

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування факультету)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного

(повна назва кафедри)

менеджменту

**Пояснювальна записка  
до магістерської кваліфікаційної роботи**

Магістр

(освітній ступінь)

на тему: Підвищення якості електроенергії в системі електропостачання  
Товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕСЕ-22м

Освітня програма: "Електротехнічні системи електроспоживання"

(назва ОП)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханік

(шифр і назва спеціальності)

Рудишин В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Бабенко О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« 15 » 12 2023 р.

Оponent к.т.н., професор каф. ЕСС

Рубаненко О.Є.

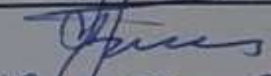
(прізвище та ініціали)

« 15 » 12 2023 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітній ступінь – магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕСЕМ  
д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

  
19.09.2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**  
Рудишину Віктору Сергійовичу

1. Тема роботи Підвищення якості електроенергії в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр", керівник Бабенко Олексій Вікторович, к.т.н., доц., затверджена наказом по ВНТУ від 18.09.2023 року, №247.

2. Строк подання студентом роботи «4» грудня 2023 року.

3. Вихідні дані Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства (Додаток Б).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Анотація

Вступ

1. Характеристика підприємства та технологічного процесу

2. Розрахунок навантажень підприємства

3. Підвищення економічності електропостачання та якості електроенергії на підприємстві

4. Економічна частина магістерської кваліфікаційної роботи

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки







Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу




Матеріал, необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Шулле Ю.А., доц., каф. ЕСЕМ, к.т.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., доц., каф. ЕСЕМ, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання « 1 » жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Спеціальна частина	30.10.2023	
2	Економічна частина роботи	20.11.2023	
3	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	

Студент

  
(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

  
(підпис)

Нормоконтроль

  
(підпис)

Рудишин В.С.  
(прізвище та ініціали)

Бабенко О.В.  
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю. П.  
(прізвище та ініціали)

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування факультету)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного

(повна назва кафедри)

менеджменту

**Пояснювальна записка  
до магістерської кваліфікаційної роботи**

Магістр

(освітній ступінь)

на тему: Підвищення якості електроенергії в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

Виконав: студент 2-го курсу , групи ЕСЕ-22м

Освітня програма: "Електротехнічні системи електроспоживання"

(назва ОП)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханік

(шифр і назва спеціальності)

Рудишин В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Бабенко О.В.

(прізвище та ініціали)

**Допущено до захисту**

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

Опонент \_\_\_\_\_

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 року

**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітній ступінь – магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ  
д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

---

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ**  
Рудишину Віктору Сергійовичу

1. Тема роботи Підвищення якості електроенергії в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр", керівник Бабенко Олексій Вікторович, к.т.н., доц., затверджена наказом по ВНТУ від 18.09.2023 року, №247.
2. Строк подання студентом роботи «4» грудня 2023 року.
3. Вихідні дані Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства (Додаток Б).
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки
  - Анотація
  - Вступ
  - 1. Характеристика підприємства та технологічного процесу
  - 2. Розрахунок навантажень підприємства
  - 3. Підвищення економічності електропостачання та якості електроенергії на підприємстві
  - 4. Економічна частина магістерської кваліфікаційної роботи
  - 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
  - Висновки
  - Список використаних джерел
  - Додатки
5. Перелік графічного матеріалу

Матеріал, необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик



6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Шулле Ю.А., доц., каф. ЕСЕМ, к.т.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., доц., каф. ЕСЕМ, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання « 1 » жовтня 2023 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Спеціальна частина	30.10.2023	
2	Економічна частина роботи	20.11.2023	
3	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2023	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рудишин В.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бабенко О.В.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис)

Войтюк Ю. П.  
(прізвище та ініціали)

УДК 628.9

## АНОТАЦІЯ

Рудишин Віктор Сергійович. Підвищення якості електроенергії в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2023 - 00 с.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання щодо здійснення оптимального електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр».

Дані та реальний матеріал для виконання магістерської кваліфікаційної роботи були отримані під час проходження практики на підприємстві.

В даній роботі виконані розробки щодо оптимального виду та кількості електрообладнання, захисних а також вимірювальних приладів.

В науково-дослідній частині роботи проведені розрахунки щодо підвищення якості електроенергії в системі електропостачання підприємства.

Здійснено визначення техніко-економічні показники системи електропостачання підприємства.

Проведено аналіз щодо питань охорони праці а також безпеки в надзвичайних ситуаціях для даного підприємства.

Ключові слова: система електропостачання, трансформаторна підстанція, вольтододатковий трансформатор.

Сторінок – 107    Рисуноків – 34    Таблиць – 18    Бібліографія – 19

## ANNOTATION

Rudyshyn Viktor. Improving the quality of electricity supply of the Limited Liability Company "Hnivansky Granite Quarry". MKR. Specialty 141 - Vinnytsia: VNTU, FEEM, ESEEM department, 2023 - 85 p.

In this master's qualification work, the issue of optimal power supply of Hnivansky Granite Quarry LLC is considered.

Data and real material for the master's qualification work were obtained during the internship at the enterprise.

In this work, the development of the optimal type and quantity of electrical equipment, protective and measuring devices has been carried out.

In the research part of the work, calculations were made to improve the quality of electricity in the company's power supply system.

The technical and economic indicators of the company's power supply system have been determined.

An analysis of labor protection issues and safety in emergency situations for this enterprise was carried out.

Key words: power supply system, transformer substation, step-up transformer



## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	ТА 5
1.1 Особливості технологічного процесу на підприємстві	5
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА	12
2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства	12
2.3 Розрахунок втрат потужності цехових ТП	20
РОЗДІЛ 3 ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ	36
3.1 Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою електронного процесора EXCEL	36
3.2 Показники якості електропостачання відповідно ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014	50
3.3 Вольтододаткові трансформатори в електричних мережах	55
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	71
4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи	71
4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання	73
4.3 Розрахунок поточних витрат	75
4.4. Розрахунок собівартості електроенергії	81
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	86
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	87
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	91
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.	96
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103

## ВСТУП

**Актуальність теми:** У наш складний для країни час дуже важливо мати оптимальне функціонування підприємства, що в значній мірі залежить від підвищення якості електроенергії та електропостачання конкретного підприємства. Тому обґрунтування вибору раціональних енергетичних систем, сучасних електроприладів, провідниково-кабельної продукції, підвищення надійності електропостачання, покращення використання існуючих електромереж, зменшення втрат активної складової енергії, будівництва є важливим.

Крім того, одним із ключових елементів є збір інформації про всіх споживачів електроенергії, які входять до цієї системи, за напругою та потужністю.

Далі необхідно визначити важливі параметри енергоспоживання.

Це підвищить ефективність станів енергоспоживання.

**Мета та задачі дослідження.** Мета цієї магістерської кваліфікаційної роботи підвищити якість напруги в системі електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр». Проаналізувати систему електропостачання діючого підприємства на основі існуючих методів розрахунку, а також виконати розрахунки зовнішніх і внутрішніх електромереж, навантажень, вибір електрообладнання та розрахунки, розташування трансформаторних підстанцій, розрахунок компенсації потужності реактивної потужності.

Основними завданнями при проектуванні енергосистеми є:

- оптимізація через вибір напруги, визначення навантажень, забезпечення вимог надійності енергосистеми;
- задача оптимального вибору кількості та потужності трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності.

**Об'єкт дослідження** – процес підвищення якості напруги за рахунок використання вольтододаткових трансформаторів.

**Предмет дослідження** – система електропостачання підприємства ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр».

**Методи досліджень.** У магістерській роботі використано загальноприйняті методики розрахунку.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано ефективність застосування вольтододадового трансформатора для підвищення якості напруги на ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр».

**Практична цінність.** Розроблена модель може бути використана в реальному процесі проектування ЕПС споживачів електроенергії.

**Апробація результатів роботи.** Основні теоретичні положення та найвагоміші практичні результати здійсненого дослідження було апробовано на науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ у 2023р. За результатами конференції опубліковано тези доповідей [19].

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Особливості технологічного процесу на підприємстві

Історія Гніванського кар'єру тісно пов'язана із розвитком гніванського краю. На початку 19 століття в м. Гнівань були виявленні поклади кристалічних порід. І тільки в 1870 році при будівництві залізниці Київ – Одеса почалася розробка родовищ в м. Гнівань.

Тоді було відкрито один кар'єр. Висока якість каміння сприяла швидкому розвитку Гніванських кар'єрів. Почали виробляти різні вироби – тесані колони, пам'ятники, сходи та інше. Всі роботи проводились вручну. Через відсутність відповідної техніки продуктивність кар'єру була низькою. Виробництво каменю і щебеню на рік, в перші роки існування підприємства становило близько 20 тис.куб.м. Але поступово кар'єр розвивався. Видобуток продукції збільшився. Кар'єри почали виробляти складної форми моноліти чистого меса для кислотно-тривких шахт та ніші технічно-складні вироби. На той час число працівників було близько 60 чоловік, бурові роботи виконувались ручним способом.

Експлуатація кар'єрів в невеликих, за мірками тих часів, розмірах тривала до липня 1914 р., тобто до початку першої світової війни, та була поновлена протягом декількох років, в 1925 р. на гранітних кар'єрах №2 та №3, де добували камінь, а також штучну продукцію. У 1926 році на гранітних кар'єрах було введено в експлуатацію каменедробильний агрегат, що мав ефективність 7 м<sup>3</sup> щебеню за годину.

Протягом усього 1926 року річний випуск продукції сягнув: побутового каменю – близько 20 тис. м<sup>3</sup>, щебеню – близько 14 тис. м<sup>3</sup>, штучних видів продукції – 6 тис. м<sup>3</sup>.

З 1927 р. підприємство починає поступово розвиватись. До ладу стало 4 кар'єра. Також розроблено та встановлено власну енергобазу, розширено компресорне господарство, введено в експлуатацію бункерні споруди. Усе це загалом дозволило механізувати навантаження щебеню у вагони, що у підсумку привело до підвищення ефективності на підприємстві.

Таким методом потроху розвивався кар'єр аж до початку Другої світової війни.

Після звільнення Гніванні були розпочаті відбудовчі роботи та розвиток кар'єру. В 1957 році закінчено будівництво ДСЦ № 1 і введено в експлуатацію продуктивністю 650 тис м<sup>3</sup> каменю та щебеню в рік. В 1959 році відкрився новий Витавський кар'єр і розпочато будівництво ДСЦ № 2 який введено в експлуатацію в 1966 році. Загальна потужність по випуску каменю та щебеню була доведена до 1 млн. 170 тис. м<sup>3</sup> в рік.

Вже у другій половині 1996 року підприємство здійснило приватизацію і тоді стало відкритим акціонерним товариством з назвою «Гніванський кар'єр». На загальних зборах акціонерів підприємства було обрано нового голову правління, яким призначено гірничого інженера Берещука Віктора Онуфрійовича, який раніше працював головним інженером компанії.

Завдяки спільним зусиллям співробітників почалося економічне зростання підприємства.

Станом на 1998 р. випущено продукції розміром понад 640 тис. м<sup>3</sup>, що в декілька раз більше ніж в 1996 р. Заробітна плата усім співробітникам видається своєчасно, без скорочення штабу.

В квітні 2008 року підприємство «Гніванський кар'єр» пройшло реорганізацію в ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр», а також ВАТ «Гніванський кар'єр».

На сьогодні працює дільниця ДСЦ № 2, що здійснює випуск щебеневої продукції фракції 5 – 10 (мм), 10 – 20 (мм), 5 – 20 (мм) в кількості 1 млн. 100 тис. м<sup>3</sup> в рік.

Зроблено реконструкцію устаткування ДСЦ № 1 в якому випускається кубовидний щебінь фракції 2-5 мм, 5-8 мм, 8-11 мм, 11-16 мм; а також відсів фракції до 2 мм; до 5 мм.

Щоб бути успішним на ринку збуту освоюємо сучасні технології, це стосується вибухових робіт та технологічних ліній для випуску щебеневої продукції заводу. Особлива увага приділяється якості щебеню, підвищений контроль якості випуску продукції, активно вводяться в експлуатацію та виробництво нові види вибухових речовин, що у свою чергу поліпшують якість початкової гірничої маси. Продукція кар'єру успішно проходить усі етапи сертифікації, на підприємстві функціонує сучасна атестована лабораторія, котра проводила забезпечення підприємства всім необхідним обладнанням для проведення ретельного контролю якості продукції.

На ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» працює 766 чол., за останні роки створено більше 100 робочих місць, їхня кількість з кожним роком зростає і поповнюється молодими спеціалістами, за власні кошти проводиться підготовка молодих кадрів та навчання персоналу суміжних професій.



## Рисунок 1.1 – Фото кар'єру у м.Гнівань

### 1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

Об'єктом проектування є системи електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр». Генплан підприємства показано на Рисунок 1.2.

Відстань від підприємства до самої живлячої підстанції енергосистеми складає 6 км.

Потужність короткого замикання зі сторони живлячої підстанції 10 кВ складає  $S_{к.з.}=55$  МВА.

Вхідна реактивна потужність складає  $Q_{вх}= 213$  квар.

Час використання максимального навантаження  $T_{м}=3200$  год/рік.

Час максимальних втрат складає  $\tau_{м}= 1726,91$  год/рік.

Тариф за активну електроенергію  $t=5$  грн/кВт·год.

Інформація про електричні навантаження підприємства занесена до табл. 1.1.

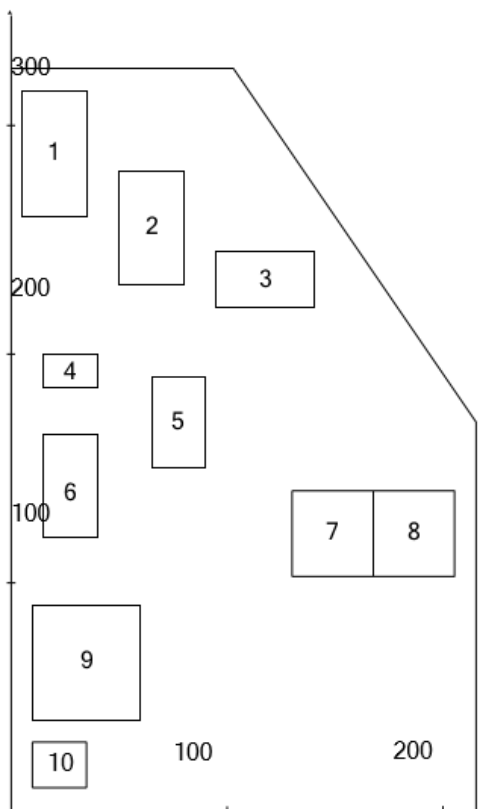


Рисунок 1.2 - Генплан підприємства



Таблиця 1.1 - Інформація про електроспоживання цеху

№ на плані	Назва виробничого цеху	Рном, кВт
1	Адміністр. корпус гранітного кар'єру	30
2	Побутовий комбінат	105
3	Приміщення пральні	50
4	Центральний в'їзд	15
5	Здоровпункт	15
6	С Т О	250
7	Цех електродний	52
8	Цех плиточний	220
9	Цех ремонтно-будівельний	340
10	Приміщення транспортного цеху	25

### 1.3 Аналіз системи автоматичного комерційного розрахунку електроенергії

АСКОЕ — це сукупність взаємопов'язаних компонентів системного програмного забезпечення, інформаційного та технічного забезпечення, розроблених і виготовлених як продукт виробничо-технічного призначення та забезпечених необхідною для експлуатації документацією.

АСКОЕ має відповідати вимогам стандартів і правил документа, що регламентує створення та впровадження систем автоматичного розрахунку та обліку електроспоживання:

- «Інструкція про порядок комерц. обліку щодо електричної енергії», 2003 р.;
- «Технічні та організаційні вимоги до побуд. автоматизованих систем обліку для електричної енергії на об'єктах ДПНЕК «Укренерго»». 2004р.

АСКОЕ, яке розробляється, має відповідати вимогам чинних в Україні нормативних документів, таких як ГОСТ, ДСТУ, РД, які встановлюють стандарти та регламенти створення автоматизованих систем.

АСКОЕ, що розробляється, повинна відповідати вимогам нормативних документів ПУЕ та ПБЕ, і також ДНАОП в частині:

- обладнання для електричних установок;
- забезпечення електричної і пожежної безпеки;
- заходів з охорони праці.

АСКОЕ, що проектується, має відповідати принципами (що відповідають вимогам документу РД 50-680):

- системності;
- розвитку (відкритості);
- сумісності;
- стандартизації (уніфікації);
- ефективності.

АСКОЕ повинно забезпечити, відповідно до вимог наступного документу: «Інструкція про порядок комерц. обліку для електричної енергії», наступний порядок автоматичного зняття показань лічильників електроенергії для розрахункового обліку:

- відповідно з періодом інтеграції, який встановлює ОРЕ;
- в кінці доби для формування звіту (станом на 24 годину в звітній добі);
- кожного місяця.

АСКОЕ має реалізувати автоматичне зняття показників лічильників для технічного обліку.

Діагностування системи має відбуватися:

- програмно-технічними елементами АСКОВЕ: автоматично під час виконання ними функцій, що передбачені ТЗ;
- користувачем (або оператором) – автоматизовано з АРМ.

Режим роботи АСКОВЕ є цілодобовий і безперервний з урахуванням виконання технічного обслуговування [30].

Для проведення робіт з технічного обслуговування та ремонту робота окремих компонентів системи припиняється, якщо це не впливає на кількість і якість виконання автоматичних функцій системи. Інсталяційні роботи для системи виконуватиме інше підрядне агентство (надалі в цьому документі іменується «підрядне агентство»). Клієнт, який впроваджує систему, здійснить поставку технічних та програмних засобів до АСКОЕ в обсязі поставки, зазначеному в ТУ.

Висновок. В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи проведено аналіз характеристик технологічних процесів вказаних підприємств. Надається інформація про параметри споживачів електроенергії підприємства. Проведено аналіз автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

#### 2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

У цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи виконується автоматизований розрахунок електричного навантаження для підприємства загалом з використанням методу к-та використання  $k_v$  а також к-та попиту  $k_{\Pi}$  [12].

Використовуючи наступні формули виконаємо розрахунки навантажень цехів і підприємства. Результати усіх розрахунків подано на рис. 2.1 у табличній формі.

Значення коефіцієнта реактивної потужності:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(\varphi)). \quad (2.1)$$

Розрахункове значення активної потужності для засобів освітлення:

$$P_{\text{розрах.осв}} = F \cdot k_{\text{поп.о}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot P_{\text{питом.осв}} \quad (2.2)$$

Розрахункове значення реактивної потужності для засобів освітлення:

$$Q_{\text{розрах.осв}} = P_{\text{розрах.осв}} \cdot \tan(\varphi_0) \quad (2.3)$$

де  $\operatorname{tg}(\varphi)$  - для засобів освітлення є коефіцієнт реактивної потужності.

Середня активна потужність:

$$P_{\text{сер}} = k_v \cdot P_{\text{ном}} + P_{\text{росв}} \quad (2.4)$$

Середнє значення потужності реактивної:

$$Q_{\text{середн}} = k_{\text{вик}} \cdot P_{\text{номін}} \cdot \tan(\varphi) + Q_{\text{росв}} \quad (2.5)$$

Середнє значення потужності повної:

$$S_{\text{середн}} = \sqrt{P_{\text{сер}}^2 + Q_{\text{середн}}^2} \quad (2.6)$$

Середнє значення сили струм:

$$I_{\text{сер}} = \frac{S_{\text{сер}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2.7)$$

Розрахункове значення потужності активної:

$$P_{\text{розр}} = k_{\pi} \cdot P_{\text{ном}} + P_{\text{росв}} \quad (2.8)$$

Розрахункове значення реактивної потужності:

$$Q_{\text{розр}} = k_{\text{попиту}} \cdot P_{\text{номін}} \cdot \tan(\varphi) + Q_{\text{росв}} \quad (2.9)$$

Розрахункова повна потужність:

$$S_{\text{розрах}} = \sqrt{P_{\text{розрах}}^2 + Q_{\text{розрах}}^2} \quad (2.10)$$

Розрахункова сила струму:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2.11)$$

Значення питомої густини електричних навантажень для цеху:

$$\rho = \frac{S_p}{F}. \quad (2.12)$$

Сумарне значення для середньої активної потужності підприємства в цілому:

$$P_{c\Sigma} = \sum_1^N P_c \quad (2.13)$$

де N – це кількість цехів.

Сумарне середнє значення реактивної потужності підприємства в цілому:

$$Q_{c\Sigma} = \sum_1^N Q_c \quad (2.14)$$

Сумарне середнє значення повної потужності підприємства в цілому:

$$S_{\text{сер. сум}} = \sqrt{P_{\text{сер. сум}}^2 + Q_{\text{сер. сум}}^2} \quad (2.15)$$

Сумарне значення розрахункове для активної потужності освітлення підприємства в цілому:

$$P_{\text{розр. осв. сум}} = \sum_1^N P_{\text{розр. осв}} \quad (2.16)$$

Розрахункове сумарне значення реактивної потужності освітлення для підприємства в цілому:

$$Q_{\text{розрах.осв.сум}} = \sum_1^N Q_{\text{розрах.осв}} \quad (2.17)$$

Розрахункове сумарне значення для активної потужності підприємства в цілому:

$$P_{\text{розрах.сум}} = k_{\text{одн}} \cdot \sum_1^N k_{\text{поп}} \cdot P_{\text{номін}} + P_{\text{росв.сум}} \quad (2.18)$$

Розрахункове сумарне значення реактивної потужності для підприємства в цілому:

$$Q_{\text{розрах.сум}} = k_{\text{одн}} \cdot \sum_1^N k_{\text{поп}} \cdot P_{\text{номін}} \cdot \tan(\varphi) + Q_{\text{росв.сум}} \quad (2.19)$$

Сумарна повна потужність підприємства в цілому:

$$S_{\text{розрах.сум}} = \sqrt{P_{\text{розрах.сум}}^2 + Q_{\text{розрах.сум}}^2} \quad (2.20)$$

Значення сумарної питомої густини навантажень для підприємства в цілому:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{\text{p}\Sigma}}{F_{\Sigma}} \quad (2.21)$$

Пораховані результати розрахунку виведено на рисунок 2.1 в табличній формі. Ця таблична форма дає змогу реалізувати розрахунок навантажень цеху, і підприємства в цілому [12]. Для кар'єру значення середньої потужності рівне  $S_{\text{c}\Sigma}=1088,93$  кВА, значення розрахункової потужності, з урахуванням коефіцієнта одночасності, стало  $S_{\text{p}\Sigma}=1067,16$  кВА.

2.2 Визначення оптимальної кількості, потужності і місця розташування цехових ТП

Для реалізації проектування заводських цехових трансформаторних ТП (ЦТП) необхідно виконати наступні вимоги [12]:

- основним показником ефективності найоптимальніших трансформаторів повинні бути річні приведені затрати;
- приймемо, що кількість стандартних потужностей для трансформаторів - є максимум три;

Для розрахунку оптимальних потужностей трансформаторів сформуємо табличну форму (рисунок 2.2).

№	Цех	Світло										Середні нав-ня					Розрах. нав-ня					Ko=	0,95
		Pn, кВт	cos	tg	Kп	Kв	площа, м <sup>2</sup>	Kп0	Pплт, Вт/м <sup>2</sup>	Kпра	tg0	Qm0, квар	Pp0, кВт	Pc, кВт	Qc, квар	Sc, кВА	Pp, квар	Qp, квар	Sp, кВА	Ip, А	p0, кВА/м <sup>2</sup>		
1	Адмінкорпус кар'єру	30	0,6	1,33	0,55	0,45	1377	0,9	0,016	1,2	0,48	11,42	23,79	37,29	29,42	47,50	40,29	33,42	52,35	79,54	0,04		
2	Побуткомбінат	105	0,6	1,33	0,45	0,3	1296	0,8	0,014	1,2	0,48	8,36	17,42	48,92	50,36	70,21	64,67	71,36	96,30	146,32	0,07		
3	Пральня	50	0,75	0,88	0,55	0,5	1008	0,8	0,014	1,2	1,73	23,44	13,55	38,55	45,49	59,62	41,05	47,69	62,92	95,60	0,06		
4	Центральний в'їзд	15	0,7	1,02	0,55	0,5	405	0,8	0,012	1,2	0,48	2,24	4,67	12,17	9,89	15,68	12,92	10,66	16,74	25,44	0,04		
5	Здравпункт	15	0,7	1,02	0,45	0,3	1053	0,9	0,016	1,2	0,48	8,73	18,20	22,70	13,32	26,32	24,95	15,62	29,43	44,72	0,03		
6	СТО	250	0,5	1,73	0,55	0,7	1215	0,9	0,015	1,2	0,48	9,45	19,68	194,68	312,56	368,23	157,18	247,60	293,28	445,60	0,24		
7	Цех електродів	52	0,8	0,75	0,55	0,4	1296	0,9	0,015	1,2	0,48	10,08	21,00	41,80	25,68	49,05	49,60	31,53	58,77	89,29	0,05		
8	Цех плитки	220	0,7	1,02	0,45	0,5	1296	0,9	0,015	1,2	0,48	10,08	21,00	131,00	122,30	179,21	120,00	111,08	163,51	248,44	0,13		
9	Ремонтно-будівельний цех	340	0,6	1,33	0,5	0,4	2601	0,8	0,014	1,2	0,48	16,78	34,96	170,96	198,11	261,68	204,96	243,45	318,24	483,51	0,12		
10	Контора транспортного цеху	25	0,6	1,33	0,5	0,3	567	0,9	0,015	1,2	0,48	4,41	9,19	16,69	14,41	22,05	21,69	21,08	30,24	45,94	0,05		
14	Всього по підприємству	1102					12114					104,98	183,44	714,74	821,54	1088,93	709,60	797,06	1067,16	1621,38	0,09		

Рисунок 2.1 - Розрахунок навантаження цеху підприємства

Щоб оптимально розподілити цехи виробництва по трансформаторам, використовується значення питомої щільності навантаження площі об'єкта.

Наше підприємство відноситься до другої категорії з точки зору енергонадійності, тому ми поставляємо підстанцію з двома трансформаторами на ЦТП.

Оптимальний вибір потужності ТП зроблено автоматично на основі вхідних даних системи.

Результатом розрахунку є оптимальна продуктивність трансформатора з умовами мінімізації щорічної економії при установці, функціонуванні та експлуатації.

Відповідно до ПУЕ [1] кількість трансформаторів ЦТП повинна нормуватися за категорією енергетичної надійності підприємства.

Продуктивність обраного трансформатора повинна бути такою, щоб гарантувалася робота всіх магазинів в післяаварійному режимі роботи ЦТП.

На рисунку 2.2 наведено таблицю розподілу цехів компанії по ТП з урахуванням особливостей клієнтів виробництва.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахункова активна потужність Pp, кВт	Розрахункова реактивна потужність Qp, кВАр	Повна розрахункова потужність Sp, кВА	Середня активна потужність Pс, кВт	Середня реактивна потужність Qс, кВАр	Повна середня потужність Sc, кВА
1									
2		1	Адмінкорпус кар'єру	40,295	33,421	52,351	37,295	29,421	47,503
3		2	Побуткомбінат	64,668	71,361	96,303	48,918	50,361	70,208
4		3	Пральня	41,048	47,690	62,922	38,548	45,485	59,622
5		4	Центральний в'їзд	12,916	10,656	16,744	12,166	9,891	15,679
6		5	Здравпункт	24,946	15,620	29,433	22,696	13,325	26,318
7		6	СТО	157,183	247,605	293,283	194,683	312,557	368,230
8		7	Цех електродів	49,595	31,528	58,768	41,795	25,678	49,053
9		8	Цех плитки	119,995	111,078	163,515	130,995	122,300	179,212
10		9	Ремонтно-будівельний цех	204,957	243,446	318,235	170,957	198,113	261,678
11		10	Контора транспортного цеху	21,685	21,076	30,240	16,685	14,409	22,046
12			Всього по ТП1	737,288	833,481	1112,782	714,738	821,540	1088,934

Рисунок 2.2 - Розподіл цехів заводу між ЦТП

Дані для виконання та розрахунку такої задачі, щодо вибору оптимальної потужності для автоматизації розподілу навантажень, має бути досягнуто шляхом застосування функції для робочого листа ВПР та СУММ. В комірках автоматизований вибір інформації із бази даних при допомозі функції ВПР. Для цеху поточна функція знаходила всі необхідні потужності для нього. У підсумкових рядках функція СУММ ел. таблиць додає всі потужності в стовпчик.

Для вирішення задачі автоматизованого вибору трансформаторів за допомогою електронного процесору Ехсел слід першочергово визначити наступні дані:

- 1) марка для трансформатора (ТМ);
  - 2) середню, а також розрахункову потужності по ТП  $S_p$ ,  $S_c$ , кВА;
  - 3) нормативне значення коефіцієнта, що характеризує ефективні капіталовкладення в ТП  $E_c$  (приймається, що дорівнює 0,1);
  - 4) коефіцієнт, що характеризує відрахування для амортизації в ТП  $E_a$  (складає 3,6 %);
  - 5) питома вартість для втрат потужності  $B_0$ , грн./кВт (була розрахована раніше в загальній базі даних);
  - 6) число трансформаторів ТП  $k_t$ , шт.;
  - 7) значення коефіцієнта навантаження для нормального режиму  $k_n$ .
- Останній коефіцієнт є розрахований відповідно до наступних міркувань:

а) за таблицею G.1 ГОСТ 14209-97[5] вибирається річне еквівалентне значення температури для регіону, де розташоване дане підприємство (Вінниця:  $\Theta=10,7^{\circ}\text{C}$ );

б) з таблиці 6 ГОСТ 14209-97 для системи охолодження ONAN і в нормальному режимі, для температури  $20^{\circ}\text{C}$ , тобто для найгірших умов вказаної місцевості, знаходиться коефіцієнт навантаження для нормального режиму:  $k_n=1$ .

Сформуємо математичну модель для вибору потужності трансформаторів цехових ТП. Керованою змінною вказаної моделі є  $S_T$  - потужність трансформатора, а показник ефективності  $Z$  - є річні приведені затрати в ТП.

$$Z(S_T) = B_{ТП}(S_T) + B_B(S_T) \rightarrow \min_{S_T \in S_{CT}},$$

де  $B_{ТП}(S_T)$  - річні приведені затрати в ТП потужністю  $S_T$ , визначаються за виразом:

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

де  $E_e$  - коефіцієнт, що характеризує ефективність капіталовкладень;

$E_a$  - коефіцієнт, що характеризує відрахування на амортизацію;

$K_{ТП}(S_T, K_T)$  - значення капіталовкладень в ТП залежно від потужності  $S_T$  та кількості трансформаторів  $k_T$ .

$B_B(S_T)$  - вартість втрат електроенергії за рік визначається наступним чином:

$$B_B(S_T) = (\Delta P_{xx}(S_T) + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot K_{\frac{2}{3}}) \cdot k_T \cdot t \cdot \tau,$$

де  $\Delta P_{xx}(S_T)$  - втрати неробочого ходу трансформатора з потужністю  $S_T$  ;  
 $\Delta P_{кз}(S_T)$  - значення втрат короткого замикання трансформатора з  
 потужністю  $S_T$  ;

$k_T$  - кількість силових трансформаторів;

$\hat{E}_C$  - коефіцієнт завантаження силового трансформатора;

$S_{\tilde{N}\tilde{O}}$  - множина стандартних значень потужностей для трансформаторів,  
 МВА;

$\tau$  - кількість годин максимальних втрат.

Коефіцієнт завантаження трансформатора може бути розрахований наступним чином:

$$K_3 = \frac{S_{ТП}}{S_{ТП} \cdot k_T}.$$

Змінні значення втрат активної потужності в трансформаторах:

$$\Delta P_{зм} = \Delta P_{кз} \left( \frac{S_p^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right)$$

$\Delta P_{кз}$  - втрати короткого замикання силового трансформатора;

$S_T$  - потужність силового трансформатора ТП;

$k_T$  - кількість силових трансформаторів.

Постійні значення втрат активної потужності визначаються за формулою:

$$\Delta P_{nc} = \Delta P_{xx} \cdot k_T.$$

Сумарні значення втрат активної енергії будуть визначатись наступним чином [5]:

$$\Delta P = \Delta P_{nc} + \Delta P_{зм}.$$

При розв'язанні задачі необхідно, щоб було враховано такі обмеження[5]:

$$S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТПсм}$$

де  $S_{ТПсм}$  - середнє значення потужності ТП.

$$k_T \geq 1 \Rightarrow k_{на} \cdot S_T \geq k_{нна} \cdot S_{ТП},$$

де  $k_{на}$  - максимально допустимий коефіцієнт навантаження трансформатора в поставарійному режимі ( $k_{на}=1,3$ ). Значення цього коефіцієнта взято з ГОСТ 14209-97 (табл. Н.1) для варіанта, при котрому перевантаження системи триватиме 24 год, при тому, що середня добова температура сягатиме 30<sup>0</sup>С, тобто при умовах місцевості, які будуть найгірші для підприємства;

$k_{нна}$  - частина силового навантаження ТП, що повинна залишитись в роботі в після аварійному режимі (для кожної ТП є своє значення);

Для вибору оптимальної потужності ЦТП 1 при мінімальних витратах формується електронна таблиця Excel на робочому листі "ТП1" (**Ошибкa! Источник ссылки не найден.**). На **Ошибкa! Источник ссылки не найден.** наведено назви комірок а також діапазонів та опорні формули до даної таблиці. Значення коефіцієнта  $k_{нна}$  становитиме 0,8, оскільки при аварійній ситуації

допускається відключити до 20% навантаження цехів, що живляться від ЦТП

1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ТПІ за мінімумом затрат														
2	Дані нормального режиму														
3	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	1112,78			
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	1088,93			
5	Кількість трансформаторів										kt=	2			
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	1			
7	Дані післяаварійного режиму														
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяаварійного режимі										kpa=	1,3			
9	Доля навантаження в п.а. режимі										knpa=	0,8			
10	Економічні характеристики														
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Vo=	8634,56			
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ee=	0,1			
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea=	0,036			
14															
	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPхх, кВт	Kтп, тис. грн.	E*K, тис. грн.	dPзм, кВт	dPпс, кВт	dP, кВт	Vв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	обмеж. 1	обмеж. 2
15		63	1,28	0,24	587,319	79,8754	199,673	0,48	200,153	1728,23	---		---	---	---
16		100	1,97	0,33	623,682	84,8207	121,971	0,66	122,631	1058,86	---		---	---	---
17		160	3,1	0,51	671,143	91,2754	74,9742	1,02	75,9942	656,177	---		---	---	---
18		250	4,2	0,74	732,524	99,6233	41,6063	1,48	43,0863	372,031	---		---	---	---
19		400	5,9	0,95	879,2	119,571	22,8309	1,9	24,7309	213,54	---		---	---	---
20		630	8,5	1,31	978,232	133,039	13,2595	2,62	15,8795	137,113	---		---	+	---
21	V	1000	10,5	2,1	1154,22	156,974	6,50099	4,2	10,701	92,3983	249,372	V	+	+	+
22		1600	18	2,8	1434,88	195,143	4,35334	5,6	9,95334	85,9427	281,086		+	+	+
23		2500	23,5	3,85	1641,71	223,273	2,32797	7,7	10,028	86,5871	309,86		+	+	+
24										Змін=	249,372				
25										Опт. Пот. Трансформатора	St*=	1000			
26															

Рисунок 2.3 –Вибір потужності ЦТП1

### 2.3 Розрахунок втрат потужності цехових ТП

Перед вибором перерізу зовнішньої лінії живлення необхідно розрахувати втрати потужності в трансформаторі ЦТП. Не тільки потужність навантаження, але й потужність, втрачена в трансформаторі ЦТП, також буде проходити по зовнішніх лініях живлення. Неврахування цих втрат призведе до вибору зовнішнього сегмента лінії з недостатнім навантаженням, що може спричинити роботу лінії електропередач у неприйнятних умовах.

Втрати активної потужності в цехових ТП можуть розраховуватися за формулою:

$$\Delta P_{TP} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2,$$

де  $\Delta P_{TP}$  - значення втрат активної потужності ТП, кВт;

$n$  - кількість силових трансформаторів в ТП;

$\Delta P_{xx}$  - значення втрат холостого ходу силового трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$  - значення втрат короткого замикання силового трансформатора, кВт;

$S_p$  - значення повного розрахункового навантаження на ТП, кВА;

$S_{ном.тр}$  - номінальне значення потужності силового трансформатора ТП.

Втрати реактивної потужності в цехових ТП визначаються за формулою:

$$\Delta Q_{TP} = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{ном.тр} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_p^2}{S_{ном.тр}},$$

де  $\Delta Q_{TP}$  - значення втрат реактивної потужності у ТП, кВАр;

$I_{xx}$  - значення сили струму холостого ходу для силового трансформатора, А;

$U_{кз}$  - значення напруги КЗ, у % від номінального.

Визначення втрат потужності в цехових ТП, а також опорні формули та назви діапазонів і комірок для даного розрахунку наведено на рисунку 4.4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	№ ТП	Sном_т, кВА	кт	dPxx, кВт	dPкз, кВт	Ixx, %	Uк, %	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	dPтр, кВт	dQтр, кВАр	dСтр, кВА	P, кВт	Q, кВАр	R, Ом
2	1	1000	2	2,1	10,5	1,4	6	737,288	833,4809	1112,78	10,70099	65,148522	66,02152	747,989	898,629	1,05
3	Всього							709,596	797,0561		10,70099	65,148522	66,02152	720,296	862,205	
4	Назви комірок, діапазонів та опорні формули															
5	B2=Sном_т	O2:=Qсум					dPxxтр=ВПР(Sном_т;TR_10_kv;3;0)									
6	C2=ктвтр	N8:=Pсум_1					dPкзтр=ВПР(Sном_т;TR_10_kv;4;0)									
7	D2=dPxxтр	O6:=Qсум_1					Ixxтр=ВПР(Sном_т;TR_10_kv;5;0)									
8	E2=dPкзтр						Uкзтр=ВПР(Sном_т;TR_10_kv;6;0)									
9	F2=Ixxтр	N2:=Pвтр1					Pрвтр_сум=СУММ(Pрвтр)									
10	G2=Uкзтр	Qрвтр_сум=СУММ(Qрвтр)														
11	H2=Pрвтр	dPтрвтр=ктвтр*dPxxтр+(1/ктвтр)*dPкзтр*(Spвтр/Sном_т)^2														
12	H6=Pрвтр_сум	dPтрсум=СУММ(dPтрвтр)														
13	I2=Qрвтр	dQтрвтр=ктвтр*(Ixxтр/100)*Sном_т+(1/ктвтр)*(Uкзтр/100)*(Spвтр^2/Sном_т)														
14	I6=Qрвтр_сум	dQсум=СУММ(dQтрвтр)														
15	J2=Spвтр						dСтр=КОРЕНЬ(dPтрвтр^2+dQтрвтр^2)									
16	K2=dPтрвтр	O2:=Qвтр1					dСтрсум=КОРЕНЬ(dPтрсум^2+dQсум^2)									
17	K6=dPтрсум	Pсум=Pрвтр+dPтрвтр														
18	L2=dQтрвтр	Qсум=Qрвтр+dQтрвтр														
19	L6=dQсум	Pсум_1=Pрвтр_сум+dPтрсум														
20	M2=dСтр	Qсум_1=Qрвтр_сум+dQсум														
21	M6=dСтрсум															
22	N2=Pсум															

Рисунок 2.4- Розрахунок значень втрат потужності для цехових ТП

Визначення оптимального значення перерізу для зовнішньої лінії живлення

ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» знаходиться на відстані 6 км від найближчої розподільчої підстанції 110/10 кВ. Для живлення ЦРП, потрібно обрати оптимальний переріз зовнішньої лінії живлення, що буде виконувати функцію живлення підприємства від п/ст.

На листі Excel, що має назву "КЛ-ЦРП" буде створено електронну таблицю задля вибору найоптимальнішого перерізу зовнішньої лінії живлення, який буде у собі містити стандартні перерізи КЛ, а також допустимі струми для них. Ця таблиця автоматично розраховує мінімальне щорічне скорочення витрат на основі контрольованої змінної, що в даній задачі є переріз КЛ F. Показником ефективності тут є річні приведені витрати в зовнішню лінію живлення. За критерій оптимальності взято мінімум річних приведених затрат.

Сформуємо математичну модель для вибору оптимальних перерізів ліній КЛ 10 кВ [13].

Керованою змінною є переріз КЛ (мм<sup>2</sup>).



Множина доступних рішень – це множина всіх стандартних перерізів для КЛ 10 кВ.

ПЕР – річні приведені витрати.

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(F) = \left[ (E_e + E_a) \cdot K_0(F) + 3 \cdot I_n^2 \cdot r_0(F) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_l \rightarrow \min_{F \in X} \\ k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(F) \geq I_n \\ k_{\text{на}} \cdot I_{\text{доп}}(F) \geq I_n \cdot k_l \cdot k_{\text{на}} \\ \Delta U_n(F) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ \Delta U_{\text{на}}(F) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ F \geq F_{\text{кз}} \\ F \in X \end{array} \right.$$

де  $K_0(F)$  – значення питомої вартості КЛ, яка залежить від перерізу та кількості ліній;

$I_n$  – струм однієї з ліній;

$I_{\text{доп}}(F)$  – допустиме значення струму відповідно до ПУЕ за перерізом ( [3] пар.1.3.13–пар.1.3.18);

$K_{\text{доп}}(F)$  - значення коефіцієнта допустимого навантаження ( [3] §1.3.22);

$\Delta U_n(F)$  – значення втрат напруги в лінії за нормального режиму роботи;

$\Delta U_{\text{на}}^F$  – значення втрат напруги в лінії перерізом  $x$  за післяаварійного режиму;

$\Delta U_{\text{доп}}$  – значення допустимих втрат напруги ( [9]);

$k_{\text{доп}}$  – значення коефіцієнта допустимого навантаження,  
 $k_{\text{доп}} = k_{\text{п}} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{зр}}$  ;

$I_{\text{кз}}$  – значення струму кор.замикання на початку лінії;

$t_n$  – приведений час струму кор.замикання (с)  $\approx 1,5$  с;

$C$  – значення термічного коефіцієнта  $\frac{A \cdot \sqrt{c}}{\text{мм}^2}$  ([6], для кабелів 10кВ з AL жилами = 90).

Для вибору оптимального значення перерізу КЛ повинні виконуватися наступні умови:

Обмеження стосовно керованої змінної будуть такими:

1) Переріз КЛ за умовою допустимості нагрівання в нормальному режимі вибирається згідно наступного виразу:

$$k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(x) \geq I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot k_{\text{л}}}$$

де  $k_{\text{доп}}$  - коефіцієнт, який вносить корективи на струми залежновід температури землі та повітря, відповідно до ПУЕ (таблиця 1.3.3);

$I_{\text{доп}}(x)$  - допустиме значення тривалої сили струму навантаження, що залежить від перерізу КЛ, А;

$S_p$  - повна потужність для силового навантаження, кВА;

$U_{\text{ном}}$  - номінальне значення напруги КЛ.

Коефіцієнт  $k_{\text{доп}}$ , який визначається відповідно до формули:

$$k_{\text{доп}} = k_{\text{сер}} \cdot k_{\text{зр}} \cdot k_{\text{нр}},$$

де  $k_{\text{сер}}$  - коефіцієнт для середовища згідно ПУЕ (табл. 1.3.49). Оскільки ПУЕ не передбачає ніяких інших умов прокладання  $k_{\text{сер}}=1$ ;

$k_{\text{нр}}$  - коефіцієнт прокладання, що враховує особливості, а також тип прокладання ліній. Враховуючи те, що ми будемо повітряні лінії, то  $k_{\text{нр}}=1$ ;

$k_{zp}$  - коефіцієнт, що враховує як особливості, так і тип ґрунту. Оскільки живляча лінія буде повітряною, то  $k_{zp}$  не враховується.

$$k_{\partial on} = 1 \cdot 1 = 1.$$

2) Переріз лінії КЛ за умовою допустимого нагрівання в післяаварійному режимі обирається відповідно до такого виразу:

$$k_{na} \cdot k_{\partial on} \cdot I_{\partial on}(x) \geq k_L \cdot I_L \cdot k_{н.на}$$

де  $k_{na}$  - коефіцієнт, що характеризує перевантаження КЛ в післяаварійному режимі;

$k_{н.на}$  - частина навантаження, яка залишилася в режимі післяаварійному;

3) Переріз КЛ за умовою втрат напруги в нормальному режимі вибирається згідно такого виразу[13]:

$$\Delta U_{\partial on} \geq \Delta U_L(F) = \frac{P_p \cdot r_0(F) + Q_p \cdot x_0(F)}{k_L \cdot U_{ном}^2 \cdot 1000} \cdot L \cdot 100\%$$

де  $\Delta U_{\partial on}$  - допустимі значення втрат напруги в лінії, %;

$\Delta U_L(F)$  - фактичні значення втрат напруги в лінії, залежно від перерізу, %;

$P_p$  - значення активної потужності для силового навантаження, кВт;

$Q_p$  - значення реактивної потужності для силового навантаження, кВАр;

$x_0(F)$  - значення реактивного опору для проводу, залежно від його перерізу, Ом/км.

4) Умова, що вказує на допустимість втрат напруги в післяаварійному режимі:

$$\Delta U_{na.\dot{d}on} \geq \Delta U_{na.l}(F),$$

де  $\Delta U_{na.\dot{d}on}$  - допустимі значення втрат напруги у лінії електропередавання в післяаварійному режимі, %;

$\Delta U_{na.l}(F)$  - фактичні значення втрат напруги живлення в лінії електропередач в післяаварійному режимі, залежно від перерізу, %.

5) Оскільки лінія обладнана пристроями для швидкодіючого автоматичного повторного включення, то відповідно до [3] необхідно провести перевірку на термічну стійкість лінії електропередач до дії струмів КЗ:

$$F \geq F_{кз},$$

де  $F_{кз}$  - мінімальне значення перерізу, який витримує термічну дію струмів КЗ

Значення перерізу  $F_{кз}$  можна визначити за формулою:

$$F_{кз} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{t_n}}{C},$$

де  $I_{кз}$  - значення струму короткого замикання на стороні 10 кВ, А;

$t_n$  - приведені значення часу к. з., с;

$C$  – значення термічного коефіцієнта,  $A \cdot c^{0,5}/\text{мм}^2$ . Згідно ГОСТ 30323-95 Таблиці 9 для провoda з алюмінію марки АС за допустимої температури нагріву силових проводів при КЗ  $200^\circ\text{C}$   $C=90 A \cdot c^{0,5}/\text{мм}^2$ .

Коефіцієнт прокладки  $k_{np}=1$  відповідно до правил улаштування ел.уст. (Таблиця 1.3.28) для КЛ, які підходять до ТП в одній траншеї (по два кабеля).

Коефіцієнт, який враховує особливості прокладання та ґрунту  $k_{зр}=1$  відповідно до правил улаштування ел.уст. (Табл. 1.3.26.)

Коефіцієнт, що характеризує середовище  $k_{сер}$  (ПУЕ, табл. 1.3.10). Оскільки поправка на температуру землі не вказана  $k_{сер}=1$ .

Коефіцієнт перевантаження у післяаварійному режимі  $k_{па}=1,25$  відповідно до правил улаштування ел.уст. (Табл. 1.3.32). Коефіцієнт попереднього навантаження 0,6, так як відношення  $I_{л}/(I_{доп}k_{доп}) = 0,2$ , що є ближчим до 0,6; вид прокладки в землі, а допустиме перевантаження триває протягом 6 год.

Таблична форма, яка називається "КЛ-ЦРП" для автоматизованого вибору оптимального значення перерізу КЛ від підстанції до ЦРП наведена на рис. 4.13. Початкові дані для розрахунку наведені на рис. 4.11, опорні формули наведені на рис. 4.12.

Початкові дані			Поправочні коефіцієнти	
Економічні характеристики			Коефіцієнт середовища	
Питома вартість втраг, грн/кВт	$Bo=$	8634,5568	$G3:=Bo$	Коефіцієнт прокладки
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	$Ee=$	0,1	$G3:=E_e$	Коефіцієнт ґрунту
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	$Ea=$	0,05	$G3:=E_a$	$k_{доп}=$
Нормальний режим				
Максимально доп. коефіцієнт навантаження в н.режимі	$K_{доп}=$	1,09725	$G7:=K_{доп}$	
Напруга, кВ	$U=$	10	$G8:=U$	$L2:=kc$
Довжина КЛ, км	$l=$	6	$G9:=l$	$L3:=kp$
Активна розрахункова потужність, кВт	$P=$	720,2964914	$G10:=P$	$L4:=kgr$
Реактивна потужність, квар	$Q=$	862,2046499	$G11:=Q$	$L5:=kдоп$
Розрахунковий струм окремого кабелю, А	$I_{л}=$	32,43228707	$G12:=I_{л}$	$kдоп=kc*kp*kgr$
Кількість КЛ	$k=$	2	$G13:=k$	
Мінімально допуст. переріз КЛ за умовою механ. міцності	$F_{мех}=$	70	$G14:=F_{мех}$	
Допустима втрата напруги в КЛ, %	$\Delta U_{доп}=$	5	$G15:=\Delta U_{доп}$	
Аварійний режим				
Струм КЗ на початку лінії, кА	$I_{кз}=$	3,6944402	$G17:=I_{кз}$	
Приведений час КЗ, с	$tn=$	1,5	$G18:=tn$	
Тепловий коефіцієнт $C, (A \cdot c^{(1/2)})/\text{мм}^2$	$C=$	90	$G19:=C$	
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, $\text{мм}^2$	$F_{кз}=$	50,27444335	$G20:=F_{кз}$	
Після аварійний режим				
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження	$K_{па}=$	1,25	$G22:=K_{па}$	
Доля навантаження в післяаварійному режимі	$K_{па}=$	0,8	$G23:=K_{па}$	
Допустима втрата напруги в КЛ, %	$\Delta U_{падоп}=$	5	$G24:=\Delta U_{падоп}$	

Рисунок 2.5– Початкові дані для розрахунку оптимального перерізу зовнішньої КЛ

Назви комірок, діапазонів та опорні формули					
A28:A38:=F_kl	L35:=3*мін R0_ =ВПП(F_kl;KL;3;0)				
B28:B38:=R0_	L36:=Fopt X0_ =ВПП(F_kl;KL;5;0)				
C28:C38:=X0_	L37:=Ropt Ідоп_ =ВПП(F_kl;KL;4;0)				
D28:D38:=Ідоп_	L38:=Xopt dUn=((R0_ *P+Q*X0_) *L_) *100/(U_ ^2*k*1000)				
E28:E38:=dUn	dUpa=dUn*Knpa*k				
F28:F38:=dUpa	K_o=ВПП(F_kl;KL;7;0)	Змін_ =МИН(3т)			
G28:G38:=K_o	dP_ =3*(Іл^2)*R0_ *L_ *k*10^(-3)	Fopt_pl=ИНДЕКС(F_kl;ПОИСКПОЗ(Змін_;3т;0);1)			
H28:H38:=dP_	K_ =K_o*L_ *k	Ropt=ИНДЕКС(R0_ ;ПОИСКПОЗ(Змін_;3т;0);1)			
I28:I38:=K_	EK_ =(E_e+E_a)*K_	Xopt=ИНДЕКС(X0_ ;ПОИСКПОЗ(Змін_;3т;0);1)			
J28:J38:=EK_	Bв_ =(dP_ *B0_ )/1000	S27:S37:=ЕСЛИ(F_kl=Fopt_kl;"V";"")			
K28:K38:=Bв_	3т=ЕСЛИ(ДОП="недоп";"-";EK_ +Bв_ )				
L28:L38:=3т	ДОП=ЕСЛИ(И(Y1="+";Y2="+";Y3="+";Y4="+";Y5="+");"доп";"недоп")				
M28:M38:=ДОП	Y1=ЕСЛИ(Kдоп*Ідоп_ >=Іл;"+";"-")				
N28:N38:=Y1	Y2=ЕСЛИ(Kпа*Kдоп*Ідоп_ >=Knpa*Іл*k;"+";"-")				
O28:O38:=Y2	Y3=ЕСЛИ(dUn<=dUдоп;"+";"-")				
P28:P38:=Y3	Y4=ЕСЛИ(dUpa<=dUpадоп;"+";"-")				
Q28:Q38:=Y4	Y5=ЕСЛИ(F_kl>=Fмех;"+";"-")				
R28:R38:=Y5	Y6=ЕСЛИ(F_kl>=Fкз;"+";"-")				
S28:S38:=Y6					

Рисунок 2.6 - Опорні формули та розрахунки

F, мм <sup>2</sup>	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	Ідоп, А	dUn, %	dUpa, %	Кo, тис.грн/км	dP, кВт	К	Е*К, т.грн	Bв, т.грн	3, т. грн	Доп	Кдоп*Ідоп >= Іл	Кпа*Кдоп*Ідоп >= Knpa*Іл*k	ΔUн <= ΔUдоп	ΔUpa <= ΔUpадоп	F >= Fмех	F >= Fкз
10	3,1	0,122	50	7,014324272	11,22291884	32,19075	117,387	193,145	28,971675	1013,583	-	недоп	+	+	-	-	-	-
16	1,94	0,113	75	4,484412956	7,17506073	46,517625	73,4614	279,106	41,8658625	634,3069	-	недоп	+	+	+	-	-	-
25	1,24	0,099	90	2,935577729	4,696924366	67,003875	46,9547	402,023	60,3034875	405,4333	-	недоп	+	+	+	+	-	-
35	0,89	0,095	115	2,168919957	3,470271932	87,591375	33,7014	525,548	78,8322375	290,9965	-	недоп	+	+	+	+	-	-
50	0,62	0,09	140	1,572546729	2,516074767	124,62525	23,4774	747,752	112,162725	202,7166	-	недоп	+	+	+	+	-	-
70	0,443	0,086	165	1,179722837	1,887556539	170,440875	16,775	1022,65	153,3967875	144,8443	298,241	доп	+	+	+	+	+	+
95	0,326	0,083	205	0,919138926	1,470622282	220,897125	12,3445	1325,38	198,8074125	106,5897	305,397	доп	+	+	+	+	+	+
120	0,258	0,081	240	0,767025214	1,227240343	279,527625	9,76961	1677,17	251,5748625	84,35628	335,931	доп	+	+	+	+	+	+
150	0,206	0,079	275	0,649485734	1,039177174	344,617875	7,80054	2067,71	310,1560875	67,35424	377,51	доп	+	+	+	+	+	+
185	0,167	0,077	310	0,560037816	0,896060506	463,995	6,32374	2783,97	417,5955	54,60271	472,198	доп	+	+	+	+	+	+
240	0,129	0,075	355	0,472750788	0,756401261	643,518	4,88481	3861,11	579,1662	42,17814	621,344	доп	+	+	+	+	+	+
									мін затрати	=	298,241							
									Опт. Переріз ПЛ	=	70							
									Ropt=		0,443							
									Xopt=		0,086							

Рисунок 2.7 - Вибір оптимального перерізу зовнішньої КЛ

Дане рішення: для зовнішньої лінії електричного живлення на базі виконаного розрахунку в формі електронної таблиці "КЛ-ЦРП" доцільно вибрати кабельну лінію з марки ААБ з перерізом 70 мм<sup>2</sup>, при тому що

мінімальне значення приведених витрат, що залежить від КЗ, становлять 298,3 тис. грн.

Визначення значення струму короткого замикання за законом Ома з враховуючи еквівалентний опір системи

Для здійснення перевірки обмеження на мінімальний переріз стосовно струму к.з. необхідно розрахувати значення струму КЗ на початку лінії від ЦРП до ТП [6].

Схема заміщення для здійснення такого розрахунку наведена на рис. 4.12

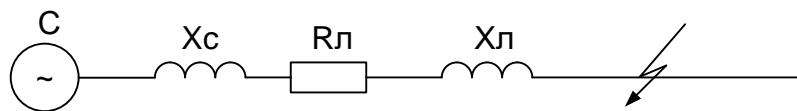


Рисунок 2.8 - Схема заміщення для здійснення розрахунку струму КЗ

Струм КЗ для зовнішньої лінії живлення розраховується за формулою:

$$I_{кз} = \frac{1,05 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot X_c}$$

де  $I_{кз}$  - значення струму короткого замикання, кА;

$U$  - значення напруги живлення мережі, кВ;

$X_c$  - значення опору системи, Ом.

$X_c$  визначається таким чином:

$$X_c = \frac{(0,95 \cdot U)^2}{S_{кз}},$$



де  $S_{KЗ}$  - значення потужності короткого замикання на стороні 10 кВ, МВА.

Струм КЗ розподільчих ліній розраховується за формулою:

$$I_{KЗ} = \frac{1,05 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{KЗ}}$$

де  $Z_{KЗ}$  - загальний сумарний опір лінії живлення та системи, Ом.

$$Z = \sqrt{R_{л}^2 + (X_{л} + X_{с})^2},$$

де  $R_{л}$  - значення активного опору лінії живлення, Ом;

$X_{л}$  - значення реактивного опору лінії живлення, Ом;

Таблична форма, а також формули для розрахунків струмів КЗ подані на рис. 2.9.

Розрахунок струмів КЗ			
Дані системи			
Напруга, кВ		U= 10	F3:=Ukz
Потужність коротко замикання, МВА		S <sub>кз</sub> = 55	F4:=S <sub>кз</sub>
Опір системи, Ом		X <sub>с</sub> = 1,641	F5:=X <sub>с</sub>
Струм КЗ для ЗЛДЖ, кА		I <sub>кз</sub> = 3,694	F6:=I <sub>кз</sub>
Довжина КЛ, км		L= 6	F8:=Lkz
Переріз КЛ, мм <sup>2</sup>		F= 70	F9:=Fkz
Активний опір КЛ, Ом		R <sub>л</sub> = 2,658	F10:=Rkz
Реактивний опір КЛ, Ом		X <sub>л</sub> = 0,516	F11:=Xkz
Результат			
Сумарний повний опір, Ом		Z= 3,423	F13:=Zkz
Струм КЗ для розподільчих ліній, кА		I <sub>кз</sub> = 1,7710	F14:=Ikzr
$X_c = (0,95 * U_{kz})^2 / S_{kz}$			
$I_{kz} = (U_{kz} * 1,05) / (X_c * \text{КОРЕНЬ}(3))$			
$R_{kz} = \text{ИНДЕКС}(R0k; \text{ПОИСКПОЗ}(F_{opt\_kz}; F_{kz}; 0); 1) * L_{kz}$			
$X_{kz} = \text{ИНДЕКС}(X0pl; \text{ПОИСКПОЗ}(F_{opt\_kz}; F_{opt\_kz}; 0); 1) * L_{kz}$			
$Z_{kz} = \text{КОРЕНЬ}(R_{kz}^2 + (X_c + X_{kz})^2)$			
$I_{kzr} = 1,05 * U_{kz} / (\text{КОРЕНЬ}(3) * Z_{kz})$			

Рисунок 2.9 - Визначення струмів короткого замикання

## Визначення значень оптимальних перерізів КЛ 10 кВ

Сформуємо математичну модель стосовно вибору оптимальних перерізів К.Лін 10 кВ [13].

Керованою змінною тут є переріз КЛ (мм<sup>2</sup>).

Множина з доступних рішень – це множина всіх стандартних значень перерізів КЛ 10 кВ.

ПЕР – річні приведені значення витрат.

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(F) = \left[ (E_e + E_a) \cdot K_0(F) + 3 \cdot I_L^2 \cdot r_0(F) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_L \rightarrow \min_{F \in X} \\ k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(F) \geq I_L \\ k_{\text{на}} \cdot I_{\text{доп}}(F) \geq I_L \cdot k_L \cdot k_{\text{на}} \\ \Delta U_H(F) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ \Delta U_{\text{на}}(F) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ F \geq F_{\text{кз}} \\ F \in X \end{array} \right.$$

де  $K_0(F)$  – питоме значення вартості КЛ, яке залежить від перерізу та кількості ліній;

$I_L$  – значення струму однієї лінії;

$I_{\text{доп}}(F)$  – допустимий струм відповідно ПУЕ по перерізу ( [3] п1.3.13–п1.3.18);

$K_{\text{доп}}(F)$  – коефіцієнт допустимого значення навантаження ( [3] §1.3.22);

$\Delta U_H(F)$  – втрати напруги в лінії за нормального режиму роботи;

$\Delta U_{\text{на}} F$  – значення втрат напруги в лінії перерізом  $x$  в післяаварійному режимі;

$\Delta U_{\text{доп}}$  – значення допустимих втрат напруги ( [9] А.4.7);

$k_{\text{доп}}$  – значення коефіцієнта допустимого навантаження,  $k_{\text{доп}} = k_{\text{п}} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{зр}}$

;

$I_{\text{кз}}$  – значення струму к. з. на початку лінії;

$t_n$  – приведенне значення часу к. з. (с)  $\approx 1,5$  с;

$C$  – тепловий коефіцієнт  $\frac{A \cdot \sqrt{c}}{\text{мм}^2}$  ( [6], для кабелів 10кВ з АL жилами =

90).

Для вибору оптимального значення перерізу КЛ повинні виконуватися всі ті ж умови, як і для ПЛ, крім перевірки на механічну міцність.

Відрізнятися під час вибору Каб.Лін. від вибору Пов.Лін. (підрозділ 4.5) будуть такі коефіцієнти :  $k_{сер}$  - коефіцієнт для опису середовища (ПУЕ, табл. 1.3.10). Оскільки значення поправки на температуру землі 19°C  $k_{сер}=0,95$ .

Коефіцієнт прокладання  $k_{пр}=1$  (ПУЕ Таблиця 1.3.28) для КЛ, що підходять до ТП1 в окремих підготовлених траншеях по одному кабелю,  $k_{пр}=1$  для ТП2, ТП3 та ТП4.

Коефіцієнт, який враховує особливості прокладання та ґрунту  $k_{зр}=0,75$  відповідно до ПУЕ Таблиця 1.3.26 для піска вологістю 3% (задано в індивідуальному завданні).

Значення коефіцієнта перевантаження в післяаварійному режимі  $k_{па}=1,25$  відповідно до ПУЕ Таблиця 1.3.32. Коефіцієнт попереднього навантаження 0,6, оскільки відношення  $I_{л}/(I_{доп}k_{доп})=0,17$ , що є ближчим до 0,6; вид прокладання – в землі, а допустиме перевантаження протягом 6 год.

Таблична форма, яка називається "КЛ1-ТП1" для автоматизованого вибору значень оптимального перерізу КЛ від ЦРП до ТП1 наведена на рис. 2.10. Опорні назви комірок і діапазонів, а також опорні формули для розрахунку необхідних величин наведено на рис. 2.11.

Початкові дані		Поправочні коефіцієнти			Назви колоні, діагональ та опорні формули											
Економічні характеристики		Коефіцієнт сервісу			A28 A38 = F K1											
Погода		Воз = 8634,5568			L38 = 3*ln F0 = ВПРФ K1.K1.3.0											
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень		Ек = 0,1			L36 = Fop X0 = ВПРФ K1.K1.5.0											
Коефіцієнт врахування на амортизацію		Ек = 0,05			L37 = Fop доп. = ВПРФ K1.K1.4.0											
Нормальний режим		Коеф = 1,09725			L38 = Xop d1 доп. = F*Q*X0 Y1*100 (U_2*Y1*1000)											
Максимально доп. коефіцієнт навантаження в н. режимі		Коеф = 1,09725			d1 Fop = d1* Ksp* k											
Напрямок КЛ		U = 10			K_ = ВПРФ K1.K1.7.0											
Довжина КЛ, км		I = 6			K_ = ВПРФ K1.K1.7.0											
Активна розрахункова потужність, кВт		P = 720,2964914			K_ = K_ * L_ * k											
Реактивна потужність, квар		Q = 862,2046499			K_ = K_ * L_ * k											
Розрахунковий струм окремого кабелю, А		Iк = 32,45228707			K_ = K_ * L_ * k											
Коефіцієнт КЛ		k = 2			K_ = K_ * L_ * k											
Мінімально допуст. переріз КЛ за умовою механ. міцності		Fmax = 70			K_ = K_ * L_ * k											
Допустима втрата напруги в КЛ, %		ΔUдоп = 5			K_ = K_ * L_ * k											
Струм КЗ на початку лінії, кА		Iкз = 3,694402			K_ = K_ * L_ * k											
Привалений час КЗ, с		tп = 1,5			K_ = K_ * L_ * k											
Темповий коефіцієнт С, (А*°C(1/2))/мг*2		С = 80			K_ = K_ * L_ * k											
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм*2		Fкз = 50,27444335			K_ = K_ * L_ * k											
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження		Kкз = 1,25			K_ = K_ * L_ * k											
Доля навантаження в післяаварійному режимі		Kкз = 0,8			K_ = K_ * L_ * k											
Допустима втрата напруги в КЛ, %		ΔUдоп = 5			K_ = K_ * L_ * k											
F, мм*2	Yo, Ом/км	Xo, Ом/км	Iдоп, А	δUн, %	δUл, %	Ко, нис.гр/км	δР, кВт	К	Е*К, т.грн	Ва, т.грн	3, т.грн	Доп	Клм*δд оп*доп >= Клм*δд #δд	ΔUлн <= ΔUоп	ΔUлн <= ΔUоп	F >= Fкз
10	3,1	0,122	50	7,014324272	11,22291884	32,19075	117,387	193,14	28,971675	1013,38	-	наоп	+	-	-	-
16	1,94	0,113	75	4,484412956	7,17506073	46,517625	73,4614	279,11	41,8658625	634,307	-	наоп	+	-	-	-
25	1,24	0,099	90	2,935577729	4,696924366	67,008375	46,9547	402,02	60,3034875	405,433	-	наоп	+	-	-	-
35	0,89	0,095	115	2,168919957	3,470271932	87,591375	33,7014	525,55	78,8323275	290,996	-	наоп	+	-	-	-
50	0,62	0,09	140	1,572546729	2,516074767	124,62225	23,4774	747,75	112,162725	202,717	-	наоп	+	-	-	-
70	0,443	0,086	165	1,179722837	1,887565359	170,440875	16,775	1022,6	153,3967875	144,844	298,241	доп	+	+	+	V
95	0,326	0,083	205	0,919138926	1,470622282	220,897125	12,3445	1325,4	198,8074125	106,59	305,397	доп	+	+	+	+
120	0,238	0,081	240	0,767023214	1,227240343	279,527625	9,76961	1677,2	251,5748625	84,3563	335,931	доп	+	+	+	+
150	0,206	0,079	275	0,649485734	1,039177174	344,617875	7,80054	2067,7	310,1560875	67,3542	377,51	доп	+	+	+	+
185	0,167	0,077	310	0,560037816	0,896606006	463,995	6,32374	2784	417,5955	54,6027	472,198	доп	+	+	+	+
240	0,129	0,075	355	0,472750788	0,756401261	643,518	4,88481	3861,1	579,1662	42,1781	621,344	доп	+	+	+	+
											мін затрати =		298,241			
											Отг. Переріз П =		70			
											Хорп =		0,443			
											Хорл =		0,086			

Рисунок 2.10 - Таблична форма для автоматизованого вибору КЛ від ЦРП до ТП

Назви комірок, діапазонів та опорні формули	
A26:A36:=F_k1	$I_{k1} = (\text{КОРЕНЬ}(P_{k1}^2 + Q_{k1}^2)) / (k_{d1} * \text{КОРЕНЬ}(3) * U_{k1})$
B26:B36:=R0k1	$I_{kz1} = 1,05 * U_{k1} / (\text{КОРЕНЬ}(3) * ZI)$
C26:C36:=X0k1	$F_{kz1} = (I_{kz1} * 1000 * \text{КОРЕНЬ}(tp)) / C_{ter}$
D26:D36:=Idopk1	$R_{0k1} = \text{ВПР}(F\_k1; KL; 2; 0)$
E26:E36:=K0k1	$X_{0k1} = \text{ЕСЛИ}(U_{k1} = 10; \text{ВПР}(F\_k1; KL; 6; 0); \text{ВПР}(F\_k1; KL; 3; 0))$
F26:F36:=dUnk1	$I_{dopk1} = \text{ЕСЛИ}(U_{k1} = 10; \text{ВПР}(F\_k1; KL; 7; 0); \text{ВПР}(F\_k1; KL; 4; 0))$
G26:G36:=dUpak1	$K_{0k1} = \text{ЕСЛИ}(U_{k1} = 10; \text{ВПР}(F\_k1; KL; 8; 0); \text{ВПР}(F\_k1; KL; 5; 0))$
H26:H36:=dPk1	$dUnk1 = ((P_{k1} * R_{0k1} + Q_{k1} * X_{0k1}) * I_{k1} * 100) / (U_{k1}^2 * k_{d1} * 1000)$
I26:I36:=K1k1	$dUpak1 = dUnk1 * k_{npa1} * k_{d1}$
J26:J36:=EKk1	$dPk1 = 3 * (I_{k1}^2) * R_{0k1} * I_{k1} * 10^{-3}$
K26:K36:=Bbk1	$K_{1k1} = K_{0k1} * k_{d1} * I_{k1}$
L26:L36:=Зкп1	$E_{Kk1} = K_{1k1} * (E_{ek1} + E_{ak1})$
M26:M36:=допк1	$B_{bk1} = dPk1 * B_{0k1} * 10^{-3}$
N26:N36:=Y1k1	$Зкп1 = \text{ЕСЛИ}(\text{допк1} = "ДОП"; (E_{Kk1} + B_{bk1}); "----")$
O26:O36:=Y2k1	$\text{допк1} = \text{ЕСЛИ}(\text{И}(Y_{1k1} = "+"; Y_{2k1} = "+"; Y_{3k1} = "+"; Y_{4k1} = "+"; Y_{5k1} = "+")); "ДОП"; "НЕДОП")$
P26:P36:=Y3k1	$Y_{1k1} = \text{ЕСЛИ}(k_{dop1} * I_{dopk1} = I_{kz1}; "+"; "----")$
Q26:Q36:=Y4k1	$Y_{2k1} = \text{ЕСЛИ}(k_{pa1} * k_{dop1} * I_{dopk1} >= k_{npa1} * I_{k1} * k_{d1}; "+"; "----")$
R26:R36:=Y5k1	$Y_{3k1} = \text{ЕСЛИ}(dUnk1 <= dU_{dop1}; "+"; "----")$
L37:=Зкп1опт	$Y_{4k1} = \text{ЕСЛИ}(dUpak1 <= dU_{padop1}; "+"; "----")$
L38:=Fortk1	$Y_{5k1} = \text{ЕСЛИ}(F\_k1 >= F_{kz1}; "+"; "----")$
Зкп1опт=МИН(Зкп1)	$Fortk1 = \text{ИНДЕКС}(F\_k1; (\text{ПОИСКПОЗ}(Зкп1опт; Зкп1; 0)); 1)$

Рисунок 2.11 - Назви комірок і діапазонів, а також опорні формули  
табличної форми "КЛ-ТП1"

Проектне рішення: для ЦТП доцільно вибрати кабель марки ААБ з перерізом 70 мм<sup>2</sup>. Питомі затрати на 1 км довжини будуть: для ЦТП1 – 298241 грн.

## РОЗДІЛ 3

### ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ

3.1 Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних рішень з допомогою електронного процесора EXCEL

Автоматизація прийняття найоптимальніших проектних рішень з безлічі доступних рішень за допомогою електронного процесора Excel вирішується інструментом «Пошук рішень».

Інструмент «Пошук рішення» спрямований на пошук аргументів функції, яка приймає мінімальне, максимальне або заздалегідь визначене значення [11].

При тому на значення аргументу функції є можливість накласти обмеження у вигляді нерівностей і рівностей. Якщо в якості функції прийняти показник ефективності рішення (ПЕР), а за аргументи взяти керовані зміни то таким чином за допомогою засобу «ПОШУК РІШЕННЯ» можна вирішити задачі прийняття оптимальних рішень перенісши на нескінчені множині доступних.

Якщо показник ефективності рішення (ПЕР) використовувати як функцію, а керовані зміни прийняти як аргументи, то за допомогою інструменту «ПОШУК РІШЕННЯ» можна розв'язувати проблеми.

задача прийняття рішень.

Загальні характеристики при використанні інструменту «Пошук рішень»: - у створеній нами таблиці повинна бути одна цільова комірка, повинна містити формулу, значення якої береться за критерій оптимізації min/max або дорівнює вказане нами значення; - формула в цільовій комірці повинна містити посилання на певні комірки, де буде містити значення керованих змінних; - можуть бути визначені певні обмеження - умови або

зв'язки, яким повинні задовольняти значення контрольованих змінних. В діалоговому вікні програми, слід задати:

- 1) комірку таблиці, що утримує значення ПЕР;
- 2) критерій для оптимальності;
- 3) комірки таблиці, що утримують керовані змінні;
- 4) всі необхідні обмеження для керованих змінних;

Задавши всі дані які необхідно для засобу «Поиск решений» потрібно натиснути кнопку "Найти решение" та оптимізаційна задача буде вирішена.

Визначення оптимальних координат для розміщення ЦРП за критерієм мінімуму витрат в СЕП

Необхідно вибрати оптимальне місце розташування ЦРП за критерієм мінімальних витрат на систему електропостачання, керуючись припущенням, що ЦРП можна збудувати в будь-якому місці на території промислового підприємства, не зайнятому .

біля заводу чи дороги. Визначення оптимальних координат для розміщення ЦРП дозволить розмістити його саме на території підприємства, що, в свою чергу, сприятиме зменшенню протяжності низьковольтних мереж, де є значні втрати електроенергії, а також зменшенню КЛ. Споживання, тим самим зменшуючи споживання кольорових металів і, таким чином, зменшуючи витрати SEP. Для вибору оптимальних координат розташування CDR необхідно сформулювати математичну модель цієї задачі. У цій моделі керуючими змінними будуть координати розташування CDR -  $(x_0; y_0)$ .

Показником ефективності рішення буде загальне річне зниження вартості системи електропостачання. Ціла математична модель буде мати наступний вигляд:



$$\left. \begin{aligned} & 3(x_0, y_0) = \left[ (E_e + E_{\text{джк}}) \cdot (a_{\text{жк}} + K_0(F_{\text{жк}})) + 3 \cdot I_{\text{жк}}^2 \cdot r_0(F_{\text{жк}}) \cdot k_{\text{жк}} \cdot B_0 \right] \cdot \rho((x_0, y_0), (x_{\text{жк}}, y_{\text{жк}})) + \\ & \sum_{i=1}^n \left[ (E_e + E_a) \cdot (a + K_0(F_i) \cdot k_i) + 3 \cdot I_i^2 \cdot r_0(F_i) \cdot k_i \cdot B_0 \right] \cdot \rho((x_0, y_0), (x_{\text{жк}}, y_{\text{жк}})) \rightarrow \min_{x_0, y_0}; \\ & \min_{i=1}^n(x_i) \leq x_0 \leq \max_{i=1}^n(x_i); \\ & \min_{i=1}^n(y_i) \leq y_0 \leq \max_{i=1}^n(y_i). \end{aligned} \right\}$$

де  $3(x_0, y_0)$  - річні приведені витрати;

$E_e$  - коефіцієнт для ефективності капіталовкладення;

$E_a$  - коефіцієнт відрахувань стосовно амортизації;

$K_0(F_i)$  - питома значення вартості ПЛ з перерізом  $F_i$ ;

$I_i$  - струм окремої лінії від ЦМ до  $i$ -тої ЦТП;

$r_0(F_i)$  - питома значення опору повітряної лінії перерізом  $F_i$ ;

$B_0$  - питома значення вартості втрат активної потужності в лінії;

$I_{\text{жк}}$  - струм для живлячої ПЛ;

$k_{\text{ж}}$  - кількість проводів для живлячої ПЛ;

$a_{\text{жк}}$  - складова питомої фінансової вартості живлячої ПЛ на 1 км, що не є залежна від перерізу;

$k_i$  - кількість живлячих кабелів від ЦРП до  $i$ -тої ЦТП;

$F_i$  - значення перерізу  $i$ -тої КЛ;

$F_{\text{жк}}$  - значення перерізу живлячої ПЛ;

$a$  - складова питомої фінансової вартості КЛ на 1 км, що не є залежна від перерізу;

$n$  - кількість ЦТП;

$x_0, y_0$  - значення координат ЦМ;

$x_i, y_i$  - значення координат  $i$ -тої ЦТП;

$x_{\text{жк}}, y_{\text{жк}}$  - координати точки для підведення зовнішньої лінії живлення.

Враховуючи вказану довжину дроту від зовнішньої точки живлення лінії електропередачі до ЦРП, буде використовуватися евклідова метрична система, оскільки лінію електропередачі можна прокласти по прямій лінії.

Тоді довжина відрізка буде обчислена як за формулою:

$$L = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} \quad (3.2)$$

При прокладанні КЛ від ЦРП до ЦТП враховується неевклідова метрика, враховуючи те, що кабелі по території прокладаються під прямими кутами, довжина кабелю між двома координатами буде обраховуватися за наступною формулою [13]:

$$L = |x_0 - x_i| + |y_0 - y_i| \quad (3.3)$$

Таблична форма EXCEL для визначення оптимальних координат для центру мережі розміщена на листі EXCEL що називається "ЦМ" і наведена на Рисунок 3.1. Також на Рисунок 3.1 подано опорні імена комірок, а також діапазонів, і опорні формули, за котрими проводився розрахунок потрібних величин.

Технічні характеристики мережі											
Напруга зовнішньої лінії живлення, кВ								Uж= 10		K2:=Uj	
Метрика зовнішньої лінії (E чи HE)						МетрикаЖ = HE				K3:=MetrZL	
Метрика розподільної мережі (E чи HE)						МетрикаP = HE				K4:=metrR	
Економічні характеристики мережі											
Питомі втрати, які не залежать від перерізу КЛ 10кВ, тис.грн/км						a= 10				K7:=aCEM	
Питомі втрати, які не залежать від перерізу зовнішньої КЛ тис.грн/км						аж= 8				K8:=ajCEM	
Питома вартість втрат, грн/кВт						Bo= 8634,56				K9:=BoCEM	
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень						Ee= 0,1				K10:=EeCEM	
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію						Ea= 4,00%				K11:=EaCEM	
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію живлячої лінії						Eаж= 5,00%				K12:=EajCEM	
Лінії живлення	X, м	Y, м	F, мм <sup>2</sup>	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	Ro, Ом/км	Ko, т.грн/км	L, м	З, тис. грн
ЖЛ	110	5	70	2	720,30	862,20	32,43	0,443	170,44088	175,00	8,909
Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											8,9087
Оптимальні координати ЦЕМ, м											Xo = 55 Yo = 125
Координати ЦЕМ на генплані, м											Xo = 55 Yo = 125
Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											58,914

Рисунок 3.1 - Таблична форма визначення оптимальних координат розміщення ЦРП

B16:B22:=X	I16:=Zzsum	Зсумрічн=Zzsum+СУММ(Ztp)									
C16:C22:=Y	L17:L20:=Ztp	I16:=ВІП(FCЕМ;PL;3)									
D16:E22:=FCЕМ	L23:=Зсумрічн	J16:=ВІП(FCЕМ;PL;7)									
E16:E22:=kCEM	J24:=X0	J17:J20:=ВІП(FCЕМ;KL;8)									
F16:F22:=PCЕМ	L24:=Y0	ICЕМ=(КОРЕНЬ(PCЕМ^2+QCEM^2))/(Uj*kCEM*КОРЕНЬ(3))									
G16:G22:=QCEM	K16:=LmetrZL	J18:J20:=ВІП(FCЕМ;KL;2)									
H16:H22:=ICEM	K17:K20:=LmetrR	KotCEM=ВІП(FCЕМ;KL;8)									
I16:I22:=R0CEM	LmetrZL=ЕСЛИ(MetrZL="E";КОРЕНЬ((X0-X)^2+(Y0-Y)^2);ABS(X0-X)+ABS(Y0-Y))										
J16:J22:=KotCEM	LmetrR=ЕСЛИ(metrR="E";КОРЕНЬ((X0-X)^2+(Y0-Y)^2);ABS(X0-X)+ABS(Y0-Y))										
K16:R22:=LCEM	Zzsum=((EeCEM+EajCEM)*(ajCEM+KotCEM)+3*(10^(-3)*ICEM^2)*R0CEM*10^-3*BoCEM*kCEM)*LCEM*10^-3										
	Ztp=((EeCEM+EaCEM)*kCEM*(aCEM+KotCEM)+3*(10^(-3)*ICEM^2)*R0CEM*10^-3*kCEM*BoCEM)*LCEM*10^-3										

Рисунок 3.2 – Опорні імена комірок, та опорні формули для розрахунку

Розрахунок оптимальних значень координат розміщення ЦРП проводиться з використанням засобу "Поиск решений" діалогове вікно котрого представлено на Рисунку 3.3.

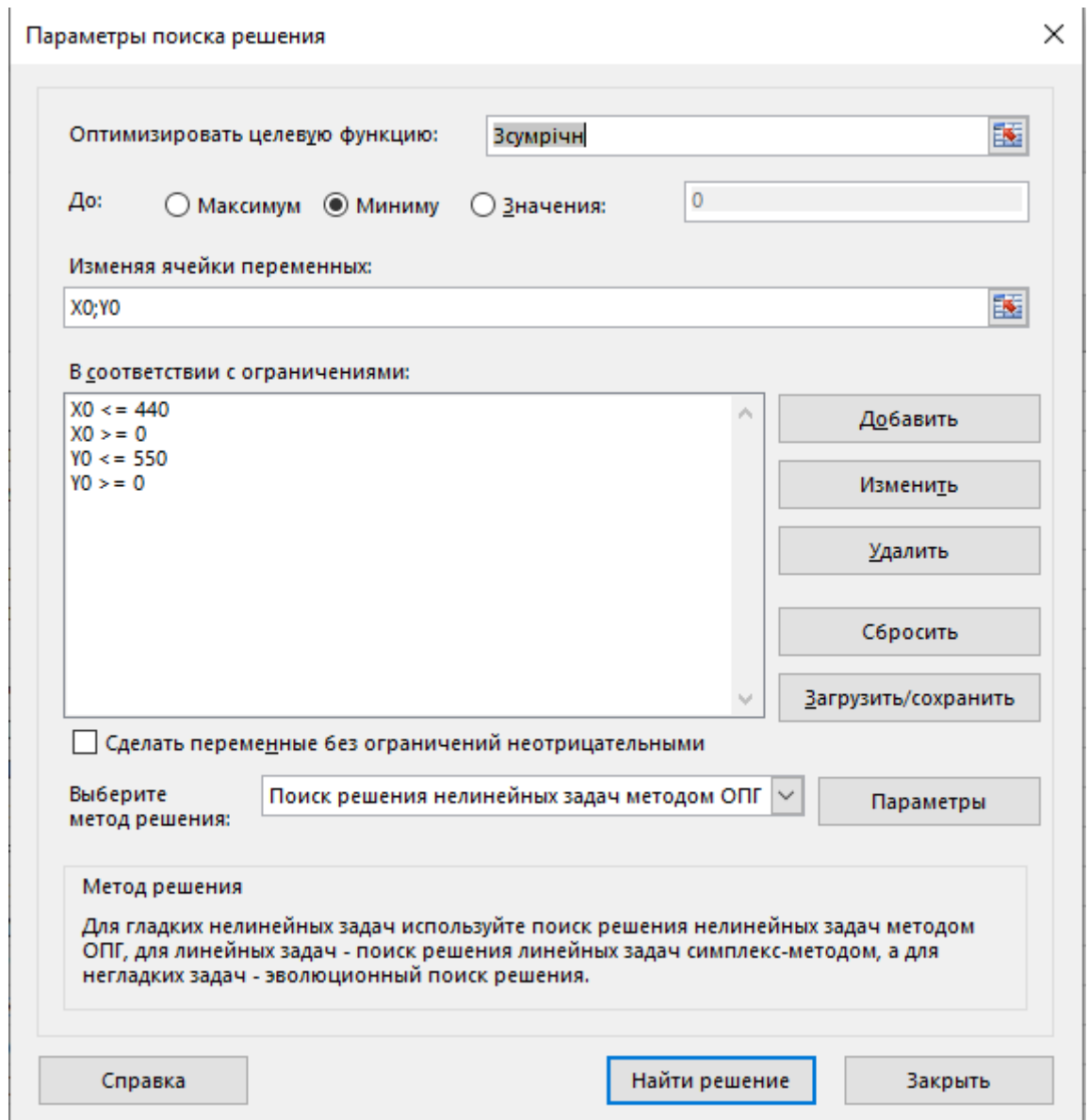


Рисунок 3.3 - Діалогове вікно засобу «Поиск решений» для визначення ЦМ

З використанням засобу EXCEL "Поиск решений" було розраховано оптимальні координати для центру мережі. Проектне рішення: Оптимальними координатами для розміщення ЦРП на генплані:  $X_0=455$ ,  $Y_0=430$ . сумарні річні приведені затрати в мережу при цьому становлять 121,29 тис. грн.

Генеральний план підприємства з розміщеними на ньому ЦРП та ТП наведено на Рисунок 3.4.

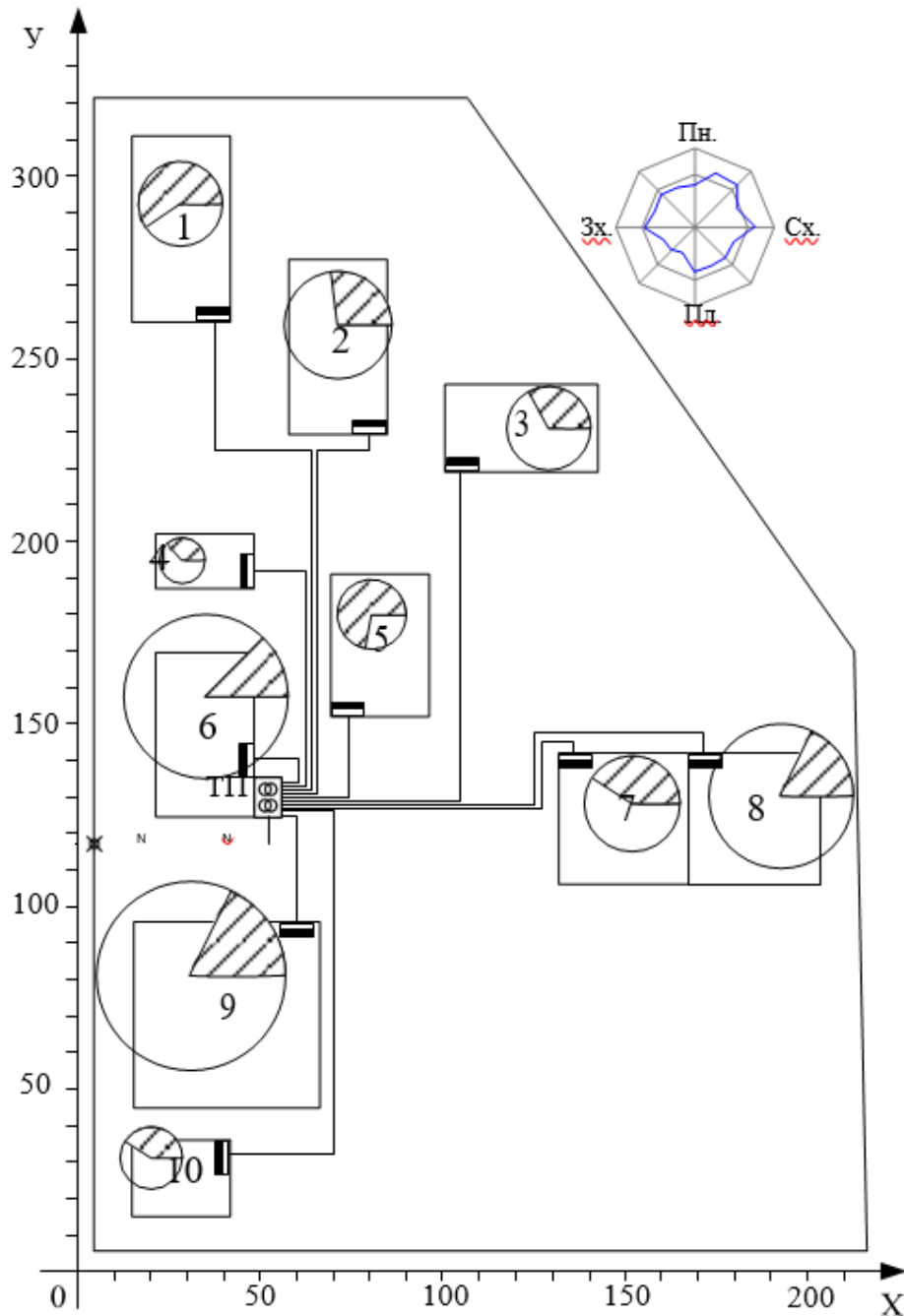


Рисунок 3.4 - Генплан підприємства

Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень на нескінченній множині доступних з використанням математичного САПР MathCad. Задля того, щоб вирішити задачу пов'язану з прийняттям оптимальних проектних рішень для нескінченної множини, слід використати САПР MathCad [14]. При вирішенні задачі в електронному процесорі MathCad, використовуються такі функції, як: Minimize та блок розв'язку Given. Дані функції збули застосовані за алгоритмом, що вказано нижче.

Алгоритм роботи з функціями Minimize, Maximize та роботи блоку розв'язку Given:

- 1) Створити формені блоки, які можна опрацювати та задати у них вихідні дані для розрахунку ПЕР та перевірки обмежень.
- 2) Ввести формені блоки з першоджерельними значеннями керованих змінних (аргументів функції ПЕР). Початкові дані також можуть бути довільними, проте їх доцільно було б, щоб їх значення були допустимо доступними.
- 3) Створити блоки, що задають функцію ПЕР в залежності від керованих змінних.
- 4) Відкрити розрахунковий блок Given що починається із слова Given і закінчується з функціями Minimize, Maximize.
- 5) Створити блоки що задають обмеження на керовані змінні.
- 6) Викликати функції Minimize або ж Maximize.
- 7) Викликати функцію ПЕР та підставити в поля знайдені оптимальні значення керованих змінних.

Визначення оптимальної потужності для компенсувальних пристроїв 0,38 кВ за критерієм мінімуму витрат в СЕП

Метою задачі є вибір потужностей конденсаторних батарей (БК) у вузлах навантаження.

Керованими змінними тут є потужності БК у вузлах електричних навантаження.

ПЕР – значення річних приведених затрат.

Для простоти розрахунків вкажемо наступні припущення:

- 1) не було враховано вплив та наслідки компенсації реактивних навантажень (КРН) на вибір силових елементів СЕП;

2) не було враховано постійну складову витрат на компенсуювальні установки (КУ);

3) напругу у вузлах мережі доцільно вважати майже однаковою і приймається рівна номінальній. Це дає можливість не враховувати значення втрат активної потужності від протікання реактивної потужності споживача.

Однолінійна схема для електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» показана на рис 3.4.

Схема заміщення з метою розрахунку балансової задачі КРН наведена на Рисунок 3.:

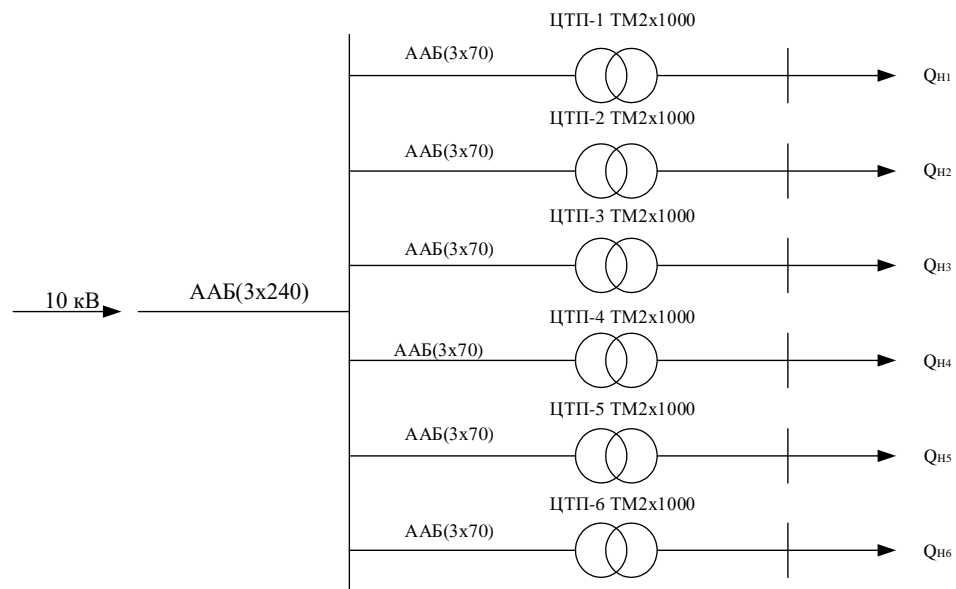


Рисунок 3.5 – Однолінійна схема електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

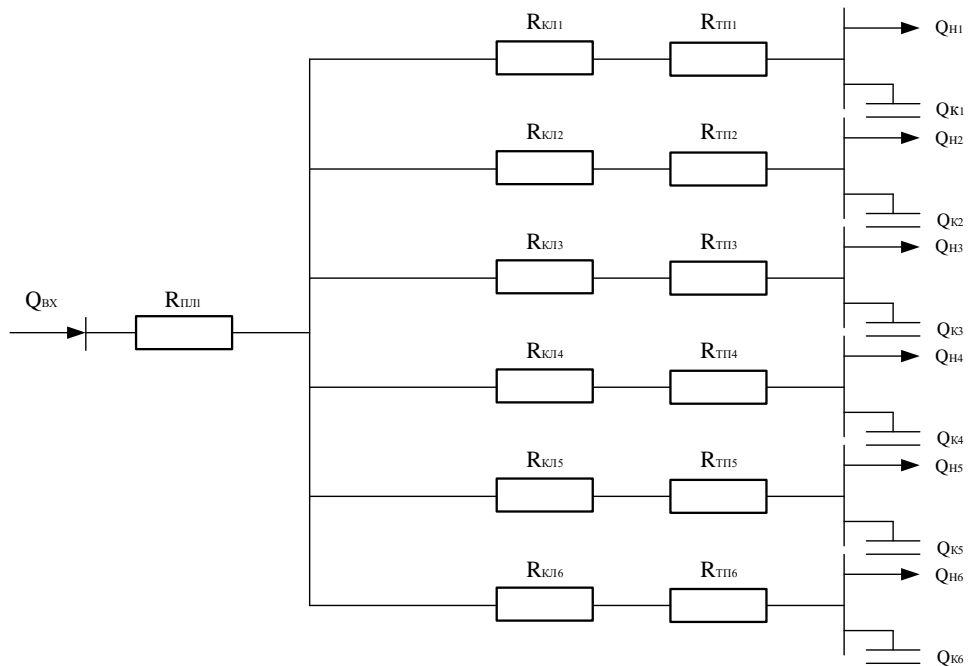


Рисунок 3.6– Схема заміщення мережі електропостачання ТОВ  
«Гніванський гранітний кар'єр»

Для спрощення розрахунків виконуються наступні припущення:

- 1) не враховано вплив КРН на вибір силових елементів СЕП;
- 2) не врахована постійна складова витрат в КУ;
- 3) напруга у вузлах електричної мережі вважається майже однаковою і приймається рівною номінальній.

Сформовано математичну модель балансової задачі оптимальної КРН:

Керованими змінними є потужність БК у вузлах навантаження

ПЕР – річні приведені витрати.

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(Q_K) = \frac{B_0}{U^2} \times \sum_{i=1}^n \left[ (Q_{Hi} - Q_{Ki})^2 (R_{KLi} + R_{Ti}) \right] + \\ + [(E_s + E_a) \cdot B_{k0} + B_0 \cdot \Delta P_k] \times \sum_{i=1}^n Q_{Ki} \rightarrow \min_{Q_K}; \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = Q_{BX} \end{array} \right.$$

(3.4)



д

е  $U$  – номінальне значення напруги, до якої приведені активні опори схеми заміщення;

$V_0$   $n$  – кількість цехових ТП та РП 10 кВ;

– значення питомої вартості втрат активної потужності, суми реактивних навантажень, котрі отримують живлення через  $i$ -ту вітку мережі, квар;

$Q_{ki}$  – сума значень потужностей КУ саме тих вузлів мережі, котрі отримують живлення через  $i$ -ту вітку мережі, квар;

$k_{li}$  – значення активного опору для окремої лінії;

$t_i$  – значення реактивного опору окремого трансформатора  $i$ -тої ЦТП;

$\Delta P_k$  – питомі значення втрат реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар;

$V_{k0}$

$E$  – питоме значення вартості КУ;

$E$  – коефіцієнт для ефективності капіталовкладень, %;

– коефіцієнт для відрахувань на амортизацію,  $Q_{ik}$  – значення вхідної реактивної потужності.

Враховуючи особливості поданої математичної моделі задачі буде побудовано комп'ютерну модель на робочому листі ППП MathCad.

Вихідні данні для розрахунку	<u>ORIGIN</u> := 1	
Напруга, кВ:		$U := 10$
Вхідна реактивна потужність, квар:		$q_{\text{вх}} := 212.87865$
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень		$E_e := 0.1$
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію		$E_a := 0.05$
Питома вартість КУ		$B_{\text{к0}} := 100$
Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар		$\Delta P_k := 4.5$
Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт		$B_o := 8634.5568$
Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км		
$r_{01} := 0.443$		
Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км		
$L_{\text{кл1}} := 175$		
Опори трансформаторів, Ом		
$r_{\tau 1} := 1.05$		
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:		
$q_{\text{н1}} := 898.629465$		
Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:		
$q_{\text{к1}} := 100$		
Довжина та питомий опір лінії живлення:		
$l_{\text{ж}} := 6$ $r_{\text{ж0}} := 0.443$		
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом		
$r_{\text{ж}} := l_{\text{ж}} \cdot r_{\text{ж0}} = 2.658$		
Опір розподільних ліній живлення, Ом		
$r_{\text{л1}} := r_{01} \cdot L_{\text{кл1}} = 77.525$		

Рисунок 3.7 – Вхідні дані для розрахунку задачі КРН в MathCad

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$z(q_{k1}) := \frac{B_0}{U^2 \cdot 1000} \cdot \left[ \left( (q_{H1} - q_{k1})^2 \cdot \left( \frac{r_{\tau 1} + r_{л1}}{2} \right) \right) \dots \dots \right. \\ \left. + (q_{H1} - q_{k1})^2 \cdot \frac{r_{ж}}{2} \right] + [(E_e + E_a) B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_k] \cdot (q_{k1})$$

Given  
обмеження

$$q_{k1} \geq 0$$

$$(q_{H1}) - (q_{k1}) = q_{ВХ}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(z, q_{k1}) = 685.75$$

Річні приведені затрати, грн

$$z(q_{k1}) = 6123881.73$$

Перевірка, квар

$$(q_{H1}) - (q_{k1}) = 798.629$$

$$q_{ВХ} = 212.879$$

Визначаємо потужності БК у вузлах навантаження, квар:

$$q_{КУ} := \frac{q_k}{2} = 342.875$$

Рисунок 3.8 Запис математичної моделі КРН і розв'язання задачі КРН в MathCad

Виконуємо таку ж задачу в середовищі EXCEL з використанням засобу "Поиск решений". На листі EXCEL під назвою "КРП" здійснюємо необхідні розрахунки (рис. 5.8).

Як видно, результати розрахунків ідентичні в обох випадках. Це свідчить про їх вірність.

Проектне рішення: розв'язок балансової задачі КРН вказав, що доцільно встановити на механічному заводі автоматичні регульовані конденсаторні установки УКР-0,4 наступних номінальних потужностей[16]:

Компенсація реактивної потужності							
Вхідні дані:							
Вхідна реактивна потужність		$Q_{вх} =$	213	квар	$F4 := Q_{вх}$		
Напруга		$U =$	10	кВ	$F5 := U$		
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень			0,1				
Коефіцієнт відратувань на амортизацію			0,04				
Питома вартість КУ			100				
Питомі РП втратив КУ			4,5	кВт/Мвар			
Питома вартість втрат АП			8634,56	грн/кВт	$F10 := Bo$		
		$Bo / (U^2 * 1000) =$	0,08635		$F11 := F10 / (F5^2 * 1000)$		
ЛЖ	Питомі активні опори ліній	Довжини ліній	Реактивні нав., кавр	Опір ТП	Повні актив. опір	Пот. КУ,	ПЕР h(Qk)
ТП	0,443	6175,00	898,629	1,050	2,736	680,324	65183,835
	Разом		898,629			680,324	26449485,9
Перевірка:							
$Q_p - Q_k =$		218,305					
$Q_{вх} =$		213					
$B15 := ЦМ!J16$		$I15 := ((F15 - K15)^2) * I15 / 2$					
$F16 := \text{втрати!O3}$		$I16 := F11 * (СУММ(L15:L15)) + ((F6 + F7) * F8 + F10 * F9) * (K15)$					
$H16 := \text{втрати!P3}$		$L15 := B15 * D15 / 1000$					

Рисунок 3.9 – Запис математичної моделі, а також розв'язання задачі КРН в EXCEL

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До:  Максимум  Минимум  Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

SFS17 >= SKS17  
 SFS16 >= SKS16  
 SFS18 >= SKS18  
 SKS16 >= 0  
 SKS17 >= 0  
 SFS19 >= SKS19  
 SKS18 >= 0  
 SKS19 >= 0  
 ПЕР = SFS4

Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения  
 Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка

Рисунок 3.10 – Пошук рішення для вибору оптимальної потужності КРП

### 3.2 Показники якості електропостачання відповідно ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160:2014

Згідно з Законом України «Про електроенергетику» (ст.25 «Права споживачів електричної енергії») споживачі електро- енергії мають право отримувати електричну енергію, якісні характеристики якої визначаються відповідно до стандартів Держ. Крім того, у статті 5.20 «Правил користування електричною енергією» передбачено, що «...у відповідних договорах зазначаються показники якості електричної енергії, що надаються постачальником електричної енергії [17]. Сторони договору встановлюють перелік необхідних показників якості електричної енергії на основі державних

стандартів з урахуванням та погодження заявок постачальників та споживачів електричної енергії.

Засоби та умови контролю якості електроенергії визначаються договором. Дотримання узгодженого переліку показників якості є обов'язком сторін договору.

Наукові праці. З 1 січня 2000р В Україні діє федеральний стандарт ГОСТ 13109-97 «Енергія електрична. Стандарти якості електроенергії в загальних електричних системах. Безумовно, стандарти цього стандарту є обов'язковими для впровадження в Україні. Україна стала членом Енергетичного Співтовариства, тому необхідно ще багато працювати над адаптацією національної нормативно-правової бази у сфері електротехніки та енергетики до стандартів і директив ЄС. Наказ Міністерства економічного розвитку України від 20.05.2014 р. № 573 від 01.10.2014 р. про запровадження стандарту ДСТУ EN 50160: 2014 [3], що є ідентичним до європейському стандарту EN 50160: 2010. Однак, Федеральний стандарт ГОСТ 13109-97 не втратив чинності, а саме в Україні діють два стандарти, які містять суперечливі стандарти щодо якості напруги живлення.

Розглянемо більш детально та визначимо основні відмінності в характеристиках якості електроенергії, встановлених у ГОСТ-13109-97 та ДСТУ EN 50160: 2014 [17]. Відхилення напруги. ГОСТ 13109-97 визначає допустимі і гранично допустимі відхилення напруги відповідно  $\pm 5\%$  від  $U_n$  і  $\pm 10\%$  від  $U_n$ . Національний стандарт ДСТУ EN 50160: 2014 визначає відхилення напруги як  $\pm 10\%$  від  $A$ . В умовах, коли електрична енергія постачається електричною мережею без підключення до ОЕС або спеціального користувача мережі далеко, зміна напруги не повинна перевищувати значення від  $-15\%$  до  $+10\%$   $A$ .

Також слід зауважити, що цей стандарт не передбачає собою використання таких термінів, як: «допустимі» і «граничні» значення відхилення напруги. Відхилення частоти. У ГОСТ 13109-97 допустиме ім відхиленням частоти є  $\pm 0,2$  Гц, а максимально допустима частота —  $\pm 0,4$  Гц.

ДСТУ EN 50160: 2014 виділяє відхилення частоти для двох типів систем: для систем, синхронно підключених до ОЕС – 50 Гц  $\pm 1\%$  протягом 99,5% часу на рік; 50 Гц  $+4\%/-6\%$  для 100% часу вимірювання; для систем, що працюють без синхронної дії підключення до ОЕС: 50 Гц  $\pm 2\%$  протягом 95% часу на тиждень; 50 Гц  $\pm 15\%$  протягом 100% часу вимірювання.

Термін «Асиметрія напруги», визначений у ГОСТ 13109-97, збігається з терміном «Дисбаланс напруги живлення» в ДСТУ EN 50160: 2014.

Перший документ дає визначення щодо нормального допустимого значення та максимально допустимого значення коефіцієнта. На несиметрію напруги в зворотній і нульовій послідовності в загальних точках приєднання до чотирипровідної електромережі номінальною напругою 0,38 кВ, що дорівнює 2% і 4% відповідно (в середньому по 3 секундах). У ДСТУ EN 50160: 2014 дисбаланс напруги визначається лише у зворотній послідовності. У стандарті зазначено, що 95% середньоквадратичного значення зворотної напруги має становити від 0% до 2% прямої напруги за нормальних робочих умов, усередненого за 10-хвилинний період.

ГОСТ 13109-97 визначає допустиме, проте граничне значення для короткочасної дози мерехтіння від коливань напруги з різною формою меандра, що дорівнює 1,38, а для тривалої - 1,0. У місцях загального підключення споживачів електроенергії з лампами розжарювання в приміщенні необхідна значна візуальна напруга, рівно 1 для дози короткочасного мерехтіння і 0,74 для дози тривалого мерехтіння. У ДСТУ EN 50160: 2014 зазначено, що за нормальних умов експлуатації протягом тижневого періоду індикатор тривалого мерехтіння, спричиненого коливаннями напруги, не повинен перевищувати 1 на 95% спожитого робочого часу.

Коефіцієнт синусоїдальних спотворень кривої напруги.

У ГОСТ 13109-97 визначені нормальні і максимально допустимі значення коефіцієнта спотворення для різних видів номінальної напруги, які наведені на рис. 3.10.

Нормально допустиме значення за $U_{ном}$ , кВ		Гранично допустиме значення за $U_{ном}$ , кВ	
0,38	8,0	0,38	12,0
6-20	5,0	6-20	8,0
35	4,0	35	6,0
110-330	2,0	110-330	3,0

Рисунок 3.11 – Значення коефіцієнту викривлення синусоїдальності кривої напруги

В ДСТУ EN 50160:2014 вказано, що сумарне значення коефіцієнта гармонічних спотворень СКГС (NEAN) напруги електропостачання не повинно бути більшим аніж 8 % від діючого значення напруги основної частоти. Значення коефіцієнта номінальної гармонічної складової напруги подано на Рисунку. 4.2 (вибірково).



ГОСТ 13109-97					ДСТУ EN 50160:2014		
n	НН	СН		ВН	НН	СН	ВН
		6-10 кВ	35 кВ				
Непарні гармоніки не кратні 3							
5	6,0	4,0	3,0	1,5	6,0	6,0	5,0
7	5,0	3,0	2,5	1,0	5,0	5,0	4,0
11	3,5	2,0	2,0	1,0	3,5	3,5	3,0
13	3,0	2,0	1,5	0,7	3,0	3,0	2,5
Непарні гармоніки кратні 3							
3	5,0	3,0	3,0	1,5	5,0	5,0	3,0
9	1,5	1,0	1,0	0,4	1,5	1,5	1,3
15	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5
21	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5
Парні гармоніки							
2	2,0	1,5	1,0	0,5	2,0	2,0	1,9
4	1,0	0,7	0,5	0,3	1,0	1,0	1,0
6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5
8	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5
10	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5

Рисунок 3.12 – Значення коефіцієнта n-ї гармонічної складової напруги, %

Також, слід окремо розглянути питання невідповідності при зазначених стандартах номінальних значень для низької напруги. Європейськими стандартами було передбачено такі значення - 230/400 В, а низкою країн стандарти – 220/380 В.

Згідно з вищеперерахованим, з метою уникнення проблем щодо визначенням показників якості електричної енергії в Україні здійснено комплекс додаткових заходів, задля приведення національної нормативної бази до вимог чинних стандартів Європейського Союзу.

### 3.3 Вольтододаткові трансформатори в електричних мережах

Аналіз СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» показав, що існуючі засоби регулювання напруги не здатні швидко реагувати на коливання напруги, що цілком може трапитись внаслідок аварій трансформаторів або ж ліній електропередачі. Зваживши усі плюси та мінуси методів регулювання напруги, прийнято рішення, що для регулювання напруги СЕП, буде вірним рішенням прийняти спосіб примусової зміни напруги на кінці лінії живлення. Для реалізації цього способу можуть бути запропоновані такі засоби, як регульовані трансформатори та вольтододаткові трансформатори. Зазвичай для регулювання напруги в електричних мережах застосовують регульовані силові трансформатори з перемикачами ПБЗ (перемикання без збудження) або РПН (регулювання під навантаженням). Перемикачі ПБЗ вимагають відключення споживачів на час перемикання, а перемикачі РПН мають обмежену швидкодію. Окрім цього, перемикачі усіх типів є контактними, що пояснює їх малу надійність. Зважаючи на це, слід провести дослідження, що будуть спрямовані на вольтододаткових трансформаторів з безконтактними швидкодіючими засобами перемикання коефіцієнта трансформації, що дозволить покращити показники якості електричної енергії для кар'єру, і, як наслідок, підвищить рівень продуктивності підприємства.

Для стабільного електропостачання на підприємство застосовують СЕП, до складу яких входять трансформаторні підстанції 10 (6)/0,4 кВ, резервні електростанції, силові кабельні лінії для високої та низької напруги. Внаслідок тривалої експлуатації, грозових та комутаційних перенапруг елементи СЕП цілком можуть бути пошкодженими та вийти з ладу. Відновлене, внаслідок, релейного захисту та системної автоматики електропостачання може бути організоване через обхідні лінії електропередачі, які зазвичай більші в довжину або менші за перерізом, ніж основні. Працюючі елементи СЕП, при даних обставинах працюють з перевантаженням. Це призведе до більшої кількості втрат напруги в

електричній мережі а також до зниження напруги на самому підприємстві. Протяжність мереж і кількість трансформаторних підстанцій сучасних СЕП такі, що при знищенні окремих елементів СЕП втрати напруги можуть досягати 20–40 %. Що буде означати, що слід застосування спеціальних заходів щодо регулювання напруги в мережах та забезпечити усю необхідну якість напруги на шинах електроприймачів буде неможливо. Відхилення показників якості електроживлення споживачів більш ніж припустимі норми будуть призводити до змін у роботі технічних показників обладнання, та у певних моментах можуть стати чинником порушення його працездатності. Дуже чутливими до зміни напруги є установки освітлення в цехах підприємства, пошкодження яких, призведе до унеможливлення роботи кар'єру. При зниженні напруги на 10 % світловий потік таких установок зменшується на 30 %, а за підвищення напруги на 10 % термін служби ламп стає в 4 рази меншим, ніж зазначений виробником. При зниженні напруги на затискачах установки асинхронного двигуна на 10 % обертаючий момент знижується пропорційно квадрату підведеної напруги, тобто на 19 %. Це призводить до збільшення ковзання на 27 %, зменшення швидкості обертання електродвигуна, як наслідок, до некоректної роботи електростанків, подрібнювачів та ремонтно-слюсарних приладів на підприємстві. Тому для забезпечення надійної роботи у складі СЕП мають бути передбачені швидкодіючі засоби компенсації коливань напруги. Для визначення причин втрат напруги при розподілі електроенергії розглянемо один із можливих варіантів для СЕП, наведений на рис. 4.3, а [18].

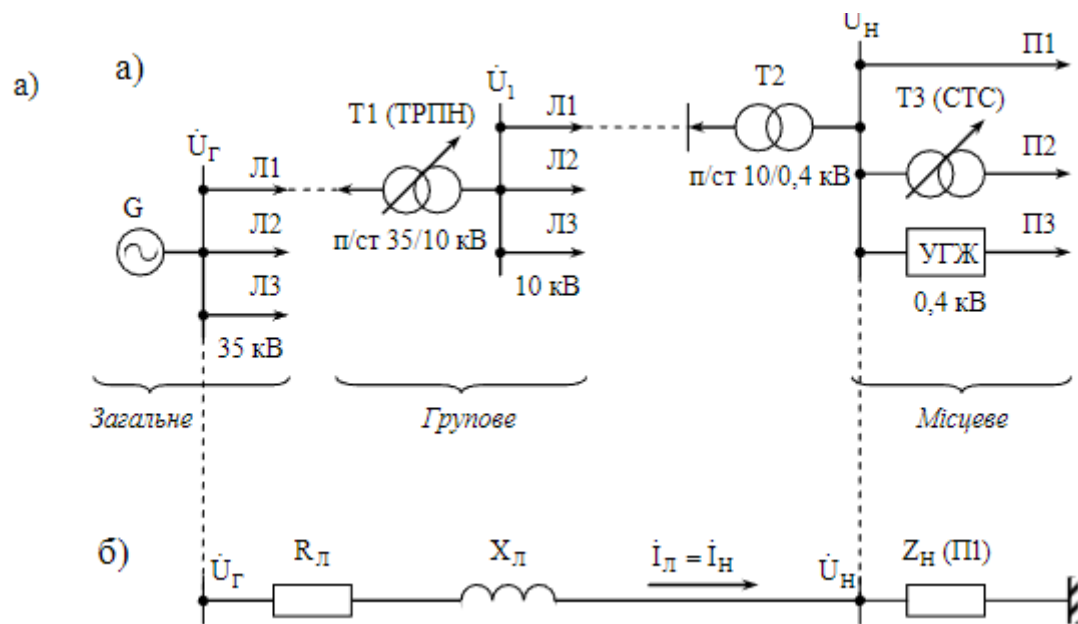


Рисунок 3.13 – Схема системи електропостачання.

Передача енергії від генератора до електроприймачів здійснюється лініями електропередачі. З усієї СЕП виділимо лінію Л1. Тут величинами представлені активний і реактивний опори лінії електропередачі трансформаторів з величинами на шинах електростанції і напруга на шинах навантаження. Струм у такій лінії електропередачі буде рівний струму навантаження. При протіканні струму навантаження в лінії електропередачі виникають падіння напруги на активному і реактивному опорах, через що величина напруги на навантаженні буде менше величини напруги на шинах електростанції. Для еквівалентної схеми заміщення рівняння для балансу напруги можна представити у вигляді геометричної суми:

$$\Delta U_L = R_L I_L \cos \phi + X_L I_L \sin \phi = R_L I_a + X_L I_p$$

Якщо припустити, що характер і величина навантаження заздалегідь відомі, легко визначити напрям і величину струму в лінії  $I_L$ , що буде дорівнювати струму навантаження  $I_N$ . З векторної діаграми рис. 2 бачимо наступне: величина напруги  $U_L$  визначається довжиною вектора  $AC$ , яка з достатньою для практичних розрахунків точністю у вигляді проекцією

вектора  $AC$  на напрям вектора  $U$ , виходячи з цього, буде представлена у вигляді суми:

$$\Delta U_{\pi} = R_{\pi} I_{\pi} \cos\phi + X_{\pi} I_{\pi} \sin\phi = R_{\pi} I_{\alpha} + X_{\pi} I_{\rho}$$

Помноживши і поділивши праву частину виразу на величину  $U_{\pi}$ , отримаємо:

$$\Delta U_{\pi} = \frac{R_{\pi} P_{\alpha} + X_{\pi} Q_{\rho}}{U_{\pi}}$$

де  $P_{\alpha}$ ,  $Q_{\rho}$  – відповідно активна і реактивна потужності навантаження. Враховуючи це, маємо, що втрати напруги в лінії електропередавання і трансформаторах залежать від активного і реактивного опорів мережі і споживаної електроприймачами потужності. Відомо, що для підтримки в СЕП значень напруги в заданих межах, слід використовувати такі види регулювання напруги, як: централізоване чи загальне, централізоване чи групове та децентралізоване (місцеве) регулювання напруги. Тож, задля реалізації даних видів регулювання напруги в СЕП слід застосовувати такі основні способи : примусова зміна напруги на кінці лінії (живлячому) за рахунок автоматичного регулювання збудження синхронних генераторів електростанцій чи застосування регульованих трансформаторів; зміна параметрів для електричної мережі за рахунок компенсації її реактивного опору шляхом вмикання послідовно з навантаженням реакторів чи конденсаторів послідовноємнісної компенсації; генерування реактивної потужності в СЕП за рахунок підключення паралельно навантаженню різних компенсуючих пристроїв (конденсаторів, а також силових дроселів чи синхронних компенсаторів).

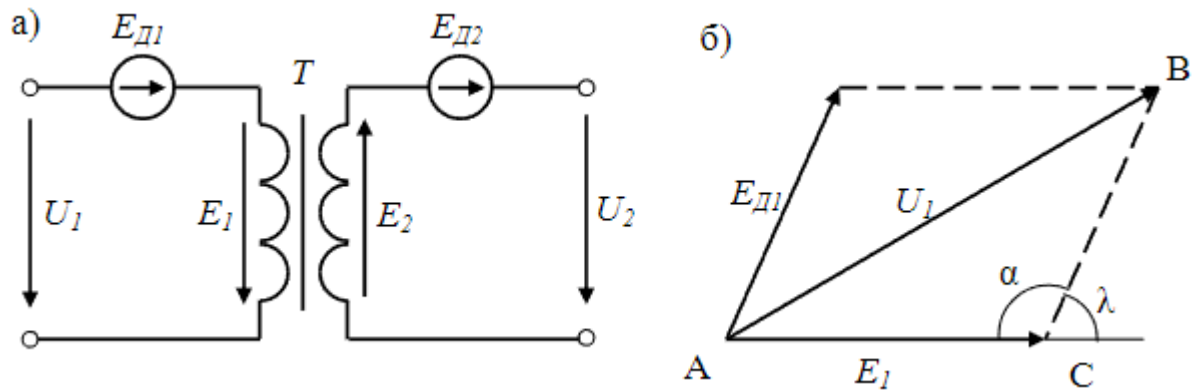


Рисунок 3.14 – Регульована узагальнена схема і векторна діаграм трансформатора

Згідно з рис. 3.14 напруги  $U_1$  і  $U_2$  можна представити у вигляді геометричних сум [18]:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{g1}; \quad \dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{g2},$$

де  $E_1$  і  $E_2$  – електрорушійні сили первинної і вторинної обмоток трансформатора, відповідно.

$E_{д1}$  і  $E_{д2}$  – додаткові електрорушійні сили, штучно введені в кола первинної і вторинної обмоток. Ураховуючи відоме співвідношення для визначення електрорушійних сил обмоток трансформаторів та визначивши довжину векторів і за теоремою косинусів, одержимо аналітичний вираз для визначення коефіцієнта перетворення регульованого трансформатора:

$$K_{np} = \sqrt{\frac{(KW_1\Phi_{m1})^2 + E_{g1}^2 + 2E_{g1}KW_1\Phi_{m1} \cos \lambda_1}{(KW_2\Phi_{m2})^2 + E_{g2}^2 + 2E_{g2}KW_2\Phi_{m2} \cos \lambda_2}},$$

Де  $\lambda_1, \lambda_2$  – кути зсуву фаз між додатковими електрорушійними силами та електрорушійними силами обмоток трансформатора.

Регулювання таких трансформаторів може здійснюватися виключно вручну й після відключення відповідних споживачів. Трансформатори з плавною зміною числа витків недоцільно використовувати на великих потужностях через руйнування ковзного контакту. Трансформатори з РПН не спроможні здійснювати компенсацію короточасних коливань напруги по

тій причині, що зміна вихідної напруги відбувається виключно східчасто та з витримкою часу. Досить перспективним можна вважати трансформатор з тиристорною комутацією відгалужень, але це передбачає реконструкцію існуючих трансформаторів шляхом заміни механічного перемикача ПБЗ на безконтактний тиристорний комутатор. Застосування трансформаторів, що регулюються рухомою обмоткою, принципово потребує абсолютно інакшої конструкції трансформатора, окрім цього, регулювання буде здійснюватися за рахунок механічного переміщення рухомої обмотки, що в свою чергу знижує надійність системи. Використання трансформаторів з напівпровідниковою комутацією обмоток, як і в попередньому випадку, потребує повної заміни трансформаторів у СЕП; недоліком тут також можна вважати несинусоїдність вихідної напруги.

Підсумовуючи все це, маємо наступне: При виходу з ладу окремих елементів СЕП втрати напруги можуть досягати до 20–40 %, що тут в свою чергу може викликати збої в роботі підприємства. Тому мають впроваджуватися засоби компенсації коливань напруги для підтримання рівня напруги живлення якомога ближче до номінального значення.

Беручи до уваги усі плюси та мінуси даних методів регулювання напруги визначено, що для здійснення регулювання напруги СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» доцільно буде застосовувати спосіб примусової зміни напруги живлення в кінці лінії живлення.

Для реалізації цього способу можуть бути запропоновані такі засоби, як регульовані трансформатори та вольтододаткові трансформатори.

#### 3.4 Моделювання використання вольтододачкового трансформатора для зниження відхилення напруги

Додатковим способом для регулювання напруги буде застосування вольтододаткових трансформаторів (ВДТ). Їх експлуатація дозволить залежно від схеми вмикання вводити до вектора напруги електричної мережі

додаткову поздовжню, поперечну або ж поздовжньо-поперечну ЕРС і таким чином координувати тим самим не лише рівень напруги, але й поточкорозподіл потужності в замкнених електричних мережах систем електропостачання.

Щодо замкнених електричних мереж надвисокої напруги, то у них ВДТ використовуються, в основному, для перерозподілу потоків активної і реактивної потужності, задля підвищення стійкості режимів роботи електричних мереж нижчих класів номінальної напруги, поєднаних зв'язками надвисокої напруги за допомогою силових автотрансформаторів зв'язку.

Кожен ВДТ має послідовну обмотку, ввімкнену в переріз лінії, у якій регулюється напруга. За допомогою послідовної обмотки в лінії створюється добавка напруги  $\pm E_{\text{вдт}}$  за місцем встановлення ВДТ. Ця добавка напруги, додаючись до основної напруги спричиняє те, що в точці приєднання споживача напруга зростає. Можна підібрати співвідношення добавок напруги трифазного вольтододаткового трансформатора, що є ліній відбудеться мінімізація відхилення напруги і до того ж здійсниться зниження несиметрії напруги.

Послідовна обмотка ВДТ може одержувати живлення від основного або додаткового трансформатора (автотрансформатора) збудження, первинна обмотка якого може, у свою чергу, одержувати живлення від основного або додаткового джерела живлення. Заміна трансформатора збудження на основний автотрансформатор приводить до створення, так званого, вольтододаткового автотрансформатора (ВДАТ).

Однолінійні принципові схеми включення ВДТ і ВДАТ у регульовану лінію показані на рис. 4.4 а і б відповідно [18].



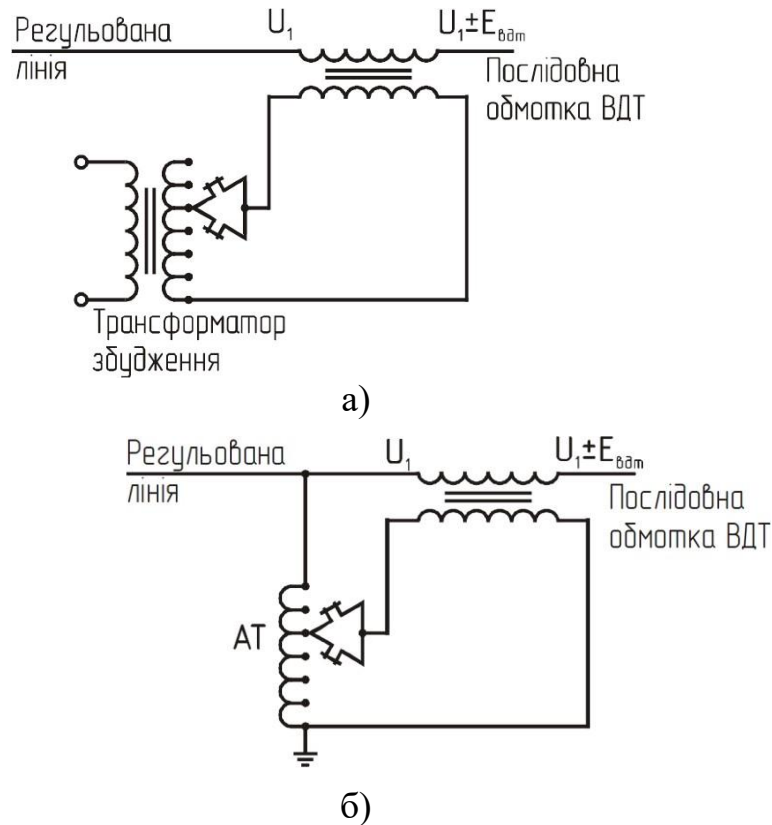


Рисунок 3.13 – Однолінійні схеми підключення ВДТ в розсічку лінії: а) ВДТ із трансформатором збудження; б) ВДАТ

Вольтододаткові трансформатори характеризуються наступними параметрами:

- 1) номінальною прохідною потужністю  $S_{пр}$ ;
- 2) власною потужністю ВДТ (як правило  $S_{вл} = \pm 0.15 \cdot S_{пр}$ );
- 3) номінальною напругою, що показує рівень напруги мережі, в яку включається послідовна обмотка ВДТ;
- 4) втратами потужностей у режимах ХХ КЗ і струмом ХХ;
- 5) відносними значеннями додаткових ЕРС (для більшості вітчизняних ВДТЕРС регулюється у межах  $\pm 10 \times 1,5\%$ ).

Власна потужність ВДТ зумовлена добавкою напруги  $E_{вдт}$ . Прохідна потужність визначається потужністю лінії, яка проходить через послідовну обмотку ВДТ. В середньому власну потужність ВДТ рівна 15

% прохідної потужності через ВДТ. Це свідчить про те, що при використанні досить малих власних потужностей ВДТ можна ефективно регулювати значні прохідні потужності в електричній мережі. Це обставина, безсумнівно, є однією з найбільших переваг ВДТ.

Для ліній надвисоких напруг найбільший інтерес представляють ВДТ, які працюють у блоці з основними силовими автотрансформаторами, оскільки тут розміщення ВДТ передбачено в загальній нейтралі автотрансформатора [1].

Однолінійна принципова схема вмикання ВДТ у нейтраль основного автотрансформатора показана на рис. 5.5.

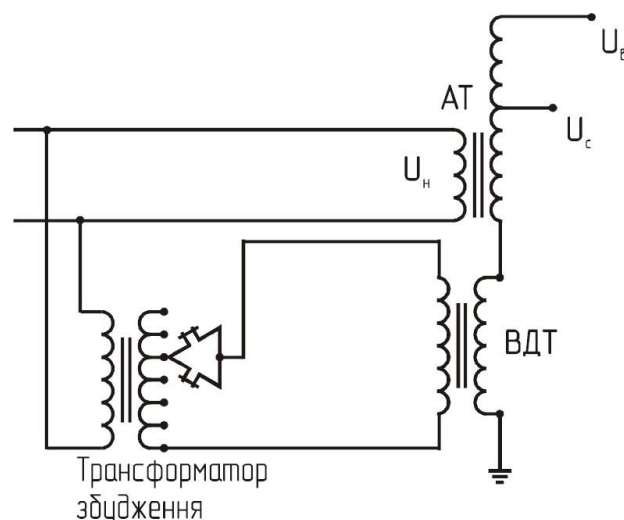


Рисунок 3.14 – Однолінійна схема вмикання ВДТ у загальну нейтраль АТ

ВДТ, що включений у розсічення лінії електропередачі, зазвичай називають лінійним регулювальним трансформатором, а включений послідовно з обмотками силового трансформатора зі сторони нейтралі – послідовним регулювальним трансформатором.

За допомогою ВДТ можна ефективно впливати на зміну вектора напруги на виході ВДТ, як по модулю, так і по фазі.

Розрізняють ВДТ із повздовжнім, поперечним і змішаним (повздовжньо- поперечним) регулюванням ЕРС. В останньому випадку регулювання повздовжньої і поперечної складових ЕРС ВДТ виконується незалежно одне від одного. Найбільшого застосування в електричних мережах знайшли ВДТ з чисто повздовжнім і чисто поперечним регулюванням ЕРС.

Під чисто повздовжнім регулюванням напруги в мережі за допомогою ВДТ розуміють таке регулювання, коли регульовальна складова ЕРС ВДТ збігається по фазі з вектором основної фазної напруги регульованої лінії.

Однолінійна схема вмикання ВДТ у регульовану лінію з метою чисто повздовжнього регулювання напруги (зокрема, у фазі А) наведена на рис. 5.6, а векторна діаграма – на рис. 5.7.

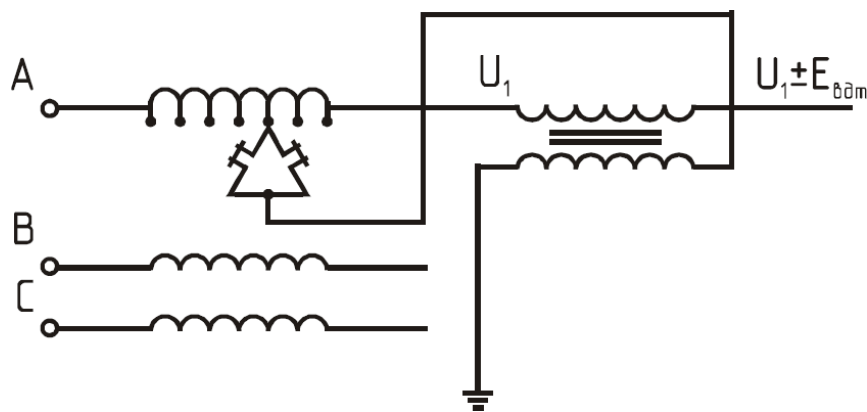


Рисунок 3.15 – Схема підключення ВДТ із повздовжнім регулюванням напруги

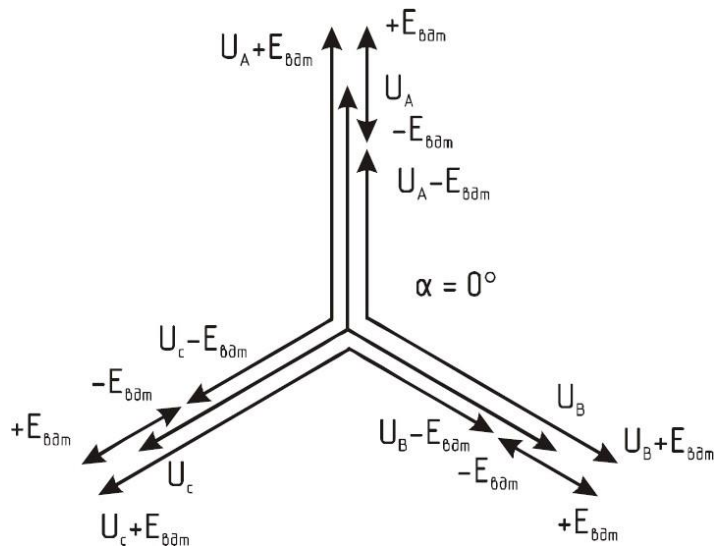


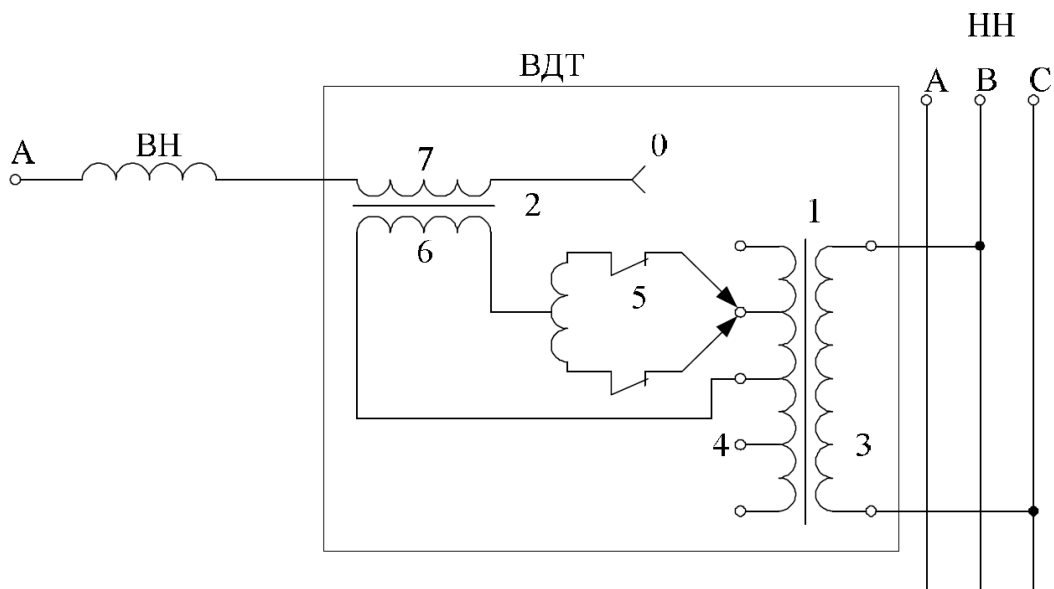
Рисунок 3.16 – Векторна діаграма ВДТ із повздовжнім регулюванням напруги

З наведеної векторної діаграми випливає, що для реалізації чисто повздовжнього регулювання напруги за допомогою ВДТ необхідно забезпечити живлення кожної фази ВДТ від частини своєї фазної напруги. При цьому вектор додаткової ЕРС ВДТ буде збігатися по напрямку (результуючий кут відхилення  $\alpha=0^\circ$ ) з напрямком вектора основної фазної напруги регульованої лінії. Результуючі вектори вихідних напруг є алгебраїчною сумою співпадаючих по фазі, або перебуваючих у протифазі, векторів основних фазних напруг і додаткових повздовжніх ЕРС ВДТ.

Під чисто поперечним регулюванням напруги в мережі за допомогою ВДТ розуміють таке регулювання, коли регульовальна складова ЕРС ВДТ зміщена по фазі на  $90$  електричних градусів відносно вектора основної фазної напруги (трансформатор поперечного регулювання).

Регулювання здійснюється шляхом зміни кількості витків трансформатора збудження, внаслідок чого, відбувається зміна модуля вектора додаткової напруги, що направлений під кутом  $90^\circ$  до вектора

вхідної напруги. Цей вид регулювання реалізується за допомогою ТПР, quadrature booster transformers. Зазвичай їх використовують задля регулювання активної потужності, проте мінусом є те, що змінюється значення реактивної потужності (хоч і не зовсім значною мірою), що може спричинити до спрацювання РПН.



Інший вивід первинної обмотки послідовного трансформатор приєднаний до середньої точки вторинної обмотки живильного трансформатора. Вторинна обмотка у свою чергу увімкнена послідовно в нейтраль обмотки ВН основного трансформатора. Перемикання пристрою здійснюється за такою ж послідовністю, як і в засобах РПН основного трансформатора. Трансформатор поперечного регулювання (ТПР) застосовується для регулювання поточкорозподілення активної потужності, в мережах з трансформаторними зв'язками

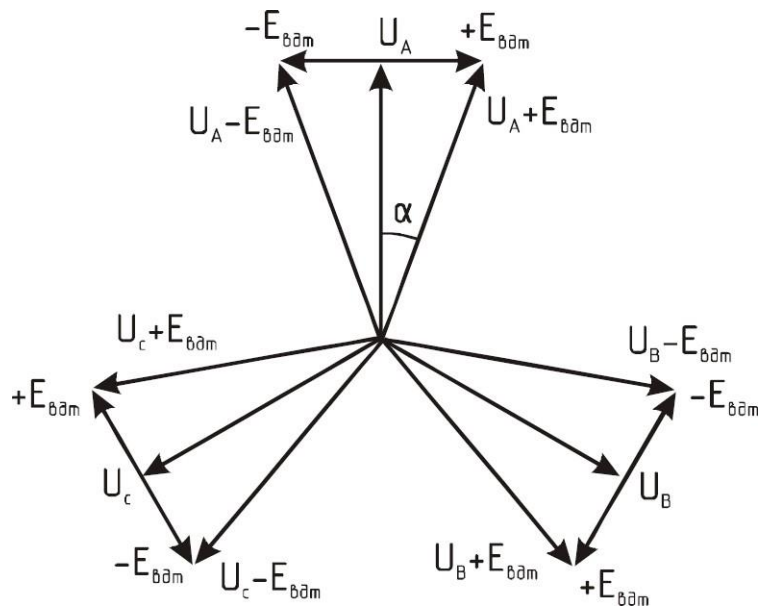


Рисунок 3.17 – Векторна діаграма ВДТ із поперечним регулюванням напруги

З наведеної векторної діаграми випливає, що для реалізації чисто поперечного регулювання напруги за допомогою ВДТ кожен фазу ВДТ необхідно підживлювати частинною протилежною лінійною напругою. При цьому вектор додаткової ЕРС ВДТ буде спрямований під кутом  $90$  електричних градусів до вектора основної фазної напруги регульованої лінії. На виході ВДТ з'являться результуючі вектори фазних напруг, зміщені щодо векторів основних фазних напруг регульованої лінії на результуючий кут  $\alpha \neq 0$ . Таким чином, вектори фазних напруг на виході ВДТ будуть являти собою геометричну суму векторів основних фазних напруг і додатково введених поперечних ЕРС ВДТ.

На сьогодні, особливо в електричних мережах надвисокої напруги, широко використовують ВДТ із поперечним регулюванням напруги в нейтралях автотрансформаторів, оскільки в замкнених неоднорідних електричних мережах повітряного виконання напругою  $750$  кВ такі ВДТ перерозподіляють, в основному, потоки активної потужності, у той час як

ВДТ із повздовжнім регулюванням напруги служать для перерозподілу потоків реактивної потужності.

Інші варіанти регулювання ЕРС ВДТ відносять до комбінованих або змішаних способів регулювання напруги в мережі за допомогою ВДТ. Величина зсуву визначається схемою включення обмотки збудження ВДТ. Дану обмотку можна підключити на будь-яку фазу або лінійну напруги мережі, або їх долі та при цьому отримати дванадцять фіксованих кутів зсуву фаз між напругою мережі і додатковою ЕРС ВДТ, кратних  $30^\circ$ .

Парні значення груп (2, 4, 6, 8, 10, 12) отримують, якщо обмотки ВН і НН з'єднані однаково – у зірку або в трикутник.

Непарні значення груп (1, 3, 5, 7, 9, 11) утворюються, якщо одна обмотка з'єднана в зірку, а інша – в трикутник.

Для прикладу на рис. 3.18 приведені схеми включення ВДТ першої групи без РТі з ним.

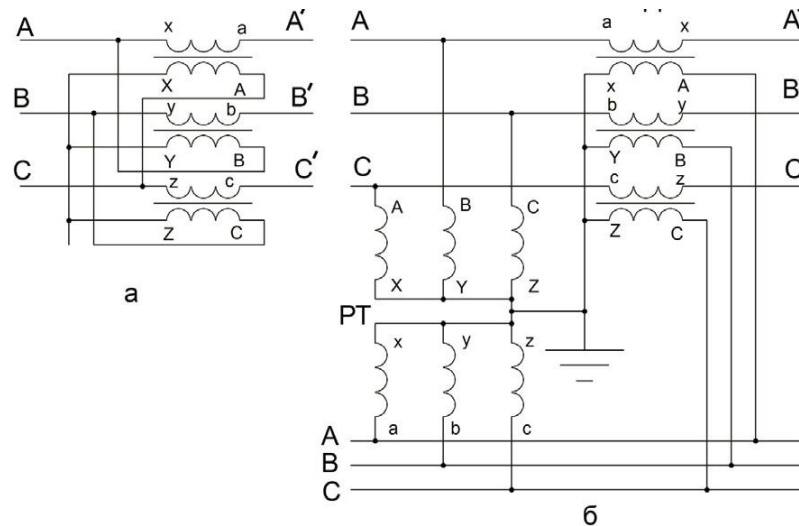


Рисунок 3.18 – Схеми включення ВДТ  
першої групи: а) без  
РТ; б) із РТ

На рис. 3.19 показана векторна діаграма ВДТ, обмотки збудження якого включені по першій, другій групі (кут зсуву фаз напруги мережі і додаткової ЕРС дорівнюють 30 та 60°).

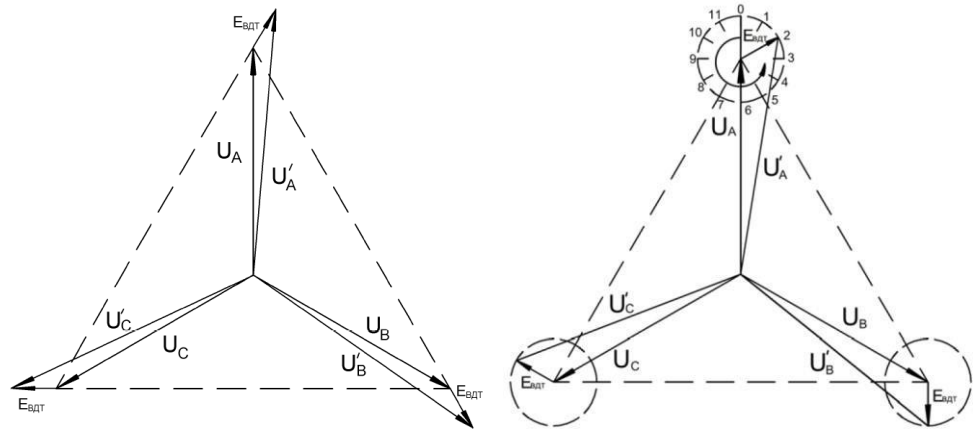


Рисунок 3.19 – Векторна діаграма ВДТ 1, 2 групи з'єднань обмоток

Таке регулювання реалізовується за допомогою ТППР, asymmetrical phase shifter transformers. Їх застосовують для здійснення регулювання напруги у вузлах та кута  $\delta$  між вхідною та вихідною напругами, а також, задля зміни перетікань більшою мірою реактивної та меншою мірою активної потужностей.

$$\left| U_{вх} \right| \neq \left| U_{вих} \right|, \quad \frac{U_{вх}}{U_{вих}} = t e^{j\delta},$$

де  $t$  – коефіцієнт зміни напруги за модулем;

$\delta$  – кут зсуву між векторами напруг  $U_{вх}$  та  $U_{вих}$ .

Для замкнених неоднорідних електричних мереж з відомими імпедансними кутами ділянок контурів, ефективним економічним рішенням є використання ВДТ з постійною фазою, які характеризуються



істотно меншою вартістю стосовно ВДТ з автоматичним регулюванням повздожньої і поперечної складових ЕРС ВДТ.

ВДТ з постійною фазою являють собою звичайні ВДТ, але з жорстко фіксованою конструкцією заводом-виготовлювачем кутів зміни фази векторів вихідних напруг. На сьогодні заводи-виготовлювачі виготовляють ВДТ із постійною фазою при фіксації кутів відхилення вихідних напруг ВДТ 0, 30, 60 і 90 ел. град.

Найбільш широке застосування в сучасних енергосистемах знайшли ВДТ з чисто повздожнім і поперечним регулюванням ЕРС. Призначення ВДТ в

електричних мережах різні. Повздожні ВДТ застосовують для регулювання напруги в розімкнутих мережах. Особливо ефективні такі ВДТ у мережах великої протяжності, невеликих перерізах при високих коефіцієнтах потужності навантажень. У таких випадках застосування компенсуючих пристроїв мало впливає на режим напруги мережі, а регулювання трансформаторів – основний засіб оптимізації режиму напруг.

Повздожно-поперечні ВДТ застосовуються у замкнутих мережах для управління в них потякорозподілом. Це досягається за рахунок введення у замкнутий контур ЕРС лінійного регулятора, який створює в цьому контурі відповідний зрівноважувальний струм. Застосування ВДТ – важливий засіб оптимізації усталених режимів роботи мереж з високим ступенем неоднорідності. Однак вони досить коштовні, характеризуються відносно невисокою надійністю схеми регулювання, досить складні у конструкції.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

#### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

Суть техніко-економічного обґрунтування проекту полягає в проведенні попередніх техніко економічних розрахунків, які підтверджуються доцільність капіталовкладень в даний енергетичний об'єкт.

Доцільність реалізації роботи обґрунтовується:

- задоволення потреб суспільства продукцією підприємства;
- створення нових робочих місць та працевлаштуванням населення;
- надання необхідних послуг;
- прибутковістю;
- окупністю капіталовкладень.

Вихідні дані для розрахунку:

- виручка від реалізації продукції  $V = 500$  (млн. грн./рік);
- середньооблікова чисельність персоналу  $Ч = 50$ ;
- середньорічний фонд заробітної плати одного працівника разом з нарахуванням на соціальні потреби  $З_{пл}$ , грн./рік;
- питома заробітна плата в собівартості продукції  $d = 12\%$ ;
- первісна або балансова вартість основних фондів  $\Phi = 1000$  млн грн;
- нормований коефіцієнт ефективності капіталовкладень:  $E_H = 0,1$ ;
- нормований термін окупності, років:  $T_{ок} = 10$ .
- середньомісячна зарплата одного працівника  $З = 6700$  грн./міс.

Середньорічний фонд заробітної плати одного працівника:

$$З_{пл} = 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 6700 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 0,0804 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.1)$$

Повна собівартість продукції:

$$C = \frac{1,38 \cdot Ч \cdot З_{пл}}{d} = \frac{1,38 \cdot 50 \cdot 0,0804}{0,12} = 46,23 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.2)$$

Балансовий прибуток:

$$\Pi = B - C = 500 - 46,23 = 453,77 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.3)$$

Визначаємо термін окупності даного підприємства:

$$T_{\text{ор}} = \frac{\Phi}{\Pi} = \frac{1000}{453,77} = 2,2 \text{ (роки)}, \quad (4.4)$$

$$T_{\text{ор}} = 2,2 < T_{\text{ок}} = 10 \text{ (років)}.$$

Даний термін не перевищує нормативний, отже розрахунок системи електропостачання є прибутковим.

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства та вихідних даних у табл. 4.1, 4.2, необхідно виконати такі розрахунки:

1. Розрахувати величину капітальних вкладень в трансформаторні підстанції, кабельні лінії та високовольтні вимикачі.

2. Розрахувати оплату за спожиту електроенергію.

3. Розрахувати величину складових експлуатаційних витрат:

- витрат в мережах підприємства;
- витрат на заробітну плату;
- витрат на матеріали;
- амортизаційних витрат.

4. Розрахувати собівартість електроенергії на підприємстві.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Потужність підстанції, кВт
ТП	ТМ-1600	2	1511

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії від ТП до ГПП, км	Марка кабелю	К-сть
ЕС-ТП	0,8	АСБ – 6 ( 3x95)	2

Рекомендації до виконання:

1. Оплату за спожиту електроенергію розраховують по тарифам: 4,7 грн/кВт·год

2. Прийняти норму амортизації – 6%,

3. Нарахування:

– в пенсійний фонд – 33,3%,

– у фонд зайнятості – 1,5%,

– на соціальне страхування – 1,5%.

#### 4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач виконуємо за вартістю кабелів та вартістю їх прокладання [22].

Капітальні вкладення для ліній електропередач:

$$K_{\text{л}} = (K_{\text{пит}} \cdot n + K_{\text{прок}}) \cdot L, \quad (4.5)$$

де  $K_{\text{пит}}$  – питома вартість на 1 км лінії, тис. грн./км;

$K_{\text{прок}}$  – питома вартість прокладання, тис. грн./км;

$L$  – довжина лінії електропередачі, км.

$n$  – кількість кабелів в траншеї, шт.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{\text{пит}}$ , тис.грн	$K_{\text{прок}}$ , тис.грн	$K_{\text{л}}$ , тис.грн
ЕС-ТП	АСБ – 6 (3x95)	2	0,8	750	65	1552

Капітальні вкладення для електричних підстанцій:

$$K_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^1 K_{\text{псі}} + K_{\text{пост}}, \quad (4.6)$$

де  $K_{\text{псі}}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн.;

$K_{\text{пост}}$  – постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов’язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Результати розрахунків заносимо в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип т-ра	Кількість	Код, тис.грн	$K_{\text{пост}}$ , тис.грн	$K_{\text{пс}}$ , тис.грн
ТП	ТМ-1600	2	505	101	2200
Трансформатор струму		1	7	1,4	8,4
Лічильник електронний активної та реактивної енергії		1	15	3	18
Конденсаторна установка		1	300	60	360
Разом					2586,4

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів навантаження та роз’єднувачів. Відповідно до схеми електропостачання кількість вимикачів навантаження 6 кВ – 9 шт., кількість роз’єднувачів 6 кВ – 2 шт. Вартість вимикача 6 кВ рівною 50 тис. грн. Вартість роз’єднувачів 6 кВ рівною 10 тис. грн.

Сумарна вартість вимикачів та роз’єднувачів:

$$K_{\text{в}} = 9 \cdot 50 + 2 \cdot 10 = 470 \text{ (тис. грн.)} \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами та роз’єднувачами:

$$K_{\text{пс}} = 2586,4 + 470 = 2670 \text{ (тис. грн.)} \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 1552 + 2670 = 4222 \text{ (тис. грн.)} \quad (4.9)$$

### 4.3 Розрахунок поточних витрат

#### 4.3.1 Розрахунок потреби в робочій силі

Планова трудомісткість визначається, люд.-год./рік:

$$T = \Pi \cdot t_{\text{норм}} \cdot h, \quad (4.10)$$

де  $\Pi$  – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год. [22];

$h$  – кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить до цього виду ремонтних робіт.

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 4.6.

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h, \quad (4.11)$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [22];

$K_{\text{ср}}$  – коефіцієнт складності ремонту, який показує частку трудомісткості поточного ремонту, необхідну для технічного обслуговування енергетичного обладнання і мереж на кожен місяць планованого року, 1/міс,  $K_{\text{ср}} = 0,1$ .

$h$  – кількість обладнання в групі.

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	К-ть	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю облад. рем/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудмісткість люд.год.	К-сть на одиницю облад. огл/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудмісткість люд.год.
Роз'єднувач 6 кВ	2	1	12	24	12	2	48
Вимикач 6 кВ	9	1	16	144	12	2	216
ТМ-1600	2	0,33	300	198	12	20	480
Трансформатор струму	2	1	16	32	12	1	24
Конденсаторна установка	2	1	16	32	12	1	24
Кабельна лінія АСБ 6 3х95	1600	2	72	73,6	1	18	28,8
Разом				503,6			820,8

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-ть	Технічне обслуговування				Загал. трудомісткість обслуговування люд.год.
		Змінність роботи	Коеф. складності	К-ть місяців	Загал. трудомісткість люд.год.	
Роз'єднувач 6 кВ	2	2	0,1	12	28,8	52,8
Вимикач 6 кВ	9	2	0,1	12	230,4	374,4
ТМ-1600	2	2	0,1	12	720	960
Трансформатор струму	2	2	0,1	12	38,4	50,4
Конденсаторна установка	2	2	0,1	12	38,4	50,4
Кабельна лінія АСБ 6 3х95	1600	2	0,1	12	51,84	57,24
Разом					1448,88	1920,58

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{1920,58}{1900 \cdot 1,05} = 0,92, \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$N_{\text{тр}} = \frac{402,7}{1900 \cdot 1,1} = 0,2. \quad (4.13)$$

Приймаємо за нормами ПУЕ [1]  $N_{\text{тр}} = 2$  чол.,  $N_{\text{обс}} = 2$  чол.

#### 4.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ге}} \cdot \Phi_d, \quad (4.14)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{\text{ге}} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_1, \quad (4.15)$$

де  $K3, K4$  – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, [22];

$C_1$  – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{Z_{\text{min}} \cdot k_{r,i}}{\Phi_n}, \quad (4.16)$$

$$C_1 = 6700 \cdot 1 / 176 = 38,06 \text{ (грн./год.)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{\text{ге}} = ((1,18 + 1,27) / 2) \cdot 38,06 = 46,63 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 2 \cdot 0,9 \cdot 46,63 \cdot 1900 = 159486,65 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$



б) для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{\text{пр}} \cdot t_{\text{гр}}, \quad (4.19)$$

$$t_{\text{гр}} = (K4 + K5) / 2 \cdot C_1, \quad (4.20)$$

де K4, K5 – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, [22].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{\text{гр}} = ((1,27 + 1,36) / 2) \cdot 38,06 = 50,06 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 503,6 \cdot 50,06 = 25\,210,2 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1 + 0,05 + 0,01 + \alpha), \text{ (грн./рік)}, \quad (4.21)$$

де  $\Phi$  – тарифний фонд  $\Phi_e$  експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати  $\Phi_p$  ремонтного персоналу, грн./рік;

0,01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 - частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  – частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 159486,65 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 200953,17 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 25210,2 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,25) = 33025,4 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15, \quad (4.24)$$

$$\Phi_{оед} = 200953,17 \cdot 1,15 = 231096,15 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 33025,4 \cdot 1,15 = 37979,2 \text{ (грн./рік)}.$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. З цього фонду кошти витрачаються на виплату по тимчасовій втраті працездатності, оплату відпусток по вагітності, санаторно-курортні лікування й організацію відпочинку працівників, оздоровчі заходи для дітей працівників та інше.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ( $C_{ЗП}$ ) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{ЗП} = \Phi_{об} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_{п} + \beta_{з} + \beta_{с}}{100} \right), \quad (4.25)$$

де  $\beta_{п}$  - нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{п} = 33\%$ ;

$\beta_{з}$  - нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_{з} = 1,5\%$ ;

$\beta_{с}$  - нарахування на соціальне страхування,  $\beta_{с} = 1,5\%$ .

Розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпе} = 231096,15 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 311979,81 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{зпр} = 37979,2 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 51651,71 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 4.3.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні для розрахунку дані заносимо до табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Вартість матеріалу	Грн
ТМ-1600	15000
Трансформатор струму	2000
Трансформатор напруги	2000
КЛ-6кВ	5000

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_{м} = 0,01 \cdot \left( \sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{ло} \right), \quad (4.26)$$

де  $C_{0i}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$T_i$  – трудомісткість обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$L$  – сумарна довжина кабелів,

$C_{\text{Л0}}$  – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів на ремонт:  $C_{\text{мпр}} = 23675$  (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування:  $C_{\text{мто}} = 167645$  (грн / рік).

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, тис. грн/рік:

$$C_{\text{обс}} = C_{\text{зпе}} + C_{\text{мто}}, \quad (4.27)$$

$$C_{\text{обс}} = 311979,806 + 167645 = 479624,806 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{зпр}} + C_{\text{мпр}}, \quad (4.28)$$

$$C_{\text{пр}} = 51651,71 + 23675 = 75326,71 \text{ (грн/рік).}$$

#### 4.3.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K, \quad (4.29)$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 4222000 = 253320 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:

$$C_{\text{ip}} = \beta_{\text{ip}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a); \quad (4.30)$$

де  $\beta_{\text{ip}}$  - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip}=0,25 \cdot (479624,806 + 64673,92 + 127344) = 167910,6816 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації енергоустановки і мереж	479624,806	49
Витрати на поточний ремонт	75326,71	8
Витрати на амортизацію	253320	26
Інші витрати	167910,68	17
Разом	976 182,196	100

#### 4.4. Розрахунок собівартості електроенергії

4.4.1 Розрахунок річного споживання і витрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання визначається, виходячи з розрахункової потужності, яка визначається як добуток установленної (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_{\Pi} \cdot P_{\text{ном}} \cdot T_{mi}, \quad (4.31)$$

де  $P_p$  – розрахункова потужність  $i$ -го цеху, кВт;

$T_{mi}$  – річна тривалість використання максимуму активного навантаження  $i$ -ого цеху, год.;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт попиту.

Визначаємо річні витрати активної електроенергії (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Річні витрати активної електроенергії

Назва цеху	Кількість змін	T <sub>м</sub> , год	P <sub>p</sub> , кВт	cosφ	E <sub>a</sub> , кВт*год./рік
Адміністративний корпус	2	4500	30,00	0,60	135000
Побутовий комбінат	2	4500	105,00	0,60	472500
Приміщення пральні	2	4500	50,00	0,75	225000
Центральний в'їзд	2	4500	15,00	0,70	67500
Здоровпункт	2	4500	15,00	0,70	67500
СТО	2	4500	250,00	0,50	1125000
Цех електродний	2	4500	52,00	0,80	234000
Цех плиточний	2	4500	220,00	0,70	990000
Цех ремонтно-будівельний	2	4500	340,00	0,60	1530000
Приміщення транспортного цеху	2	4500	25,00	0,60	112500
Разом			1102		4959000

Необхідно також визначити річні витрати реактивної електроенергії.

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{м}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \quad (4.32)$$

де  $I_{\text{м}}$  – максимальний струм у лінії, А;

$\tau$  – час максимальних втрат, год./рік.

$R$  – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$$R = r_0 \cdot L; \quad (4.33)$$

де  $r_0$  – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км [22].

Струм лінії живлення, А:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}. \quad (4.34)$$

Виконуємо розрахунок втрат електроенергії в лініях і результати заносимо до табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	Довжина, км	$I_M$ , А	R, Ом	$\tau$ , год./рік	$\Delta E_{л,}$ кВт·год.
ЕС-ТП	АСБ 6 3x95	2	0,8	122	0,0768	1225,31	996,63
Разом							996,63

Втрати електроенергії в ТП визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_\phi}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (4.35)$$

де  $n$  - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{кз}$  і  $\Delta P_{xx}$  – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

$T_p$  - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

$S_\phi$  - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

$S_H$  - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Проводимо розрахунок і результати зводимо у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип	шт	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$S_p$ , кВА	$S_H$ , кВА	$\Delta E_T$ , кВт·год./рік
ТП	ТМ-1600	2	2,5	10,7	2121	1600	30832,16

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + \Delta E_{л} + \Delta E_T; \quad (4.36)$$

$$E = 4959000 + 996,63 + 30832,16 = 4990828,79 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію:

$$П = 4,7 \cdot 4990828,79 = 23456895,313 \text{ (грн.)}; \quad (4.37)$$

#### 4.4.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВтг:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (4.38)$$

де  $C_{\text{сум}}$  – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, тис.грн/рік;

$E_a$  – річна кількість корисно споживаної підприємством електроенергії, тобто без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год./рік.

Отже, загальні (сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. грн./рік:

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\Pi}, \quad (4.39)$$

де  $\Pi$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\Pi}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії.

Річні витрати промислового підприємства, зв'язані з передаванням і розподілом електричної енергії, включають такі складові, тис.грн/рік:

$$C_{\Pi} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}, \quad (4.40)$$

де  $C_{\text{обс}}$  – витрати підприємства на матеріали та зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, грн/рік.;

$C_{\text{пр}}$  – річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, грн/рік;

$C_a$  – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік;

$$C_{\Pi} = 479624,806 + 75326,71 + 253320 + 167910,6816 = 976182,2 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати:

$$C_{\text{сум}} = 976182,2 + 2345689,313 = 24433077,513 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії:

$$S = (24433077,513 \cdot 100) / 4959000 = 5,73 \text{ (грн/рік)}$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	$E_a$	4959000	кВт·год
Річне споживання електроенергії із втратами	$E$	4990828,79	кВт·год
Плата за електроенергію	$\Pi$	23456895,313	грн
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	$C_{\Pi}$	976182,2	грн
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	24 433 077,513	грн
Собівартість електроенергії	$S$	492	коп/кВт·год

### Висновки

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої СЕП Турбівського гранітного кар'єру та розраховано собівартість електричної енергії, яка склала 492 коп/кВт·год.



## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час запровадження заходів із підвищення якості електроенергії в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр». На електротехнічний персонал підприємства, що виконує ці роботи з модернізації системи освітлення та її подальшу експлуатацію, впливає комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Тому важливо розглянути питання з охорони праці, що передбачають заходи щодо їхнього виявлення, розроблення заходів зі зниження їхнього впливу, з промислової безпеки, з безпеки в надзвичайних ситуаціях, а також зі створення безпечних та нешкідливих умов праці робітників. Отже, на оперативно-ремонтний електротехнічний персонал впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори [1, 2].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); іонізація повітря.

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

## 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

5.1.1 Вимоги до організації робочих місць оперативно-ремонтного персоналу, який здійснює монтаж електрообладнання системи електропостачання [4, 5].

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах струмопровідної підлоги.

Оперативно-ремонтний персонал, який здійснює монтаж системи освітлення, під час виконання робіт на висоті з використання електрифікованого інструменту повинен дотримуватися таких правил з охорони праці. До робіт на висоті і верхолазних робіт допускаються навчені особи, стан здоров'я яких має відповідати медичним вимогам, встановленим для даних видів робіт («Положення про медичний огляд працівників певних категорій»). Працівники, які виконують верхолазні роботи, повинні мати відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

До самостійних верхолазних робіт допускаються особи віком не молодші 18 років, які мають стаж верхолазних робіт не менше одного року і кваліфікаційний розряд не нижче четвертого. Робітники, які вперше допускаються до верхолазних робіт, протягом одного року повинні працювати під безпосереднім наглядом досвідчених спеціалістів, призначених наказом керівника підприємства. Працівники мають бути навчені безпеці праці до початку виконання верхолазних робіт.

Драбини, риштування, помости, кігті, лази та інші пристосування, що застосовуються для виконання робіт на висоті і верхолазних робіт, повинні бути сертифіковані. Під час виконання робіт, коли немає можливості закріпити строп запобіжного поясу за конструкцію або опору, слід

користуватися страхувальним канатом. В цьому разі строп запобіжного паска заводиться за конструкцію, деталь опори тощо. Виконувати цю роботу повинні дві особи, друга особа в міру необхідності попускає чи натягує канат.

Під час роботи на конструкціях, під якими розташовані струмопровідні частини, що перебувають під напругою, ремонтні пристосування і інструмент прив'язуються для запобігання їх падінню. Застосовувати в цих випадках монтерські запобіжні паски зі стропами з металевого ланцюга забороняється. Подавати деталі на конструкції чи устаткування слід за допомогою «нескінченного» канату. Працівник, який стоїть внизу, повинен утримувати канат для запобігання його розгойдуванню і наближенню до струмовідних частин.

Працівники, які виконують роботи на висоті або верхолазні роботи, повинні бути в спецодязі, що не заважає рухам. Особистий інструмент слід зберігати в сумці. Працівники, що здійснюють нагляд за членами бригади, які виконують верхолазні роботи або роботи на висоті, можуть розташовуватися на землі.

Електрифікований інструмент, що використовується при монтажі системи освітлення, за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізольовані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт. У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основною, а окремі деталі – з подвійною або посиленою ізоляцією;

II – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію, Цей електроінструмент не має пристроїв для заземлення. Номінальна напруга для електроінструмента класів I і II має бути не більше 220 В для електроінструмента постійного струму; 380 В – для електроінструмента змінного струму;

III – електроінструмент на номінальну напругу не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не перебувають під іншою напругою.

Електроінструмент класу III призначений для живлення від безпечної наднизької напруги.

Якщо безпечну наднизьку напругу одержують перетворенням вищої напруги, то це слід здійснювати за допомогою безпечного ізолювального трансформатора, далі за текстом – "розподільчий трансформатор безпеки", або перетворювача з окремими обмотками. Електроінструмент, який живиться від електромережі, слід обладнувати незнімним гнучким кабелем (шнуром) зі штепсельною вилкою. Незнімний гнучкий кабель електроінструмента класу I повинен мати жилу, яка з'єднує заземлювальний затискач електроінструмента із заземлювальним контактом штепсельної вилки.

Кабель в місці введення до електроінструмента класу I слід захищати від стирань і перегинів еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубку слід закріплювати в корпусних деталях електроінструмента, вона повинна виступати з них на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Закріплення трубки на кабелі поза інструментом забороняється.

Для приєднання однофазного електроінструмента шланговий кабель повинен мати три жили: дві – для живлення, одну – для заземлення. Для приєднання трифазного електроінструмента застосовується чотирижильний кабель, одна жила якого слугує для заземлення. Ці вимоги стосуються тільки електроінструмента із таким корпусом, який слід заземлювати.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструмента класу I, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем. Електроінструмент класів II і III не заземлюють.

Заземлення корпусу електроінструмента слід здійснювати спеціальною жилою живильного кабелю, яка не може одночасно бути провідником робочого струму. Використовувати з цією метою нульовий робочий провід забороняється. Штепсельна вилка повинна мати відповідну кількість робочих і один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати випереджальне замикання заземлювального контакту під час ввімкнення та

більш запізнене розмикання його під час вимикання. Конструкція штепсельних вилок електроінструмента класу III повинна унеможливлувати з'єднання їх з розетками на напругу понад 42 В.

Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні спочатку пройти навчання і перевірку знань щодо безпечного виконання робіт з застосуванням електроінструменту. До роботи з електроінструментом класу I в приміщеннях з підвищеною небезпекою та поза приміщеннями допускаються працівники з II групою електробезпеки. До роботи з електроінструментом II і III класу достатньо I групи з електробезпеки.

Забороняється видавати для роботи електроінструмент, який не відповідає хоча б одній із перелічених вимог або електроінструмент з протермінованою датою періодичної чергової перевірки.

#### 5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах струмопровідної підлоги. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати в закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При

його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

### 3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [6]. Параметри мікроклімату під час виконання персоналом електромонтажних робіт наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочих місцях оперативно-ремонтного персоналу передбачається [7]: в холодну пору року – використання калорифера; в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву.

#### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup> [6]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оперативного персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації шкідливих речовин необхідно передбачати установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціонування повітря [7].

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8], роботи з монтажу електрообладнання СЕС, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

### 5.2.4 Виробничий шум

Устаткування, що є джерелом шуму: вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання. Шум у приміщенні широкосмуговий. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам [9] і наведені в табл. 5.4.



Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньогометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об’ємні поглинаючі тіла довільної форми.

Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший.

Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь. У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

#### 5.2.5 Фактори умов праці

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [1]. Робота електротехнічного персоналу потребує значних фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – 291-348; зовнішнє фізичнє динамічне навантаження, вираженє в одиницях механічної роботи за зміну, кґ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 18000; при загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 61600; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кґ – до 35 кґ; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30000; статичне навантаження (кґ/с): двома руками (чоловіки) – до 140000; за участю мязів тулуба та ніг – до 200 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі від 25% до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах тощо) від 10 % до 25 % часу зміни; перебування в позі «стоячи» від 60% до 80% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 101-300 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 12, вертикалі – 8 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності.

Сенсорні навантаження: зосередження (% за зміну) – 51-75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – 151-300; навантаження на голосовий апарат: сумарна кількість годин, з напруженням голосового апарату протягом тижня – до 16.

Навантаження на зоровий аналізатор: розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працівника до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни – 5,0–1,1 мм більше 50% часу; 1,0–0,3 мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25% часу.

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) – розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за виконання окремих елементів завдання; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – двозмінна (без нічної зміни).

### 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.

Дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Стійкість об'єктів електроенергетики у надзвичайних ситуаціях є важливою в мирний і в воєнний час з точки зору роботи промислового комплексу та обороноздатності держави. Один із самих уразливих елементів електричних систем СЕП, так як це обладнання зазвичай працює без постійного обслуговуючого персоналу на основі автоматичного управління постійно зазнає впливу різних факторів і дуже уразливе при дії екстремальних природних явищ. Тому для забезпечення надійної роботи ліній електропередач необхідно забезпечувати її захист різними пристроями в залежності від виду впливів. Системи електропостачання, як частина енергетичного господарства зустрічається повсюди, тому їх функціонування є надзвичайно важливим при НС. Вихід з ладу системи електропостачання збільшить кількість жертв в разі і призведе до зупинки транспорту, викидів небезпечних речовин, зупинки

об'єктів інфраструктури тощо. Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи управління, сигналізації електропостачання. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ має велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників.

Слід також пам'ятати, що механічний захист апаратури не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може бути знищена навіть знаходячись у надійних спорудах. Системи електропостачання в умовах НС вони повинні працювати без перебоїв, тому розробка заходів щодо покращення їх роботи в умовах ЕМІ та дії іонізуючих випромінювань є актуальною задачею при проектуванні. Дія електромагнітного імпульсу також може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях СЕП. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, елементи, викликає коротке замикання тощо. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання. Він може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в контрольних пристроях. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Це призводить до пожеж та знеструмлення. Саме тому є необхідність дослідження впливу цього фактору на обладнання стійкості роботи СЕП ТОВ « Гніванський гранітний кар'єр».

5.3.1 Дослідження безпеки роботи стійкості роботи СЕП ТОВ « Гніванський гранітний кар'єр» в умовах дії іонізуючих випромінювань.

За критерій безпеки роботи СЕП в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але СЕП ще будуть працювати з необхідною якістю.

Максимально допустимі значення потужності дози елементів тягових мереж в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Максимально допустимі потужності дози ТМ

№ п\п	Блок	Елементи блоків ТМ	$P_{гр,i}$ (Р/год)	$P_{гр}$ (Р/год)
1	БЖ	Транзистори КТЗ102В	$10^5$	$10^4$
		Діоди загального призначення S1M	$10^5$	
2	БП	Конденсатори SMD1206 1nf, 16V	$10^6$	
		Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм	$10^6$	
3	БКБ	Мікросхеми PIC16F877	$10^4$	
		Діелектрики GTP15	$10^4$	

1. За мінімальним значенням  $p_{гр}$  (див. табл. 5.1) межа стійкості  $p_{гр}$  роботи системи складає  $p_{гр} = 104$  (Р/год).

2. Для дослідження стійкості роботи СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ( $p_{гр}$ ) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_{пос}, \quad (5.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт надійності,

$$K = 0,9 \cdot 0,95;$$

$p_{гр}$  – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{пос} = 2$ ),

$$P_{гр} = 0,94 \times 104 \times 2 = 1,88 \times 104 \text{ (Р/год)},$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме  $P_{гр} = 1,88 \times 10^4$  (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування приладу на території в умовах дії іонізуючих випромінювань та ЕМІ:

$$D_m = \frac{2P_{гр}(\sqrt{t_k^2} - \sqrt{t_n^2})}{1}, \quad (5.2)$$

де  $t_{доп} = 12,342 \times 10^3$  (год).

Отже система тягових мереж Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» буде працювати безпечно в умовах іонізуючих випромінювань.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи тягових мереж Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії електромагнітного імпульсу

В якості показника безпеки елементів системи до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки:

$$K_{\zeta} = 201g \frac{U_d}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40\text{дБ}, \quad (5.3)$$

де  $U_d$  - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$  - напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \times N, \quad (5.4)$$

де  $N$  - допустимі коливання (приймається  $N = 5\%$  )

Шляхом підстановки числових даних в (5.4) отримується:

$$U_{д} = 12 + (12)/100 \times 5 = 12.6 \text{ (В)}$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях:

$$U_B = \frac{U_d}{10^{\frac{40}{20}}} \quad (5.5)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{\frac{40}{10^{20}}} = 0,126(\text{В})$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B . \quad (5.6)$$

Отже,  $E_{\Gamma}$  визначається:

$$E_{\Gamma} = U_B \setminus l_B . \quad (5.7)$$

Після підстановки числових даних в формулу (5.7):

$$E_{\Gamma} = 0,01009 (\text{В}\setminus\text{м}) .$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} E_B . \quad (5.8)$$

Тоді  $E_B$  буде:

$$E_B = 10,09 (\text{В}\setminus\text{м})$$

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» в умовах надзвичайних ситуацій

Дія підвищення безпеки роботи СЕП необхідно використовувати екранування РЕА і довгих ліній. Для цього визначимо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном. Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2\sqrt{f}} , \quad (5.9)$$

де  $f$  - найбільш характерна частота, ( $f = 15$  кГц).

Для блоків системи електропостачання:

$$t_1 = \frac{40 - 38,72}{5,2\sqrt{15000}} = 0,0025 (\text{см}).$$

Обираємо товщину стінки на порядок вище, для того щоб забезпечити необхідний захист обладнання. Приймемо  $t = 1$  мм.

Отже,  $A = 5,2 * 0,102 * 15000 = 65$  (дБ).

Отже нам потрібно взяти сталевий екран товщиною 1 мм, який забезпечує згасання енергії електричного поля не менше 65 дБ.

Висновок: Отже, елементи сонячної електростанції стійкі в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи в заданих умовах становить 87697574 год., при  $P_1 < 50,8$  Р/год. Можлива доза опромінення елементів не перевищує допустиму, а отже знаходиться в межах норми. Для підвищення безпеки роботи електричної частини сонячної електростанції було використано екранування, з екраном не менше 1мм. При оцінці стійкості роботи СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» в умовах електромагнітного імпульсу було розглянуто два блоки: основна частина СЕП і розподільчий пристрій. Аналіз цих блоків полягав у визначенні їхніх коефіцієнтів безпеки, які і використовувалися як критерій стійкості. Провівши цей аналіз можна сказати, що для його захисту слід застосовувати екранування. В якості матеріалу для екранування було вибрано сталь, товщина стінки екрану становить не менше 0,1 см.



## ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота була присвячена підвищенню якості електроенергії у системи електропостачання Гніванського гранітного кар'єру та її оптимізації. В рамках цього були вирішені питання щодо визначення величин розрахункових навантажень всього кар'єру та окремих його складових, що забезпечують якісне виконання технологічного процесу видобутку граніту.

Обґрунтована методика визначення центру електричних навантажень з оптимальним визначенням місця встановлення трансформаторної підстанції. Запропонована математична модель, яка у разі її формалізації дозволить визначити оптимальне місце встановлення ТП.

Здійснено розрахунок навантажень підприємства в цілому та цехів окремо методами коефіцієнтів попиту та використання згідно чинних норм. Проведено автоматизований розрахунок кількості, потужності та місця розташування цехових ТП. Розрахунки показали, що для забезпечення надійності електропостачання кар'єру доцільним є встановлення на трансформаторній підстанції одного трансформатора марки ТМ потужністю 1600 кВА. Якісна комутація та захист ліній запропоновано виконувати на базі автоматів серії ВА на відповідні струми та з комбінованими розчеплювачами.

Для підвищення якості та стабільної роботи системи електропостачання підприємства, було прийнято рішення застосувати вольтододаткові трансформатори, що дозволить способом регулювати напругу. Експлуатація цих трансформаторів дозволить залежно від схеми вмикання вводити до вектора напруги мережі додаткову поздовжню, поперечну або поздовжньо-поперечну ЕРС і координувати тим самим не лише рівень напруги, а й потокорозподіл потужності в замкнутих мережах систем електропостачання.

Також було здійснено опис та нормування цеху за категоріями по санітарії та електробезпеки в розділі охорони праці. Також виконано оцінку стійкості роботи системи електропостачання цього цеху в умовах дії іонізуючих випромінювань а також електромагнітного імпульсу.

Обрані проектні рішення оптимально забезпечують надійне живлення підприємство електричною енергією.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95 с.
2. Щодо питання застосування САПР під час проектування освітлення. URL: <http://en.iee.kpi.ua/files/ukr/23.pdf> (дата звернення: 08.02.2022)
3. Терешкевич Л. Б., Терешкевич Н. В., Волоцький А. М. Проектування цехових електричних мереж і освітлювальних установок : довідник для студ. енергетичних спец. : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2005. 108 с.
4. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
5. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
6. Електропостачання промислових підприємств (Курсове проектування). Навч., посібник/М. Й.Бурбело .- Вінниця:ВДТУ ,1998-104с.
7. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->
8. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_a322\\_2009/1-1-0-945](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945).
9. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
10. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила

- устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
11. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
  12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
  13. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)
  14. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
  15. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
  16. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
  17. Про невідповідність чинних стандартів України щодо показників якості електричної енергії. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23736/1/Xachatryan.pdf> (дата звернення: 01.12.2023)
  18. Аналіз можливості застосування вольтододаткових трансформаторів як засобів компенсації коливань напруги в системах електропостачання стаціонарних військових аеродромів. URL: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/605/519>. (дата звернення: 01.12.2023)
  19. Підвищення надійності електропостачання за допомогою вольтододаткових трансформаторів [Електронний ресурс] / В.С. Рудишин, О. В. Бабенко // ЛІП Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/19686/16291>. (дата звернення: 10.12.2023)

# *ДОДАТКИ*

## Додаток А – Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023р.ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕМд.т.н., проф. Бурбело М.Й. \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР’ЄР»Науковий керівник:  
проф. Бабенко О.В. \_\_\_\_\_  
(підпис)Виконавець: студент гр. ЕМ - 22м  
Рудишин В.С. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2023 р.

## Додаток Б - Вихідні дані

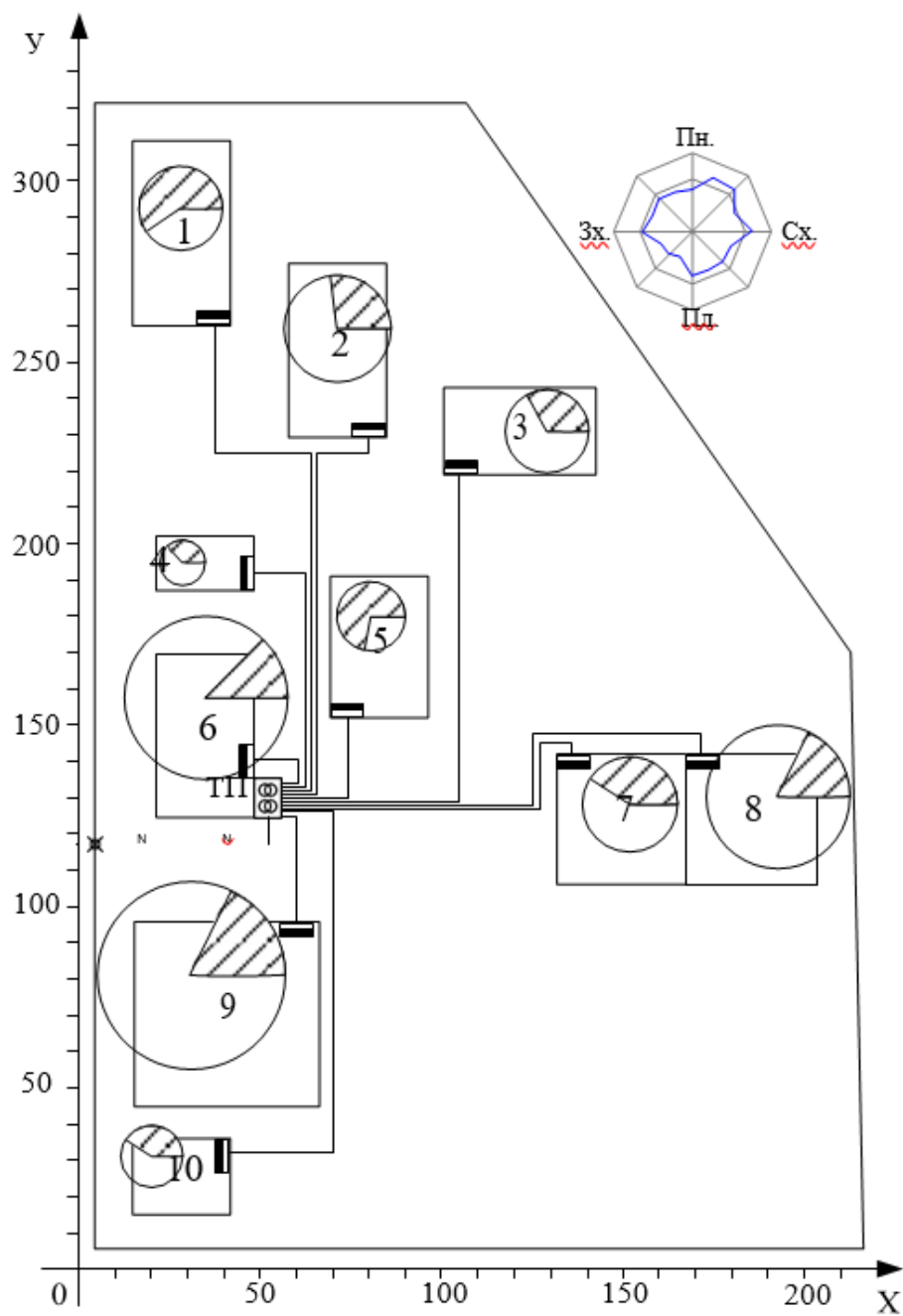


Рисунок Б.1 - Генплан підприємства ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

№ на плані	Назва виробничого цеху	Рном, кВт
1	Адміністр. корпус гранітного кар'єру	30
2	Побутовий комбінат	105
3	Приміщення пральні	50
4	Центральний в'їзд	15
5	Здоровпункт	15
6	С Т О	250
7	Цех електродний	52
8	Цех плиточний	220
9	Цех ремонтно-будівельний	340
10	Приміщення транспортного цеху	25

Таблиця Б.2 – Відомості про навантаження підприємства

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахункова активна потужність Pp, кВт	Розрахункова реактивна потужність Qp, кВАр	Повна розрахункова потужність Sp, кВА	Середня активна потужність Pс, кВт	Середня реактивна потужність Qс, кВАр	Повна середня потужність Sc, кВА
1									
2	ТП	1	Адмінкорпус кар'єру	40,295	33,421	52,351	37,295	29,421	47,503
3		2	Побуткомбінат	64,668	71,361	96,303	48,918	50,361	70,208
4		3	Пральня	41,048	47,690	62,922	38,548	45,485	59,622
5		4	Центральний в'їзд	12,916	10,656	16,744	12,166	9,891	15,679
6		5	Здравпункт	24,946	15,620	29,433	22,696	13,325	26,318
7		6	СТО	157,183	247,605	293,283	194,683	312,557	368,230
8		7	Цех електродів	49,595	31,528	58,768	41,795	25,678	49,053
9		8	Цех плитки	119,995	111,078	163,515	130,995	122,300	179,212
10		9	Ремонтно-будівельний цех	204,957	243,446	318,235	170,957	198,113	261,678
11		10	Контора транспортного цеху	21,685	21,076	30,240	16,685	14,409	22,046
12			Всього по ТП1	737,288	833,481	1112,782	714,738	821,540	1088,934

Таблиця Б.3 – Відомості про електричні навантаження підприємства

Додаток В – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи  
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення якості електроенергії в системі електропостачання  
Товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра електротехнічних систем електроспоживання та  
енергетичного менеджменту  
факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 89,7% Схожість 10,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Лобода Ю.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Рудишин В.С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

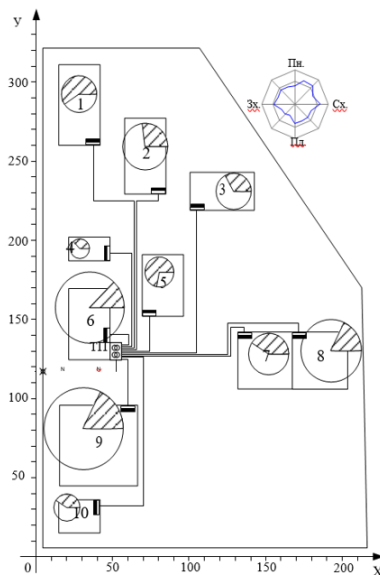
Керівник роботи \_\_\_\_\_ Бабенко О.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)



## Додаток Г - Ілюстраційна частина

### Презентація до магістерської кваліфікаційної роботи

- **Актуальність теми:** проектування та вибір раціональних систем живлення, сучасного електричного обладнання, провідниково-кабельної продукції, підвищення параметрів надійності електропостачання, поліпшення використання існуючих електричних мереж, зниження втрат активної складової енергії, уніфікація та індустріалізація побудови нових об'єктів.
- **Мета роботи:** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення якості електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр». Провести аналіз системи електропостачання діючого підприємства на базі існуючих методик розрахунку, при цьому здійснити розрахунки зовнішньої та внутрішньої електромережі, електричних навантажень, здійснити вибір електрообладнання та розрахувати місце встановлення трансформаторних підстанцій, розрахувати компенсацію реактивної потужності.
- **Об'єкт дослідження:** система електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр».
- **Предмет дослідження:** техніко-економічні характеристики системи електропостачання Гніванського гранітного кар'єру та їх оптимізація.
- **Задача дослідження:** головними задачами магістерської кваліфікаційної роботи є використання та впровадження оптимізаційних рішень, що сприяють підвищенню та покращенню енергоефективності технологічного процесу видобутку гранітів та складають основу системи електропостачання Гніванського гранітного кар'єру.
- **Наукова новизна:** обґрунтовано використання оптимальних схемних рішень з вольтододатковими трансформаторами для підвищення якості напруги в системі електропостачання підприємства



№ на плані	Назва цеху	Рн, кВт
1	Адмінкорпус кар'єру	30
2	Побуткомбінат	105
3	Пральня	50
4	Центральний в'їзд	15
5	Здравпункт	15
6	СТО	250
7	Цех електродів	52
8	Цех плитки	220
9	Ремонтно-будівельний цех	340
10	Контора транспортного цеху	25

Вхідні дані про електричні навантаження підприємства

Генплан підприємства

## Розрахунок навантаження підприємства:

№	Цех	Pн, кВт	cos	tg	Кп	Ка	Площа, м²	Кпо	Рпит, Вт/м²	Кпра	Сайто				Середні навант.				Розрах. навант.				Kо=	р0, кВт/м²
											tg0	Qm0, квар	Pр0, кВт	Рс, кВт	Qс, квар	Sc, кВтА	Pр, кВт	Qр, квар	Sp, кВтА	Pr, А	р0, кВт/м²			
1	Админкорпус кар'єру	30	0,6	1,33	0,55	0,45	1377	0,9	0,016	1,2	0,48	11,42	23,79	37,29	29,42	47,50	40,29	33,42	52,35	79,54	0,04			
2	Побутокмбінат	105	0,6	1,33	0,45	0,3	1296	0,8	0,014	1,2	0,48	8,36	17,42	48,92	50,36	70,21	64,67	71,36	96,30	146,32	0,07			
3	Пральня	50	0,75	0,88	0,55	0,5	1008	0,8	0,014	1,2	1,73	23,44	13,55	38,55	45,49	59,62	41,05	47,69	62,92	95,60	0,06			
4	Центральний в'яз	15	0,7	1,02	0,55	0,5	405	0,8	0,012	1,2	0,48	2,24	4,67	12,17	9,89	15,68	12,92	10,66	16,74	25,44	0,04			
5	Зарядник	15	0,7	1,02	0,45	0,3	1053	0,9	0,016	1,2	0,48	8,73	18,20	22,70	13,32	24,95	15,62	29,43	44,72	0,03				
6	СТО	250	0,5	1,73	0,55	0,7	1215	0,9	0,015	1,2	0,48	9,45	19,68	194,68	312,56	368,23	157,18	247,60	293,28	445,60	0,24			
7	Цех електродів	52	0,8	0,75	0,55	0,4	1296	0,9	0,015	1,2	0,48	10,08	21,00	41,80	25,68	49,05	49,60	31,53	58,77	89,29	0,05			
8	Цех плити	220	0,7	1,02	0,45	0,5	1296	0,9	0,015	1,2	0,48	10,08	21,00	131,00	122,30	179,21	120,00	111,08	163,51	248,44	0,13			
9	Ремонтно-будівельний цех	340	0,6	1,33	0,5	0,4	2601	0,8	0,014	1,2	0,48	16,78	34,95	170,96	198,11	261,68	204,96	243,45	318,24	483,51	0,12			
10	Контора транспортного цеху	25	0,6	1,33	0,5	0,3	567	0,9	0,015	1,2	0,48	4,41	9,19	16,69	14,41	22,05	21,69	21,08	30,24	45,94	0,05			
11	Всього по підприємству	1102					12114					104,98	183,44	714,74	821,54	1088,93	709,60	797,06	1067,16	1621,38	0,09			

## Розподіл цеху заводу між ЦТП:

№ ЦТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахунок активна потужність		Розрахунок реактивна потужність		Повна розрахункова потужність		Середня активна потужність		Середня реактивна потужність		Повна середня потужність	
			Pp, кВт	Qp, кВтАр	Pp, кВт	Qp, кВтАр	Pс, кВт	Qс, кВтАр	Pс, кВт	Qс, кВтАр				
ТП	1	Админкорпус кар'єру	40,295	33,421	52,251	37,295	29,421	47,503						
	2	Побутокмбінат	64,668	71,361	96,303	48,918	50,361	70,208						
	3	Пральня	41,048	47,690	62,922	38,548	45,485	59,622						
	4	Центральний в'яз	12,916	10,656	16,744	12,166	9,891	15,679						
	5	Зарядник	24,946	15,620	29,433	22,696	13,325	26,318						
	6	СТО	157,183	247,605	293,283	194,683	312,557	368,230						
	7	Цех електродів	49,595	31,528	58,768	41,795	25,678	49,053						
	8	Цех плити	119,995	111,078	163,515	130,995	122,300	179,212						
	9	Ремонтно-будівельний цех	204,957	243,446	318,235	170,957	198,113	261,678						
	10	Контора транспортного цеху	21,685	21,076	30,240	16,685	14,409	22,046						
11	Всього по ТП1	737,288	833,481	1112,782	714,738	821,540	1088,934							

№	Ст, кВт	dP%, кВт	dP%, кВт	Кп, тис. грн	Е*К, тис. грн	dP%, кВт	dP%, кВт	Вс, тис. грн	3, тис. грн	X	об'єкт 1	об'єкт 2
13	63	1,28	0,24	587,319	79,874	189,673	0,48	200,143	1728,23	---	---	---
14	100	1,97	0,33	623,682	84,820	121,971	0,66	122,631	1058,86	---	---	---
15	160	3,1	0,51	671,143	91,274	74,942	1,02	75,994	656,177	---	---	---
16	250	4,2	0,74	732,524	99,623	41,606	1,48	43,063	372,031	---	---	---
17	400	5,9	0,95	879,2	119,571	22,836	1,9	24,759	215,4	---	---	---
18	630	8,5	1,31	978,232	133,039	12,295	2,62	15,879	137,113	---	+	---
19	1000	18	2,1	1154,22	156,974	6,509	4,2	10,701	92,393	249,372	+	+
20	1600	28	3,8	1434,88	195,143	4,353	5,6	9,853	85,942	281,086	+	+
21	2500	43,5	5,8	1641,71	223,273	2,327	7,7	10,028	86,581	309,86	+	+
22								249,372				
23												

## Вибір потужності ЦТП1

№ ЦТП	Stom, кВт	kt	dP%, кВт	dP%, кВт	Is, %	U, %	Pp, кВт	Qp, кВтАр	Sp, кВтА	dPтр, кВт	dQтр, кВтАр	dStр, кВт	P, кВт	Q, кВтАр	R, Ом
1	1000	2	2,1	10,5	1,4	6	737,288	833,480	1112,78	10,70099	65,148522	66,02152	747,989	898,629	1,05
2	Всього						709,596	797,0561		10,70099	65,148522	66,02152	720,296	862,205	

№	Назва коэфіц. дієловості та отримані формули	Формула
1	B2=Stom_e	O2:=Qsum
2	C1=ктр	N1:=Psum_1
3	D1=dPкварт	O6:=Qsum_1
4	E1=dPкварт	Uкварт=BITP/Stom_e/TR_10_kv:0:0
5	F1=Iкварт	N2:=Pкварт
6	G1=Uкварт	Qкварт_сум=CУММ(Qкварт)
7	H1=Ркварт	Qкварт_сум=Qкварт*(1+кварт)*Qкварт*(Spтр/Stom_e)/2
8	I1=Ркварт_сум	Qкварт_сум=CУММ(Qкварт)
9	J1=Qкварт	Qкварт_сум=CУММ(Qкварт)*100*Stom_e/(1+кварт)*(Uкварт/100)*(Spтр/2/Stom_e)
10	K1=Qкварт_сум	dQсум=CУММ(dQкварт)
11	L1=dQкварт	dСтр=CОРЕНЬ(dPкварт^2+dQкварт^2)
12	M1=dQкварт	dСтр=CОРЕНЬ(dPкварт^2+dQкварт^2)
13	N1=dQкварт	Qсум=CУММ(Qкварт)
14	O1=dQсум	Qсум_1=Ркварт_сум+dQсум
15	P1=dСтр	Qсум_1=Qкварт_сум+dQсум
16	Q1=dСтр	
17	R1=Рсум	

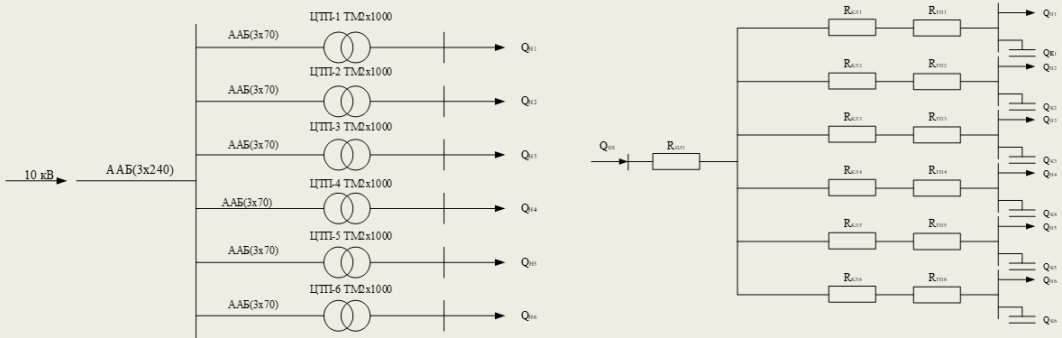
## Розрахунок втрат потужності в цехових ТП

Початкові дані			Порядкові коефіцієнти			Назва змінної, діалогова та опорні формули				
Економічні характеристики			Коефіцієнт середності			L12=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0				
Цінова вартість втрач. грн/кВт	Вс=	8634,5568	03=>В0_	Коефіцієнт провідності	0,95	L13=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0	Вит_=>Вит(В)			
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	Е=	0,1	03=>Е_а	Коефіцієнт гнучкості	1,05	L14=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0	Вит_=>Вит(В)			
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	Еам=	0,05	03=>Е_а	Коефіцієнт гнучкості	1,05	L15=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0	Вит_=>Вит(В)			
Нормативний режим			Коефіцієнт гнучкості			L16=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0				
Максимально доп. коефіцієнт навантаження в режимі	Кдоп=	1,09725	07=>Кдоп				L17=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Напруга, кВ	Цн=	10	08=>Цн	L2=Кс				L18=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0		
Довжина КЛ, км	Ів=	16	09=>Ів	L3=Кр				L19=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0		
Активна розрахункова потужність, кВт	Рн=	720,2964914	010=>Рн	L4=Кдг				L20=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0		
Реактивна потужність, квар	Qн=	852,2046499	011=>Qн	L5=Кдф				L21=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0		
Регуляційний струм окремого кабелю, А	Ір=	32,43228707	012=>Ір	Кбор=Кр*Кдг				L22=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0		
Кількість КЛ	К=	2	013=>К				L23=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Максимально допуст. перепад КЛ та умовно механ. міцності	Рміц=	70	014=>Рміц				L24=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Допустима втрата напруги в КЛ, %	ΔUдоп=	5	015=>ΔUдоп				L25=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Пологі зазирний режим			Коефіцієнт гнучкості			L26=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0				
Струм ІЗ на початку лінії, кА	Із=	5,694402	017=>Із				L27=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Правильний час КЗ, с	Ів=	1,5	018=>Ів				L28=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Темповий коефіцієнт С, (А*с <sup>1/2</sup> )/мм <sup>2</sup>	С=	90	019=>С				L29=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Мінімальний перепад лінії за умовою КЗ, мм <sup>2</sup>	Рз=	50,27444335	020=>Рз				L30=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Пологі зазирний режим			Коефіцієнт гнучкості			L31=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0				
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження	Кма=	1,25	021=>Кма				L32=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Доп. навантаження в післяаварійному режимі	Кма=	0,8	022=>Кма				L33=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			
Допустима втрата напруги в КЛ, %	ΔUдоп=	5	024=>ΔUдоп				L34=Max R0_>=ВІПРФ_І4.КЛ_І.0			

F, км <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>доп</sub> , А	δU <sub>к</sub> , %	δU <sub>л</sub> , %	К <sub>о</sub> , тис. грн/км	δP <sub>р</sub> , кВт	К	Е*К, т. грн	В <sub>т</sub> , т. грн	З, т. грн	Доп	К <sub>доп</sub> *I <sub>доп</sub> <sup>2</sup>	К <sub>ма</sub> *I <sub>доп</sub> <sup>2</sup>	ΔU <sub>к</sub> , %	ΔU <sub>л</sub> , %	F=>F <sub>макс</sub>	F>=>F <sub>к</sub>	
10	3,1	0,122	50	7,014324272	11,22291884	32,19075	117,387	193,14	28,971675	1013,58	-	макс	-	-	-	-	-	-	
16	1,94	0,113	75	4,484412956	7,17506073	46,517625	73,4614	279,11	41,8658629	634,307	-	макс	-	-	-	-	-	-	
23	1,24	0,099	90	2,935177729	4,496924366	67,603875	46,5247	402,02	60,3034875	455,433	-	макс	-	-	-	-	-	-	
33	0,89	0,095	115	2,168919967	3,470371932	87,591375	33,7014	525,55	78,832373	290,996	-	макс	-	-	-	-	-	-	
50	0,62	0,09	140	1,572346739	2,516074767	124,62525	23,4774	747,75	112,162723	202,717	-	макс	-	-	-	-	-	-	
70	0,443	0,086	165	1,179722837	1,887556339	170,440875	16,773	1022,6	153,3967873	144,844	296,241	доп	-	-	-	-	-	V	
92	0,328	0,083	205	0,919138926	1,470622282	220,897125	12,8445	1252,4	198,8074125	106,59	305,397	доп	-	-	-	-	-	-	
120	0,258	0,081	240	0,767025214	1,227240343	279,237625	9,76961	1677,2	251,5748629	84,3563	335,931	доп	-	-	-	-	-	-	
150	0,206	0,079	275	0,649485734	1,039177174	344,617875	7,80054	2067,7	310,1560873	67,3542	377,51	доп	-	-	-	-	-	-	
183	0,167	0,077	310	0,560037816	0,896060506	463,995	6,32374	2784	417,3953	54,6027	472,198	доп	-	-	-	-	-	-	
240	0,129	0,075	355	0,472750788	0,756401261	643,518	4,88481	3861,1	579,1662	42,1781	621,344	доп	-	-	-	-	-	-	
Із загальна												=		298,241					
Опт. Перепад ПЛ												=		70					
Ропт												=		0,443					
Хопт												=		0,086					

Таблична форма для автоматизованого вибору КЛ від ЦРП до ТП1

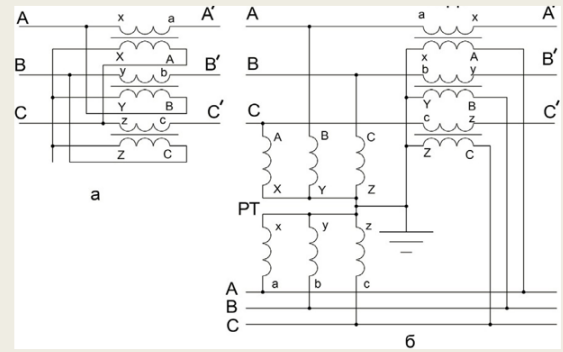


Однолінійна схема електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

Схема заміщення мережі електропостачання ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

Додатковим способом для регулювання напруги буде застосування вольтододаткових трансформаторів (ВДТ). Їх експлуатація дозволить залежно від схеми вмикання вводити до вектора напруги мережі додаткову позовжню, поперечну або позовжньо-поперечну ЕРС і координувати тим самим не лише рівень напруги, а й поточкорозподіл потужності в замкнутих мережах систем електропостачання.

Щодо замкнугих електричних мереж надвисокої напруги, то у них ВДТ використовуються, в основному, для перерозподілу потоків активної і реактивної потужності, задля підвищення стійкості режимів роботи електричних мереж нижчих класів номінальної напруги, поєднуганих зв'язками надвисокої напруги за допомогою силових автотрансформаторів зв'язку.

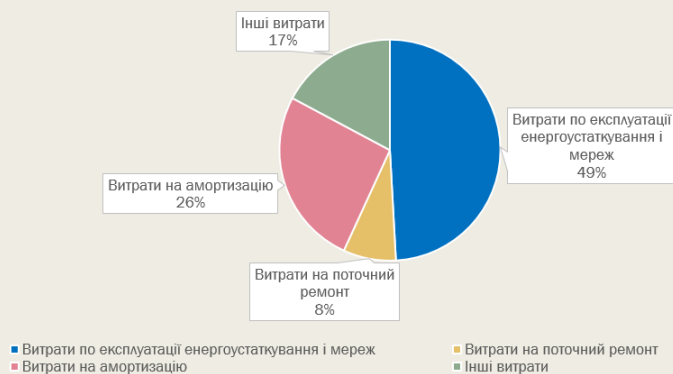


Схеми включення ВДТ першої групи

- В економічному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої СЕП ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» та розраховано собівартість електричної енергії, яка склала 492 коп/кВт-год.

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	Е <sub>а</sub>	4959000	кВт-год
Річне споживання електроенергії із втратами	Е	4990828,79	кВт-год
Плата за електроенергію	П	23456895,313	грн
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	С <sub>п</sub>	976182,2	грн
Сумарні витрати підприємства	С <sub>сум</sub>	24 433 077,513	грн
Собівартість електроенергії	S	492	коп/кВт-год

## Кошторис річних поточних витрат



- В роботі були розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час запровадження заходів із підвищення якості електроенергії в системі електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр».