

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

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**Підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою  
відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної  
електростанції**

Виконала: студентка 2-го курсу, групи ЕМ-22м

Освітня програма: “ Енергетичний  
менеджмент

(назва ОП)

Спеціальність 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та

електромеханік

(шифр і назва спеціальності)

Могіла В.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник, к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Войтюк Ю.П.

(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту

« 11 » 12 2023 р.

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« 8 » грудня 2023 р.

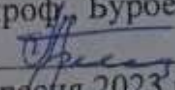
Опонент

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023 р.

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» вересня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
Могила Валентині Костянтинівні

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної електростанції, керівник Войтюк Юрій Петрович, к.т.н., доц., затверджені наказом по ВНТУ від «18» вересня 2023 року, №247
2. Строк подання студентом роботи «4» грудня 2023 року.
3. Вихідні дані: генплан підприємства; відомості про електричні навантаження цехів (Додаток Б); відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення, їх віддаленість; генплан РП; основні техніко-економічні показники.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки
  - Анотація
  - Вступ
  - 1. Загальні відомості про підприємство
  - 2. Розрахунок системи електропостачання заводу
  - 3. Підвищення ефективності системи електропостачання підприємства за рахунок встановлення фотогальванічної електричної станції
  - 4. Економічний розрахунок
  - 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
  - Висновки.
  - Список літератури
  - Додатки.
5. Перелік графічного матеріалу
  - Генплан підприємства
  - Однолінійна схема електропостачання
  - Однолінійна схема живлення сонячної електростанції
  - Конструктивні елементи сонячної електростанції
  - Техніко-економічні показники підприємства

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальний розділ роботи	Войтюк Ю.П., доц., каф. ЕСЕМ, к.т.н.		
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		

7. Дата видачі завдання «19» вересня 2023 року


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	При
1	Загальні відомості про підприємство	30.09.23	
2	Розрахунок системи електропостачання	10.11.23	
3	Застосування інноваційних підходів до раціонального використання електричної енергії	16.11.23	
4	Економічна частина	28.11.23	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	4.12.23	

Студент

  
(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

  
(підпис)

Нормоконтроль

  
(підпис)

Могила В.К.  
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю.П.  
(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**

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**Підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою**  
**відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної**  
**електростанції**

Виконала: студентка 2-го курсу, групи ЕМ-22м

Освітня програма: “ Енергетичний  
менеджмент

(назва ОП)

Спеціальність 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та  
електромеханік

(шифр і назва спеціальності)

Могила В.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Войтюк Ю.П.

(прізвище та ініціали)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

«   »    2023 р.

«   »    2023 р.

Опонент   

(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.

---

«\_\_» вересня 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ** Могила Валентині Костянтинівні

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної електростанції, керівник Войтюк Юрій Петрович, к.т.н., доц., затверджені наказом по ВНТУ від «18» вересня 2023 року, №247

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

3. Вихідні дані: генплан підприємства; відомості про електричні навантаження цехів (Додаток Б); відомості про особливості технологічних процесів та навикилишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення, їх віддаленість; генплан РП; основні техніко-економічні показники.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Анотація

Вступ

1. Загальні відомості про підприємство

2. Розрахунок системи електропостачання заводу

3. Підвищення ефективності системи електропостачання підприємства за рахунок встановлення фотогальванічної електричної станції

4. Економічний розрахунок

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

Список літератури

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

- Генплан підприємства

- Однолінійна схема електропостачання

- Однолінійна схема живлення сонячної електростанції

- Конструктивні елементи сонячної електростанції

- Техніко-економічні показники підприємства

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання «19» вересня 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про підприємство	30.09.23	
2	Розрахунок системи електропостачання	10.11.23	
3	Застосування інноваційних підходів до раціонального використання електричної енергії	16.11.23	
4	Економічна частина	28.11.23	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	4.12.23	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Могила В.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Войтюк Ю.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_ (підпис)

Войтюк Ю. П.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ANNOTATION.....	7
Вступ .....	8
1. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПІДПРИЄМСТВА ТА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	10
1.1 Коротка характеристика підприємства та технологічного процесу.....	11
1.2 Інформація електричні навантаження та будівельний план.....	11
2. СИНТЕЗ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	13
2.1 Визначення розрахункових цехових електричних навантажень та всього підприємства.....	13
2.2 Визначення ефективної кількості та потужності трансформаторних підстанцій за допомогою елементів САПР.....	18
2.3 Визначення оптимально-ефективного перерізу ліній живлення.....	24
2.4 Розрахунок струмів короткого замикання в мережах 10 кВ.....	28
2.5 Розрахунок оптимально-ефективних перерізів ліній розподільчої мережі...30	
2.6 Вибір оптимальних координат розміщення центрального розподільчого пристрою.....	32
2.7 Прийняття рішень з оптимальної компенсації реактивної потужності з використанням елементів САПР.....	36
3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «БАРЛІНЕК-ІНВЕСТ» ЗА РАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ ФОТОГАЛЬВАНІЧНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	41
3.1 Аналіз способів генерації електричної енергії фотогальванічними електричними станціями.....	41
3.2 Вибір основного електротехнічного обладнання мережевої ФЕС.....	42
3.3 Визначення кількості та потужності основного обладнання ФЕС.....	46

3.4 Розробка схеми живлення ФЕС та вибір комутаційно-захисної апаратури.....	49
3.5 Характеристика основних елементів монтажних робіт на ФЕС.....	51
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	54
4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи.....	54
4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання.....	57
4.3 Розрахунок поточних витрат.....	59
4.3.1 Розрахунок потреби в робочій силі.....	59
4.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі.....	60
4.3.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються.....	63
4.3.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат .....	65
4.4. Розрахунок собівартості електроенергії.....	66
4.4.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію.....	66
4.4.2 Розрахунок собівартості електроенергії.....	68
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	72
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	72
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць на висоті.....	72
5.1.2 Електробезпека.....	74
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	75
5.2.1 Мікроклімат.....	75
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	76
5.2.3 Виробниче освітлення.....	77
5.2.4 Виробничий шум.....	78
5.2.5 Виробнича вібрація.....	79
5.2.6 Психофізіологічні фактори.....	80
5.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах надзвичайних ситуацій.....	81



ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89
ДАДАТКИ.....	94
Додаток А – Технічне завдання.....	95
Додаток Б – Вихідні дані.....	98
Додаток В – Протокол.....	99
Додаток Г – Ілюстративний матеріал.....	100

## АНОТАЦІЯ

Могила Валентина Костянтинівна. Підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної електростанції. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ, 2023. 108 с.

На укр. мові. бібліогр.: 42 назв; рис.: 32; табл.: 26.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблені питання що дозволили підвищити енергоефективність підприємства Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» за рахунок впровадження в процес проектування сучасних технологій САПР з використанням підпрограми «Пошук рішення».

Запропоновано для удосконалення системи електропостачання та економії енергоресурсів будівництво мережевої сонячної електростанції потужністю 1400 кВт, яка дозволить, при необхідності, повністю забезпечити електроенергією основний технологічний процес.

Ключові слова: система електропостачання, економія електроенергії, підстанція, кабельні лінії, коротке замикання, сонячна електростанція, фотогальванічні модулі, мережевий інвертор.

ANNOTATION

The grave of Valentina Kostyantynivna. Increasing the energy efficiency of Barlinek-Invest Limited Liability Company with the installation of a solar power plant. Master's qualification thesis on specialty 141 - electrical engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU, 2023. 108 p.

In Ukrainian speech bibliography: 42 titles; Fig.: 32; tab.: 26.

In the master's qualification thesis, questions were developed that made it possible to increase the energy efficiency of the Barlinek-Invest Limited Liability Company by introducing modern CAD technologies into the design process using the "Solution Search" subprogram.

In order to improve the power supply system and save energy resources, the construction of a grid solar power plant with a capacity of 1,400 kW is proposed, which will allow, if necessary, to fully supply the main technological process with electricity.

Key words: power supply system, power saving, substation, cable lines, short circuit, solar power plant, photovoltaic modules, grid inverter.

## ВСТУП

**Актуальність теми:** пов'язана з підвищенням енерговикористання системою електропостачання підприємства деревообробної галузі за рахунок впровадження інноваційних рішень в діючу електричну мережу. Актуальність цієї проблеми також обумовлена розробкою технічних рішень, що викликані складністю інтеграції сонячної електростанції в діючу систему електропостачання з подальшим підвищенням її енергоефективності.

**Мета роботи:** впровадження фотоелектричної сонячної станції у діючу систему електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест».

**Об'єкт дослідження:** система електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест».

**Предмет дослідження:** розробка системи електропостачання підприємства, що забезпечить можливість вбудови в неї сонячної електростанції з описом технологічних операцій монтажу окремих її елементів.

**Задача дослідження:** основними задачами магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» за рахунок будівництва фотоелектричної сонячної станції, що буде інтегрована в діючу електричну мережу .

**Наукова новизна:** полягає у розробці технології та формуванні умов, щодо використання сонячної електричної енергії в поєднанні з електропостачанням підприємства від мереж енергопостачальної компанії.

**Практичне значення одержаних результатів:** полягає у зменшенні дефіциту потужності електричної енергії за рахунок використання в системі електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» джерел альтернативної енергетики та використання розроблених практичних рекомендацій, що можуть бути розповсюдженні на аналогічні підприємства.

**Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи:** Основні теоретичні та практичні положення, що наведені в магістерській кваліфікаційній роботі опубліковано в тезах доповіді [7].

**Публікації:** За результатами роботи опубліковано тези доповідей [7].

# 1. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПІДПРИЄМСТВА ТА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

## 1.1 Коротка характеристика підприємства та технологічного процесу

Підприємство Барлінек існує з початку 50-х років ХХ століття як державне підприємство деревообробки. Свій розвиток підприємство фактично почало з його приватизації в кінці 90-х років. Саме в цей час відбулася модернізація підприємства та різке збільшення виробничих потужностей. Завдяки тому, що ТОВ Барлінек перетворився в українській підрозділ однойменної польської компанії воно значно розширило асортимент продукції та стало лідером виробництва дерев'яних підлог практично в багатьох країнах світу.

Розвиток підприємства почався в 2007 році коли була введена в експлуатацію лісопилка для листяних порід дерев, що мала продуктивність близько 50000м<sup>3</sup> в рік. Саме в цей час за рахунок інвестицій підприємство почало виготовляти заготовки для паркетної дошки, яка завершальний етап обробки проходила в Польщі. В цей же час ТОВ Барлінек починає інтенсивно займатися природоохоронною діяльністю, що полягала в постійній посадці лісових насаджень. Крім цього підприємство використовує сучасні технології та обладнання, які дозволяють зменшувати негативний вплив виробництва на навколишнє середовище.

Кінцева продукція підприємства є паркетна дошка найвищого класу, що виготовляється з деревини, яка забезпечує високу акустичну та термічну ізоляцію та стійка до механічних пошкоджень. Всі компоненти, що використовуються для виготовлення дошки відповідають екологічним нормам. Це дає можливість використовувати дошку в любых приміщеннях, навіть у дитячих установах.

На сьогоднішній день підприємство працює у дві зміни, безперервна робота триває 11 місяців на рік. Останній місяць використовується для

виконання планових ремонтів та відпусток працівників.

Технологічний процес складається з виготовлення деревини та її поділ на обрізні та не обрізні дошки. Потім з них виготовляються рейки та отримуються фризи. На завершальному етапі технологічного процесу виготовляються палети з яких виготовляють паркетну дошку.

Деревина поступає на підприємство у вигляді кругляка. Процес доставки та пересування по території підприємства відбувається спеціальними автокарами. Подача кругляка до пристрою розпилу відбувається системою поперечних та повздовжніх транспортерів, а розпилювання кругляка – на стрічкових пилах. Відходи з пилок за допомогою транспортерів доставляється до місця зберігання. Збір дошки з транспортерів відбувається вручну робітниками. Обробка обрізних та не обрізних дошки виконується окремо за допомогою спеціальних дискових пилок, після чого вони укладаються в палети для отримання фризи використовуються спеціальні оптимізатори на яких відбувається переробка рейок. Ця продукція поступає на транспортер сортування, де робітники сортують їх в залежності від розміру та якості. Фризи на палетах закріплюються спеціальною стрічкою для зручності пересування. Всі відходи, які виникають в процесі обробки за допомогою транспортера доставляються на спеціальний транспорт без подрібнення.

Готова дошка після проходження цього технологічного циклу має три шари натуральної деревини та сім шарів, що служать для захисту.

## 1.2 Інформація електричні навантаження та будівельний план

Генеральний план підприємства з усіма архітектурними спорудами представлений на рисунку 1.1.

Підприємство отримує живлення від підстанції енергопостачальної організації, відстань до якої складає приблизно 1,5 км,  $S_{кз}$  на шинах підстанції прийнято 50 МВА. Дозволена вхідна реактивна потужність складає  $Q_{вх}=390$  квар.

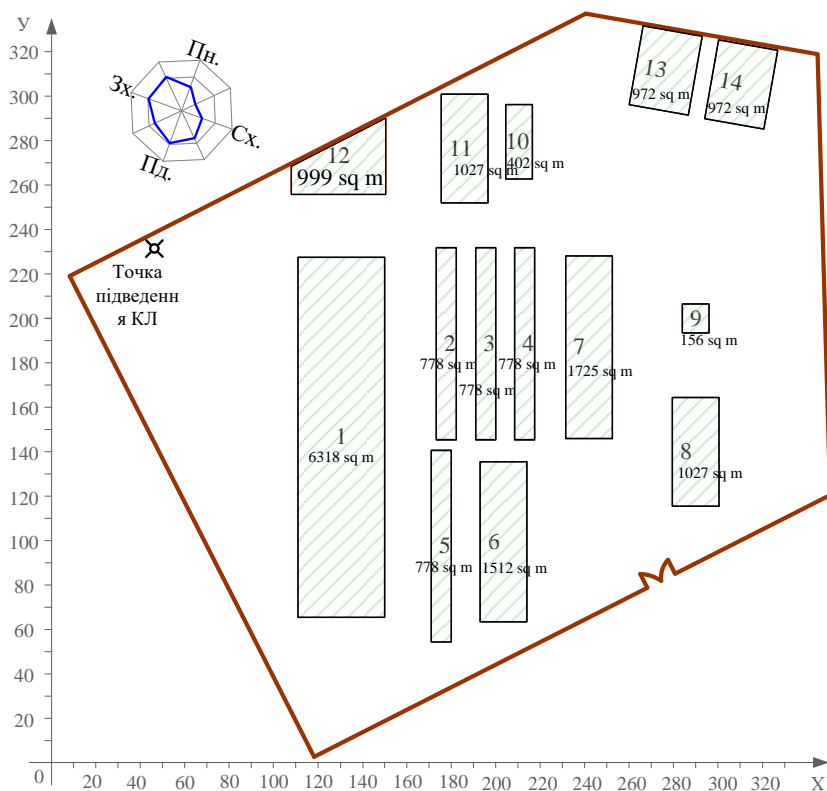


Рисунок 1.1 – Генеральний план ТОВ «Барлінек-Інвест»

Інформація про електричні навантаження окремих цехів підприємства представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Інформація про електричні навантаження

Позначення на генплані	Найменування	$P_n$ , кВт
1	Головний виробничий корпус	650
2	Блок 8-ми сушильних камер №1	100
3	Блок 8-ми сушильних камер №2	100
4	Блок 8-ми сушильних камер №3	100
5	Блок 8-ми сушильних камер №4	100
6	Склад проміжного зберігання №1	80
7	Склад проміжного зберігання №2	80
8	Адміністративний корпус	25
9	Млин	50
10	Склад палива для котельні	80
11	Котельня	250
12	Розпилочний цех	200
13	Деревообробний цех	150
14	Столярний цех	150



## 2. СИНТЕЗ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Для створення енергоефективної системи електропостачання в першу чергу потрібно визначити значення розрахункових електричних навантажень всіх цехів підприємства. Ця інформація буде основою для подальших розрахунків, що будуть стосуватися прийняття електротехнічної бази ТОВ «Барлінек-Інвест».

### 2.1 Визначення розрахункових цехових електричних навантажень та всього підприємства.

Електричні навантаження окремих цехів будемо визначати наближеним методом, що базується на використанні коефіцієнтів використання та попиту [5].

Розрахунок проведемо умовно розбивши його на два етапи. Перший етап буде присвячений формуванню алгоритмів розрахунку, другий автоматизації розрахунків за допомогою електронного процесора Excel.

Послідовність виконання розрахунків електричних навантажень полягає в наступному. Зробимо зауваження, що стосується точності та ефективності розрахунків. Для визначення потужностей окремих виробничих цехів спочатку потрібно врахувати їх електричне освітлювальне навантаження, а потім перейти до аналізу силового навантаження.

Визначається активна та реактивна потужності освітлювального навантаження відповідно:

$$P_{poi} = K_{poi} \cdot F_i \cdot P_{питi} \cdot k_{пра}, \quad (2.1)$$

$$Q_{poi} = K_{poi} \times F_i \times p_{питi} \times k_{пра} \times tg_0, \quad (2.2)$$

де  $K_{poi}$  - коефіцієнт попиту освітлення для обраного цеху;

$F_i$  - площа цеху,  $m^2$ ;

$P_{\text{пит}i}$  - питома густина освітлення,  $kВт/m^2$ ;

$k_{\text{пра}}$  - коефіцієнт втрат потужності в ПРА;

$tg_0$  - коефіцієнт реактивної потужності освітлення.

Вище було сказано, що сумарне середньо змінне навантаження любого цеху складається з навантаження силового навантаження та навантаження освітлення, тому:

$$P_{ci} = K_{vi} \times P_{\text{ном}i} + P_{\text{ро}i}, \quad (2.3)$$

де  $P_{\text{ном}i}$  - силове навантаження  $i$ -го цеху,  $kВт$ ;

$K_{vi}$  - його коефіцієнт використання

Реактивне навантаження складе:

$$Q_{ci} = P_{ci} \times tg\phi_i, \quad (2.4)$$

Виходячи з (2.3 та 2.4) отримуємо повне навантаження цеху:

$$S_{ci} = \sqrt{P_{\text{см}i}^2 + Q_{\text{см}i}^2}. \quad (2.5)$$

Сумарні активне та реактивне цехові навантаження будуть:

$$P_{pi} = K_{\text{п}i} \times P_{\text{ном}i} + P_{\text{ро}i}, \quad (2.6)$$

де  $K_{\text{п}i}$  - коефіцієнт попиту [2];

$$Q_{pi} = K_{\text{п}i} \times P_{\text{ном}i} \times tg\phi_i + Q_{\text{ро}i}. \quad (2.7)$$

Виходячи з (2.6 та 2.7) знаходимо повне навантаження:

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2} . \quad (2.8)$$

Величина розрахункового струму і-того цеху

$$I_{pi} = \frac{S_{pi}}{\sqrt{3} \times U_{НОМ}} . \quad (2.9)$$

де  $U_{НОМ}$  - напруга мережі.

Розрахуємо активні та реактивні навантаження для всіх цехів:

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{ci} ; \quad (2.10)$$

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{ci} ; \quad (2.11)$$

$$P_{p\Sigma} = \left( \sum_{i=1}^N P_{НОМi} \times k_{\Pi i} \right) \times K_o + P_{po\Sigma} ; \quad (2.12)$$

$$Q_{p\Sigma} = \left( \sum_{i=1}^N P_{НОМi} \times k_{\Pi i} \times tg_{\phi i} \right) \times K_o + Q_{po\Sigma} ; \quad (2.13)$$

де  $P_{c\Sigma}$  - величина сумарної середньої активної потужності, кВт;

$Q_{c\Sigma}$  - величина сумарної середньої реактивної потужності, квар;

$Q_{p\Sigma}$  - величина сумарної розрахункової реактивної потужності, квар;

$K_o$  - коефіцієнт одночасності [5].

$N$  – загальна кількість цехів.

Величина повного сумарного навантаження:

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2} ; \quad (2.14)$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} , \quad (2.15)$$

де  $S_{c\Sigma}$  - величина повного середнього навантаження;

$S_{p\Sigma}$  - величина повного розрахункового навантаження;

Величина сумарного струму:

$$I_{p\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3} \times U_{ном}}. \quad (2.16)$$

Вище був наведений алгоритм визначення розрахункових навантажень цеху, який покладений в основу автоматизованої системи розрахунку за допомогою електронного процесора Excel. Всі результати визначення цехового навантаження представлено в електронній таблиці на рисунку 2.1.

Дана таблиця є складовою загальної системи автоматизованого розрахунку (САПР) системи електропостачання підприємства.

Як видно з рисунку 2.1 величина повної середньої потужності підприємства складає  $S_{сум} = 1531,5$  кВА, а величина повної розрахункової потужності -  $S_{рсум} = 1579,77$  кВА.

1	2 №	3 Цех	4 Рн, кВт	5 cos	6 tg	7 Кп	8 Кв	9 Площа, м <sup>2</sup>	10 Кп0	11 Рплг, Вт/м <sup>2</sup>	Світло			14 tg0	15 Qт0, квар	16 Рр0, кВт	Середні нав-ня			Розрах. нав-ня			19 Ко=	20 р0, кВА/м <sup>2</sup>
											12 Кпра	13 Кр0	14 Рр0, кВт				15 Рс, кВт	16 Qс, квар	17 Sc, кВА	18 Рр, кВт	19 Qр, квар	20 Ср, кВА		
4	1	Головний виробничий корпус	650	0,85	0,62	0,6	0,56	6318	0,9	0,016	1,2	0,43	46,95	109,18	473,18	272,53	546,05	499,18	288,65	576,62	876,09	0,09		
5	2	Блок 8-ми сушильних камер №1	100	0,85	0,62	0,45	0,39	778	0,8	0,014	1,2	0,43	4,50	10,46	49,46	28,67	57,16	55,46	32,38	64,22	97,57	0,08		
6	3	Блок 8-ми сушильних камер №2	100	0,8	0,75	0,45	0,4	778	0,8	0,014	1,2	0,43	4,50	10,46	50,46	34,50	61,12	55,46	38,25	67,37	102,35	0,09		
7	4	Блок 8-ми сушильних камер №3	100	0,8	0,75	0,45	0,4	778	0,8	0,014	1,2	0,43	4,50	10,46	50,46	34,50	61,12	55,46	38,25	67,37	102,35	0,09		
8	5	Блок 8-ми сушильних камер №4	100	0,8	0,75	0,45	0,41	778	0,8	0,014	1,2	0,43	4,50	10,46	51,46	35,25	62,37	55,46	38,25	67,37	102,35	0,09		
9	6	Склад проміжного зберігання	80	0,75	0,88	0,6	0,56	1512	0,75	0,013	1,2	0,43	7,61	17,69	62,49	47,12	78,26	65,69	49,94	82,52	125,37	0,05		
10	7	Склад проміжного зберігання	80	0,75	0,88	0,6	0,55	1725	0,75	0,013	1,2	0,43	8,68	20,18	64,18	47,48	79,84	68,18	51,01	85,15	129,38	0,05		
11	8	Адміністративний корпус	25	0,85	0,62	0,5	0,45	1027	0,9	0,016	1,2	0,43	7,63	17,75	29,00	14,60	32,47	30,25	15,38	33,93	51,55	0,03		
12	9	Млин	50	0,65	1,17	0,35	0,31	156	0,7	0,014	1,2	0,43	0,79	1,83	17,33	18,91	25,65	19,33	21,25	28,73	43,65	0,18		
13	10	Склад палива для котельні	80	0,8	0,75	0,35	0,3	402	0,7	0,012	1,2	0,43	1,74	4,05	28,05	19,74	34,30	32,05	22,74	39,30	59,71	0,10		
14	11	Котельня	250	0,85	0,62	0,55	0,5	1027	0,75	0,013	1,1	0,43	4,74	11,01	136,01	82,20	158,93	148,51	89,95	173,63	263,81	0,17		
15	12	Розпилочний цех	200	0,7	1,02	0,45	0,41	999	0,7	0,013	1,2	0,43	4,69	10,91	92,91	88,35	128,21	100,91	96,51	139,63	212,15	0,14		
16	13	Деревообробний цех	150	0,65	1,17	0,5	0,46	972	0,8	0,014	1,2	0,43	5,62	13,06	82,06	86,29	119,08	88,06	93,30	128,30	194,93	0,13		
17	14	Столярний цех	150	0,75	0,88	0,45	0,41	972	0,8	0,013	1,2	0,43	5,22	12,13	73,63	59,45	94,64	79,63	64,75	102,63	155,93	0,11		
18		Всього по підприємству	2115					18222					111,64	259,62	1260,67	869,59	1531,50	1298,92	899,15	1579,77	2400,21	0,09		
19																								

Рисунок 2.1 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

## 2.2 Визначення ефективної кількості та потужності трансформаторних підстанцій за допомогою елементів САПР.

Підвищення ефективності системи електропостачання в значній мірі залежить від надійності та безперебійності живлення споживачів. При цьому на перший план виступають питання вибору кількості та потужності трансформаторів, а також кількості трансформаторних підстанцій, які б повністю задовольнили споживачів електричною енергією.

Проектна практика рекомендує перш ніж виконувати вибір потужності трансформатора рекомендує знайти оптимальні ступені потужності, опираючись на питому густину навантаження. Другим моментом від чого залежить кількість трансформаторів на підстанції є категорійність електропостачання технологічного процесу підприємства. В нашому випадку ТОВ «Барлінек-Інвест» в основному належить до II категорії електропостачання, яка вимагає встановлення в цехових трансформаторних підстанціях обов'язково двох трансформаторів, що дасть змогу забезпечити підприємство електроенергією у випадку виходу із ладу одного із трансформаторів.

Згідно з [5] визначимо величину питомої густини навантаження та рекомендовану його потужність з виразу:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}, \quad (2.17)$$

де  $S_{\Sigma}$  -розрахункова потужність підприємства,

$F$  – площа усіх цехів.

Розрахунок по (2.17) дає значення питомої потужності 0,09 кВА/м<sup>2</sup>, при якій рекомендується обирати трансформатори потужністю 1000, 630 та 400 кВа.

У зв'язку з переважною більшістю споживачів II категорії передбачимо встановлення на підприємстві двох двотрансформаторних підстанцій. При чому від першої заживимо цехи 1,2,5,6, а від другої - 3,4,7-14. Ефективність такої схеми живлення впливає з того, що дає значно знизити довжини кабельних

ліній, які утворюють низьковольтну електричну мережу, що приведе до зниження втрат потужності.

На рисунку 2.2 представлений елемент електронної таблиці щодо розподілу цехів між підстанціями.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахункова активна потужність Pr, кВт	Розрахункова реактивна потужність Qr, кВАр	Повна розрахункова потужність Sp, кВА	Середня активна потужність Ps, кВт	Середня реактивна потужність Qs, кВАр	Повна середня потужність Ss, кВА	
1										
2	ТП1	1	Головний виробничий корпус	499,175	288,646	576,621	473,175	272,532	546,048	
3		2	Блок 8-ми сушильних камер	55,456	32,385	64,220	49,456	28,666	57,164	
4		5	Блок 8-ми сушильних камер	55,456	38,246	67,366	51,456	35,246	62,370	
5		6	Склад проміжного зберігання	65,690	49,939	82,517	62,490	47,117	78,263	
6			Всього по ТП1	675,778	409,215	790,021	636,578	383,561	743,203	
7		ТП2	3	Блок 8-ми сушильних камер	55,456	38,246	67,366	50,456	34,496	61,121
8	4		Блок 8-ми сушильних камер	55,456	38,246	67,366	50,456	34,496	61,121	
9	7		Склад проміжного зберігання	68,183	51,010	85,152	64,183	47,483	79,837	
10	8		Адміністративний корпус	30,247	15,378	33,931	28,997	14,603	32,466	
11	9		Млин	19,335	21,249	28,729	17,335	18,910	25,653	
12	10		Склад палива для котельні	32,052	22,742	39,301	28,052	19,742	34,303	
13	11		Котельня	148,515	89,951	173,631	136,015	82,204	158,926	
14	12		Розпилювальний цех	100,909	96,509	139,631	92,909	88,348	128,208	
15	13		Деревообробний цех	88,064	93,302	128,298	82,064	86,287	119,080	
16	14		Столярний цех	79,631	64,746	102,630	73,631	59,454	94,637	
17		Всього по ТП2	677,846	531,380	861,301	624,096	486,025	791,022		

Рисунок 2.2 - Розподіл цехів між підстанціями

У зв'язку з великим обсягом роботи, зазвичай, питання вибору потужності та кількості трансформаторів підстанції проводять за допомогою електронного процесору Excel, що входить в загальну систему САПР системи електропостачання.

Для використання системи САПР необхідно визначити наступну інформацію:

1. тип трансформатора (ТМ, ТМЗ).
2. потужності по ТП – середню та розрахункову.
3. коефіцієнт ефективності капіталовкладень (нормоване значення приймається рівним 0,1).
4. відрахування на амортизацію, яке для трансформаторних підстанцій складає 3,6 %.
5. питому величину вартості втрат.
6. загальна кількість трансформаторних підстанцій.
7. коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Для застосування електронного процесору Excel, щодо визначення потужності трансформаторів цехових підстанцій побудуємо математичну модель, яка надасть можливість визначити не тільки ефективне рішення даного питання, а і знайти оптимальні величини необхідних потужностей.

Для створення адекватної математичної моделі задамося керованою змінною, яка буде відображати потужність трансформатора  $S_T$ , а показником ефективності (критеріальною функцією) річні приведені затрати  $Z$ .

$$Z(S_T) = B_{ТП}(S_T) + B_B(S_T) \text{ @ } \min_{S_T \text{ і } S_{CT}}, \quad (2.18)$$

де  $B_{ТП}(S_T)$  - річні приведені затрати в трансформаторну підстанцію, які можуть визначенні як:

$$B_{ТП}(S_T) = (E_e + E_a) K_{ТП}(S_T, K_T), \quad (2.19)$$

де  $E_e$ ,  $E_a$  - коефіцієнти ефективності капіталовкладень та відрахувань та амортизацію відповідно.

$K_{ТП}(S_T, K_T)$  - функція залежності капіталовкладень в ТП, що дасть можливість визначення оптимального варіанту трансформатора.

Вартість втрат електричної енергії  $B_B(S_T)$  знайдемо з виразу

$$B_B(S_T) = (\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{K3}(S_T) \times K_3^2) \times k_T \times t \times \tau, \quad (2.20)$$

де  $\Delta P_{XX}(S_T)$ ,  $\Delta P_{K3}(S_T)$  - відомі з паспортних даних втрати холостого ходу та короткого замикання трансформатора;

$k_T$  - число трансформаторів;

$K_3$  - коефіцієнт завантаження;



$S_{CT}$  - перелік існуючих потужностей трансформаторів, для створення відповідної множини, що надасть можливість вибору оптимального значення  $S_T$ , МВА.

Коефіцієнт завантаження може бути розрахований за загально прийнятим виразом:

$$K_3 = \frac{S_{ТП}}{S_{ТП} \times k_T}. \quad (2.21)$$

Базуючись на перерахованих вище величинах знайдемо величину можливих втрат активної потужності в трансформаторі:

$$\Delta P_{зм} = \Delta P_{кз} \left( \frac{S_P^2}{S_T^2 \times k_T} \right), \quad (2.22)$$

Втрати активної потужності в трансформаторі визначаються як:

$$\Delta P_{пс} = \Delta P_{хх} \times k_T. \quad (2.23)$$

а сумарні втрати електроенергії [2]:

$$\Delta P = \Delta P_{пс} + \Delta P_{зм}. \quad (2.24)$$

Подана вище інформація стосувалася показника ефективності (критеріальній функції). Тепер сформуємо для подальшої формалізації обмеження, які повинні накладатися на показник ефективності. Обмеження буде мати вигляд:

$$S_T \times k_T \times k_H \geq S_{ТПсм}, \quad (2.25)$$

$$k_T \geq 1 \Rightarrow k_{на} \cdot S_T \geq k_{нна} \cdot S_{ТП}, \quad (2.26)$$

В (2.25)  $k_{на}$  відповідає значенню максимально допустимого коефіцієнта завантаження трансформатора, яке згідно [5] яке в після аварійному режимі складає 1,3.

На рисунку 2.3 наведено електронну таблицю документа САПР, який відповідає прийнятій математичній моделі та передбачає визначення оптимальної потужності трансформатора для цехової ТП-1.

Потрібно зробити зауваження, що в математичній моделі передбачено аварійний режим роботи підприємства, коли можна відключити біля 20 % навантаження цехів. Це задається коефіцієнтом  $k_{наа}=0,8$ .

	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=	790,02					
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	743,2					
5	Кількість трансформаторів										kt=	2					
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	1					
7	Дані післяаварійного режиму																
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяаварійному режимі										kпа=	1,3					
9	Доля навантаження в п.а. режимі										kпаа=	0,8					
10	Економічні характеристики																
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Вв=	12026					
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ее=	0,1					
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Еа=	0,036					
14																	
15	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPкх, кВт	Kтп, тис. грн.	Е*К, тис. грн.	dPзм, кВт	dPпс, кВт	dP, кВт	Вв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	облж. 1	облж. 2		
16		63	1,28	0,24	192	26,112	100,64	0,48	101,12	1216,1	—		—	—	—		
17		100	1,97	0,33	238	32,368	61,477	0,66	62,137	747,29	—		—	—	—		
18		160	3,1	0,51	272,6	37,074	37,789	1,02	38,809	466,74	—		—	—	—		
19		250	4,2	0,74	345,1	46,934	20,971	1,48	22,451	270	—		—	—	—		
20		400	5,9	0,95	425,4	57,854	11,507	1,9	13,407	161,24	—		—	+	—		
21	V	630	8,5	1,31	597,3	81,233	6,6832	2,62	9,3032	111,88	193,12	V	+	+	+		
22		1000	10,5	2,1	859,04	116,83	3,2767	4,2	7,4767	89,918	206,75		+	+	+		
23		1600	18	2,8	1263,8	171,88	2,1942	5,6	7,7942	93,737	265,61		+	+	+		
24		2500	23,5	3,85	1370,2	186,35	1,1734	7,7	8,8734	106,71	293,06		+	+	+		
25										Змін=	193,12						
26										Опт. Пот. Трансформатора	St*=	630					

Рисунок 2.3 - Визначення оптимальної потужності трансформатора для цехової ТП-1

З рисунку 2.3 видно, що оптимальна потужність трансформатора складає 630 кВА.

Використовуючи аналогічну електронну таблиці визначимо рекомендації з оптимальної потужності трансформатора на ЦТП-2 (див. рисунок 2.4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
1	Вибір оптимальної потужності ТП2 за мінімумом затрат																
2	Дані нормального режиму																
3	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	861,3					
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	791,02					
5	Кількість трансформаторів										kt=	2					
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	1					
7	Дані післяаварійного режиму																
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяаварійному режимі										kpa=	1,3					
9	Доля навантаження в п.а. режимі										knpa=	0,8					
10	Економічні характеристики																
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo=	12026					
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ee=	0,1					
13	Коефіцієнт врахувань на амортизацію										Ea=	0,036					
14																	
15	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPxx, кВт	Kтп, тис. грн.	E*К, тис. грн.	dPзм, кВт	dPпс, кВт	dP, кВт	Bв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	обмеж. 1	обмеж. 2		
16		63	1,28	0,24	192	26,112	119,62	0,48	120,1	1444,4	---		---	---	---		
17		100	1,97	0,33	238	32,368	73,071	0,66	73,731	886,72	---		---	---	---		
18		160	3,1	0,51	272,6	37,074	44,916	1,02	45,936	552,45	---		---	---	---		
19		250	4,2	0,74	345,1	46,934	24,926	1,48	26,406	317,57	---		---	---	---		
20		400	5,9	0,95	425,4	57,854	13,678	1,9	15,578	187,34	---		---	+	---		
21	V	630	8,5	1,31	597,3	81,233	7,9436	2,62	10,564	127,04	208,28	V	+	+	+		
22		1000	10,5	2,1	859,04	116,83	3,8947	4,2	8,0947	97,35	214,18		+	+	+		
23		1600	18	2,8	1263,8	171,88	2,608	5,6	8,208	98,713	270,59		+	+	+		
24		2500	23,5	3,85	1370,2	186,35	1,3947	7,7	9,0947	109,38	295,72		+	+	+		
25										Zмін=	208,28						
26										Опт. Пот. Трансформатора	St*=	630					

Рисунок 2.4 - Визначення оптимальної потужності трансформатора для цехової ТП-1

З наведеного розрахунку (рис. 2.4) видно, що оптимальна потужність трансформатора ЦТП-2 також складає 630 кВА.

Для остаточного прийняття потужності трансформаторів необхідно визначити величину втрат потужності в них. Врахування цих втрат дозволить підвищити ефективність електропостачання, так як не врахування цих втрат може призвести до заниження перерізу живлячих ліній з подальшим їх систематичним перегрівом та порушенням нормального усталеного режиму роботи ліній електропередач.

Для цього знову скористаємося перевагами електронного процесора. В втрати потужності в цехових трансформаторних підстанціях визначаються [5] за виразом:

$$\Delta P_{TP} = n \times \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \times \Delta P_{кз} \times \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2, \quad (2.27)$$

де  $S_p$  - розрахункове значення потужності ТП, кВА;

$S_{\text{ном.тр}}$  - номінальна потужність трансформатора.

Всі інші складові формули (2.27) були визначенні раніше.

Визначення величини втрат реактивної потужності відбуваються за формулою:

$$\Delta Q_{\text{ТР}} = n \times \frac{I_{\text{хх}}}{100} \times S_{\text{ном.тр}} + \frac{1}{n} \times \frac{U_{\text{кз}}}{100} \times \frac{S_p^2}{S_{\text{ном.тр}}}, \quad (2.28)$$

де  $I_{\text{хх}}$  - величина струм холостого ходу трансформатора, А;

На рисунку 2.5 приведений фрагмент електронної таблиці, що відповідає визначенню втрат потужності цехових трансформаторних підстанцій.

	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	630	2	1,31	8,5	2	5,5	675,778	409,215	790,021	9,30321	52,443911	53,2627	685,081	461,659	2,1416
3	2	630	2	1,31	8,5	2	5,5	677,846	531,38	861,301	10,5636	57,581912	58,5429	688,41	588,962	2,1416
4	Всього							1298,92	899,147		19,8668	110,02582	111,805	1318,79	1009,17	

Рисунок 2.5 – Втрати потужності в ЦТП

### 2.3 Визначення оптимально-ефективного перерізу ліній живлення

Раніше відмічалось, що підприємство отримує живлення від підстанції енергосистеми 110/35/10 кВ, що знаходиться на відстані 1,5 км. Скористаємося для знаходження оптимального перерізу зовнішньої лінії живлення 10 кВ знову перевагами електронного процесора.

Створимо та опишемо математичну модель, що вбудована в систему САПР. Задамося керованою змінною: нехай це буде переріз кабельної лінії.

Математична модел буде мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(F) = \left[ (E_e + E_a) \cdot K_0(F) + 3 \cdot I_l^2 \cdot r_0(F) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_l \rightarrow \min_{F \in X} \\ k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(F) \geq I_l \\ k_{\text{на}} \cdot I_{\text{доп}}(F) \geq I_l \cdot k_l \cdot k_{\text{нна}} \\ \Delta U_n(F) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ \Delta U_{\text{на}}(F) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ F \geq F_{\text{кз}} \\ F \in X \end{array} \right. \quad (2.29)$$

де  $K_0(F)$  – функція питомої вартості лінії живлення від її перерізу;

$I_l$  – струм в лінії;

$I_{\text{доп}}(F)$ ,  $K_{\text{доп}}(F)$  – допустимий струм та навантаження в функції від перерізу лінії [2];

$\Delta U_{\text{на}}(F)$ ,  $\Delta U_n(F)$  – втрати напруги в лінії в нормальному та після аварійному режимі відповідно;

$k_{\text{доп}} = k_{\text{п}} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{зр}}$  – допустиме навантаження;

$I_{\text{кз}}$  – струм короткого замикання;

$t_n$  – час короткого замикання. (с)  $\approx 1,5$  с;

$C$  – величина теплового імпульсу [5].

Наведемо деякі пояснення по обмеженнях на керовану зміну, що входять склад математичної моделі (2.29).

Переріз кабельної лінії повинен задовольняти умові допустимого нагрівання в нормальному режимі роботи:

$$k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(x) \geq I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}} \times k_{\text{л}}}, \quad (2.30)$$

де  $k_{\text{доп}}$  - коефіцієнт, що коригує величини струмів в залежності від способу прокладання кабелю [1];

$I_{\text{доп}}(x)$  - допустимий струм навантаження в функції перерізу, А;

$S_p$  - потужність навантаження, кВА;

Коефіцієнт  $k_{\text{доп}}$  визначається:

$$k_{\text{доп}} = k_{\text{сер}} \cdot k_{\text{зр}} \cdot k_{\text{гр}}, \quad (2.31)$$

де  $k_{\text{сер}}$  - коефіцієнт, що враховує зовнішнє середовища [1];

$k_{\text{зр}}$  - коефіцієнт, що залежить від способу прокладки ліній живлення [1];

$k_{\text{гр}}$  - коефіцієнт, що враховує тип ґрунту [1].

При значеннях, що рекомендовані в [1]:

$$k_{\text{доп}} = 1 \cdot 0,92 \cdot 1,05 = 0,966.$$

Для врахування оптимального перерізу кабельної лінії за умовою допустимості нагріву та післяаварійного режиму скористуємося:

$$k_{\text{па}} \times k_{\text{доп}} \times I_{\text{доп}}(x) \geq k_{\text{л}} \times I_{\text{л}} \times k_{\text{н.па}}, \quad (2.32)$$

де  $k_{\text{па}}$  - коефіцієнт, що характеризує величину перевантаження кабельної лінії в післяаварійному режимі;

$k_{\text{н.па}}$  - коефіцієнт, що показує яка частина навантаження може залишитися в післяаварійному режимі роботи;

Окрім того для визначення оптимального перерізу кабельної лінії та підвищення її ефективності необхідно врахувати втрати напруги. Використаємо для цього відомий вираз:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{л}}(F) = \frac{P_p \times r_0(F) + Q_p \times x_0(F)}{k_{\text{л}} \times U_{\text{ном}}^2 \times 1000} \times L \times 100\% \quad (2.33)$$

де  $\Delta U_{\text{доп}}$ ,  $\Delta U_{\text{л}}(F)$  - допустимі втрати напруги та її фактичні значення у функції від перерізу відповідно в лінії, %;

$r_0(F)$ ,  $x_0(F)$  - відповідно активне і реактивне значення опору проводу в залежності від перерізу.

Умова визначення допустимої втрати напруги в після аварійному режимі:

$$\Delta U_{\text{па.доп}} \geq \Delta U_{\text{па.л}}(F), \quad (2.34)$$

де  $\Delta U_{\text{па.доп}}$ ,  $\Delta U_{\text{па.л}}(F)$  - допустима та фактична втрати напруги в живлячій лінії в післяаварійному режимі, %.

Термічна стійкість в лінії при короткому замиканні перевіряється за умовою, що також входить в перелік обмежень математичної моделі:

$$F \geq F_{\text{кз}}, \quad (2.35)$$

де  $F_{\text{кз}}$  - мінімальний переріз проводу, що відповідає термічній дії струмів короткого замикання.

Його можна визначити як:

$$F_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{п}}}}{C}, \quad (2.36)$$

де  $I_{\text{кз}}$ , - струм к.з. на шинах 10 кВ за приведений час  $t_{\text{п}}$ , А;

$C = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{0.5} / \text{мм}^2$  - значення термічного коефіцієнту згідно [1] при температурі проводу  $200^{\circ}\text{C}$ .

Повна електронна таблиця з необхідними величинами та опорними формулами для автоматизованого вибору живлячої лінії приведена на рисунку 2.6.

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T								
1	Початкові дані			Поправочні коефіцієнти						Назви комірок, діапазонів та опорні формули														
2	Економічні характеристики			Коефіцієнт середовища						1														
3	кВт		Во=	12026,4288	G3:=B0	Коефіцієнт прокладки						0,92					A28:A39:=F_kl	L35:=3m	R0:=ВПР(F_kl;KL;3:0)					
4	пітавлання			Ес=	0,1	G3:=E_a	Коефіцієнт ґрунту						1,05					B28:B39:=R0	L36:=F0	X0:=ВПР(F_kl;Kl;Змін_МІН(Зг))				
5	амортизацію			Еа=	0,05	G3:=E_a	кноп=						0,966					C28:C39:=X0	L37:=R0	Иноп:=ВПР(F_kl;I;Fort_pl=ИНДЕКС(R0_ПОИСКП				
6	Нормальний режим			G7:=Кноп						D28:D39:=Иноп							L38:=X0					dUn=(R0_*P+Q)*Ropt=ИНДЕКС(R0_ПОИСКП		
7	цієнт навантаження в н.режимі			Кноп=	0,966	G7:=Кноп	L2:=кк						E28:E39:=dUn					dUra=dUn*Knpa*Хорт=ИНДЕКС(X0_ПОИСКП						
8				U=	10	G8:=U	L3:=ккр						F28:F39:=dUra					K_с=ВПР(F_kl;Kl;S27:S37=ЕСЛИ(F_kl=Fort_kl;						
9				I=	1,608	G9:=L	L4:=ккр						G28:G39:=K_с					dP_:=3*(I^2)*R0_*L_*k*10^(-3)						
10	жність, кВт			P=	1318,79122	G10:=P	L5:=кдоп						H28:H39:=dP_					K_к=K_с*L_*k						
11	ого кабелю, А			Q=	1009,17321	G11:=Q	kдоп=кк*ккр*ккр						I28:I39:=K_к					ЕК_=(E_с+E_а)*K_						
12				Iг=	47,93781432	G12:=Iг							J28:J39:=ЕК_					Вс_=(dP_*B0_)/1000						
13				к=	2	G13:=к							K28:K39:=Вс_					Зг=ЕСЛИ(ДОП<="напоп",",",ЕК_+Вс_)						
14	КЛ за умовою механ. міцності			Fмех=	70	G14:=Fмех							L28:L39:=Зг					ДОП=ЕСЛИ(И(Y1="",Y2="",Y3="",Y4="",Y5="						
15	КЛ, %			ΔUдоп=	5	G15:=dUдоп							M28:M39:=ДОП					Y1=ЕСЛИ(Кноп>=Iг,"",")						
16	Аварійний режим									N28:N39:=Y1					Y2=ЕСЛИ(Кпа*Kноп>=Knpa*Iг,"",")									
17	кА			Iкз=	3,358547272	G16:=Iкз							O28:O39:=Y2					Y3=ЕСЛИ(dUn<=dUдоп,"",")						
18				тп=	1,5	G17:=тп							P28:P39:=Y3					Y4=ЕСЛИ(dUra<=dUдоп,"",")						
19	с^(1/2))мм^2			C=	90	G18:=C							Q28:Q39:=Y4					Y5=ЕСЛИ(F_kl>=Fмех,"",")						
20	за умовою КЗ, мм^2			Fкз=	45,70403941	G19:=Fкз							R28:R39:=Y5					Y6=ЕСЛИ(F_kl>=Fкз,"",")						
21	Після аварійний режим									S28:S39:=Y6														
22	коefficient навантаження			Кпа=	1,25	G21:=Кпа																		
23	варійному режимі			Кпа=	0,8	G22:=Кпа																		
24	КЛ, %			ΔUпапоп=	5	G23:=dUпапоп																		
25																								
26																								
27	Иноп, А	dUn, %	dUпа, %	Кс, тис.грн/км	dP, кВт	К	Е*К, т.грн	Вв, т.грн	З, т.грн	Доп	Кноп*1 доп >= Iг	Кпа*Кдоп *Iдоп >= Iг	ΔUн <= ΔUдоп	ΔUпа <= ΔUпапоп	F>=Fмех	F >= Fкз								
28	50	3,385785232	5,417256372	39,62	68,7282	63,706	9,555898669	826,555	-	напоп	+	-	-	-	-	-								
29	75	2,148583068	3,437732909	62,06	43,0106	99,788	14,96817444	517,264	-	напоп	+	+	+	-	-	-								
30	90	1,395043233	2,232069173	90,64	27,4913	145,74	21,8613492	330,622	-	напоп	+	+	+	-	-	-								
31	115	1,020707328	1,633131724	116,14	19,7317	186,74	28,01166258	237,301	-	напоп	+	+	+	-	-	-								
32	140	0,730380783	1,168609253	159,11	13,7456	255,84	38,37554359	165,311	-	напоп	+	+	+	-	-	-								
33	165	0,539469638	0,863151421	218,15	9,82149	350,77	52,61532798	118,117	170,733	доп	+	+	+	+	+	+								
34	205	0,412985354	0,660776567	288,4	7,22755	463,73	69,55883837	86,9216	156,48	доп	+	+	+	+	+	+								
35	240	0,339265086	0,542824137	344,95	5,71996	554,65	83,19806274	68,7907	151,989	доп	+	+	+	+	+	V								
36	275	0,282508957	0,452014331	427,78	4,5671	687,84	103,1757277	54,9259	158,102	доп	+	+	+	+	+	+								
37	310	0,239536192	0,383257907	526,36	3,70246	846,35	126,9521157	44,5273	171,479	доп	+	+	+	+	+	+								
38	355	0,197623685	0,316197896	675,74	2,85998	1086,5	162,9808926	34,3954	197,376	доп	+	+	+	+	+	+								
39										мін зарази					= 151,989									
40										Опт. Переріз ПЛ					= 120									
41										Ropt=					0,258									
42										Xopt=					0,081									

Рисунок 2.6 - Автоматизований вибір живлячої лінії

Як видно з рисунку 2.6 оптимальним значенням перерізу живлячої кабельної лінії буде 120 мм<sup>2</sup> марки ААБ.

## 2.4 Розрахунок струмів короткого замикання в мережах 10 кВ

Для врахування впливу можливих аварійних режимів роботи живлячих ліній визначимо струму коротких замикань. Для цього скористаємося наступної схемою заміщення (рисунок 2.7).

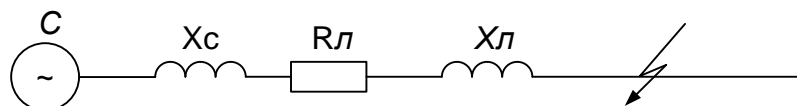


Рисунок 2.7 - Схема заміщення високовольтної мережі

Струм короткого замикання в живлячій лінії 10 кВ (точка к.з. показана на рисунку 2.7) скористуємося формулою:



$$I_{кз} = \frac{1,05 \times U}{\sqrt{3} \times X_c} \quad (2.37)$$

де  $X_c$  - опір системи, яки визначається як:

$$X_c = \frac{(0,95 \times U)^2}{S_{кз}}, \quad (2.38)$$

де  $S_{кз}$  - потужність к.з. на шинах 10 кВ, МВА.

Для розподільчих ліній струм короткого замикання може бути визначений за подібною (2.37) формулою з різницею, що в знаменнику повинен бути вказаний повний опір живлячої лінії  $Z_{кз}$  :

$$I_{кз} = \frac{1,05 \times U}{\sqrt{3} \times Z_{кз}} \quad (2.39)$$

$$Z = \sqrt{R_{л}^2 + (X_{л} + X_c)^2}, \quad (2.40)$$

де  $R_{л}, X_{л}$  - активний та реактивний відповідно опори ліній живлення, Ом;

На рисунку 2.8 наведенні вихідні дані та результати розрахунків струмів к.з.

	A	B	C	D	E	F
1	Розрахунок струмів КЗ					
2	Дані системи					
3	Напруга, кВ				U=	10
4	Потужність коротко замикання, МВА				S <sub>кз</sub> =	50
5	Опір системи, Ом				X <sub>c</sub> =	1,805
6	Струм КЗ для ЗЛЖ, кА				I <sub>кз</sub> =	3,359
7						
8	Довжина КЛ, км				L=	1,60793
9	Переріз КЛ, мм <sup>2</sup>				F=	120
10	Активний опір КЛ, Ом				R <sub>л</sub> =	0,415
11	Реактивний опір КЛ, Ом				X <sub>л</sub> =	0,130
12	Результат					
13	Сумарний повний опір, Ом				Z=	1,979
14	Струм КЗ для розподільчих ліній, кА				I <sub>кз</sub> =	3,0629

Рисунок 2.8 – Інформація про струми к.з.

## 2.5 Розрахунок оптимально-ефективних перерізів ліній розподільчої мережі

При визначенні оптимально-ефективних перерізів ліній розподільчої мережі потрібно обов'язково враховувати наступну інформацію, що характеризує способи прокладки, особливості ґрунту, зовнішнє середовище та коефіцієнти перевантаження.

Для умов ТОВ «Барлінек-Інвест» доцільно розподільчі мережі виконати кабелем, що прокладається в траншеї, в якій укладенні два кабелі. При цьому  $k_{np}=0,92$  [1].

Особливості зовнішнього середовища враховуються  $k_{гр}=1,05$ , що свідчить про прокладання кабелю в землі при температурі зовнішнього середовища, яка відповідає температурі землі і характеризується значенням  $k_{сер}=1$  [1].

Значення коефіцієнту перевантаження в післяаварійному режимі по рекомендації [1] буде  $k_{па}=1,25$ .

Повна електронна таблиця розрахунку наведена на рисунках 2.9 та 2.10, які відображають інформацію по живлячим лініям від ЦРП до ТП1 та від ЦРП до ТП2.

В обох випадках для встановлення прийняті кабелі марки ААБ, що відповідає вимогам, які висуваються підприємством по території яких передбачається рух механічних транспортних засобів.



## 2.6 Вибір оптимальних координат розміщення центрального розподільчого пристрою

Однією з відповідальних задач створення оптимальної системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» є визначення місця розташування ЦРП. При вирішенні цієї задачі повинні бути враховані фактори, які впливають з архітектурних особливостей підприємства, його технологічного процесу, потужностей споживачів, розташування споживачів по цеха підприємства та ін..

Зазвичай така робота проектними організаціями виконується за рахунок картограми навантаження, що дає можливість врахувати всі наведені фактори.

В магістерській кваліфікаційній роботі визначення координат центру електричних навантажень буде виконуватися за допомогою математичної моделі, яка дозволяє врахувати майже всі перераховані вище фактори, а для знаходження оптимального рішення, тобто оптимальних координат розміщення ЦРП застосувати спеціальну програму, що вбудована в електронний процесор під назвою «Пошук рішення». Ця програма передбачає створення спеціальної електронної таблиці цільовою функцією пошуку яка відповідає за визначення по наперед заданому критерію ефективності оптимального рішення. Окремо в програмі формуються необхідні обмеження, що відповідають за врахування тих або інших факторів, які повинні бути враховані для визначення центру навантажень. Окремо також задаються керовані змінні та обмеження на них.

При умові, якщо всі вихідні дані достовірні, то за допомогою «Пошук рішення» ми отримуємо дійсно оптимальне значення координат розміщення ЦРП.

Використаємо для визначення центру електричних навантажень математичну модель показником ефективності якої будуть виступати річні приведені затрати в систему електропостачання підприємства. Керованими змінними при цьому будуть координати центру навантажень

Математична модель має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} & 3(x_0, y_0) = \left[ (E_e + E_{a_{ж}}) \times (a_{ж} + K_0(F_{ж})) + 3 \times I_{ж}^2 \times r_0(F_{ж}) \times k_{ж} \times B_0 \right] \times \rho((x_0, y_0), (x_{ж}, y_{ж})) + \\ & \sum_{i=1}^n \left[ (E_e + E_a) \times (a + K_0(F_i) \times k_i) + 3 \times I_i^2 \times r_0(F_i) \times k_i \times B_0 \right] \times \rho((x_0, y_0), (x_{ж}, y_{ж})) \rightarrow \min_{x_0, y_0}; \\ & \min_{i=1}^n (x_i) \leq x_0 \leq \max_{i=1}^n (x_i); \\ & \min_{i=1}^n (y_i) \leq y_0 \leq \max_{i=1}^n (y_i). \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

де  $3(x_0, y_0)$  - приведені затрати;

$E_e, E_a$  - відповідно коефіцієнти ефективності капіталовкладень та відрахувань на амортизацію;

$K_0(F_i)$  - питома вартість лінії в функції перерізу кабелю  $F_i$ ;

$I_i$  - струм кабельної лінії, що живить ЦТП;

$r_0(F_i)$  - питомий опір кабельної лінії у функції від перерізу  $F_i$ ;

$B_0$  - втрати потужності (питомі, активні) в лінії;

$k_l$  - кількість кабелів лінії живлення;

$a_{жс}$  - незалежна від перерізу кабелю питома вартість кабельної лінії;

$k_i$  - кількість прокладених кабелів з шин 10 кВ до шин підстанції ЦТП;

$F_{жс}$  - переріз лінії живлення;

$a$  - питома складова вартості;

$n$  - кількість цехових підстанцій;

$x_0, y_0$  - координати центру ЦРП;

$x_i, y_i$  - координати центру цехових підстанцій;

$x_{жс}, y_{жс}$  - координати точки підведення зовнішньо лінії живлення.

Зауважимо, що довжина ліній живлення буде визначатися за формулою:

$$L = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} \quad (2.42)$$

а для відрізка лінії ЦРП-ЦТП:

$$L = |x_0 - x_i| + |y_0 - y_i| \quad (2.43)$$

На рисунку 2.11 наведена електронна таблиця на якій видно значення координат центру електричних навантажень.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Технічні характеристики мережі														
2	Напруга зовнішньої лінії живлення, кВ										Uж=	10	L3:=Uj		
3	Метрика зовнішньої лінії (Е чи НЕ)								МетрикаЖ=		HE	L4:=MetrZL			
4	Метрика розподільної мережі (Е чи НЕ)								МетрикаР=		HE	L5:=metrR			
5															
6	Економічні характеристики мережі														
7	Питомі втрати, які не залежать від перерізу КЛ 10кВ, тис.грн/км										a=	10	L8:=aCEM		
8	Питомі втрати, які не залежать від перерізу зовнішньої КЛ тис.грн/км										аж=	8	L9:=ajCEM		
9	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo=	12026,43	L10:=BoCEM		
10	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ее=	0,1	L11:=ЕеCEM		
11	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Еа=	4,00%	L12:=ЕаCEM		
12	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію живлячої лінії										Еаж=	5,00%	L13:=ЕажCEM		
13															
14															
15	Лінії живлення	X, м	Y, м	F, мм^2	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	Ro, Ом/км	Ko, т.грн/км	L, м	З, тис. грн			
16	ЖЛ	46	231	120	2	1318,79	1009,17	47,94	0,258	344,95	107,93	10,331			
17	ТП1	154	154	50	2	685,08	461,66	23,85	0,62	159,11	77,07	5,503			
18	ТП2	191	248	50	2	688,41	588,96	26,15	0,62	159,11	54,07	4,140			
19															
20											Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.		19,973		
21											Оптимальні координати ЦЕМ, м		Xo = 154	Yo = 231	
22															
23											Координати ЦЕМ на генплані, м		Xo = 154	Yo = 231	
24											Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.		19,973		

Рисунок 2.11 – Координати розташування ЦРП

Для визначення оптимальних координат центру електричних навантажень підприємства скористаємося підпрограмою «Пошук рішення», яке представлено на рисунку 2.12

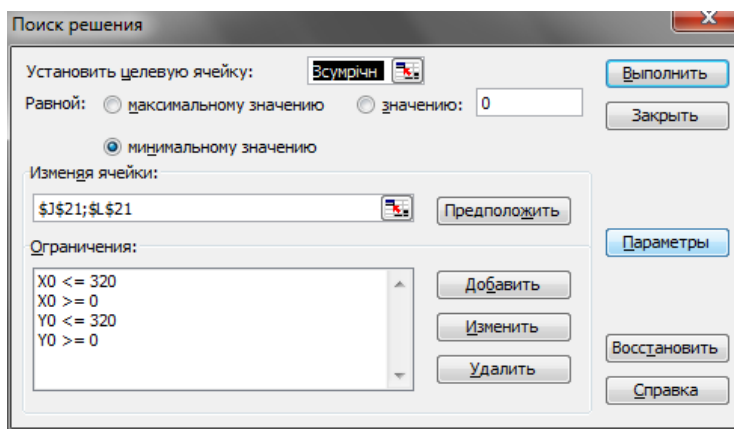


Рисунок 2.12 - Діалогове вікно «Пошук рішення»

Аналізуючи результати , які представленні на рисунку 2.11 можна побачити, що координати центру будуть  $X_0=154$ ,  $Y_0=231$ .

На генплані ТОВ «Барлінек-Івест» показано місце знаходження центального розподільчого пристрою та цехових підстанцій.

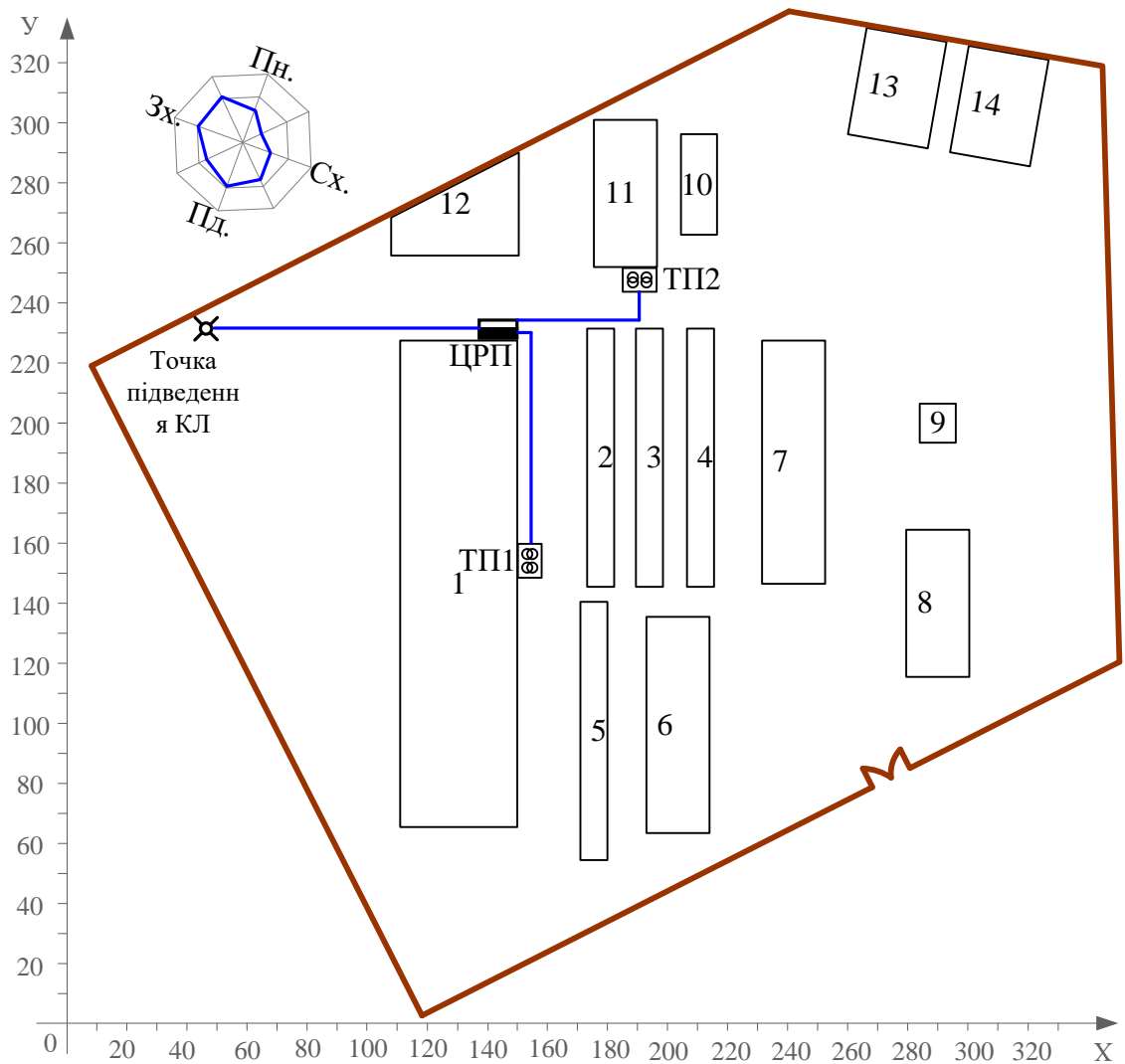


Рисунок 2.13 - Генплан ТОВ «Барлінек-Івест» з результатами розрахунку центру електричних навантажень

## 2.7 Прийняття рішень з оптимальної компенсації реактивної потужності з використанням елементів САПР

Для підвищення ефективності у вирішенні проблеми компенсації реактивної потужності в низьковольтній мережі скористаємося системою автоматизованого проектування, що вданому випадку використовує прикладну програму MathCad. Ця програма дозволить більш точно вирішити математичну модель, що адекватно відображає, як можуть бути знайдені оптимальні потужності компенсувальних пристроїв напругою до 1000В.

Попередньо для роботи прикладної програми потрібно буде виконати спеціальні умови її застосування. Серед них слід відмітити те, що потрібно буде створити блоки вихідних даних, блоки з керованими змінними (початковими), блоки, які відповідають за обмеження керованими змінними та блок відповідальний за результат розрахунку, тобто до чого слід направити функцію цілі (max, min).

Перейдемо безпосередньо до розв'язання задачі визначення оптимальної потужності компенсувальних пристроїв. При формуванні математичної моделі яка адекватна цьому процесу зробимо деякі припущення, що дадуть змогу спростити розрахунок. Основним припущенням є те, що напруга у вузлах мережі вважається постійною та рівною номінальній. Це дасть можливість не враховувати втрати активної потужності, які виникають за рахунок протікання реактивної потужності. Другим припущенням є не врахування впливу компенсації реактивної потужності на вибір елементів системи електропостачання. І третє – стосується не врахування постійної складової витрат в компенсуючій установці.

Приведемо спощену схему електропостачання ТОВ «Барліне-Інвест», що буде опорною при рішенні задачі компенсації реактивної потужності (рисунки 2.14). відповідно їй схема заміщення, що буде використана для розв'язку



балансової задачі компенсації реактивної потужності представлена на рисунку 2.15.

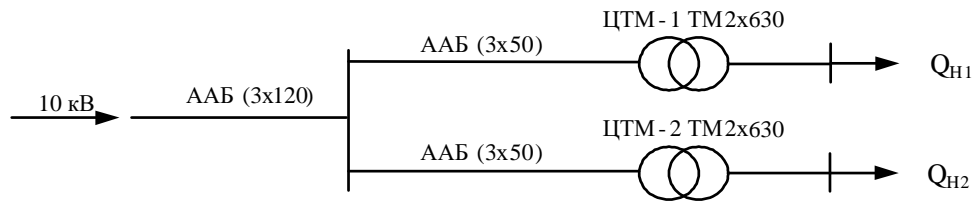


Рисунок 2.14 – Спрощена схема електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест»

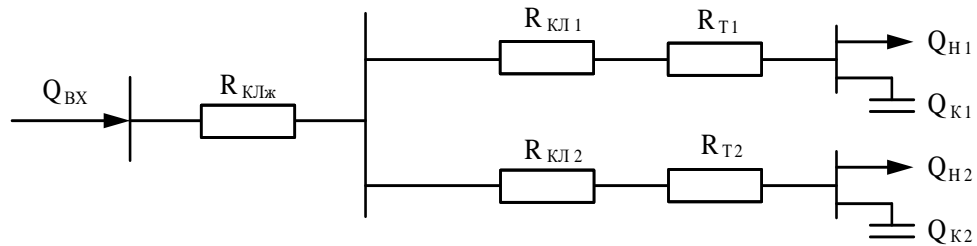


Рисунок 2.15 – Схема заміщення системи електропостачання

Побудуємо математичну модель задачі оптимальної компенсації реактивних навантажень. Зауважимо, що в моделі керованими змінними прийняті потужності конденсаторів, які встановлюються у вузлах навантаження  $Q_K = (q_{K1}, q_{K2}, \dots, q_{Kn})$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(Q_K) = \frac{B_0}{U^2} \times \sum_{i=1}^n [(Q_{Hi} - Q_{Ki})^2 (R_{КЛi} + R_{Ti})] + \\ + [(E_e + E_a) \cdot B_{K0} + B_0 \cdot \Delta P_K] \times \sum_{i=1}^n Q_{Ki} \rightarrow \min_{Q_K}; \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2..n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = Q_{BX} \end{array} \right. \quad (2.44)$$

де  $B_0$  – питома значення вартості втрат;

$n$  – кількість цехових трансформаторів та РП;

$Q_{Hi}$  – загальна величина реактивних навантажень, які отримують живлення через певну вітку електричної мережі, квар;

$Q_{Ki}$  – компенсуючі пристрої, які всиановленні у вузлах мережі, що живляться через певну її вітку, квар;

$R_{КЛi}$  – активний опір лінії;

$R_{Ti}$  – активний опір трансформатора цехової ТП;

$\Delta P_{\epsilon}$  – величина питомих втрат в КУ, кВт/Мвар;

$V_{к0}$  – вартість (питома) КУ;

$E_{\epsilon}$ ,  $E_a$  – коефіцієнти ефективності капіталовкладень та відрахувань на амортизацію, відповідно %;

$Q_{ВХ}$  – величина вхідної реактивної потужності, що задається енергосистемою.

У відповідності з сформульованою математичною моделлю (2.44) наведемо модель робочого листа в середовищі MathCad та представимо необхідні вихідні дані і результати розрахунку (рисунок 2.16, 2.17)

Вхідні дані для розрахунку	
Напруга, кВ:	$U := 10$
Вхідна реактивна потужність, квар:	$q_{вх} := 390$
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	$E_{\epsilon} := 0.1$
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	$E_a := 0.04$
Питома вартість КУ	$V_{к0} := 100$
Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар	$\Delta P_{\epsilon} := 4.5$
Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт	$В_0 := 12026.4$
Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км	
$r_{01} := 0.62$ $r_{02} := 0.62$	
Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км	
$L_{лн1} := 0.077$ $L_{лн2} := 0.054$	
Опори трансформаторів, Ом	
$r_{т1} := 2.142$ $r_{т2} := 2.142$	
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:	
$q_{н1} := 461.659$ $q_{н2} := 588.962$	
Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:	
$q_{к1} := 100$ $q_{к2} := 100$	
Довжина та питомий опір ліній живлення:	
$l_{ж} := 1.5 + 0.107 = 1.607$ $r_{ж0} := 0.258$	
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом	
$r_{ж} := l_{ж} \cdot r_{ж0} = 0.415$	
Опір розподільних ліній живлення, Ом	
$r_{л1} := r_{01} \cdot L_{лн1} = 0.048$ $r_{л2} := r_{02} \cdot L_{лн2} = 0.033$	

Рисунок 2.16 – Інформація для розрахунку задачі компенсації реактивної потужності в середовищі MathCad

$$Z(q_{k1}, q_{k2}) := \frac{B_0}{U^2 \cdot 1000} \cdot \left[ \begin{aligned} &(q_{H1} - q_{k1})^2 \cdot \left( \frac{r_{T1} + r_{L1}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{H2} - q_{k2})^2 \cdot \left( \frac{r_{T2} + r_{L2}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{H1} + q_{H2} - q_{k1} - q_{k2})^2 \cdot \frac{r_{Ж}}{2} \end{aligned} \right] \dots$$

$$+ [(E_e + E_a) \cdot B_{K0} + B_0 \cdot \Delta P_K] \cdot (q_{k1} + q_{k2})$$

Given

обмеження

$$q_{k1} \geq 0 \quad q_{k2} \geq 0$$

$$(q_{H1} + q_{H2}) - (q_{k1} + q_{k2}) = q_{ВХ}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(Z, q_{k1}, q_{k2}) = \begin{pmatrix} 267.296 \\ 393.324 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн

$$Z(q_{k1}, q_{k2}) = 1.089 \times 10^7$$

Перевірка, квар

$$(q_{H1} + q_{H2}) - (q_{k1} + q_{k2}) = 390 \quad q_{ВХ} = 390$$

Рисунок 2.17 – Математична модель середовищі MathCad

Отриманні результати перевіriamo використовуючи електронний процесор EXCEL за допомогою підпрограми «Пошук рішення» (рисунок 2.18)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Компенсація реактивної потужності											
2												
3	Вхідні дані:											
4	Вхідна реактивна потужність				Q <sub>вх</sub> =	390	квар	F4:=Q <sub>вх</sub>				
5	Напруга				U=	10	кВ	F5:=U				
6	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень					0,1						
7	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію					0,04						
8	Питома вартість КУ					100						
9	Питомі РП втратів КУ					4,5	кВт/Мвар					
10	Питома вартість втрат АП					12026,4	грн/кВт	F10:=Bo				
11					Bo/(U^2*1000)=	0,12026	F11:=F10/(F5^2*1000)					
12												
13	ЛЖ	Питомі активні опори ліній		Довжини ліній	Реактивні нав., квар	Опір ТП	Повні актив. опір	Пот. КУ,	ПЕР h(Q <sub>к</sub> )			
14	ЖЛ	0,258		1607,93				0,415	31496,752			
15	ТП1	0,62		77,07	461,659	2,142	2,189	267,46	41285,697			
16	ТП2	0,62		54,07	588,962	2,142	2,175	393,49	41556,364			
17		Разом			1050,621			660,94	35792571			
18												
19												
20	Перевірка:											
21	Q <sub>n</sub> -Q <sub>к</sub> =		389,677									
22	Q <sub>вх</sub> =		390									
23												
24	B15:=ЦМ/L17			F16:=втрати/O3			I15:=					
25	B16:=ЦМ/L18			F17:=втрати/O4			I16:=					
26	B17:=ЦМ/L19			F18:=F16+F17			I17:=					
27	D15:=ЦМ/L17+БД/К5*1000			H16:=втрати/P3			L15:=					
28	D16:=ЦМ/L18			H167:=втрати/P4			L16:=					
29	D17:=ЦМ/L19			L17:=								
30												
31												
32												
33												
34												
35												

**Поиск решения**

Установить целевую ячейку:

Равной:  максимальному значению  значению:

минимальному значению

Изменяя ячейки:

Ограничения:

\$F\$16 >= \$K\$16  
 \$F\$17 >= \$K\$17  
 \$K\$16 >= 0  
 \$K\$17 >= 0  
 ПЕР = \$F\$4

Рисунок 2.18 - Математична модель компенсації реактивної потужності та її розв'язок за допомогою «Пошук рішення».

Порівняння двох способів вирішення задачі оптимальної компенсації реактивної потужності дає однаковий результат. У зв'язку з цим, до встановлення на стороні 0,4 кВ цехових трансформаторних підстанцій використаємо наступні конденсаторні установки:

ЦТП1: 2 КУ типу УКР 0,4-125/25;

ЦТП2: 2 КУ типу УКР 0,4-200/25.

### 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «БАРЛІНЕК-ІНВЕСТ» ЗА РАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ ФОТОГАЛЬВАНІЧНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.

#### 3.1 Аналіз способів генерації електричної енергії фотогальванічними електричними станціями

Дослідження системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» показало, що для підвищення її ефективності доцільно застосувати альтернативні джерела електроенергії, які можуть бути вбудовані в діючу систему живлення споживачів підприємства [7].

Необхідність використання альтернативних джерел обумовлюється тим, що в рамках дефіциту енергоресурсів потрібно забезпечити безперебійною роботою всіх елементів технологічного процесу, які можуть вийти з ладу у випадку відключення підприємства від джерел живлення.

Аналіз існуючих джерел альтернативної енергії показав, що для Вінницького регіону перспективно використовувати в якості згаданих джерел сонячні електричні станції. Окрім того це пов'язано з тим, що станом на сьогодні значно підвищився попит на сонячні панелі, виробництво яких налагоджено в Україні, що викликало інтенсивне спорудження електричних станцій на базі сонячних панелей. Розглянемо стисло деякі основні типи сонячних електростанцій.

Мережеві електростанції (on-grid) - це станції які генерують електричну енергію на власні потреби, а залишок передають у сторонні організації чи в мережі енергопостачальної організації. На ці дії підписуються окремі договори та супроводжувальні документи. У разі використання мережевих електростанцій накопичення електроенергії не потрібне, тобто не має потреби використовувати спеціальні високої вартості акумулятори.

Інший тип електростанцій відноситься до гібридного типу. Вони мають можливість не тільки передавати електроенергію в мережу, а і накопичувати її в акумуляторах. Перевагою таких типів електростанцій є те, що вони роблять

споживача незалежним від опорної напруги шляхом накопичення та зберіганням електричної енергії, що генерується. Але такі станції мають обмеження по потужності (не більше 30 кВт) за рахунок недостатньої ємності існуючих акумуляторів.

Третій тип електростанцій використовується у разі відсутності електричних зв'язків з електропостачальною організацією або коли існують певні складнощі з підключенням її до загальної мережі. Такі електростанції отримали назву автономні. Будівництво автономних електростанцій зазвичай пов'язує з великими матеріальними витратами, крім того при будівництві таких станцій потрібно передбачати її можливість підключення до мереж постачальної організації у майбутньому. Також недоліком автономних сонячних електростанцій є необхідність мати в резерві додаткову установку, що може виробляти електроенергію (наприклад дизель-генератор). Така вимога пов'язана з необхідністю забезпечення споживачів електроенергією у разі екстремальних форс-мажорних обставин.

На основі проведеного аналізу та виробничих умов, що існують на підприємстві ТОВ «Барлінек-Інвест» в магістерській кваліфікаційній роботі пропонується впровадити в електричні мережі підприємства фотогальванічну електричну станцію мережевого типу. Доцільність цього також пов'язана з тим, що підприємство працює повні дві зміни та не передбачає зниження обладнання, що забезпечує безперервність проходження технологічного процесу. Це приведе до значного здешевлення кінцевої продукції та економії коштів на підприємстві [7].

### 3.2 Вибір основного електротехнічного обладнання мережевої ФЕС

Серед електротехнічного обладнання, яке використовується при спорудженні фотогальванічних електричних станцій є безпосередньо фотогальванічні модулі та інвертори відповідно до прийнятого типу електростанції. Це обладнання потрібно вибирати дуже ретельно, у зв'язку з тим, що його на енергетичному ринку існує дуже багато типів.

В магістерській кваліфікаційній роботі пропонується для умов ТОВ «Барлінек-Інвест» обрати фотогальванічні модулі (ФГМ) типу SMRG-FR72-MONOPERC-5BB, що виготовленні на базі монокристалів. Сучасна технологія виготовлення ФГМ даного типу забезпечує його високопродуктивну роботу та має гарні співвідношення вартості і ефективності. Окрім того серед обраного модуля можна відмітити стійкість до корозії від впливу солевих розчинів, пожежну безпеку його роботи на рівні європейських вимог, достатньо високу потужність при низькому рівні сонячної активності, стійкість до можливих механічних пошкоджень.

Надамо основні технічні характеристики прийнятого до впровадження фотогальванічного модуля (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики ФГМ

Тип модуля	SMRG-FR72-5BB
Максимальна потужність, $P_{mp}$ /Вт	390
Напруга холостого ходу, $V_{oc}$ /В	49.4
Струм короткого замикання, $I_{sc}$ /А	10.0
Напруга в точці $P_{mp}$ , $V_{mp}$ /В	41.0
Струм в точці $P_{mp}$ , $I_{mp}$ /А	9.55
Ефективність модуля STC, $\eta_m$ /%	20.1
Допустиме відхилення потужності (Вт)	(0...4.99)
Максимальна напруга системи (В)	1000VDC(IEC)
Максимальний струм запобіжників (А)	15А
Температурний коефіцієнт $P_{max}$	-0.45%/°C
Температурний коефіцієнт $V_{oc}$	-0.31 %/°C
Температурний коефіцієнт $I_{sc}$	+0.02 %/°C
Робоча температура	-40~+85 °C

Зовнішній вигляд ФГМ панелі марки SMRG-FR72-5BB показаний на рисунку 3.1

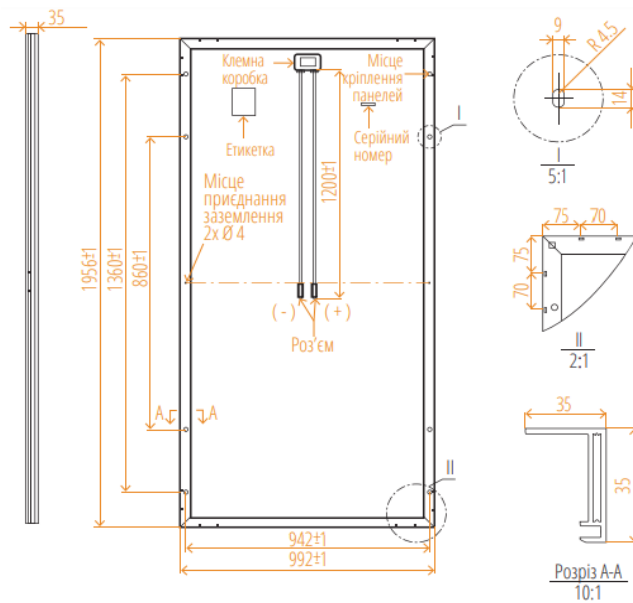


Рисунок 3.1 – ФГМ марки SMRG-FR72-5BB з монтажними отворами

Наступним відповідальним елементом фотогальванічної електричної станції є інвертор. В магістерській кваліфікаційній роботі прийнято до використання мережевий інвертор марки Solis 100k-5GP. Основне його призначення це перетворення постійного струму, що виникає від роботи фотогальванічних панелей на змінний струм. Змінний струм, який є результатом перетворення повинен повністю задовольняти вимоги споживачів електроенергії та живлячу їх розподільчу мережу. Обраний тип мережевого інвертора має в своєму складі 10 MPPT контролерів, що забезпечує певну гнучкість схеми живлення та підвищує ефективність роботи станції. Кількість контролерів обрано таким чином, щоб досягти необхідної потужності від кількості модулів для забезпечення стабільної роботи споживачів, що задіяні в основному технологічному процесі підприємства. Дуже важливим для стабільної та надійної роботи інвертора є його технічне обслуговування, яке в основному зосереджене на захисті від впливу навколишнього середовища.

Наведемо основні технічні характеристики інвертора марки Solis 100k-5GP (таблиця 3.2)



Таблиця 3.2 – Технічні характеристики інвертора Solis-60K-LV-5G

Модель	Solis-60K-LV-5G
Макс. вхідна напруга постійного струму (Вольт)	1100
Номінальна напруга постійного струму (Вольт)	450
Пускова напруга (Вольт)	195
Діапазон напруги МРРТ (Вольт)	180...1000
Макс. вхідний струм (Ампер)	8*26
Максимальний вхідний струм короткого замикання (Ампер)	8*40
Кількість МРРТ/Максимальне число ліній входу	8/16
Номінальна вихідна потужність (Ватт)	60000
Макс. вихідна потужність (Ватт)	66000
Макс. видима вихідна потужність (ВА)	66000
Номінальна напруга постійного струму (Вольт)	3/(N)/PE, 220
Номінальний струм на виході (ампер)	157.5
Макс. вихідний струм (Ампер)	173.2
Коефіцієнт потужності (при номінальній вихідній потужності)	>0,99 (0,8 випередж.-0,8 відставання)
THDi (при номінальній вихідній потужності)	<3%
Номінальна частота мережі (Герц)	50/60
Діапазон робочих частот (Герц)	45...55 або 55...65
Макс. продуктивність	98.5%

На рисунках 3.2 та 3.3 представлено зовнішній вигляд інвертора та вхідна комутаційна панель з 10 ММРТ контролерами.

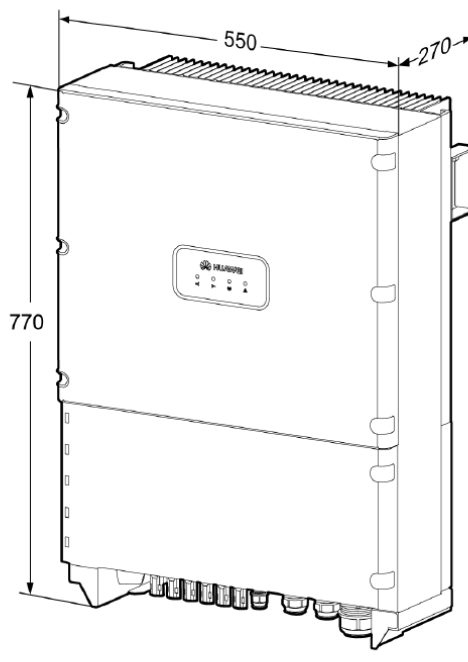


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд силового інвертора Solis-60K-LV-5G

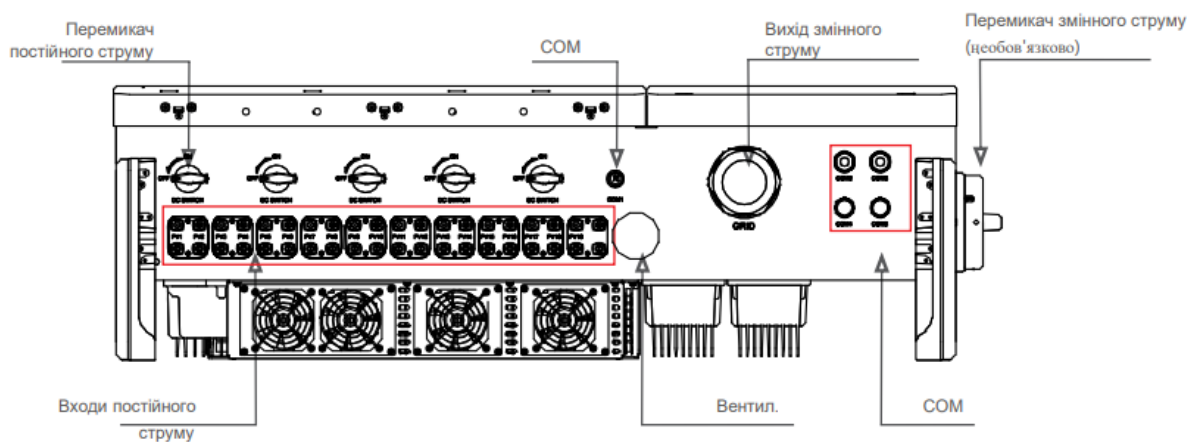


Рисунок 3.2 – Вхідна комутаційна панель інвертора

### 3.3 Визначення кількості та потужності основного обладнання ФЕС

Як вже відмічалось основним електротехнічним обладнанням є фотогальванічні модулі та мережеві інвертори. Необхідна потужність сонячної електростанції для забезпечення вимог технологічного процесу ТОВ «Барлінек-

Інвест» повинна бути близько 1400 кВт, що відповідає потужності цехової ТП, в склад якої входить два трансформатори по 630 кВа.

Розрахуємо необхідну кількість фотогальванічних модулів для забезпечення відповідної потужності генерації [1,3]:

$$N_{\text{фгм}} = \frac{P_{\text{ФЕС}}}{P_{\text{фгм}}} \quad (3.1)$$

де  $N_{\text{фгм}}$  - кількість фотогальванічних модулів (шт.);

$P_{\text{ФЕС}}$  - потужність фотогальванічної електричної станції (Вт);

$P_{\text{фгм}}$  - потужність 1 сонячної панелі (Вт);

$$N_{\text{фгм}} = \frac{1400000}{390} = 3590 \text{ шт.}$$

Розрахуємо необхідну кількість інверторів для забезпечення даної потужності [1,5]:

$$N_{\text{інв}} = \frac{P_{\text{ФЕС}}}{P_{\text{інв}}} \quad (3.2)$$

де  $N_{\text{інв}}$  - кількість інверторів;

$P_{\text{ФЕС}}$  - потужність ФЕС (Вт) ;

$P_{\text{інв}}$  – потужність 1 інвертора (Вт) ;

$$N_{\text{інв}} = \frac{1400000}{100000} = 14 \text{ шт.}$$

Враховуючи, що в одному інверторі 10 МРРТ контролерів і по два виходи на один контролер отримаємо загальну кількість виходів на стрінги:

$$N_{\text{вих. МРРТ}} = N_{\text{МРРТ}} \cdot 2 \quad (3.3)$$

де  $N_{MPPT}$  – кількість контролерів MPPT в одному інверторі;

$$N_{\text{вих. MPPT}} = 10 \cdot 20 = 200 \text{ виходів MPPT.}$$

Знаходимо необхідну кількість панелей в одному стрінгу [1,3]:

$$N_{1 \text{ стрінг}} = \frac{N_{\text{фгм}}}{N_{\text{вих. MPPT}}} \quad (3.4)$$

$$N_{1 \text{ стрінг}} = \frac{3590}{200} = 18 \text{ панелей на 1 стрінг.}$$

Враховуючи технічні характеристики інвертора, а саме максимальну напругу (постійна) 1 MPPT  $U = 1000 \text{ В}$ , а максимальний струм  $I_{\text{max}} = 26 \text{ А}$  беремо одну лінії по 18 ФГМ які з'єднані послідовно. При послідовному з'єднанні модулів напруга кожного модуля додається, а струм відповідно незмінний, при паралельному з'єднанні додаємо струм кожного модуля.

Тоді напруга одного стрінга буде:

$$U_{\text{фгм 1стр}} = 18 \cdot 49 = 882 \text{ В}$$

Напруга стрінга рівна 882 В, що не виходить за межі допустимої напруги мережевого інвертора. Приймаємо наступне рішення: підключення здійснюватись по 1 стрінгу сонячних панелей в кількості 18 шт до 1 MPPT контролера, а другий вхід MPPT залишається в якості резервного. У випадку забезпечення завантаженості по струму інвертора виконуємо паралельне з'єднання фотогальванічних модулів при умові, що розрахунковий струм не буде перевищувати номінальне значення.

### 3.4 Розробка схеми живлення ФЕС та вибір комутаційно-захисної апаратури

Для створення схеми живлення фотогальванічної електричної станції оберемо спочатку та укомплектуємо розподільчі щити постійного та змінного струму.

До встановлення приймаємо розподільчий герметичний щит постійного струму на 48 модулів з наступними характеристиками [1,3]:

1. Виконання корпусу: щит модульний.
2. Виконання по способу встановлення: навісне.
3. Обслуговування ( можливість доступу до струмоведучих частин і електричного устаткування): з переду.
4. Прилади захисту та комутації промарковані відповідно електричній однолінійній схемі.
5. Матеріал корпусу ABS термопластик.
6. Всі апарати розраховані на тривалу роботу при напрузі  $\pm 5\% U_n$ .
7. Температура навколишнього середовища від  $+5$  до  $+55$  °С, відносна вологість повітря не більш 93% при температурі  $+40$  °С.
8. Степінь захисту оболонки IP65.

Щит являє собою закриту пластикову конструкцію де розміщені автоматичні вимикачі модульного типу на постійний струм 25 А та обмежувачі перенапруг.

Монтаж кабелів здійснюється через нижню кришку, для вводу в яку використовуються спеціальні кабельні вводи PG 23 з фіксацією.

В щиті постійного струму на один стрінг потрібно 2 автоматичних вимикача та один розряднику [4].

$$N_{\text{авт}} = N_{\text{стр.}} \cdot 2 \quad (3.4)$$

$$N_{\text{авт}} = 18 \cdot 2 = 36$$

Приймаємо до встановлення 36 автоматичних вимикачів модульного типу на номінальний струм 25А.

На кожен стрінг передбачаємо установку розрядника іскрового типу для захисту кіл постійного струму від атмосферних перенапруг марки ETITEC M T2 PV 1100/20 Y з номінальним розрядним струм 8/20 мкс 20 кА [7].

На стороні змінного струму мережевого інвертора пропонується встановити герметичний розподільчий щит на 12 модулів. Його технічні характеристики наступні:

1. Номінальна напруга  $U_n$ .....380 В.
2. Частота електричного струму..... 50 Гц.
3. Максимальна відключаюча здатність-.....6 кА.
4. Номінальний струм - .....200 А.
5. Номінальний розрядний струм 8/20 мкс-.....20 кА.
6. Номінальний диференційний струм відключення.....0,3 А.

В даному щиті передбачено встановлення трифазного автоматичного вимикача фірми ETI на номінальний струм 200А, пристрою захисного вимкнення ETI EFI-4 та розрядники марки ETITEC M T2 [7].

Обранні щити постійного та змінного струму з набором комплектуючих елементів складають важливу основу схеми живлення ФЕС, яка зображена на рисунку 3.3 в однолінійному вигляді.

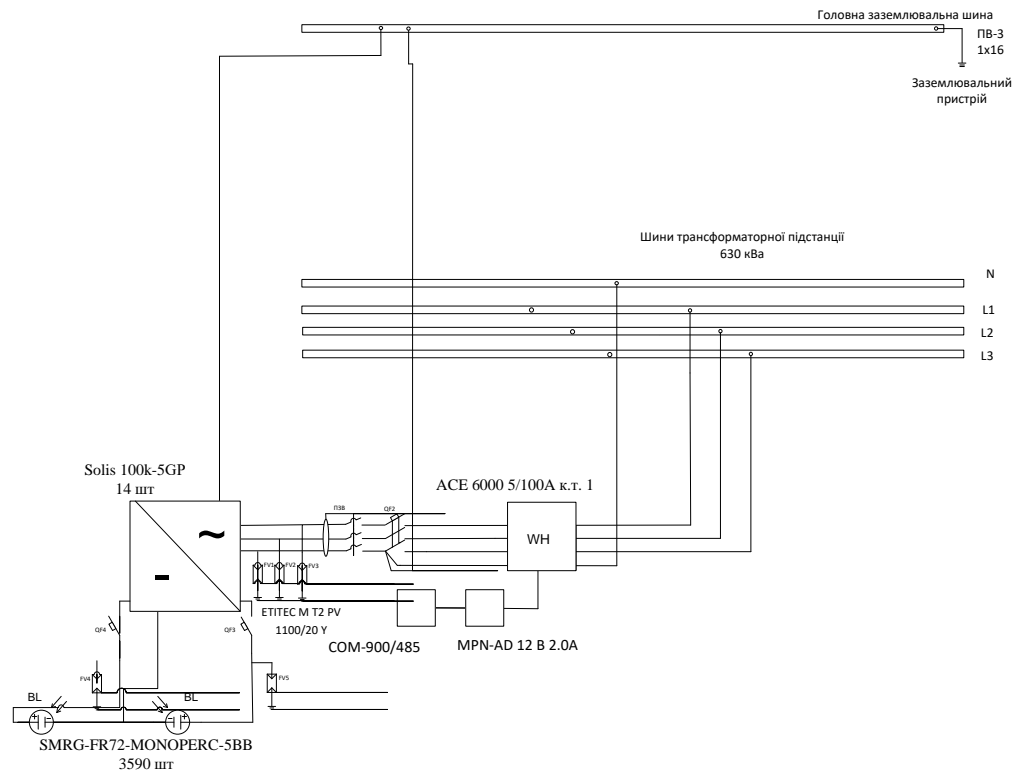


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема живлення ФЕС

### 3.5 Характеристика основних елементів монтажних робіт на ФЕС

Монтажні роботи при будівництві основного технічного обладнання ФЕС займають важливе місце у зв'язку з жорсткими умовами виробників фотогальванічних модулів та інверторів. Якість виконання електромонтажних робіт напряду впливає ефективність та термін роботи станції і системи електропостачання споживачів ТОВ «Барлінек-Інвест».

Розглянемо деякі особливі моменти та вимоги до монтажу обладнання, що обов'язково повинно бути наведено в проектній документації до ФЕС.

Наведем деякі моменти способів та методів монтажу, якими повинні керуватися [1,3,10]:

1. Фотоелектричні модулі (ФЕМ) встановлюються в тих місцях де можна отримати максимальну кількість сонячного світла протягом всього року.

2. Місце встановлення ФЕМ повинно добре провітрюватися, при чому потрібно постійна перевірка достатньої ширини каналів для отримання природної циркуляції повітря. Необхідність останнього викликано за умови досягнення належної тепловіддачі задніх та бокових сторін ФЕМ.

3. Заборонено розміщувати ФЕМ там де можливе утворення або накопичення горючого газу.

4. Рекомендується виробниками сонячних модулів встановлювати їх в сухих районах з помірним кліматом. У разі використання місць встановлення з особливими умовами необхідно обов'язково отримати затверджене технічне рішення на будівництво та монтаж, що погоджуються з енергопостачальною компанією.

5. У разі послідовного з'єднання сонячних модулів обов'язковою умовою виконання монтажних робіт є дотримання однакового кута нахилу та азимуту при встановленні сонячних панелей.

Враховуючи вище описані рекомендації та рельєф місцевості на якій розташовано ТОВ «Барлінек-Інвест» приймаємо рішення щодо монтажу наземної систему установки модулів ФГМ (рисунок 3.4), з відповідною системою кріплення [6]. Кріплення фотогальванічних модулів до опорної конструкції виконується болтовим з'єднанням (рисунок 3.5).



Рисунок 3.4 – Наземна система кріплення фотогальванічних модулів



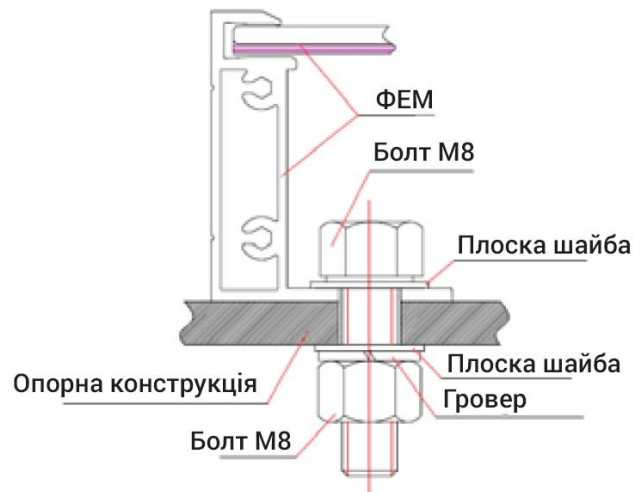


Рисунок 3.5 – Болтове кріплення модуля

В даному розділі виконано обґрунтування та доведена необхідність створення сонячної електростанції, яка значно підвищить ефективність системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» та дозволить знизити витрати електроенергії, яку отримує підприємство від енергопостачальної організації. В роботі запропоновано та спроектовано будівництво фотогальванічної електричної станції потужністю 1400 кВт з наземною установкою фотогальванічних модулів.

Наведені рекомендації до вибору електротехнічного обладнання та щитів керування постійного та змінного струму. Сформульовані вимоги до виконання електромонтажних робіт.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

Суть техніко-економічного обґрунтування роботи полягає у проведенні попередніх техніко економічних розрахунків, які підтверджуються доцільність капіталовкладень в даний енергетичний об'єкт [22].

Доцільність реалізації проекту обґрунтовується:

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

Вихідні дані для розрахунку:

- виручка від реалізації продукції  $V = 1550$  (млн. грн./рік);
- середньооблікова чисельність персоналу  $Ч = 250$ ;
- 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  $\Phi = 3500$  млн грн;
- нормований коефіцієнт ефективності капіталовкладень:  $E_H = 0,1$ ;
- нормований термін окупності, років:  $T_{ок} = 10$ .
- середньомісячна зарплата одного працівника  $З = 6500$  грн./міс.

Середньорічний фонд заробітної плати одного працівника:

$$З_{пл} = 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 6500 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 0,078 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.1)$$

Повна собівартість продукції:

$$C = \frac{1,38 \cdot Ч \cdot З_{пл}}{d} = \frac{1,38 \cdot 250 \cdot 0,078}{0,12} = 224,25 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.2)$$

Балансовий прибуток:

$$\Pi = B - C = 1550 - 224,25 = 1325,75 \text{ (млн грн/рік)}, \quad (4.3)$$

Визначаємо термін окупності даного підприємства:

$$T_{\text{оп}} = \frac{\Phi}{\Pi} = \frac{3500}{1325,75} = 2,6 \text{ (років)}, \quad (4.4)$$

$$T_{\text{оп}} = 2,6 < T_{\text{ок}} = 10 \text{ (років)}.$$

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

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рис. 4.1 та вихідних даних у табл. 4.1, 4.2 і 1.1, 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	Факт. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-630	2	790
ТП 2	ТМ-630	2	861

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії від ТП до ГПП, м	Марка кабелю	К-сть
ЦРП - ТП1	593	ААБ-10 3х25	2
ЦРП – ТП2	118	ААБ-10 3х25	2

Рекомендації до виконання:

1. Оплату за спожиту електроенергію розраховують по тарифам:  
5,5 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%.

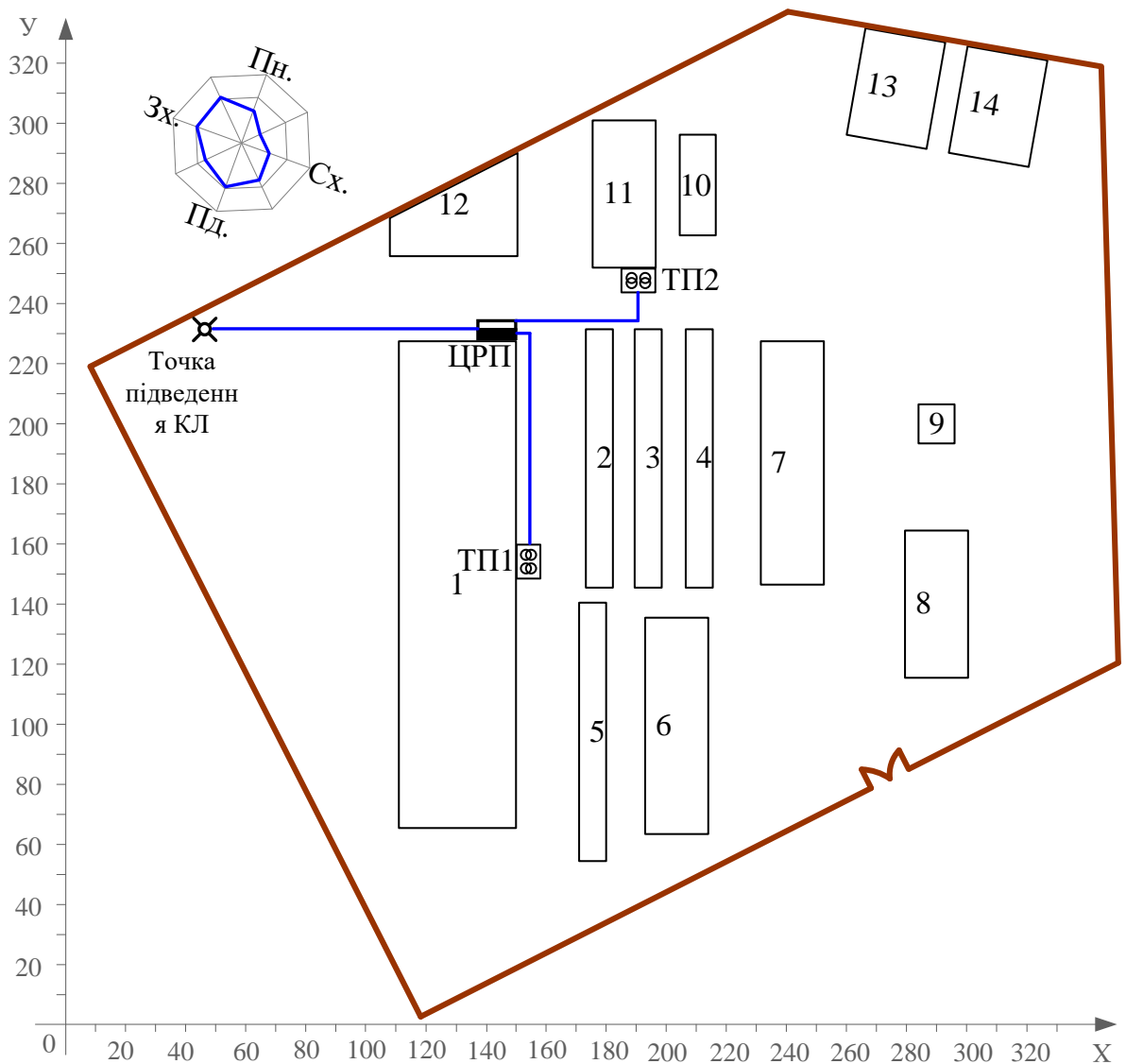


Рисунок 4.1 – Схема електропостачання заводу

## 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:

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

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

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

$L$  – довжина лінії електропередачі, км.

$n$  – кількість кабелів в траншеї, шт.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП1 (АПВЭБВ 3x70) в ґрунті II категорії без врахування переходів:

$$K_{л} = (K_{пит} + K_{прок}) L = (83,08 \cdot 2 + 4,22) \cdot 0,593 = 101,04 \text{ тис.грн.}$$

Для інших ліній розрахунки виконуються аналогічно, результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{пит}$ , тис.грн	$K_{прок}$ , тис.грн	$K_{л}$ , тис.грн
ЦРП-ТП1	ААБ-10 3x25	2	0,593	83,08	4,22	101,04
ЦРП-ТП2	ААБ-10 3x25	2	0,118	83,08	4,22	20,11
Разом						121,15

Капітальні вкладення для електричних підстанцій [22]:

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

де  $K_{псі}$  – 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.

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій, наприклад, для ТП–1:

$$K_{\text{пс1}} = 561,9 + 112,38 = 674,28 \text{ тис.грн.}$$

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-1	ТМ-630	2	561,90	112,38	674,28
ТП-2	ТМ-630	2	561,90	112,38	674,28
Разом:					1348,56

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів. Відповідно до схеми, зображеної на рис. 4.1, кількість вимикачів 10 кВ – 7 шт. Відповідно до рекомендацій приймаємо вартість вимикача 10 кВ рівною 40 – 50 тис. грн. Сумарна вартість вимикачів:

$$K_{\text{в}} = 7 \cdot 50 = 350 \text{ (тис. грн.)}, \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами:

$$K_{\text{пс}} = 1348,56 + 350 = 1698,56 \text{ (тис. грн.)}, \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 121,15 + 1698,56 = 1819,71 \text{ (тис. грн.)}. \quad (4.9)$$

### 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,  $K_{\text{с.р}} = 0,1$ .

$h$  – 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.
Вимикач 10кВ	7	1	16	112	12	1	108
ТМ-630	4	0,33	120	158,4	12	20	1440
Кабельна лінія 25 мм <sup>2</sup> , км	1,696	1	46	78,016	1	11,5	19,504
Разом				348,46			1567,504

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-ть	Технічне обслуговування				Загальна трудомісткість обслуговування люд.год.
		Змінність роботи	Коеф. складності	К-ть місяців	Загал. трудомісткість люд.год.	
Вимикач 10кВ	7	2	0,1	12	345,6	453,6
ТМ-630	4	2	0,1	12	1728	3168
Кабельна лінія 25 мм <sup>2</sup> , км	1,696	2	0,1	12	187,2384	206,742
Разом					2260,8384	3828,342

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{3828,3424}{1900 \cdot 1,05} = 1,92. \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$N_{\text{тр}} = \frac{348,46}{1900 \cdot 1,1} = 0,21. \quad (4.13)$$

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:

$$C_i = \frac{3_{\text{min}} \cdot k_{r,i}}{\Phi_n}, \quad (4.16)$$

$$C_1 = 6500 \cdot 1 / 176 = 36,95 \text{ (грн./год.)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{\text{ге}} = ((1,18 + 1,27) / 2) \cdot 36,95 = 45,26 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 2 \cdot 0,9 \cdot 45,26 \cdot 1900 = 154802,025 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$

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:

$$t_{\text{гр}} = ((1,27 + 1,36) / 2) \cdot 26,84 = 48,59 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 348,46 \cdot 48,59 = 16923,08 \text{ (грн./рік)}.$$

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:

$$\Phi_{oe} = 154802,025 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 195050,545 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 16923,08 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 22169,23 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

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:

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

$$\Phi_{оед} = 195050,545 \cdot 1,15 = 224308,13 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 22169,23 \cdot 1,15 = 25494,62 \text{ (грн./рік)}.$$

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:

$$C_{зпе} = 224308,13 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 305059,06 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{зпр} = 25494,62 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 34417,73 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 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

Матеріал	Ціна матеріалу, грн.	Норми витрат матер. На 100 люд.-год. Трудомісткості ремонту і тех. Обслуговування				Вартість матеріалу, грн.			
		630	1000	1600	2500	630	1000	1600	2500
Силові трансформатори		630	1000	1600	2500	630	1000	1600	2500
Сталь сортова, кг	7,5	6	7	7	10	44,95	52,44	52,44	74,91
Провід установлюваний, м	3,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,55	1,55	1,55	1,55
Мідь-алюміній (гола), кг	69,8	62	73	73	79	4324,5	5091,75	5091,75	5510,25
Картон електроізоляційний, кг	33,6	1,4	1,6	1,6	1,7	47,08	53,81	53,81	57,17
Лакотканина (ширина 700мм), м	93,3	0,2	0,21	0,21	0,3	18,65	19,59	19,59	27,98
Кабельний папір, кг	27,5	0,6	0,6	0,6	0,6	16,5	16,5	16,5	16,5
Стрічка кіперна, кг	336,3	40	41	41	42	13452	13788,3	13788,3	14124,6
Стрічка тафтяна, кг	249,8	18	24	24	28	4497,12	5996,16	5996,16	6995,52
Стрічка азбестова, м	7,4	0,05	0,08	0,08	0,09	0,37	0,59	0,59	0,66
Лаки ізоляційні, кг	40,2	1,5	1,6	1,6	1,8	60,35	64,37	64,37	72,41
Емалі ґрунтові, кг	44,1	2,5	3,1	3,1	3,2	110,33	136,8	136,8	141,22
Масло трансформаторне, кг	13,6	0,58	1,2	1,2	1,3	7,91	16,36	16,36	17,73
Бензин, кг	6,9	0,7	0,9	0,9	1	4,84	6,23	6,23	6,92
Розчиники кг	19,5	0,8	1	1	1,2	15,6	19,5	19,5	23,4
Маслостійка гума, кг	50	0,4	0,5	0,5	0,6	20	25,01	25,01	30,01
Гума профільна, кг	50	0,13	0,09	0,09	0,09	6,5	4,5	4,5	4,5
Припій олов'яно-свинцевий, кг	476,1	0,02	0,02	0,02	-	9,52	9,52	9,52	-
Припій мідно-фосфорний, кг	88,5	0,03	0,03	0,03	-	2,66	2,66	2,66	-
Електроди, кг	16,4	0,15	0,2	0,2	0,3	2,47	3,29	3,29	4,93
Засоби кріплення, кг	20,9	2	2,5	2,5	3	41,88	52,35	52,35	62,82
Дріт кручений,	2,7	0,3	0,3	0,3	0,37	0,82	0,82	0,82	1,01
Матеріали обтиску, кг	27,3	0,4	0,5	0,5	0,5	10,91	13,64	13,64	13,64
Разом:						22696	25376	25376	27188
Кабельні лінії									
Сталь сортова, кг	7,5	2				15			
Електроди, кг	16,5	0,1				1,6			
Разом:						16,6			

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_M = 0,01 \cdot \left( \sum_{i=1}^n C_{0i} \cdot T_i + L \cdot C_{Л0} \right), \quad (4.26)$$

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,

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

Отже, вартість матеріалів на ремонт:  $C_{\text{мпр}} = 53938,65$  (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування:  $C_{\text{мто}} = 719043,6$  (грн / рік).

Отже, можна розрахувати:

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

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

$$C_{\text{обс}} = 305059,06 + 719043,6 = 1024102,66 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

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

$$C_{\text{пр}} = 34417,73 + 53938,65 = 88356,38 \text{ (грн/рік).}$$

#### 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.

$$C_a = 0,06 \cdot 1819710 = 109182,6 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:

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

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

$$C_{\text{іпр}} = 0,25 \cdot (1024102,66 + 88356,38 + 109182,6) = 305410,41 \text{ (грн/рік).}$$

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	1024102,66	67,06
Витрати на поточний ремонт	88356,38	5,79
Витрати на амортизацію	109182,6	7,15
Інші витрати	305410,41	20,00
Разом	1527052,05	100,00

#### 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 установленої (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

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

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

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

$K_{п}$  – коефіцієнт попиту.

Аналогічно визначаємо річні витрати активної електроенергії для інших цехів. Сумарні витрати активної електроенергії становлять 5237920,080 кВт·год./рік

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].

Для лінії ЦРП –ТП1. Струм лінії живлення:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{877,77}{\sqrt{3} \cdot 10} = 25,34 \text{ (А)}. \quad (4.34)$$

Активний опір однієї фази кабелю від ЦРП до ТП1.:

$$R = 0,593 \cdot 0,62 = 0,368 \text{ Ом.}$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot 2 \cdot 25,34^2 \cdot 0,368 \cdot 1968,2 \cdot 10^{-3} = 2787,7 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	Довжина, км	$I_{\text{м}}$ , А	$R$ , Ом	$\tau$ , год./рік	$R_{\text{пит}}$ , Ом/км	$\Delta E_{\text{л}}$ , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	ААБ-10 3х25	2	0,593	25,34	0,368	1968,16	0,62	2787,65
ЦРП-ТП-2	ААБ-10 3х25	2	0,118	27,53	0,073	1968,16	0,62	654,939
Разом								3442,59

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

$$\Delta E_{\text{Т}} = n \cdot \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{р}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left( \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{н}}} \right)^2 \cdot \tau, \quad (4.35)$$

де  $n$  - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{\text{кз}}$  і  $\Delta P_{\text{хх}}$  – 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.

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 1,31 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 8,5 \cdot \left( \frac{877,77}{1000} \right)^2 \cdot 1968,2 = 39189,11$$

(кВт·год/рік).

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – 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
КТП-1	ТМ-630	2	1,31	8,5	877,77	630	39189,11
КТП-2	ТМ-630	2	1,31	8,5	953,78	630	42123,10
Разом							81312,21

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

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

$$E = 5237920,08 + 3442,59 + 81312,21 = 5322674,88 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію:

$$П = 5,5 \cdot 5322674,88 = 29274711,84 \text{ (грн.)}; \quad (4.37)$$

#### 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:

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

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;

$C_{\text{а}}$  – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік;

$$C_{\Pi} = 1024102,66 + 88356,38 + 109182,6 + 305410,41 = 1527052,05 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати:

$$C_{\text{сум}} = 29274711,84 + 1527052,05 = 30801763,89 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії:

$$S = \frac{30801763,89 \cdot 100}{5237920,080} = 5,88 \text{ (грн./кВт·год.)}.$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	$E_a$	5237920,080	кВт·год
Річне споживання електроенергії із втратами	$E$	5322674,88	кВт·год
Плата за електроенергію	$\Pi$	29274711,84	грн
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	$C_{\Pi}$	1527052,05	грн
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	30801763,89	грн
Собівартість електроенергії	$S$	588	коп/кВт·год

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої СЕП підприємства та розраховано собівартість електричної енергії, яка склала 588 коп/кВт·год.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розглянуті заходи з підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної електростанції. При виконанні робіт з монтажу та обслуговування електрообладнання сонячних фотоелектричних станцій передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці і виробництва продовольчих товарів. Усі металеві неструмоведучі частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на оперативно-ремонтний персонал, що приймає участь у реконструкції та обслуговуванні фотоелектричних станцій [31-40].

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

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному 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: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

## 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

### 5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць на висоті

Всі роботи, які проводяться в електроустановках, що не вимагають оформлення наряду, виконуються [31]:

- за розпорядженнями осіб, уповноважених на це відповідно до пункту
- цих Правил, з попереднім оформленням у журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями або в оперативному журналі;
- в порядку поточної експлуатації.

Розпорядження про проведення робіт має разовий характер. Термін його дії визначається тривалістю робочого дня виконавців. За необхідності продовження роботи, в разі зміни її умов або складу бригади, розпорядження віддається знову.

Працівник, який віддав розпорядження, призначає керівника робіт (наглядача), членів бригади, визначає можливість безпечного проведення робіт і визначає необхідні для цього організаційні та технічні заходи.

Розпорядження записується в журнал обліку робіт за нарядами і розпорядженнями особою, яка його віддала, або оперативним працівником, де вказується:

- ким віддано розпорядження;
- зміст і місце роботи;
- заходи безпеки;
- час виконання роботи;
- прізвища, ініціали, групи з електробезпеки керівника робіт (наглядача) і всіх членів бригади. Змінювати склад бригади, що працює за розпорядженням, в процесі роботи забороняється.

Розпорядження про роботу віддається керівнику робіт і допускачеві або працівникові, який дає дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск.

В електроустановках без місцевих чергових працівників в тих випадках, коли допуск до роботи не вимагається, розпорядження може бути віддано безпосередньо працівнику, який виконує роботу,

Інформація про закінчення робіт, виконаних за розпорядженням, повідомляється працівникові, який віддав розпорядження, з відповідним записом у журналі.

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, а також відповідати вимогам «Правил безпеки під час роботи з інструментом і пристроями».

Під час виконання робіт, коли немає можливості закріпити строп запобіжного поясу за конструкцію або опору, слід користуватися страхувальним канатом, що є відповідним до вимог ДСТУ 12.4.107. 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 струмопровідних 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.

Обслуговування освітлювальних пристроїв, розташованих на стелі машинних залів і цехів підприємств, з візків мостового крану слід провадити не менш ніж двома працівниками, один з яких з групою III. Під час виконання робіт з використанням крану ремонтникам має бути виданий наряд-допуск.

#### 5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання 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 підвищеної вологості. 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 у 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.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху

повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення [35].

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [36]:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

#### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

В умовах даних робіт можливим забруднювачем являється нетоксичний пил [6].

Таблиця 5.2 – Концентрація шкідливих речовин в повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середня добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для видалення шкідливих домішок з повітря у виробничих приміщеннях проектом передбачено застосування вентиляції і кондиціонування повітря [7].



Природню аерацію в теплу пору року можна регулювати за допомогою фрамуг, які встановлюються у віконних пройомах і через витяжні ліхтарі, які встановлюються на даху приміщення – це безканална вентиляція. Більш активна вентиляція забезпечується пристроєм вентиляційних каналів, які споруджуються у стінах приміщення. При цьому для підсилення швидкості руху повітря на виході теплого повітря зовні, а саме на трубі, яка розташовується на даху будівлі, встановлюють спеціальні камери-патрубки.

Природна вентиляція не передбачає підігрів та зволоження повітря, яке поступає у приміщення, і очистка від пилу повітря, яке видаляється на зовні, тому для досягнення максимального рівня вентиляції ще використовують механічну вентиляцію.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

У приміщенні використовується штучне та природне освітлення.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та суміщеному освітленні (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [37], характеристика зорової роботи – дуже високої точності, розряд зорової роботи – II, підрозряд – в) зазначені у 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		
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3 включно	II	в	малий середній великий	світлий середній темний	1500	200	-	4,2

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 освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних

ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

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

#### 5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [40].

Основні параметри виробничого шуму на постійних робочих місцях в промислових приміщеннях наведені у таблиці 5.4.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

#### 5.2.5 Виробнича вібрація

На нашому підприємстві присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації [37], такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	дБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	дБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи,

реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

#### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [1]. Робота оперативно-ремонтного персонала під час будівництва фотоЕС потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – до 290; зовнішнє фізичнє динамічнє навантаженнє, 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; статичнє навантаженнє (кґ/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю мязів тулуба та ніг – до 140 000; робоча поза: періодичнє перебуваннє в незручній та/або фіксованій позі від 25% до 50% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 101-300 разів; переміщеннє у просторі (переходи через виконаннє технологічного процесу) – по горизонталі більше 12, вертикалі – 8 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій); розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота в умовах дефіциту часу.

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) - більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; 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 – однозмінна (без нічної зміни).

## 5.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах надзвичайних ситуацій

В елементній базі СЕС під дією іонізуючих випромінювань можлива зміна майже всіх електричних і експлуатаційних характеристик, що залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів.

В блоках СЕС можуть початися відновлювані чи не відновлювані зміни через деякий час після радіоактивного зараження при рівнях радіації значно нижчих від критичних. Імпульсна напруга найбільш легко виникає в високоомних неекранових і несиметричних колах. В результаті наявності таких кіл імпульсу струму чи напруги проникає в систему і спричинює пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів. Серйозні пошкодження викликає електромагнітний імпульс в роботі цифрових і контрольних приладів.

Електромагнітний імпульс може поширюватися на десятки і сотні кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях (мережах електро- і водопостачання, провідникового зв'язку тощо), здійснюючи вплив на

об'єкти там, де ударна хвиля, світлове випромінювання і проникаюча радіація втрачають своє значення як уражаючі фактори.

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від дії інших уражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що ЕМІ проникає в захищені блоки апаратури і вона може вийти з ладу, знаходячись в надійно захищених спорудах. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях тощо. Найбільш часто виходять з ладу напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. В резисторах електромагнітний імпульс викликає іскріння в міжконтактних з'єднаннях, що приводить до локального нагріву і порушує опір покриття. В конденсаторах електромагнітний імпульс викликає нагрів шару металізації і його вигорання, порушення контактів між обкладинками і виводами.

#### 5.5.1 Дослідження безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах впливу іонізуючих випромінювань

Нормальна робота СЕС буде залежати від таких елементів, як транзистори, мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди.

За критерій безпеки роботи електричного обладнання в цих умовах приймається таке значення граничного значення рівня радіації ( $P_{зв}$ , Р/год), при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але система буде працювати з потрібною якістю. Отримані значення занесемо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Граничні рівні радіації для обладнання СЕС

№	Блоки СЕС	Елементи пристрою	$P_{гр1}$ , Р/год	$P_{гр}$ , Р/год
1	Блок живлення	Мікросхема 78В05 Транзистор СП1-10,	$10^5$ $10^5$	10 <sup>4</sup>
2	Блок керування	Діод Д220А	$10^4$	
		Конденсатор Х7R	$10^6$	
3	Силові елементи	Транзистори, Т143-1000	$10^5$	
		Дросель ТРА11	$10^5$	
		Реактор ВР2МС	$10^5$	

Визначаємо граничне значення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання –  $P_{zp}$ , по мінімальних значеннях коефіцієнта послаблення радіації  $K_{носл}$ , та потужності експозиційної дози  $P_{зв}$ .

$$P_{zp} = P_{зв} \cdot K_{носл} \cdot K_n [P/год];$$

(3.1)

$$P_{zp} = 10^4 \cdot 1 \cdot 0,94 = 9400 (P/год).$$

Можлива експозиційна доза опромінення в заданих умовах:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{носл}} [P];$$

(5.2)

Допустимий час роботи СЕС визначається за формулою:

$$t_{дон} = \left( \frac{D_{zp} \cdot K_{носл} + 2 \cdot P_{1max} \sqrt{t_p}}{2 \cdot P_{1max}} \right)^2 [год];$$

(5.3)

$$t_{дон} = \left( \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,02} \right)^2 = 691499,99 (год).$$

Отже, допустимий час роботи системи електроспоживання складатиме 691499,99 годин при рівні радіації 6,02 Р/год. Це на багато більше часу морального старіння системи електроспоживання, тому її можна вважати умовно стійкою в цих умовах.

### 3.5.2 Дослідження безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N [B],$$

(3.4)

Де  $U_{ж}$  – напруга живлення, В;

$N$  – допустиме відхилення напруги, %.

$$U_d = 220 + \frac{220}{100} \cdot 15 = 253 (B).$$

Вертикальна складова напруги наведення на струмопровідних частинах СЕС:

$$U_{\epsilon} = \frac{U_{\delta}}{100} = 2,53 \text{ (В)} ;$$

Знаходимо горизонтальну складову напруженості електричного поля, при якому коефіцієнт безпеки знаходиться в межах допустимого:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B, [P/zo\delta] ; \quad (5.5)$$

Звідки:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_B}{l_B} [B/м] ; \quad (5.6)$$

$$E_{\Gamma} = \frac{2,53}{1,84} = 1,375 \text{ (В / м)}$$

Знаходимо вертикальну складову напруженості електричного поля, при якому коефіцієнт безпеки знаходиться в межах допустимого:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B, [B/м] ;$$

Звідки:

$$E_{\epsilon} = \frac{E_{\epsilon}}{10^{-3}} [B/м] , \quad (5.7)$$

$$E_{\epsilon} = \frac{1,375}{10^{-3}} = 1375 \text{ (В / м)} .$$

Отже, обладнання СЕС буде безпечно працювати, якщо вертикальна складова напруженості електричного поля не буде перевищувати 1375 В/м.

3.6 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В даному розділі було проведено дослідження безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах дії загрозливих чинників НС.

Розглянемо способи підвищення безпеки роботи обладнання системи електроспоживання. Для боротьби з впливом іонізуючого опромінення



використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати новітній вітчизняний метод, що полягає в захисному покритті радіоелектронної апаратури, що розміщується на поверхнях даних елементів, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання, відмінним тим, що захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці, або утворює її захисний шар.

Для захисту апаратури від ЕМІ застосовуються різної конструкції екрани і кожухи. Найважливіші вимоги до матеріалів, з яких виготовляються захисні пристрої, такі: до складу матеріалів повинні входити елементи з великою атомною масою; захисні матеріали повинні включати легкі елементи.

Для підвищення безпеки роботи системи електроспоживання в умовах дії ЕМІ застосовують: раціональне просторове розміщення вузлів і схем системи; вибір найбільш стійких до впливу ЕМІ функціональних елементів систем; створення стійких електронних схемних рішень; застосування заходів спеціального захисту; зміна порядку функціонування системи у НС.

Для підвищення безпеки роботи обладнання системи електроспоживання в умовах дії ЕМІ проводимо розрахунок захисного екрану.

Визначаємо перехідне гасіння електричного поля екраном зі сталі:

$$\begin{aligned} A &= 40 - K_{\text{бмін}} [\text{дБ}], \\ A &= 40 + 27,8 = 67,8 (\text{дБ}), \end{aligned} \quad (5.9)$$

Розрахуємо товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,02 \cdot \sqrt{f}} [\text{см}], \quad (5.10)$$

де  $A$ - перехідне затухання екрану,  $\text{дБ}$ ;

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

$$t_1 = \frac{67,8}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см) ;}$$

Отже, при екрануванні всього обладнання з використанням екрану товщиною 0,1 см, система електроспоживання буде стійко працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також, у даному розділі проведено дослідження безпеки роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій та розроблено заходи по підвищенню безпеки роботи обладнання системи.

В умовах дії іонізуючих випромінювань обладнання СЕС буде безпечно працювати до рівня радіації 9400 Р/год для миттєвого відказу і при рівні радіації 6,02 Р/год буде час роботи апаратури протягом 691499,99 годин, що гарантовано більше часу експлуатації елементів даної системи електроспоживання.

Оцінюючи безпеку роботи СЕС ТОВ «Барлінек Інвест» в умовах дії електромагнітного імпульсу, доведено, що система буде злагоджено працювати, якщо вертикальна складова напруженості електричного поля не буде перевищувати: 1375 (В/м).

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуті питання підвищення енергоефективності системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест». Під таким кутом зору розроблені та прийняті проектні рішення з розрахунку електричних навантажень підприємства, вибору трансформаторів живлення, визначення місця їх розташування, вибрана основна електротехнічна продукція та ін..

Всі ці проектні рішення підтвердженні розрахунками, які виконанні на базі електронного процесора Excel з використанням елементів САПР. Для застосування системи САПР та отримання оптимально-ефективних рішень кожна задача була представлена у вигляді математичної моделі, що вимагала оптимізації з використанням оригінальних методів. Такий підхід дозволив отримати наступні технічні рішення: для живлення підприємства прийнято встановлення двох двотрансформаторних ТП з трансформаторами потужністю 630 кВа, обрано переріз та марку кабелів живлячої та високовольтної розподільчої мереж (ААБ 3х120 та ААБ 3х25 відповідно).

Питання вибору та розміщення центрального розподільчого пристрою та ефективна компенсація реактивної потужності розраховувалися за допомогою вбудованої в електронний процесор підпрограма «Пошук рішення», яка дозволила отримати оптимальні рішення по цих проблемах.

Використання електронного процесора та вбудованої в нього підпрограми «Пошук рішення» дозволило за допомогою адекватних математичних моделей отримати унікальні рішення з підвищення енергоефективності системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест».

В магістерській кваліфікаційній роботі з метою заощадження енергетичних ресурсів було прийнято рішення впровадити в систему електропостачання фотогальванічної електричної станції потужністю 1400 кВт, що дозволить забезпечити виконання технологічного процесу споживачів, які живляться від цехової трансформаторної підстанції з трансформаторами потужністю 630 кВа. Таке рішення дозволило значно знизити витрати

електроенергії, що отримує підприємство від енергопостачальної компанії. Було прийнято рішення запроєктувати будівництво ФЕС мережевого типу з кількістю фотогальванічних модулів 3590 одиниць, що укомплектовані 14 інверторами типу Solis 100k-5GP. Для станції була розроблена схема живлення основного електротехнічного обладнання, дані рекомендації з виконання монтажних робіт.

Економічна частина магістерської кваліфікаційної роботи присвячена розробці питань з визначенню основних техніко-економічних показників роботи підприємства, що включали капіталовкладення в систему електропостачання, спожита електроенергія, плата за електроенергію, витрата на передачу та розподіл електроенергії, собівартість електроенергії та ін..

В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях прийнято ряд рішень, які забезпечують безпечну експлуатацію електроустановок та захист працівників від шкідливих факторів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Харків: Міненерговугілля України, 2017. 617с.
2. ГОСТ 14209-97 «Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів»: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=77094](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77094) (дата звернення 01.06.2022)
3. ГОСТ 13109-97 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання Загальне призначення»: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=25837](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=25837) (дата звернення 01.06.2022)
4. РД 153-34.0-15.501-00 «Методичні вказівки по контролю і аналізу якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. Частина 1. Контроль якості електричної енергії»: веб-сайт. URL: [https://standartgost.ru/g/pkey-14294817093/%D0%A0%D0%94\\_153-34.0-15.501-00](https://standartgost.ru/g/pkey-14294817093/%D0%A0%D0%94_153-34.0-15.501-00) (дата звернення 01.06.2022)
5. Бурбело М.Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 122 с.
6. РТМ 36.18.32.4-92 - «Методика розрахунку електричних завантажень». веб-сайт. URL: <https://profsector.com/media/catalogs/57ea1c8c988b2.pdf> (дата звернення 01.06.2022)
7. В.К. Могила, Ю.П. Войтюк. Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Матеріали ЛІІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024). Збірник наукових праць [Електронний ресурс], Вінниця: ВНТУ, 2023. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/19610/16231>
8. Камінський А. В., Мокін Б. І. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж: монографія. Вінниця: Універсум Вінниця, 2005. 122с.
9. Каталог конденсаторних установок: веб-сайт. URL: <http://www.kpenri.com.ua/-prod02.php> (дата звернення 01.06.2022)
10. Кабельно-провідникова продукція: веб-сайт. URL: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189> (дата звернення 01.06.2022)

11. Трансформатори силові: веб-сайт. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення 01.06.2022)

12. Експлуатація освітлювальних установок: веб-сайт. URL: [http://life-prog.ru/ukr/1\\_954\\_ekspluatatsiya-osvitlyuvalnih-ustanovok.html](http://life-prog.ru/ukr/1_954_ekspluatatsiya-osvitlyuvalnih-ustanovok.html) (дата звернення 01.06.2022)

13. Регулювання напруги в електричних системах - Конспект лекцій з курсу Електричні системи и мережі: веб-сайт. URL: [http://forca.com.ua/knigi/navchannya/konspekt-lekcii-z-kursu-elektrichni-sistemi-i-merezhi\\_11.html](http://forca.com.ua/knigi/navchannya/konspekt-lekcii-z-kursu-elektrichni-sistemi-i-merezhi_11.html) (дата звернення 01.06.2022)

14. Все про Excel: створення і редагування таблиць: веб-сайт. URL: <https://support.microsoft.com/uk-ua/office/%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%82%D0%B0-%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%86%D1%8C-e81aa349-b006-4f8a-9806-5af9df0ac664> (дата звернення 01.06.2022)

15. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. Вінниця: ВНТУ, 2006. 95 с.

16. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки относительно опрацювання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах и роботах студентів електротехнічних спеціальностей. В.: ВНТУ, 2003. 46 с.

17. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: веб-сайт. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення 01.06.2022)

18. ГОСТ 12.0.003 - 74. Система стандартів безпеки праці. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=48127](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=48127) (дата звернення 01.06.2022)

19. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=6264](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=6264) (дата звернення 01.06.2022)

20. ДНАОП 0.03-3.01-71. Санітарні норми проектування промислових підприємств: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=22186](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=22186) (дата звернення 01.06.2022)

21. ГОСТ 12.1.008-83. Шум. Загальні вимоги безпеки: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=48130](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=48130) (дата звернення 01.06.2022)

22. СН 32.23-85. Санітарні норми допустимого шуму на робочих місцях: веб-сайт. URL: [https://dnaop.com/html/43077/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F\\_3223-85](https://dnaop.com/html/43077/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_3223-85) (дата звернення 01.06.2022)

23. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=48132](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=48132) (дата звернення 03.06.2022)

24. ГОСТ 12.1.012.-90. Система стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги: веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=48132](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=48132) (дата звернення 01.06.2022)

25. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. : веб-сайт. URL: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/95.1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.5-28-2006.%20%D0%9F%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%20%D1%96%20%D1%88%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B5%20%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf> (дата звернення 01.06.2022)

26. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення: веб-сайт. 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) (дата звернення 01.06.2022)

27. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека: веб-сайт. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125> (дата звернення 02.06.2022)

28. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація: веб-сайт. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf> (дата звернення 02.06.2022)

29. ДСТУ Б В.1.1-36. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек: веб-сайт.

URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759) (дата звернення 01.06.2022)

30. ДБН В.1.1-7. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: веб-сайт. URL: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002.pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf) (дата звернення 04.06.2022)

31. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників»: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text> (дата звернення 03.06.2022)

32. ГОСТ 12.1.030-81. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення : веб-сайт. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=7051](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=7051) (дата звернення 03.06.2022)

33. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=58073](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073).

34. 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. [Чинний від 2007-12-01]. 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->.

35. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

36. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

37. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.



38. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

39. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

40. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

41. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

42. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

# Додатки

Додаток А – Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
“ ” \_\_\_\_\_ 2023р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.  
“ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БАРЛІНЕК-ІНВЕСТ» З ВСТАНОВЛЕННЯМ СОНЯЧНОЇ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Войтюк Ю.П.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕМ-22м

Могила В.К.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2023 р.

## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 247 від 18.09.2023р.

Дата початку роботи 19.09.2023р.

Дата закінчення роботи 04.12.2023р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) мета: підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної електростанції.

б) призначення розробки: виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР: генплан підприємства; відомості про особливості технологічних процесів; відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Терешкевич Л.Б., Демов О.Д., Шулле Ю.А. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вінниця: ВНТУ, 2016 р.

3.2 Лисенко Г.Л., Буда А.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті. Вінниця: ВНТУ, 2006 р.

3.3. Бурбело М. Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Вінниця: ВНТУ, 2005 р.

3.4 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. X : Міненерговугілля України, 2017 р.

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для проектування	1.09.23	17.09.23
4.2 Проведення необхідних розрахунків	17.09.23	20.10.23
4.3 Розробка робочих креслень	20.10.23	17.11.23
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	17.11.23	4.12.23

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

##### 7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

#### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

## Додаток Б - Вихідні дані

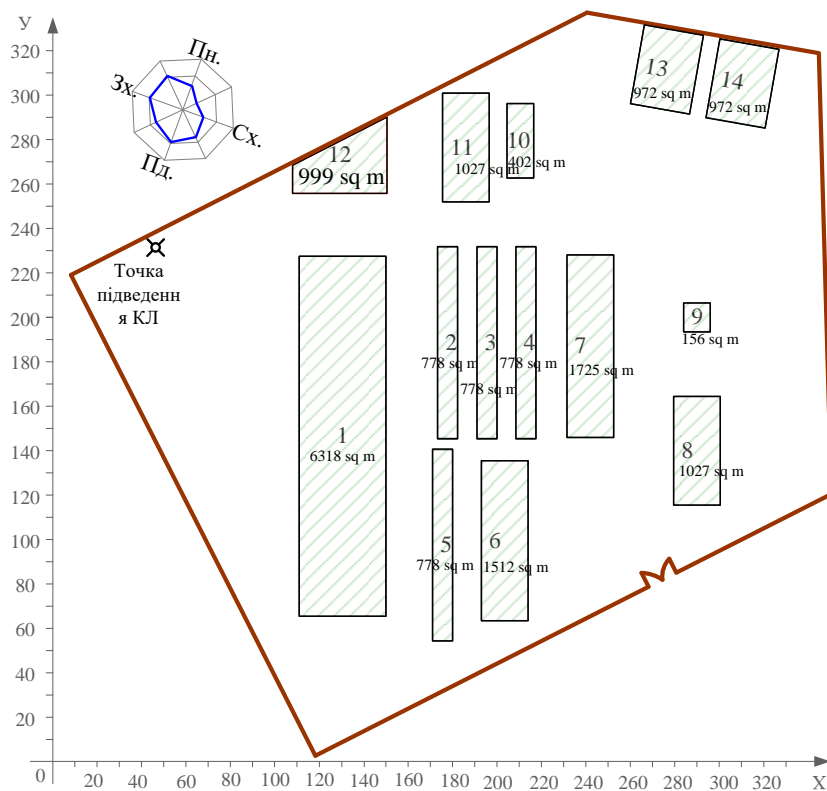


Рисунок Б.1 – Генеральний план ТОВ «Барлінек-Інвест»

Таблиця Б.1 – Відомості про електричні навантаження ТОВ «Барлінек-Інвест»

Позначення на генплані	Найменування	$P_n$ , кВт
1	Головний виробничий корпус	650
2	Блок 8-ми сушильних камер №1	100
3	Блок 8-ми сушильних камер №2	100
4	Блок 8-ми сушильних камер №3	100
5	Блок 8-ми сушильних камер №4	100
6	Склад проміжного зберігання №1	80
7	Склад проміжного зберігання №2	80
8	Адміністративний корпус	25
9	Млин	50
10	Склад палива для котельні	80
11	Котельня	250
12	Розпилочний цех	200
13	Деревообробний цех	150
14	Столярний цех	150

Додаток В – ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест» з встановленням сонячної електростанції

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

факультет електроенергетики та електромеханіки

(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 88,9 Схожість 11.1%

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 \_\_\_\_\_ Могила В.К.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Войтюк Ю.П.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал

**Тема магістерської кваліфікаційної  
роботи:  
Підвищення енергоефективності  
Товариства з обмеженою  
відповідальністю «Барлінек-Інвест»  
з встановленням сонячної  
електростанції**

**Виконала:** ст.гр.ЕМ-22м  
Могила Валентина Костянтинівна  
**Керівник:** Войтюк Юрій Петрович

Вінниця 2023

ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)

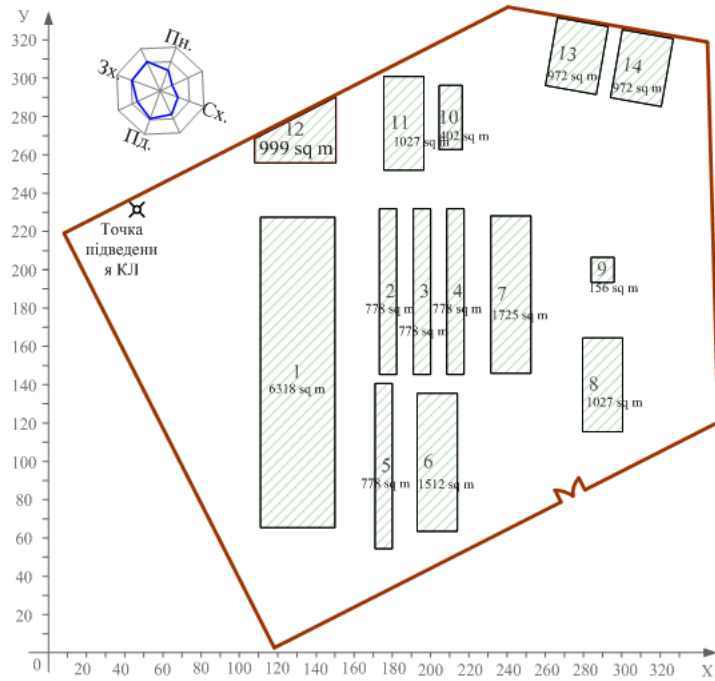


**Актуальність дослідження.** пов'язана з підвищенням енерговикористання системою електропостачання підприємства деревообробної галузі за рахунок впровадження інноваційних рішень в діючу електричну мережу. Актуальність цієї проблеми також обумовлена розробкою технічних рішень, що викликані складністю інтеграції сонячної електростанції в діючу систему електропостачання з подальшим підвищенням її енергоефективності.

- **Мета дослідження.** Впровадження фотоелектричної сонячної станції у діючу систему електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест».
- **Задачі дослідження.** Основними задачами магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» за рахунок будівництва фотоелектричної сонячної станції, що буде інтегрована в діючу електричну мережу .
- **Об'єкт та предмет досліджень.** Система електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Барлінек-Інвест».
- **Наукова новизна.** Полягає у розробці технології та формуванні умов, щодо використання сонячної електричної енергії в поєднанні з електропостачанням підприємства від мереж енергопостачальної компанії.
- **Практична цінність.** Полягає у зменшенні дефіциту потужності електричної енергії за рахунок використання в системі електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест» джерел альтернативної енергетики та використання розроблених практичних рекомендацій, що можуть бути розповсюдженні на аналогічні підприємства.

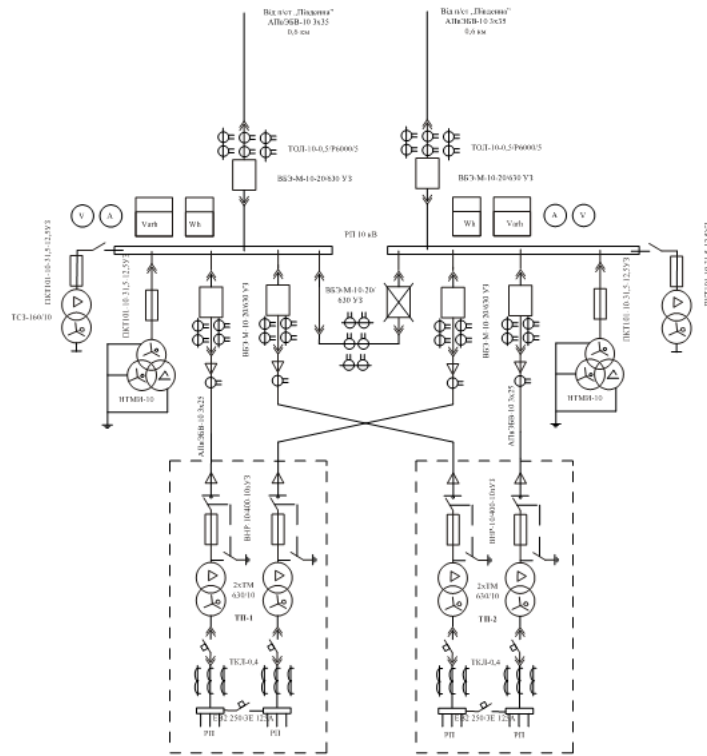
ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)

## Генеральний план підприємства



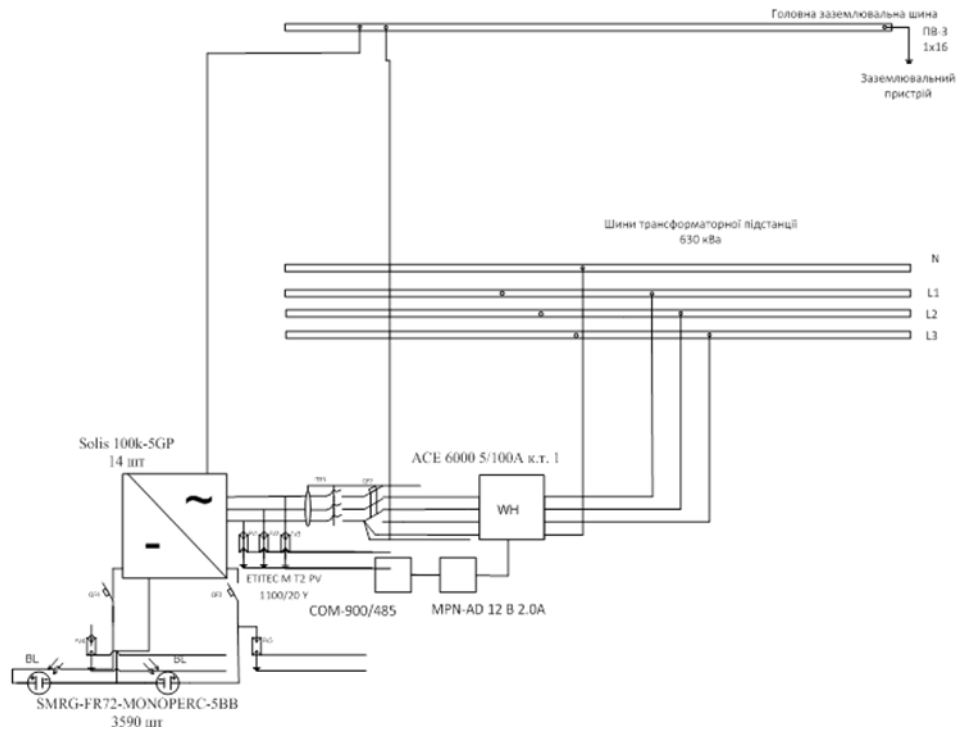
ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)

## Однолінійна схема електропостачання підприємства



ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)

# Однолінійна схема ФЕС

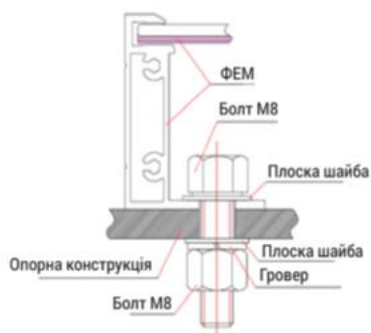


## ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)



Рисунки 1 – Зовнішній вигляд окремого модуля

Технічні характеристики модуля	
Тип фотоелементу	Монокристалічний кремнієвий
Номинальна потужність, P, W	100
Номинальна напруга, U, V	100
Струм короткого замикання, I, A	5,53
Діапазон робочих температур, °C	від -40 до +85 °C
Інтенсивність освітлення, W/m <sup>2</sup>	1000
Площа модуля, м <sup>2</sup>	1,5
Вага кожного модуля, кг	8
Вартість одного модуля, грн	1500
Термін придатності, років	30



Спосіб кріплення модуля

Наземна система кріплення  
фотогальванічних модулів

ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)

# Техніко-економічні показники СЕП

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	$E_a$	5237920,080	кВт·год
Річне споживання електроенергії із втратами	$E$	5322674,88	кВт·год
Плата за електроенергію	$\Pi$	29274711,84	грн
Витрати на передачу і розподіл електроенергії	$C_{\Pi}$	1527052,05	грн
Сумарні витрати підприємства	$C_{\text{сум}}$	30801763,89	грн
Собівартість електроенергії	$S$	588	коп/кВт·год

## ДОДАТОК Г – Ілюстративний матеріал (продовження)

# Висновок

- В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуті питання підвищення енергоефективності системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест». Під таким кутом зору розроблені та прийняті проектні рішення з розрахунку електричних навантажень підприємства, вибору трансформаторів живлення, визначення місця їх розташування, вибрана основна електротехнічна продукція та ін..
- Всі ці проектні рішення підтвердженні розрахунками, які виконанні на базі електронного процесора Excel з використанням елементів САПР. Для застосування системи САПР та отримання оптимально-ефективних рішень кожна задача була представлена у вигляді математичної моделі, що вимагала оптимізації з використанням оригінальних методів. Такий підхід дозволив отримати наступні технічні рішення: для живлення підприємства прийнято встановлення двох двотрансформаторних ТП з трансформаторами потужністю 630 кВа, обрано переріз та марку кабелів живлячої та високовольтної розподільчої мережі (ААБ 3х120 та ААБ 3х25 відповідно).
- Питання вибору та розміщення центрального розподільчого пристрою та ефективна компенсація реактивної потужності розраховувалися за допомогою вбудованої в електронний процесор підпрограма «Пошук рішення», яка дозволила отримати оптимальні рішення по цих проблемах.
- Використання електронного процесора та вбудованої в нього підпрограми «Пошук рішення» дозволило за допомогою адекватних математичних моделей отримати унікальні рішення з підвищення енергоефективності системи електропостачання ТОВ «Барлінек-Інвест».
- В магістерській кваліфікаційній роботі з метою заощадження енергетичних ресурсів було прийнято рішення впровадити в систему електропостачання фотогальванічної електричної станції потужністю 1400 кВт, що дозволить забезпечити виконання технологічного процесу споживачів, які живляться від цехової трансформаторної підстанції з трансформаторами потужністю 630 кВа. Таке рішення дозволило значно знизити витрати електроенергії, що отримує підприємство від енергопостачальної компанії. Було прийнято рішення запроектувати будівництво ФЕС мережевого типу з кількістю фотогальванічних модулів 3590 одиниць, що укомплектовані 14 інверторами типу Solis 100k-5GP. Для станції була розроблена схема живлення основного електротехнічного обладнання, дані рекомендації з виконання монтажних робіт.
- Економічна частина магістерської кваліфікаційної роботи присвячена розробці питань з визначенням основних техніко-економічних показників роботи підприємства, що включали капіталовкладення в систему електропостачання, спожита електроенергія, плата за електроенергію, витрата на передачу та розподіл електроенергії, собівартість електроенергії та ін..
- В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях прийнято ряд рішень, які забезпечують безпечну експлуатацію електроустановок та захист працівників від шкідливих факторів.