}{S_{ном.т}^2};$$

де n – число трансформаторів;

P_{xx} та P_K – потужності холостого ходу та короткого замикання трансформаторів, $кВт$;

$S_{ном.т}$ – номінальна потужність трансформаторів, $кВА$.

Втрату напруги в трансформаторах визначимо за формулою, %:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_p \cdot \cos \varphi - U_a \cdot \sin \varphi);$$

$$U_a = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{ном.т}};$$

$$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}.$$

Перший варіант.

Для трансформатора ТМ-1000/10/04. Проведемо розрахунок втрат напруги: $S = 1000 \text{ кВА}$; $\cos \varphi = 0,661$; $\sin \varphi = 0,75$.

$$U_a = \frac{12200}{10 \cdot 1000} = 1,22 \text{ \%};$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36\%;$$

$$\Delta U_{T1} = \frac{913,99}{2000} \cdot (1,22 \cdot 0,661 + 5,36 \cdot 0,75) +$$

$$\left(\frac{913,99}{2000} \right)^2 \cdot \frac{1}{200} \cdot (5,36 \cdot 0,661 - 1,22 \cdot 0,75) = 2,21\%;$$

$$\Delta P = 2 \cdot 2,45 + \frac{1}{2} \cdot 12,2 \cdot \frac{913,99^2}{1000^2} = 9,99 \text{ кВт}.$$

Для решти трансформаторів розрахунок аналогічний.

Розрахунок втрат в усіх трансформаторах зведемо в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Втрати в трансформаторах.

ТП	Тип тр-ра	P_p , кВт	S_H , кВА	U , кВ	ΔP_x , кВт	ΔP_K , кВт	I_{xx} , %	U_K , %	ΔP , кВт кВт	$U_{a \text{ КЗ}}$, %	$U_{p \text{ КЗ}}$, %	ΔU , %
ЦТП-1	ТМ-1000/10/0,4	913.99	1000	10	2.45	12.2	1.4	5.5	10.00	1.22	5.36	2.21
ЦТП-2	ТМ-630/10/0,4	615.84	630	10	1.31	7.6	2	5.5	6.25	1.21	5.37	2.18
ЦТП-3	ТМ-1000/10/0,4	1137.09	1000	10	2.45	12.2	1.4	5.5	12.79	1.22	5.36	2.57
ГПП	ТМН-2500/110/11	2743.60	2500	110	6.5	22	1.5	10.5	26.25	0.88	10.46	4.38

3.4.2 Розрахунок кабельних та повітряних ліній

Визначимо втрати напруги у кабелі:

$$\begin{aligned}\Delta U_{кл} &= \sqrt{3} \cdot I_{кл1} \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cdot \cos \varphi + x_{y\partial} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 30,1 \cdot 0,144 \cdot (0,625 \cdot 0,661 + 0,08 \cdot 0,75) = 3,55 \text{ В}\end{aligned}$$

Визначимо втрати потужності в кабелі:

$$\Delta P_{кл} = 3 \cdot I_{кл}^2 \cdot l \cdot r_{y\partial} = 3 \cdot 30,1^2 \cdot 0,144 \cdot 0,625 = 244,7 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q_{кл} = 3 \cdot I_{кл}^2 \cdot l \cdot x_{y\partial} = 3 \cdot 30,1^2 \cdot 0,144 \cdot 0,08 = 31,32 \text{ Вар}.$$

Вибір перерізів та втрати потужності двох варіантів зведемо до табл. 3.10

Таблиця 3.10 – Вибір перерізів та втрати потужності кабельних та повітряних ліній

Найменування цеху/ТП	$I_m,$ А	$F,$ мм ²	$L,$ км	$r,$ Ом/км	$x_{нит},$ Ом/км	$\cos \varphi$	Втрати напруги	Втрати активної потужності, Вт	Втрати реактивної потужності Вар
Варіант 1									
Кабель до КТП–1	30.10	50	0.057	0.625	0.08	0.66	1.41	97.15	12.44
Кабель до КТП–2	18.71	50	0.095	0.625	0.08	0.75	1.61	62.57	8.009
Кабель до КТП–3	44.37	50	0.091	0.625	0.08	0.74	3.61	336.2	43.03
Провід ЛЕП	7.58	70	0.216	0.420	0.441	0.71	1.73	15.63	16.41
Варіант 2									
Кабель до КТП–1	30.10	50	0.144	0.625	0.08	0.66	3.55	244.7	31.32
Кабель до КТП–2	18.71	50	0.301	0.625	0.08	0.75	5.08	197.4	25.27
Кабель до КТП–3	44.37	50	0.246	0.625	0.08	0.74	9.74	906.8	116.1
Провід ЛЕП	7.58	70	5.500	0.420	0.441	0.71	43.94	398.1	418

3.4.3 Вибір вимикачів на стороні 10-110 кВ

Для ЦТП – 1

$I_p = 30,1 \text{ А}$. З урахуванням навантаження $2I_p = 2 \times 30,1 = 60,2 \text{ А}$ вибираємо вимикач навантаження $BHP - 10 / 400 - 10 \text{ зУЗ}$.

Його основні характеристики:

- номінальний струм, 400 А
- струм відключення, 800 А
- номінальна напруга, 10 кВ

Вибір всіх вимикачів зведемо до табл. 3.11

Таблиця 3.11 – Вибір вимикачів

Позиційне позначення	Найменування	Іроб, А	Іном, А	Івимк, А	Уном, кВ
ЦТП-1	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	60,2	400	800	10
	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	60,2	400	800	10
ЦТП-2	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	37,4	400	800	10
	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	37,4	400	800	10
ЦТП-3	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	88,8	400	800	10
	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	88,8	400	800	10
ДПП	ВВТЕ-М-10-20/630У2(в/в)	186,4	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2(в/в)	186,4	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2(в/с)	93,2	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2 (в/відх.л)	60,2	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2 (в/відх.л)	60,2	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2 (в/відх.л)	37,4	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2 (в/відх.л)	37,4	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2 (в/відх.л)	88,8	630	10000	10
	ВВТЕ-М-10-20/630У2 (в/відх.л)	88,8	630	10000	10
ЛЕП	МКП-110Б-630-20У1	15,2	630	20000	110
	МКП-110Б-630-20У1	15,2	630	20000	110

3.5 Розрахунок компенсації реактивної потужності в цеховій мережі

Рівняння балансу реактивної потужності записується як:

$$Q_{дж} + Q_{кв} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{рез}$$

де $Q_{дж}$ – потужність джерела живлення,

$Q_{кв}$ – потужність компенсуючих пристроїв,

$Q_{\Sigma H}$ – реактивна потужність навантаження,

ΔQ_{Σ} – сумарні втрати реактивної потужності по цеху,

$Q_{рез}$ – потужність резерву, становить 6 % від потужності джерела.

Так як усю потужність навантаження компенсуємо безпосередньо в цехах, у розрахунках прийmemo $Q_{\Sigma H} = 0$.

$$Q_{дж} = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

де P_H – активна потужність навантаження,

$\operatorname{tg} \varphi$ – задається енергосистемою.

$$Q_{дж} = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2606,42 \cdot 0,29 = 755,86 \text{ кВАр} .$$

$$Q_{рез} = 0,06 \cdot 755,86 = 45,35 \text{ кВАр}$$

ΔQ_{Σ} – сумарні втрати у мережі підприємства.

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_{кл} + \Delta Q_{ТР}$$

де $\Delta Q_{кл}$ – втрати потужності в кабельних лініях, що з'єднують ГПП із ЦТП та ЦТП із ВРП цеху.

$\Delta Q_{ТР}$ – втрати реактивної потужності в трансформаторі.

Розрахуємо втрати по всьому підприємству та зведемо їх до табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Втрати в кабельних лініях підприємства

Найменування цеху/ТП	Кількість кабелів	Втрати Q_2 , ВАр	Повні втрати Q ВАр
Кабель до цеху 1	4	89.39	357.58
Кабель до цеху 2	4	453.9	1815.7
Кабель до цеху 3	2	255.6	511.27
Кабель до цеху 4	2	3.66	7.3206
Кабель до цеху 5	2	43.54	87.08
Кабель до цеху 6	2	337.1	674.16
Кабель до цеху 7	2	440.1	880.19
Кабель до цеху 8	2	507.2	1014.4
Кабель до цеху 9	2	42.43	84.866
Кабель до цеху 10	2	30.49	60.981
Кабель до цеху 11	2	208	415.93
Кабель до автостоянки	1	32.11	32.111
Кабель до цеху 13	2	1069	2137
Кабель до цеху 14	4	69.5	278
Кабель до цеху	2	6.886	13.771
Кабель до цеху	2	15.28	30.554
Кабель до цеху	2	225.5	451.07
Кабель до цеху	2	636	1272
Кабель до цеху	4	650.8	2603
Кабель до КТП–1	2	31.32	62.637
Кабель до КТП–2	2	25.27	50.544
Кабель до КТП–3	2	116.1	232.15
Сумарні втрати Q, ВАр		13072	

Для ЦТП–1 трансформатор 3:

$$\Delta Q_{TP} = n \cdot \frac{I_{XX}}{100} S_{НОМ} + \frac{1}{n} \cdot \frac{u_K}{100} \cdot \frac{(S_H)^2}{S_{НОМ}};$$

$$\Delta Q_{TP} = 2 \cdot \frac{1,4}{100} 1000 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(913,99)^2}{1000} = 50,972 \text{ кВАр}$$

Розрахунок втрат для всіх трансформаторів зведемо до табл. 3.13

Таблиця 3.13 – Втрати в трансформаторах

Найменування ТП	Навантаження, кВт	Номинальна потужність тр- ра S, кВА	$U_{НОМ.ВН}$, кВ	I_{XX} , %	U_K , %	Втрати активної потужності у трансформаторі P, кВт	ΔQ , кВАр
ЦТП-1	913.99	1000	10	1.4	5.5	10.00	50.97
ЦТП-2	615.83	630	10	2	5.5	6.25	41.75
ЦТП-3	1137.09	1000	10	1.4	5.5	12.79	63.56
ГПП	2743.60	2500	110	1.5	10.5	26.25	233.07
Сумарні втрати Q, кВАр							389.36

$$\Delta Q_{\Sigma} = 13,072 + 389,36 = 402,43 \text{ кВАр}$$

Втрати реактивної потужності в кабелях, що живлять окремі електроприймачі, не враховуються, оскільки дуже малі і не помітно впливають на сумарні втрати.

$$Q_{KV} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{рез} - Q_{ДЖ} = 0 + 402,43 + 45,35 - 755,86 = -308,078 \text{ кВАр}.$$

Оскільки потужність компенсуючих пристроїв вийшла негативна, то встановлення компенсуючих пристроїв у розподільчій мережі 10 кВ не потрібно.

Користуючись даними про навантаження підприємства оберемо тип та кількість ККУ.

Таблиця 3.14 – Вибір компенсувальних пристроїв

№	Найменування вузлів харчування та груп цехів	Qм, кВар	Типовиконання КУ	Кількість батареї	Сумарна номінальна потужність, кВар
I	ЦТП-1				
	Корпус виробництва бетонних конструкцій	740,856	УКБ (П) Н-0,38-432-108УЗ	2	864
	Корпус керамзитобетонних конструкцій	819,246	УКБ (П) Н-0,38-432-108УЗ	2	864
	Бетоно-змішувальний цех	409,623	УКБ (П) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Склад цементу	65,505	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Склад арматурної сталі	104,809	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Автоматизований склад із приймальними пристроями	199,694	УКН-0,38-108УЗ	2	216
	Майданчик для зберігання готової продукції	24,756	УКН-0,38-75УЗ	1	75
II	ЦТП – 2				
	Блок механічних цехів	139,676	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Адміністративний корпус	159,801	УКБ (П) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Корпус керамзитових труб №1	363,842	УКБ (П) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Корпус бетонних труб	485,122	УКБ (П) Н-0,38-300-150УЗ	2	600
	Склад керамзиту	65,505	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Склад готових труб	65,505	УКН-0,38-75УЗ	2	150
III	ЦТП – 3				
	Склад металовиробів і труб	52,404	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Гараж на 25 автомобілів	74,269	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Парковка автомашин	-	-	-	-
	Деревообробний цех	132,034	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Котельня	258,460	УКН-0,38-150УЗ	2	300
	Компресорна	594,151	УКБ (П) Н-0,38-300-150УЗ	2	600

3.6 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка основного обладнання мережі

3.6.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів КЗ високої сторони (110-10 кВ).

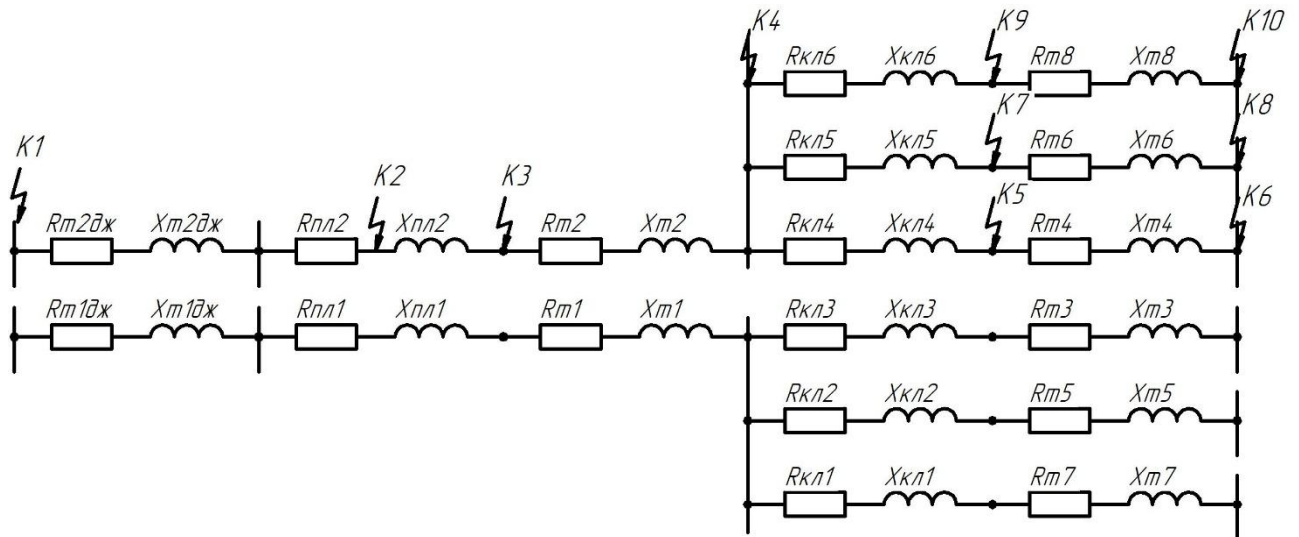


Рисунок 3.1 – Спрощена схема для розрахунку струмів КЗ високої сторони

Розрахунок будемо вести в іменованих одиницях. Розрахуємо опір елементів системи електропостачання.

Опір трансформатора, Ом:

$$r_{T1-2} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{S_{ном}^2} = \frac{170 \cdot 115^2}{40000^2} = 1,405;$$

$$x_{T1-2} = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_H} \right)^2} \cdot \frac{U_H^2}{100 \cdot S_H} = \sqrt{10,5^2 - \left(\frac{170}{10 \cdot 40000} \right)^2} \cdot \frac{115^2}{100 \cdot 40000} = 34,715;$$

Опір ЛЕП, Ом:

$$K_{уд} = 1,89 \cdot r_{ПЛ1-2} = r_{уд} \cdot l = 0,42 \cdot 5,5 = 2,31;$$

$$x_{ПЛ1-2} = x_{уд} \cdot l = 0,441 \cdot 5,5 = 2,42;$$

Опір у точці К1:

$$r_{PE3} = \frac{r_{T1} \cdot (r_{T2} + r_{ПЛ1} + r_{ПЛ2})}{r_{T1} + r_{T2} + r_{ПЛ1} + r_{ПЛ2}} = \frac{1,405 \cdot (1,405 + 2,31 + 2,31)}{1,405 + 1,405 + 2,31 + 2,31} = 1,14;$$

$$x_{PE3} = \frac{x_{T1} \cdot (x_{T2} + x_{ПЛ1} + x_{ПЛ2})}{x_{T1} + x_{T2} + x_{ПЛ1} + x_{ПЛ2}} = \frac{34,715 \cdot (34,715 + 2,42 + 2,42)}{34,715 + 34,715 + 2,42 + 2,42} = 18,49;$$

Струм КЗ у точці К1, А:

$$I_{K3} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{PE3}^2 + x_{PE3}^2}} = \frac{115000}{1,73 \cdot \sqrt{1,14^2 + 18,49^2}} = 3588;$$

Розрахуємо ударні струми в точках КЗ, А:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{K3},$$

де $K_{y\delta}$ – ударний коефіцієнт, визначається за графіком [5].

$$K_{y\delta} = 1,89 \cdot i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 1,89 \cdot 3588 = 9590$$

Розрахунок опорів всіх елементів системи електропостачання та точок КЗ зведемо до таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Розрахунок струмів КЗ на стороні 110-10 кВ

Точка КЗ	Найменування	r , Ом	x , Ом	r у точці КЗ, Ом	x у точці КЗ, Ом	Струм КЗ, А	x/r	k_y	$I_{y\delta}$, А
1	Трансформатор ТЕЦ ВН	1.4052	34.715	1.1394	18.4914	3588.06	24.71	1.890	9590.40
2	Середина ЛЕП	1.1550	1.2128	1.6780	18.5508	3568.79	1.05	1.060	5349.85
3	Кінець ЛЕП	2.3100	2.4255	1.8576	18.5706	3561.76	1.05	1.060	5339.32
	Трансформатор ГПП ВН	46.552	555.45	48.4096	574.0206	115.39	11.93	1.750	285.59
4	Трансформатор ГПП ПН	0.3520	4.2000	0.4001	4.7440	1214.15	11.93	1.750	3004.87
5	Кінець КЛ1	0.0900	0.0115	0.4901	4.7555	1209.11	0.13	1.000	1709.93
7	Кінець КЛ2	0.1879	0.0241	0.5880	4.7680	1203.20	0.13	1.000	1701.58
9	Кінець КЛ3	0.1535	0.0197	0.5536	4.7636	1205.32	0.13	1.000	1704.58
	Трансформатор ЦТП1 ВН	1.2200	5.5000	1.7101	10.2555	555.96	4.51	1.430	1124.33
8	Трансформатор ЦТП1 НН	0.0020	0.0088	0.0027	0.0164	13898.95	4.51	1.430	28108.21
	Трансформатор ЦТП2 ВН	1.9148	8.7302	2.5029	13.4982	421.05	4.56	1.430	851.51
8	Трансформатор ЦТП2 НН	0.0031	0.0140	0.0040	0.0216	10526.36	4.56	1.430	21287.72
	Трансформатор ЦТП3 ВН	1.2200	5.5000	1.7736	10.2636	554.96	4.51	1.430	1122.32
10	Трансформатор ЦТП3 ПН	0.0020	0.0088	0.0028	0.0164	13874.07	4.51	1.430	28057.88

Розрахунок струмів КЗ у схемі внутрішньоцехового електропостачання

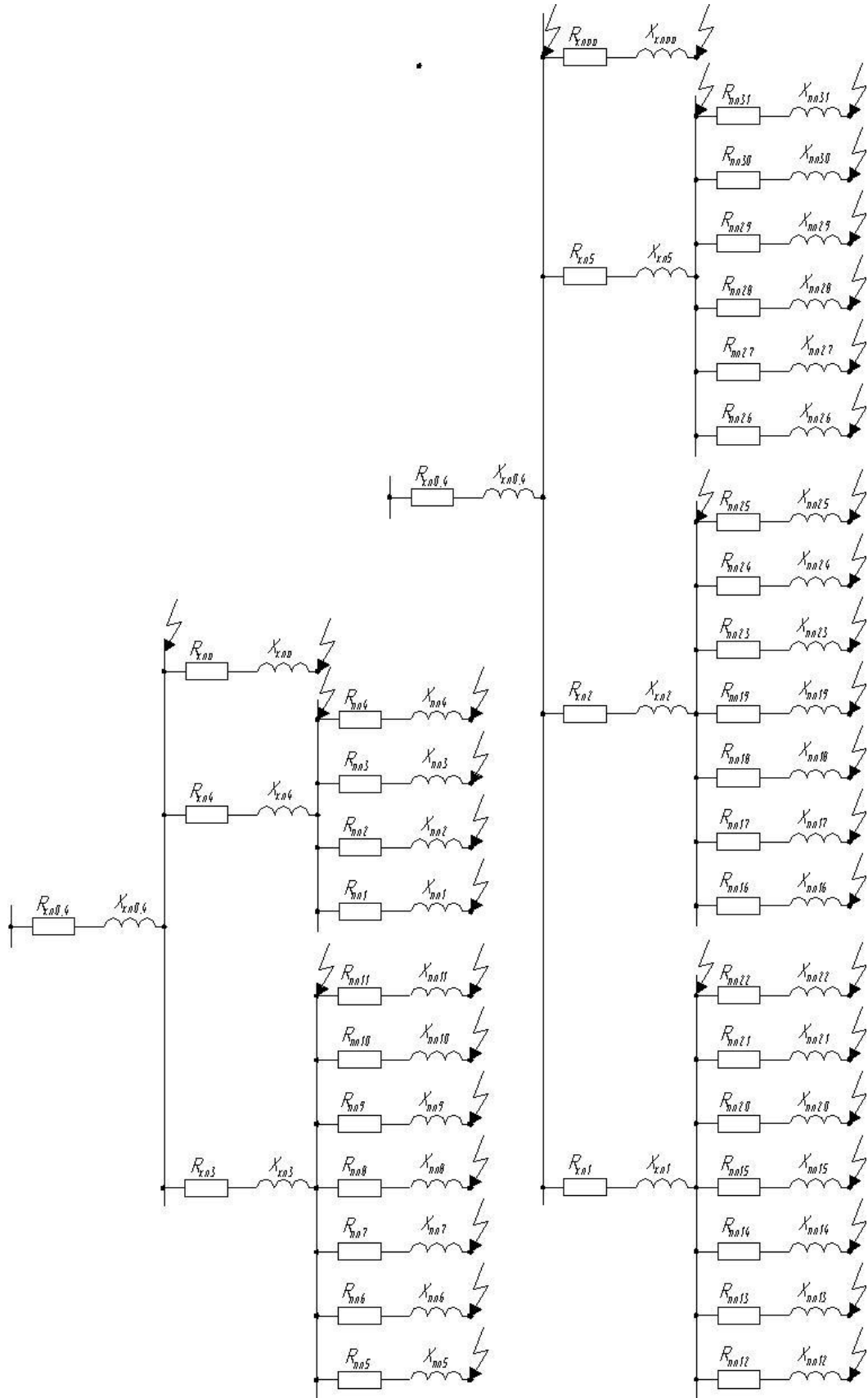


Рисунок 3.2 – Спрощена схема для розрахунку струмів КЗ у схемі внутрішньоцехового електропостачання

Розрахунок струмів КЗ на стороні 0,4 кВ виконується аналогічно стороні 110-10 кВ, крім тієї обставини, що у шинах трансформаторної підстанції враховується активний додатковий опір $R_{\text{доп}}$, мОм. Чим далі знаходиться шина, тим більше значення додаткового опору.

Розрахуємо струм КЗ на шинах ЦТП:

$$Z_{\Sigma 4} = \sqrt{(r_{\Sigma 0.4} + r_{\text{доп}})^2 + x_{\Sigma 0.4}^2} = \sqrt{(0,004 + 0,015)^2 + 0,0216^2} = 0,028768 \text{ Ом.}$$

$$I_{\kappa 4}^3 = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,028768} = 8037 \text{ А}$$

$$K_{y\partial} = 1,05 \cdot i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 8037 = 11934 \text{ А}$$

Для розрахунків однофазного короткого замикання скористаємося такою формулою:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} \geq \frac{U_{\Phi}}{Z_T/3 + Z_{\Pi}},$$

де U_{Φ} – фазна напруга мережі 220 В;

$Z_T/3$ – опір трансформатора струму однофазного к.з. на корпус 0,358 Ом;

Z_{Π} – повний опір петлі фазний нульовий провід.

Розрахунки за схемою внутрішньозаводського електропостачання представлені у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 Розрахунок струмів КЗ внутрішньозаводського електропостачання.

№ ЕП з генплану	Найменування ЕП	Довжина кабелю/проводу,	Rуд, Ом\км	Худ, Ом\км	Rдобр, Ом	Сумарний опір		Струм КЗ, кА	Та	Куд	Ударний струм, ка	R фаза-нуль кабелів/проводів, Ом	Z фаза-нуль кабелів/проводів, Ом	Струм КЗ, А	х/г	Ку	Ударний струм, кА	
						R, Ом	X, Ом											
Трифазне замикання												Однофазне замикання						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	СП-1	5,27	0,893	0,07	0,020	0,025	0,0133	7,814	0,540	1	11,049	0,009	0,04087	552	0,97	1,00	780	
12	Токарний 8-ми шпиндельний напівавтомат №1	6,99	1,250	0,07	0,030	0,039	0,0145	5,306	0,373	1	7,502	0,017	0,04962	540	0,89	1,00	763	
13	Токарний верстат №1	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551	
14	Радіально-свердлильний верстат	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551	
15	Токарний верстат №2	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551	
20	Універсальний заточувальний верстат	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551	
21	Вертикально-свердлильний верстат	3,78	12,500	0,07	0,030	0,077	0,0143	2,793	0,185	1	3,949	0,095	0,12621	454	0,44	1,00	642	
22	Вертикально-свердлильний верстат	1,51	12,500	0,07	0,030	0,049	0,0141	4,311	0,288	1	6,096	0,038	0,06951	515	0,68	1,00	728	
СП-2																		
	СП - 2	3	0,62	0,08	0,020	0,022	0,0132	8,583	0,606	1	12,137	0,004	0,03566	559	1,04	1,05	830	
16	Токарно-револьверний верстат №1	6,62	12,5	0,07	0,030	0,113	0,0145	1,931	0,128	1	2,731	0,165	0,19709	396	0,31	1,00	560	
17	Токарно-револьверний верстат №2	10,6	12,5	0,07	0,030	0,162	0,0147	1,346	0,091	1	1,904	0,265	0,29634	336	0,22	1,00	475	
18	Токарно-револьверний верстат №3	17,2	12,5	0,07	0,030	0,245	0,0152	0,894	0,062	1	1,264	0,430	0,46176	268	0,16	1,00	379	
19	Токарно-револьверний верстат №4	20	12,5	0,07	0,030	0,280	0,0154	0,781	0,055	1	1,105	0,501	0,53266	247	0,14	1,00	349	
23	Токарно-револьверний верстат №5	1,7	12,5	0,07	0,030	0,051	0,0141	4,126	0,275	1	5,835	0,043	0,07423	509	0,65	1,00	720	
24	Токарно-револьверний верстат №6	7,94	12,5	0,07	0,030	0,129	0,0146	1,687	0,113	1	2,386	0,198	0,23018	374	0,27	1,00	529	
25	Токарний 8-ми шпиндельний напівавтомат №2	17,8	1,25	0,07	0,030	0,052	0,0152	4,035	0,291	1	5,706	0,044	0,07725	505	0,72	1,00	715	

продовження табл. 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
СП-3																	
	СП-3	16,5	0,206	0,07	0,020	0,023	0,0142	8,011	0,608	1	11,327	0,007	0,04057	552	1,11	1,05	820
5	Прес ножиці	14,6	12,5	0,07	0,030	0,212	0,0150	1,033	0,071	1	1,460	0,364	0,39559	292	0,18	1,00	413
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	11,3	12,5	0,07	0,030	0,172	0,0148	1,273	0,086	1	1,800	0,284	0,31525	327	0,21	1,00	462
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	6,99	12,5	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	9,83	12,5	0,07	0,030	0,153	0,0147	1,429	0,096	1	2,020	0,246	0,27744	346	0,24	1,00	490
9	Прес кривошипний	5,1	12,5	0,07	0,030	0,094	0,0144	2,312	0,153	1	3,270	0,128	0,15929	425	0,37	1,00	601
10	Гільйотинні ножиці	9,64	12,5	0,07	0,030	0,150	0,0147	1,451	0,098	1	2,052	0,241	0,27271	349	0,24	1,00	493
11	Прес	15,7	3,125	0,07	0,030	0,079	0,0151	2,727	0,191	1	3,856	0,098	0,13024	451	0,47	1,00	637
СП - 4																	
	СП - 4	28,1	0,206	0,07	0,020	0,026	0,0151	7,346	0,585	1	10,388	0,012	0,04757	542	1,13	1,05	805
1	Молот пневматичний №1	12,7	12,5	0,07	0,030	0,188	0,0149	1,162	0,079	1	1,643	0,317	0,34833	311	0,2	1,00	440
3	Молот пневматичний №2	6,24	12,5	0,07	0,030	0,108	0,0144	2,014	0,134	1	2,848	0,156	0,18764	403	0,32	1,00	570
4	Абразивно-відрізний верстат	1,51	12,5	0,07	0,030	0,049	0,0141	4,311	0,288	1	6,096	0,038	0,06951	515	0,68	1,00	728
2	Піч нагрівальна	9,45	7,813	0,07	0,030	0,104	0,0147	2,092	0,141	1	2,959	0,148	0,17946	409	0,35	1,00	579
СП - 5																	
	СП - 5	29,6	0,326	0,08	0,020	0,030	0,0153	6,577	0,516	1	9,300	0,019	0,055	533	1,03	1,05	791
26	Універсальний заточувальний верстат №2	6,62	12,5	0,07	0,030	0,113	0,0145	1,931	0,128	1	2,731	0,165	0,19709	396	0,31	1,00	560
27	Затяжний верстат	9,64	12,5	0,07	0,030	0,150	0,0147	1,451	0,098	1	2,052	0,241	0,27271	349	0,24	1,00	493
28	Точильно-шліфувальний верстат	9,83	12,5	0,07	0,030	0,153	0,0147	1,429	0,096	1	2,020	0,246	0,27744	346	0,24	1,00	490
29	Верстат для доведення різців	2,27	12,5	0,07	0,030	0,058	0,0142	3,654	0,243	1	5,167	0,057	0,08841	493	0,57	1,00	697
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	0,95	12,5	0,07	0,030	0,042	0,0141	4,973	0,336	1	7,032	0,024	0,05534	532	0,78	1,00	753
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	7,94	12,5	0,07	0,030	0,129	0,0146	1,687	0,113	1	2,386	0,198	0,23018	374	0,27	1,00	529

3.6.2 Перевірка основного обладнання мережі

1. Перевірка вимикача $Q_{1,2}$

а) за номінальною напругою:

$$U_{ном} \geq U_{вст}, \quad U_{ном} = U_{уст} = 110 \text{ кВ};$$

б) за номінальним тривалим струмом:

$$I_{ном} \geq I_{роб}, \quad I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{ав} = 7,58 \text{ А};$$

в) на динамічну стійкість:

$$I_{нс} \geq I^3_{кз}, \quad i_{нс} \geq i_{уд},$$

де $I_{нс}$ – граничний наскрізний струм,

$I^3_{кз}$ – максимальний струм трифазного КЗ,

$i_{нс}$ – амплітудне значення граничного наскрізного струму,

$i_{уд}$ – ударний струм.

$$I_{нс} = 52 \text{ кА} > I^3_{кз} = I^3_{к1} = 3,58 \text{ кА},$$

$$i_{нс} = 52 \text{ кА} > i_{уд} = 9,59 \text{ кА};$$

г) за допустимим струмом термічної стійкості:

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_{np}, \quad (9.2.7)$$

де I_∞^2 – граничний струм термічної стійкості,

$$I_t^2 \cdot t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq I_\infty^2 \cdot t_{np} = 3,58^2 \cdot 2,2 = 28,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

д) по вимикальній здатності вимикача:

$$I_{кз} < I_{ВИМИК}, \quad 3,58 \text{ кА} < 20 \text{ кА}.$$

2. Перевірка перерізів дроту ЛЕП високої напруги за термічною стійкістю струмів КЗ здійснюється за умовою:

$$F_{кл} \geq F_{min} = \frac{\sqrt{2} \cdot B_K}{C}, \text{ мм}^2,$$

де C – функція, значення якої залежить від виду провідника і номінального напруги, для кабелю $C = 100$.

$$B_K = (I_{кз}^3)^2 \cdot (t_{вим} + T_{a.c}),$$

де $t_{вим}$ – час відключення ділянки мережі;

$T_{a,c} = 0,01$ с – стала часу мережі.

$$B_K = 3,59^2 \cdot (0,12 + 0,1 + 0,01) = 2,964 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2,964}{100} = 0,03 \text{ мм}^2,$$

$F_{кл} = 70 \text{ мм}^2$, тобто. умова виконується.

Результати перевірки всього обладнання 110-10 кВ зведемо до табл. 3.17.

Таблиця 3.17 – Результати перевірки обладнання 110-10 кВ

Позначення	Найменування	Перевірка										
		за напругою		по струму		на динамічну стійкість			за струмом термічної стійкості		за здатністю відключати	
		Uном, кВ	Uуст, кВ	Iном, А	Iроб, А	Iпс, кА	$I_{кз}^{(3)}$, А	iуд, А	$t_t^2 \cdot t$	$t_\infty^2 \cdot t_{пр}$	I вим, кА	$I_{кз}^{(3)}$, кА
Q1,2	МКП-110Б-630-20У1	110	110	630	7,58	52	3588,06	9590,40	1200	28,32	20,00	3,59
W1,2	АС - 70/11	110	110	265	7,58	-	-	-	70	0,03	-	-
Q3,4	ВВТЕ-М-10-20/630	10	10	630	93,19	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q5	ВВТЕ-М-10-20/630	10	10	630	186,38	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q6,11	ВВТЕ-М-10-20/630	10	10	630	44,37	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q7,10	ВВТЕ-М-10-20/630	10	10	630	18,71	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q8,9	ВВТЕ-М-10-20/630	10	10	630	30,10	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
W3,4	ААБл 3*50	10	10	170	44,37	-	1214,15	-	50	0,03	-	-
W5,6	ААБл 3*50	10	10	170	18,71	-	1214,15	-	50	0,03	-	-
W7,8	ААБл 3*50	10	10	170	30,10	-	1214,15	-	50	0,03	-	-
Q12,13	ВНР-10/400-10зУЗ	10	10	400	30,10	25	1209,11	1709,93	100	3,22	0,80	1,21
Q14,15	ВНР-10/400-10зУЗ	10	10	400	18,71	25	1203,20	1701,58	100	3,18	0,80	1,20
Q16,17	ВНР-10/400-10зУЗ	10	10	400	44,37	25	1205,32	1704,58	100	3,20	0,80	1,21
FU1,2	ПКТ103-10-12,5УЗ	10	10	100	30,10	-	-	-	-	-	12,50	1,21
FU3,4	ПКТ103-10-12,5УЗ	10	10	50	18,71	-	-	-	-	-	12,50	1,20
FU5,6	ПКТ103-10-12,5УЗ	10	10	100	44,37	-	-	-	-	-	12,50	1,21

3.6.3 Перевірка обладнання на стороні 0,4 кВ

На напругу 0,4 кВ захист виконується на автоматичних вимикачах, що вбудовуються у відгалужувальні коробки магістрального шинопроводу.

Умови вибору автоматів:

а) за напругою:

$$U_{ном} \geq U_{мережі},$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга автомата,

$$U_{мережі} = 380 \text{ В};$$

б) по струму:

$$I_{ном} \geq I_{роб},$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм автомата,

$I_{роб}$ – робочий струм відгалуження;

в) по вимикаючій здатності:

$$I_{вимик} \geq I_{кз},$$

Вибір обладнання подано у таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Перевірка обладнання на 0,4 кВ

Розташування вимикача на відгалуженні:	Тип вимикача	$I_{р, max}, A$	$I_{ном, а}, A$	$I_{вимик, ном}, кА$	$I_{кз}^{(3)}, кА$	$I_{кз}^{(1)}, A$
До СП-1	A-3716 100А	83.78	100	75	4.388	614.52
До СП-2	A-3716 80А	66.51	80	75	4.388	614.52
До СП-3	A-3716 40А	30.13	40	75	4.388	614.52
До СП-4	A-3716 50А	35.76	50	75	4.388	614.52
До СП-5	A-3726 16А	5.16	16	75	4.388	614.52

3.7 Аналіз якості напруги цехової мережі та розрахунок відхилення напруги

Якість напруги залежить від втрат напруги в окремих елементах мережі живлення. Відхилення напруги згідно з ПУЕ не повинні виходити за межі:

1. $(-2,5 - +5)\% U_{ном}$ – для освітлення

2. $(-5 - +10)\% U_{ном}$ – на затискачах двигунів
3. $(-5 - +5)\% U_{ном}$ – на затискачах інших приймачів

Відхилення напруги визначаються кожному ділянці електричної мережі за такою формулою:

$$V = \left[\frac{(U - \Delta U_{участка}) - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} \right] \cdot 100 \%$$

Відхилення напруги будемо розраховувати в максимальному, мінімальному та післяаварійному режимах, для найпотужнішого (№ 25) та найвіддаленішого (№ 28) споживача від шин ЦТП.

Максимальний: $U = U_{ном} \cdot 1,05 = 10,5 \text{ кВ}$

Мінімальний: $U = U_{ном} \cdot 1,00 = 10,0 \text{ кВ}$

Післяаварійний: $U = U_{ном} \cdot 1,10 = 11,0 \text{ кВ}$.

1 Розрахунок для найпотужнішого електроприймача (№25)

Режим максимального навантаження

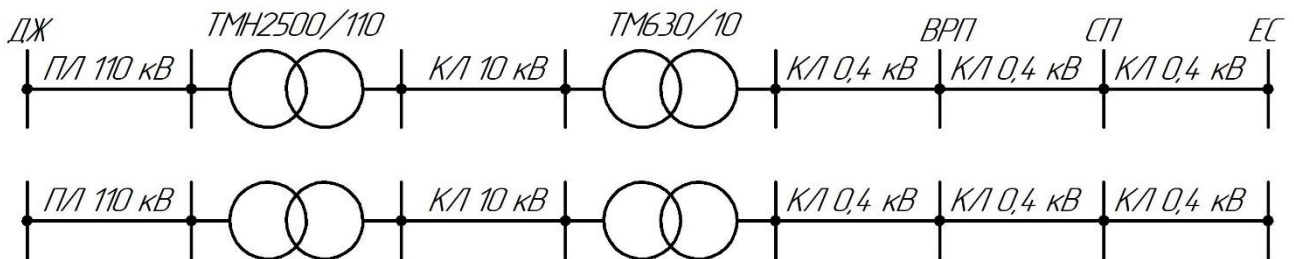


Рисунок 3.3 – Схема для розрахунку відхилення напруги

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{ПЛ} = 115500 - 43,94 = 115456,06 \text{ В};$$

$$V = \left[\frac{115456,06 - 110000}{110000} \right] \cdot 100\% = 4,96 \%$$

Визначаємо втрати у трансформаторі:

$$\Delta U_m = \frac{\Delta U_{m\%}}{100} \cdot U_{нв} = \frac{4,38}{100} \cdot 110000 = 4813 \text{ В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_T = 115456,06 - 4813 = 110642,78 \text{ В};$$

$$V = \left[\frac{110642,78 - 110000}{110000} \right] \cdot 100\% = 0,58 \quad \% .$$

Приведемо напругу U_3 до сторони 10 кВ .

$$U'_3 = U_3 \cdot K_{тр} = 110642,78 \cdot \frac{10}{110} = 10058 \quad \text{В} .$$

Втрати у кабелі:

$$\Delta U'_{КЛ6} = 5,08 \text{ В} ;$$

$$U_4 = U'_3 - \Delta U'_{КЛ6} = 10058 - 5,08 = 10053 \text{ В} ;$$

$$V = \left[\frac{10053 - 10000}{10000} \right] \cdot 100\% = 0,53 \quad \% .$$

Визначаємо втрати у трансформаторі:

$$\Delta U_m = \frac{\Delta U_{m\%}}{100} \cdot U_{нв} = \frac{2,18}{100} \cdot 10000 = 218 \text{ В} ;$$

$$U_5 = U_4 - \Delta U_T = 10053 - 218 = 9835 \text{ В} ;$$

$$V = \left[\frac{9835 - 10000}{10000} \right] \cdot 100\% = -1,65 \quad \% .$$

Приведемо напругу U_5 до сторони 0,4 кВ .

$$U'_5 = U_5 \cdot K_{мп} = 9835 \cdot \frac{0,4}{10} = 393,4 \text{ В}$$

Втрати в кабелі до цеху 7:

$$\Delta U'_{КЛ} = 9,46 \text{ В} .$$

$$U_6 = U'_5 - \Delta U'_{КЛ} = 393,4 - 9,46 = 383,94 \text{ В} .$$

$$V = \left[\frac{383,94 - 400}{400} \right] \cdot 100\% = -4,01 \quad \%$$

Втрати в кабелі до цеху СП-5:

$$\Delta U'_{КЛ} = 0,65 \text{ В} .$$

$$U_7 = U'_6 - \Delta U'_{КЛ} = 383,94 - 0,65 = 383,58 \text{ В} .$$

$$V = \left[\frac{383,58 - 400}{400} \right] \cdot 100\% = -4,01 \quad \%$$

Втрати у проводі:

$$\Delta U_{np} = 0,546 \text{ В}$$

$$U_8 = U_7 - \Delta U_{np} = 383,58 - 0,465 = 383,46 \text{ В}$$

$$V = \left[\frac{383,46 - 400}{400} \right] \cdot 100\% = -4,13 \%$$

Розрахунки для двох типів ЕП зведемо до табл. 3.19.

Режим мінімального навантаження

За річним графіком обчислюємо співвідношення потужностей між мінімальним та максимальним режимом:

$$\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,3.$$

Бо струми, а значить і втрати напруги пропорційні потужності, то для будь-яких величин у мінімальному режимі справедливі умови:

$$I_{\min} = 0,3 \cdot I_{\max},$$

$$\Delta U_{\min} = 0,3 \cdot \Delta U_{\max}.$$

Втрати в повітряній лінії 110 кВ:

$$\Delta U_{\text{ПЛ}(\min)} = 0,3 \cdot \Delta U_{\text{ПЛ}} = 0,3 \cdot 43,94 = 13,18 \text{ В}$$

Розрахунки для двох типів ЕП зведемо до табл. 3.20.

Післяаварійний режим з урахуванням максимального навантаження.

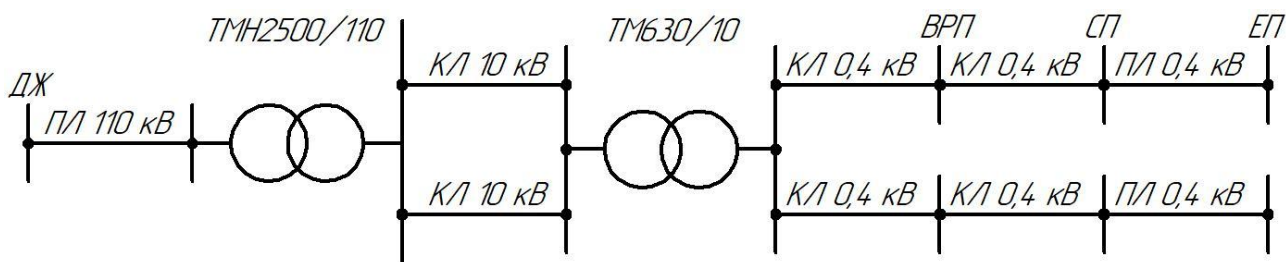


Рисунок 3.4 – Схема післяаварійного режиму з урахуванням максимального навантаження.

За післяаварійний режим приймемо: 1) вихід з ладу однієї ПЛ; 2) вихід із ладу одного трансформатора ГПП; 3) Вихід із ладу одного трансформатора ЦТП.

Розрахунки для двох типів ЕП зведемо до таблиці 3.21.

Таблиця 3.19 Розрахунок відхилення напруги для двох типів електроприймачів. Режим максимального навантаження

Тип ЕП	ДЖ	ЛЕП 110 кВ, %		Трансформатор ТМ 2500/110			КЛ 10 кВ		Трансформатор ТМ 630/10			КЛ		КЛ		ПЛ	
	U1	U2	V2	U3	V3	U3	U4	V4	U5	V5	U5'	U6	V6	U7	V7	U8	V8
Найпотужніший ЕП	115500	115456.06	4.96	110642.78	0.58	10058.43	10053.36	0.53	9835.03	-1.65	393.40	383.94	-4.02	383.58	-4.10	381.93	-4.52
Найвіддаленіший ЕП	115500	115456.06	4.96	110642.78	0.58	10058.43	10053.36	0.53	9835.03	-1.65	393.40	383.94	-4.02	383.29	-4.18	382.75	-4.31



Рисунок 3.5 – Втрати напруги на найпотужнішому споживачі. Режим максимального навантаження.



Рисунок 3.5 – Втрати напруги на найвіддаленішому споживачі. Режим максимального навантаження.

Таблиця 3.20 Розрахунок відхилення напруги для двох типів електроприймачів. Режим мінімального навантаження

Тип ЕП	ДЖ	ЛЕП 110 кВ, %		Трансформатор ТМ 2500/110			КЛ 10 кВ		Трансформатор ТМ 630/10			КЛ		КЛ		ПЛ	
	U1	U2	V2	U3	V3	U3	U4	V4	U5	V5	U5'	U6	V6	U7	V7	U8	V8
Найпотужніший ЕП	110000	109986.82	-0.01	108542.83	-1.32	9867.53	9862.45	-1.38	9796.95	-2.03	391.88	389.04	-2.74	388.93	-2.77	388.44	-2.89
Найвіддаленіший ЕП	110000	109986.82	-0.01	108542.83	-1.32	9867.53	9862.45	-1.38	9796.95	-2.03	391.88	389.04	-2.74	388.39	-2.90	388.23	-2.94



Рисунок 3.6 – Втрати напруги на найпотужнішому споживачі. Режим мінімального навантаження.



Рисунок 3.7 – Втрати напруги на найвіддаленішому споживачі. Режим мінімального навантаження.

Таблиця 3.21 Розрахунок відхилення напруги для двох типів електроприймачів. Післяаварійний режим з урахуванням максимального навантаження.

Тип ЕП	ДЖ	ЛЕП 110 кВ, %		Трансформатор ТМ 2500/110			КЛ 10 кВ		Трансформатор ТМ 630/10			КЛ		КЛ		ПЛ	
	U1	U2	V2	U3	V3	U3	U4	V4	U5	V5	U5'	U6	V6	U7	V7	U8	V8
Найпотужніший ЕП	115500	115412.11	4.92	107651.25	-2.14	9786.48	9781.40	-2.19	9563.08	-4.37	382.52	379.22	-5.20	378.86	-5.29	378.86	-5.29
Найвіддаленіший ЕП	115500	115412.11	4.92	107651.25	-2.14	9786.48	9781.40	-2.19	9563.08	-4.37	382.52	379.22	-5.20	378.57	-5.36	378.52	-5.37



Рисунок 3.8 – Втрати напруги на найпотужнішому споживачі. Післяаварійний режим з урахуванням максимального навантаження.



Рисунок 3.9 – Втрати напруги на найвіддаленішому споживачі. Післяаварійний режим з урахуванням максимального навантаження.

3.8 Висновки до розділу 3

В даному розділі проведений вибір електричного обладнання.

Зроблений докладний електротехнічний розрахунок електричного та аварійного освітлень. Для всіх цехів перевірено необхідність компенсації реактивної потужності. Також враховано струми короткого замикання в характерних точках системи, проаналізовано якість напруги цехової мережі та розраховано відхилення напруги для характерних електроприймачів.

Розраховано та відбудовано уставки реле захисту: кабельних ліній розподільної мережі підприємства; трансформаторів ГПП; повітряної лінії.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Електробезпека

Оперативне обслуговування і огляди електроустановок

Оперативні перемикання повинен виконувати оперативний або оперативно-ремонтний персонал, допущений розпорядливим документом керівника організації, черговий електрик або електромонтер по експлуатації електрообладнання.

У електроустановках напругою вище 1000 В працівники з числа оперативного персоналу, одноосібно обслуговуючі електроустановки, повинні мати групу по електробезпеці IV, інші працівники в зміні – групу III.

У електроустановках напругою до 1000 В працівники з числа оперативного персоналу, які одноосібно обслуговують електроустановки, повинні мати групу III.

У електроустановках не допускається наближення людей, механізмів і вантажопідійомних машин до необгородженим струмоведучих частинам, які знаходяться під напругою, на менші відстані ніж вказаних в таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимих відстаней до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою

Напруга, кВ	Відстань від людей і використовуваних ними інструментів і пристосувань, від тимчасових обгороджень, м	Відстані від механізмів і вантажопідійомних машин в робочому і транспортному положенні, від стропів, вантажозахватних пристосувань і вантажів, м
До 1	Не нормується (без дотику)	1,0
1-35	0,6	1,0

Одноосібний огляд електроустановок, електротехнічної частині технологічного обладнання може виконувати працівник, що має групу не нижче III, з числа оперативного персоналу, що обслуговують цю електроустановку в

робочий час або знаходиться на чергуванні, або працівник з числа адміністративно-технічного персоналу, що має групу V, для електроустановок напругою вище 1000 В, і працівник, що має групу IV, для електроустановок напругою до 1000 В і право одноосібного огляду на підставі письмового розпорядження керівника організації.

Працівники, не обслуговуючі електроустановки, можуть допускатися до них у супроводі оперативного персоналу, що має групу IV – в електроустановках напругою вище 1000 В, і що має групу III – в електроустановках напругою до 1000 В, або працівника, що має право одноосібного огляду.

Супроводжуючий працівник повинен стежити за безпекою людей, допущених в електроустановки, і попереджати їх про заборону наближатися до струмоведучих частин.

При огляді електроустановок дозволяється відкривати двері щитів, складок, пультів керування та інших пристроїв.

При огляді електроустановок напругою вище 1000 В не допускається входити в приміщення, камери, не обладнані обгородженнями (вимоги до встановлення обгороджень приведені в ПУЕ) або бар'єрами, що перешкоджають наближенню до струмоведучих частин на відстані менші ніж вказаних в табл.

4.1. Не допускається проникати за обгородження і бар'єри електроустановок.

Не допускається виконання будь-яких робіт під час огляду.

При замиканні на землю в електроустановках напругою 3-35 кВ наближатися до місця замикання на відстань менше 4 м в ЗРП допускається тільки для оперативних перемикачів з метою ліквідації замикання і звільнення людей, що потрапили під напругу. При цьому слід користуватися електрозахисними засобами.

Відключати і включати роз'єднувачів, віддільників і вимикачі напругою вище 1000 В з ручним приводом необхідно в діелектричних рукавичках.

Знімати і встановлювати запобіжники слід при знятій напрузі.

Допускається знімати і встановлювати запобіжники, що знаходяться під напругою, але без навантаження.

Під напругою і під навантаженням допускається замінювати: запобіжники у вторинних колах, запобіжники трансформаторів напруги і запобіжники пробкового типу.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою необхідно користуватися:

- у електроустановках напругою вище 1000 В – ізолюючими кліщами(штангою) із застосуванням діелектричних рукавичок і засобів захисту обличчя і очей;
- у електроустановках напругою до 1000 В – ізолюючими кліщами або діелектричними рукавичками і засобами захисту обличчя або очей.

Двері приміщень електроустановок, камер, щитів і складок, окрім тих, в яких проводяться роботи, мають бути закриті на замок.

Порядок зберігання і видачі ключів від електроустановок визначається розпорядженням керівника організації. Ключі від електроустановок повинні знаходитися на обліку у оперативного персоналу.

Ключі мають бути пронумеровані і зберігатися в ящику, що замикається. Один комплект має бути запасним.

Ключі повинні видаватися під розписку:

- працівникам, що мають право одноосібного огляду (у тому числі оперативному персоналу) від усіх приміщень;
- при допуску по наряді-допуску (допускаючому з числа оперативного персоналу, відповідальному керівникові і виконавцеві робіт) від приміщень, в яких належить працювати.

Ключі підлягають поверненню щодня після закінчення огляду або роботи.

Видача і повернення ключів повинні записуватись в спеціальному журналі довільної форми або в оперативному журналі.

При нещасних випадках для звільнення потерпілого від дії електричного струму напруга має бути знята негайно без попереднього дозволу.

Організаційні і технічні заходи по забезпеченню електробезпеки

До роботи в електроустановках повинні допускатися особи, що пройшли інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірку знань правил безпеки і інструкцій відповідно до займаної посади стосовно виконуваної роботи з привласненням відповідної кваліфікаційної групи по техніці безпеки і які не мають медичних протипоказань, встановлених Міністерством охорони здоров'я.

Для забезпечення безпеки робіт в діючих електроустановках повинні виконуватися наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, відповідальних за організацію і безпеку виконання робіт;
- оформлення наряду або розпорядження на виконання робіт;
- здійснення допуску до проведення робіт;
- організація нагляду за проведенням робіт;
- оформлення закінчення роботи, перерв в роботі, переведень на інші робочі місця;
- встановлення раціональних режимів праці і відпочинку.

Для забезпечення безпеки робіт в електроустановках слід виконувати:

- відключення установки (частини установки) від джерела живлення;
- перевірку відсутності напруги;
- механічне замикання приводів комутаційних апаратів;
- зняття запобіжників ;
- від'єднання кінців живлячих ліній та інші заходи, що унеможливають помилкове подання напруги до місця роботи;
- заземлення відключених струмоведучих частин (накладення переносних заземлювачів, включення заземлюючих ножів);
- обгородження робочого місця або струмоведучих частин, які залишились під напругою, до яких в процесі роботи можна доторкнутися або наблизитися на неприпустиму відстань.

При проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках або поблизу них:

- відключення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергією;
- механічне замикання приводів відключених комутаційних апаратів;
- зняття запобіжників;
- від'єднання кінців живлячих ліній та інші заходи, що забезпечують неможливість помилкового подання напруги до місця роботи;
- встановлення знаків безпеки і обгороджень струмоведучих частин, які залишаються під напругою, до яких в процесі роботи можна доторкнутися або наблизитися на неприпустиму відстань;
- накладення заземлень (включення заземлюючих ножів або накладення переносних заземлень);
- обгородження робочого місця і встановлення попереджувальних знаків безпеки.

При проведенні робіт на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою виконують роботи по наряду не менше ніж двоє осіб, із застосуванням електрозахисних засобів, із забезпеченням безпечного розташування працюючих і використовуваних механізмів і пристосувань.

4.2 Пожежна безпека

Головні причини можливих пожеж в електроустановках це пожежі, пов'язані з експлуатацією електроустановок, які відбуваються :

- від КЗ;
- від порушення правил експлуатації електронагрівних приладів;
- від перевантаження електродвигунів і електричних мереж;
- від утворення великих місцевих перехідних опорів;
- від електричних іскр і дуг.

Короткі замикання представляють найбільшу пожежну небезпеку.

Струми КЗ на декілька порядків перевищують номінальні струми проводів і струмоведучих частин і досягають сотень і тисяч ампер. Такі струми можуть не

лише перегріти, але і запалити ізоляцію, розплавити струмоведучі частини і проводи. Плавлення металевих деталей машин і апаратів супроводжується розльотом іскр, які у свою чергу здатні запалити близько розташовані горючі речовини і матеріали, послужити причиною вибуху.

Короткі замикання в електроустановках виникають найчастіше із-за відмови електричної ізоляції внаслідок її старіння і відсутності контролю за її станом. Неправильна експлуатація електроустановок неминуче веде до виникнення пожеж. Не дотримуються пожежобезпечної відстані до горючих матеріалів, при експлуатації електронагрівних приладів для обігріву приміщень. Ігноруються чіткі технічні вказівки по режиму роботи.

На проектуваному об'єкті на кожні 800 м² площі будівлі встановлюються по чотири порошкових або вуглекислотних вогнегасники (місткістю 5 літрів).

У приміщеннях електрощитових 0,4 кВ і ВРП 10 кВ по два вуглекислотних вогнегасники .

Порошкові вогнегасники (ОП) призначені для гасіння пожеж твердих, рідких і газоподібних речовин (залежно від марки використовуваного вогнегасного порошку), а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1 кВ.

Вуглекислотні вогнегасники призначені для гасіння загорянь різних речовин і матеріалів, а також електроустановок, кабелів і проводів, що знаходяться під напругою до 10 кВ.

При проведенні основних проектуваних робіт на цьому об'єкті передбачаються наступні заходи пожежної безпеки

- під'їзні шляхи повинні мати покриття, придатне для проїзду пожежних автомобілів у будь-яку пору року. Ворота для в'їзду мають бути шириною не менше 4 м;
- на початок основних будівельних робіт на будівництві має бути забезпечене протипожежне водопостачання від пожежних гідрантів на водопровідній мережі;

- при реконструкції і введенні об'єктів в експлуатацію чергами частина, що будується, має бути відокремлена від діючої протипожежними перегородками;
- двері на шляхах евакуації повинні відкриватися вільно і по напрямленню виходу з будівлі;
- забороняється захаращувати евакуаційні шляхи і виходи (у тому числі проходи, коридори, тамбури, галереї, ліфтові холи, сходові майданчики). Фіксувати самозакриваючі двері сходових кліток, а також знімати їх;
- виконання робіт всередині будівель із застосуванням горючих речовин і матеріалів одночасно з іншими будівельно-монтажними роботами, пов'язаними із застосуванням відкритого вогню(зварювання і т. п.), не допускається.

Оперативна ліквідація аварій є процесом відділення пошкодженого устаткування (ділянки мережі) від системи електроспоживання, а також виробництва операцій з метою:

- усунення небезпеки для обслуговуючого персоналу і устаткування, не зачепленого аварією;
- запобігання розвитку аварії;
- негайного (в найкоротший строк) відновлення електропостачання споживачів;
- створення найбільш надійної післяаварійної схеми електропостачання і окремих її частин;
- з'ясування стану устаткування, що відключилося під час аварії, і можливості включення його в роботу.
- у аварійних ситуаціях необхідні перемикання робляться тільки оперативним персоналом відповідно до інструкцій підприємств, з дотриманням норм і правил роботи в електроустановках і із застосуванням усіх необхідних захисних засобів.

У профілактику аварійних ситуацій входить, підтримка енергетичного устаткування на підприємствах в належному технічному стані шляхом

технічних і організаційних заходів профілактичного характеру, що планомірно проводяться системою планово-запобіжного ремонту(ПЗР).

Системою ПЗР залежно від режимів роботи електроустаткування і умов його експлуатації встановлюється чергування, періодичність і об'єми технічних обслуговувань і ремонтів електроустаткування з урахуванням забезпечення безперебійної роботи підприємства і безпечного ведення робіт. Планово-запобіжний ремонт включає роботи по догляду, міжремонтному обслуговуванню і проведенню поточних і капітальних ремонтів електроустаткування.

Проведення ремонтів електроустаткування, передбачених системою ПЗР, забезпечує зниження витрат на його утримання, зменшує кількість і час простоїв, число аварій, підвищує надійність роботи і якість ремонту.

Передчасний знос окремих частин і деталей електроустаткування, як правило, є наслідком незадовільного обслуговування або погано проведеного ремонту. Це може створити аварійну ситуацію в електричній мережі або привести до виходу електроустаткування з ладу. Тому попередження передчасного зносу і забезпечення робочого стану устаткування є одним з основних завдань технічного обслуговування електроустаткування.

Приклад передбачуваних аварійних ситуацій :

При виконанні земляних робіт сталося ушкодження одного з живлячих кабелів 10 кВ. Діями обслуговуючого персоналу для відновлення електропостачання були проведені наступні дії:

Відключення пошкодженої живлячої лінії 10кВ. Включення секційного вимикача на РП 0,4 кВ чим було забезпечено електропостачання об'єкту у виниклій аварійній ситуації. Проведені заходи по забезпеченню безпеки відновних робіт.

У час відновлення живлячого кабелю 10 кВ на РП 0,4кВ виникає перегрівання ножів секційного вимикача із за неповного їх включення, що приводить їх до вигорання із-за поганого контакту і розплавленню частини алюмінієвих шин, що з'єднуються з секційним вимикачем. Це призводить до

часткового відключення будівлі. Діями чергового персоналу робиться відключення секційного вимикача і попереджається виникнення пожежі на РП 0,4 кВ. Для забезпечення електроенергією відповідальних споживачів (ліфти, холодильне устаткування) персонал в електрощитовій, розташованій в цокольному поверсі будівлі, за допомогою кабелю робить тимчасове підключення і відновлює працездатність цих споживачів. Після відновлення живлячого кабелю 10 кВ черговий персонал робить включення об'єкту в нормальний режим, робить відновлення працездатності секційної зборки 0,4 кВ згідно спеціально розробленому для цього графіку проведення відновних робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено систему електропостачання цементного заводу, а також арматурно-агрегатного цеху, що входить до складу цього підприємства. Цех налічує 31 електроприймач, підприємство 19 цехів. У процесі проектування було враховано основні характеристики приймачів електричної енергії. У розрахунку було розглянуто два варіанти електропостачання для цеху та два варіанти для всього підприємства, з яких у кожному випадку було обрано найбільш підходящий та вигідний варіант, з урахуванням усіх технічних та економічних особливостей цього підприємства.

Для варіанта цеху, що залишився, був зроблений докладний електротехнічний розрахунок електричного та аварійного освітлень. Для всіх цехів перевірено необхідність компенсації реактивної потужності та підібрано конденсаторні компенсуючі установки. Також розраховано струми короткого замикання в характерних точках системи, проаналізовано якість напруги цехової мережі та розраховано відхилення напруги для характерних електроприймачів. Було спроектовано необхідне заземлення та пристрій блискавкозахисту. Розраховано вставки реле захисту: кабельних ліній розподільної мережі підприємства; трансформаторів ГПП; повітряної лінії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабюк, С. М., Клебан, К. М., & Танасійчук, В. В. (2021). Шляхи підвищення надійності електропостачання. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 5-6.
2. Дмитренко, О. О., & Шкурат, А. І. (2018). ВІТЧИЗНЯНІ МІКРОПРОЦЕСОРНІ ПРИСТРОЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики", 88-90.
3. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с. – Бібліогр.: с. 92 – 102.
4. Матеєнко, Ю. П., & Афанасьєв, М. Ю. (2016). КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики", 130-132.
5. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (EN 50160:2010, IDT) : ДСТУ EN 50160: 2014. – [Чинний від 2014-10-01]. – К.Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с. – (Національний стандарт України)
6. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
7. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (укр)
8. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : Державні будівельні норми і правила // ДП "Укрархбудінформ". Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 169 с.

9. Технічна політика: Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2014. 250 с.

10. Циганенко, Б. В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи / Циганенко Борис Володимирович. – Київ, 2017. – 23 с.

11. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.

12. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : Навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик; Вінниц. держ. техн. ун-т. - Вінниця, 2002. - 111 с. 77 23

13. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання [Текст] : навч. посіб. [для студ. електротехн. спец. вищ. навч. закл.] / В. М. Буряк. — 2-ге вид., переробл. та випр. — Х. : 2008.

14. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.

15. Бабюк, С. М., & Хлопик, В. В. (2019). Актуальність задачі відновлення електропостачання знеструмлених споживачів трансформаторних підстанцій. Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 3, 7-7.

16. Бабюк, С. М., Красножоний, О. В., Барило, В. П., & Брич, Б. В. (2020). Фактори, що впливають на надійність електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 84-85.

17. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей IX

Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 82-83.

18. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

19. Design of an intelligent system to control educational laboratory equipment based on a hybrid mini-power plant. Orobchuk, B., Buniak, O., Babiuk, S., Sysak, I. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2(9-122), pp. 59–72. ISSN 1729-3774

20. Orobchuk B., Sysak I., Babiuk S., Rajba T., Karpinski M., Klos-Witkowska A., Szkarczyk R., Gancarczy J. Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). IEEE, Buharest, vol. 1, September 2017, pp. 210–214.

21. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023).

22. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.

23. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-техн