

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))
менеджменту

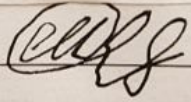
БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

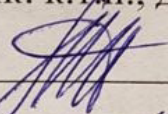
ОСНОВНОГО ВИРОБНИЦТВА

ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС»

Виконав: студент 4 курсу, групи Е-23 мсз
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

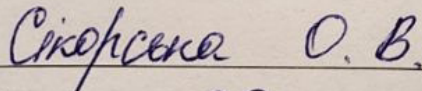
Мартиненко М.М. 

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ

 Кутіна М.В.

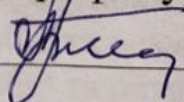
« 6 » червня 2025 р.

Рецензент к.т.н., доцент каф. ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

 Сікорська О.В.

« 16 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСЕМ
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.


« 16 » 06 2025 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 14 Електрична інженерія

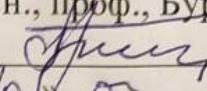
Освітній ступінь – бакалавр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф., Бурбело М.Й.


«20» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мартиненку Михайлу Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «**Удосконалення системи електропостачання основного виробництва Товариства з обмеженою відповідальністю «Авіс»**

Керівник роботи Кутіна Марина Василівна, к.т.н.

затверджені наказом по ВНТУ від «20» 03 2025 року, № 97.

2. Термін подання студентом роботи «6» 06 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства (об'єкта); план цеху (об'єкта, дільниці приміщення) із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього і зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеху, об'єкта, дільниці, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники. (Додаток А).

4. Зміст текстової частини

Анотація.

Вступ.

1. Загальні відомості про підприємство

1.1 Короткий опис технологічних процесів

1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика

2. Розрахунок електропостачання підприємства

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

2.2 Вибір та розміщення підстанцій

2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху

3. Аналіз методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства

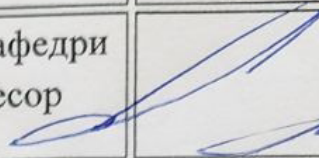
4. Безпека життєдіяльності

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу
- Генплан підприємства. Однолінійна схема електропостачання підприємства.
 - План цеху. Розрахунково-монтажна таблиця.
 - Деталь проєкту

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прий
Охорона праці	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання « 28 » 04 2025року

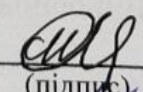
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

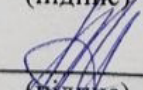
№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		
		початок	закінчення	
1	Загальні відомості про підприємство	28.04.2025	16.05.2025	виз
2	Розрахунок електропостачання підприємства	16.05.2025	23.05.2025	виз
3	Аналіз методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства	23.05.2025	28.05.2025	виз
4	Охорона праці	28.05.2025	1.06.2025	виз
5	Графічна частина роботи	1.06.2025	6.06.2025	виз

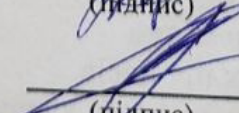
Студент

Керівник бакалаврської
дипломної роботи

Нормоконтроль


(підпис)


(підпис)


(підпис)

Мартиненко М.М.
(прізвище та ініціали)

Кутіна М.В.
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю. П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мартиненко Михайло Михайлович. Удосконалення системи електропостачання основного виробництва Товариства з обмеженою відповідальністю «Авіс». Бакалаврська кваліфікаційна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, 2025 – 88с.

У роботі проведено удосконалення системи електропостачання підприємства ТОВ «АВІС» із врахуванням сучасних вимог до надійності та енергоефективності. Визначено електричні навантаження підприємства та окремого цеху, розроблено загальну схему живлення, виконано вибір та розміщення трансформаторних підстанцій, обґрунтовано тип захисної апаратури. Розраховано струми короткого замикання, перевірено вибране обладнання на відповідність технічним вимогам.

У науково-дослідній частині роботи здійснено аналіз методів пошуку пошкоджень кабельних ліній підприємства. Встановлено електричні ознаки типових дефектів, класифіковано методи діагностики на відносні та абсолютні, проведено їх порівняльну оцінку. Розроблено алгоритм вибору найбільш доцільного методу пошуку пошкодження залежно від типу кабелю, параметрів ушкодження та умов прокладання.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при експлуатації систем електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, трансформаторна підстанція, кабельна лінія, пошкодження, діагностика, енергоефективність, надійність.

ABSTRACT

Martynenko Mykhailo Mykhailovych. Improvement of the Power Supply System for the Main Production of the Limited Liability Company "Avis". Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 88p.

This thesis presents the improvement of the power supply system for the "Avis" LLC enterprise, taking into account modern requirements for reliability and energy efficiency. The electrical loads of the enterprise and a separate production workshop were determined; a general power supply scheme; transformer substation types and placement were selected and justified, and appropriate protective equipment was chosen. Short-circuit currents were calculated and the selected equipment was verified for compliance with technical requirements.

The research section of the work presents an analysis of fault location methods for the enterprise's cable lines. Electrical characteristics of typical defects were identified, diagnostic methods were classified into relative and absolute, and a comparative evaluation was conducted. An algorithm for selecting the most appropriate fault location method was developed based on the cable type, fault parameters, and laying conditions.

Issues of occupational safety and life protection during the operation of power supply systems are also considered.

Keywords: power supply system, transformer substation, cable line, fault, diagnostics, energy efficiency, reliability.

Drawings – 24

Tables - 27

Bibliographies – 37

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	6
1.1 Короткий опис технологічних процесів	6
1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика	7
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	11
2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства	11
2.2 Вибір та розміщення підстанцій.....	13
2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства	21
2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху	27
3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	55
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	55
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	55
4.1.2 Електробезпека.....	57
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	59
4.2.1 Мікроклімат	59
4.2.2 Склад повітря робочої зони	59
4.2.3 Виробниче освітлення	60
4.2.4 Виробничий шум.....	61
4.3 Пожежна безпека	62
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
Додаток А (обов'язковий). Вихідні дані	73
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина.....	76
Додаток В (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	83
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина	85

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення надійного та ефективного електропостачання виробничих підприємств є одним із ключових факторів стабільної роботи промислового комплексу [1, 3]. Удосконалення системи електропостачання дозволяє знизити енергетичні втрати [2], підвищити рівень безпеки, зменшити аварійність та забезпечити гнучкість в умовах змін виробничого навантаження. Особливої актуальності набуває модернізація систем електропостачання у випадках розгалуженої інфраструктури з великою кількістю кабельних ліній, як це спостерігається на підприємстві ТОВ «Авіс», де критичне обладнання функціонує в умовах безперервного циклу.

Системний підхід до побудови схеми електропостачання та впровадження ефективних методів діагностики несправностей, дозволяє не лише забезпечити безперебійну роботу обладнання, але й оптимізувати витрати на обслуговування енергетичної інфраструктури. Врахування особливостей прокладання кабелів, технічного стану ізоляції, типів можливих пошкоджень та застосування відповідних методів їх виявлення є важливим напрямом підвищення надійності системи електропостачання в цілому.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення системи електропостачання ТОВ «Авіс» шляхом підвищення надійності та економічності її роботи, що досягається за рахунок аналізу електроспоживачів підприємства, розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальної структури СЕП, а також дослідження методів пошуку пошкоджень у кабельних лініях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- здійснити аналіз технологічних процесів підприємства та охарактеризувати електроприймачі за їх потужністю, режимом роботи і категорією надійності;
- виконати розрахунок електричних навантажень підприємства;
- здійснити вибір кількості та розміщення трансформаторних підстанцій для забезпечення ефективного електроживлення;

- розробити схему електропостачання підприємства та виконати її розрахунок, включаючи вибір комутаційного і захисного обладнання;
- виконати розрахунок та проектування електропостачання цехової мережі;
- проаналізувати методи пошуку пошкоджень у кабельних лініях підприємства з метою підвищення оперативності їх виявлення та локалізації.

Об'єкт дослідження – це процес функціонування системи електропостачання з подальшим аналізом методів пошуку пошкоджень у кабельних лініях підприємства.

Предмет дослідження – Удосконалення системи електропостачання основного виробництва Товариства з обмеженою відповідальністю «Авіс».

Методи. В даній роботі використано розповсюджені теоретичні та експериментальні методи, серед яких методи визначення електричних силових навантажень (упорядкованих діаграм, коефіцієнту попиту), освітлювальних навантажень (питомої потужності) [1, 4, 5].

Новизна. У роботі здійснено структурований аналіз методів пошуку пошкоджень у кабельних мережах промислового підприємства. Узагальнено особливості застосування методів залежно від типу пошкодження, умов прокладання, конструктивних характеристик кабелів. Встановлено доцільність поетапного використання методів від попередньої локалізації за допомогою відносних методів до точного визначення координат дефекту абсолютними засобами. Сформовано узагальнений алгоритм вибору методів діагностики, який дозволяє підвищити ефективність локалізації пошкоджень.

Практична цінність. Розроблені технічні та організаційні рішення щодо удосконалення системи електропостачання ТОВ «АВІС», включаючи вибір оптимальних схем живлення, конфігурації трансформаторних підстанцій та засобів захисту, можуть бути безпосередньо впроваджені у виробничу інфраструктуру підприємства. Запропонований алгоритм вибору методу пошуку пошкоджень кабельних ліній дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, скорочуючи простой обладнання та підвищуючи надійність електропостачання. Отримані результати можуть бути використані в системах технічного обслуговування інших підприємств з аналогічною енергетичною структурою.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис технологічних процесів

ТОВ «ABIC», розташоване у місті Вінниця, є одним із провідних підприємств харчової промисловості України, що спеціалізується на виробництві рафінованих і нерафінованих жирів, маргаринів, майонезів, спецій, приправ, мінеральної води та інших безалкогольних напоїв.

Технологічний процес є основою виробничої діяльності ТОВ «ABIC», яке спеціалізується на виготовленні харчових продуктів, зокрема маргаринів, соусів, майонезів, а також напоїв на основі натуральних соків. Підприємство також виробляє пластикову тару для власної продукції, що дозволяє забезпечити повний цикл виробництва та контролювати якість на всіх етапах.

Основні етапи технологічного процесу на підприємстві включають:

- підготовка сировини. Використовується високоякісна сировина, переважно українського походження, що сприяє зниженню логістичних витрат та забезпечує свіжість продуктів;
- виробництво харчових продуктів. На сучасному обладнанні здійснюється виробництво маргаринів, соусів, майонезів та інших харчових продуктів. Процеси автоматизовані для забезпечення стабільної якості та відповідності стандартам;
- виробництво пластикової тари. Підприємство виготовляє власну пластикову упаковку з безпечних для харчових продуктів матеріалів;
- фасування та пакування. Готова продукція фасується в пластикову тару власного виробництва, маркується та упаковується відповідно до стандартів.
- контроль якості. На всіх етапах виробництва здійснюється контроль якості, включаючи перевірку сировини, проміжних продуктів та готової продукції, що гарантує відповідність вимогам безпеки та стандартам якості.
- зберігання та логістика. Готова продукція зберігається на складах підприємства та доставляється споживачам з дотриманням умов зберігання та транспортування.

1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика

Згідно з проектною документацією, електропостачання підприємства класифікується як II категорії надійності [5]. Це означає, що електропостачання має бути забезпечене від двох незалежних джерел живлення або з використанням автоматичного введення резерву (АВР) для перемикавання на резервне джерело у разі аварії основного.

Для забезпечення безперебійної роботи критичного обладнання, такого як холодильні установки та виробничі лінії, підприємство впроваджує заходи з енергозбереження та енергоефективності, включаючи встановлення сучасного обладнання з високим показником економії енергоресурсів та систем автоматизації.

На генплані ТОВ «Авіс» зображено об'єкти проектування (рис. 1.1), а в таблиці 1.1 представлено інформацію про назву та активну потужність цехів та допоміжних споруд підприємства.

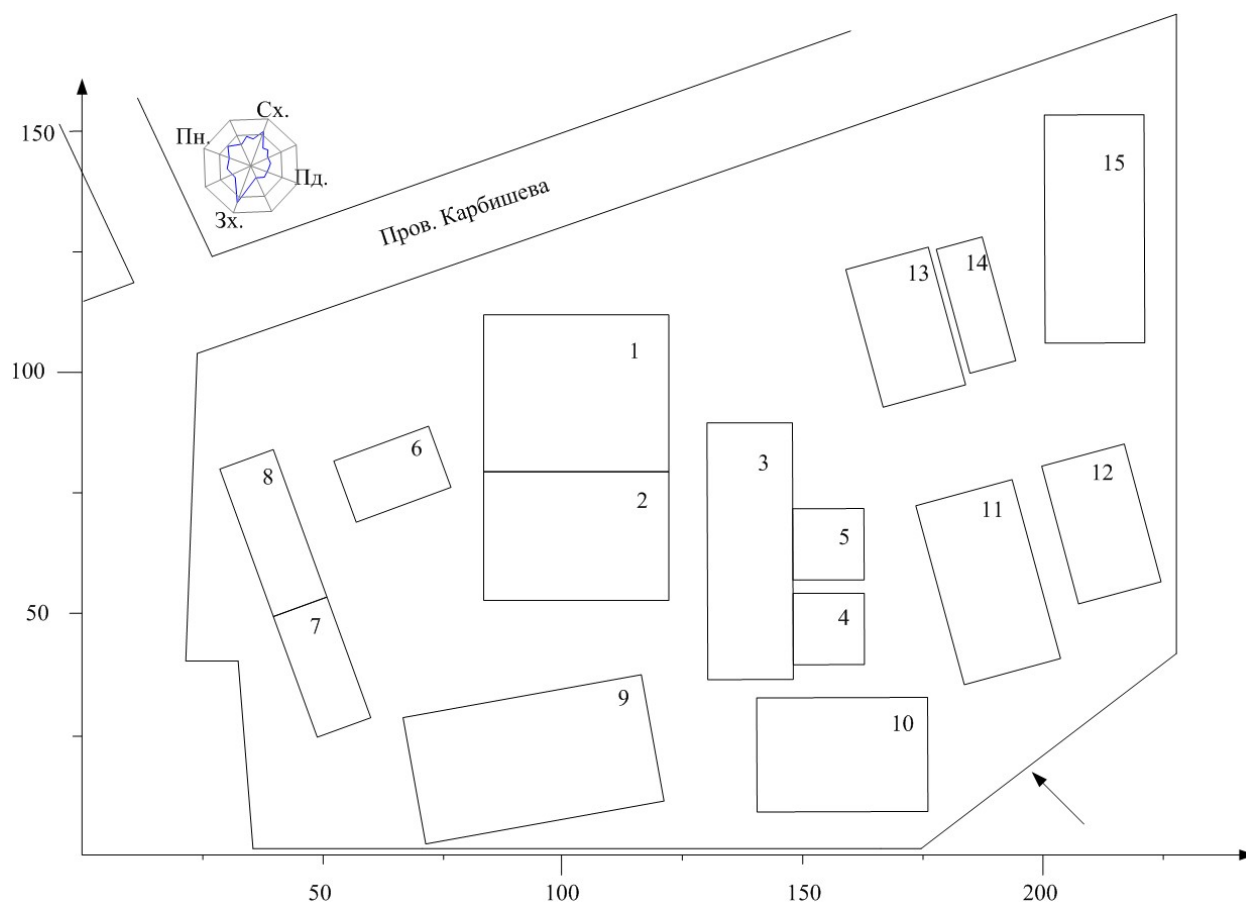


Рисунок 1.1 – Генплан ТОВ «Авіс»

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ТОВ «Авіс»

№	Назва цеху	P_H , кВт	K_{Π}	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	$F, \text{м}^2$
1	Завод полімерного упакування	490,0	0,4	0,8	0,75	196,0	147,0	1287
2	Цех (друкарня)	375,0	0,45	0,8	0,75	168,8	126,6	1053
3	Завод безалкогольних напоїв	300,0	0,5	0,8	0,75	150,0	112,5	972
4	Очисні споруди	40,0	0,9	0,76	0,86	36,0	30,8	225
5	Очисні споруди	40,0	0,9	0,76	0,86	36,0	30,8	225
6	Котельня	135,0	0,6	0,8	0,75	81,0	60,8	504
7	Склад №1	90,0	0,35	0,5	1,73	31,5	54,6	324
8	Склад №2	155,0	0,35	0,7	1,02	54,3	55,3	396
9	Виробничий корпус/Склад №3	550,0	0,4	0,8	0,75	220,0	165,0	1377
10	Склад №4 (гот. Прод)	350,0	0,4	0,8	0,75	140,0	105,0	864
11	Оліє-очисний завод	175,0	0,55	0,6	1,33	96,3	128,3	819
12	Цех фасування олії	160,0	0,55	0,8	0,75	88,0	66,0	540
13	Цех обробки сировини	212,0	0,45	0,8	0,75	90,0	67,5	540
14	Холодильно-компресорна станція	120,0	0,4	0,9	0,48	48,0	23,2	270
15	Завод по виготовленню печива	250,0	0,6	0,76	0,86	150,0	128,3	1008

Додаткові дані про систему електропостачання підприємства:

Відстань від підприємства до живлячої ПС енергосистеми:

Від ПС «Південна» 110/35/10 кВ – 2,4 км;

Від ПЛ 110 кВ яка проходить поблизу території підприємства.

Розрахункова потужність $S_p=2197,03$ кВА;

Час використання максимального навантаження $T_m=4500$ год/рік;

Час максимальних втрат складає $\tau_m= 2886$ год/рік;

Тариф за активну електроенергію [6]:

на напрузі 10 кВ, $t= 6,649$ грн/кВт*год.

на напрузі 110 та 35 кВ, $t= 5,195$ грн/кВт*год.

Електроприймачі, встановлені цеху обробки сировини (№13 на генплані), за умовами їхнього використання та впливу на технологічний процес належать до II категорії надійності електропостачання. Це обґрунтовано тим, що в разі раптового знеструмлення відбувається порушення роботи безперервних технологічних ланок, зниження якості кінцевої продукції, зрив виробничого графіка, а також виникають додаткові витрати через необхідність повторного запуску обладнання.

Загальна встановлена потужність електроприймачів цеху становить 212 кВт. До складу основних споживачів входять електродвигуни мішалок, дозувального обладнання, вакуум-фільтрів, подрібнювачів, міксерів, вентиляторів, вібраторів, а також допоміжні машини – циклон, класифікатор та мийка. Більшість цього обладнання працює у тривалому або циклічному режимі, підтримуючи стабільність температурних і фізико-хімічних параметрів у процесі виробництва.

Зупинка таких агрегатів у разі зникнення напруги може призвести не лише до псування сировини чи напівфабрикату, а й до потреби повного перезапуску виробничого циклу, що супроводжується втратами електроенергії, часу та матеріалів.

Інформація щодо розподілу електричних навантажень у цеху обробки сировини представлена в таблиці 1.2, а схема розміщення обладнання наведена на рисунку 1.2.

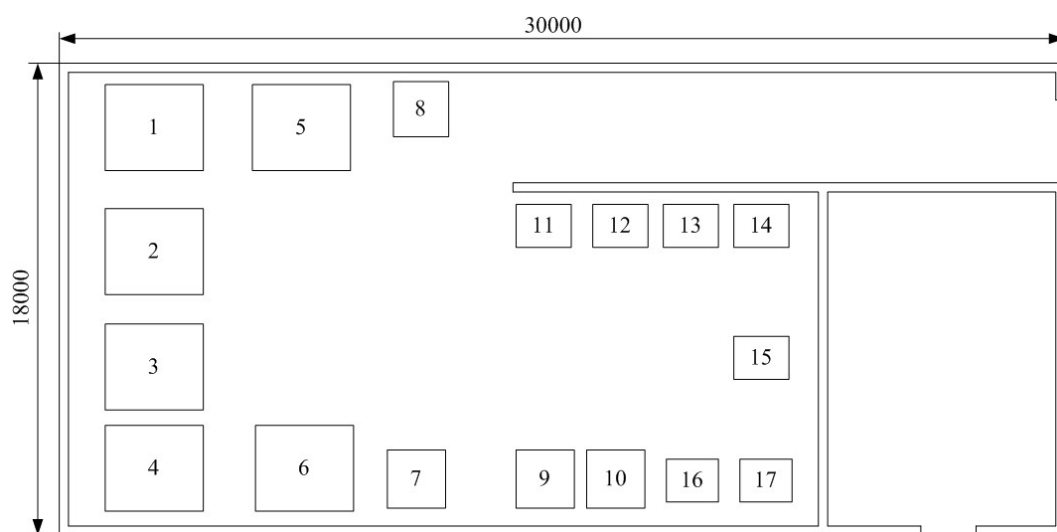


Рисунок 1.2 – План цеху обробки сировини (№13 на генплані)

Таблиця 1.2 – Електричні навантаження цеху

№	Найменування	Р _н ,	№	Найменуванн	Р _н ,
1-2	Відділювач	12,0	11-	Дозрівач	24,0
3	Подрібнювач	18,5	13	Мішалка	13,0
4	Мийка	4,5	14	Циклон	1,5
5-6	Дозувальна	11,0	15	Класифікатор	7,5
7-8	Вакуум-фільтр	22,2	16	Міксер	7,5
9-	Вентилятор	1,1	17	Вібратор	18,5

Висновки по розділу 1.

У даному розділі бакалаврської дипломної роботи було проаналізовано організаційну структуру, основні технологічні процеси та характеристики електроспоживання ТОВ «ABIC» м. Вінниця. Підприємство здійснює багатoproфільне виробництво харчових продуктів, де кожен цех має свою специфіку енергоспоживання, а критичне обладнання функціонує в умовах тривалого або безперервного режиму.

За результатами аналізу встановлено, що більшість цехів, повинні бути віднесені до II категорії надійності електропостачання, що передбачає необхідність резервування живлення для забезпечення безперебійної роботи критичного технологічного обладнання.

Отже, удосконалення СЕП ТОВ «ABIC» повинно бути спрямоване на підвищення надійності, енергоефективності та гнучкості системи. Це включає:

- розрахунок електричних навантажень підприємства сучасними методами;
- вибір та розміщення трансформаторних підстанцій з врахуванням оптимальних техніко-економічних показників їх роботи;
- вибір та розрахунок загальної схеми електропостачання підприємства;
- розрахунок схеми електропостачання цеху обробки сировини;

Отримані результати аналізу створюють техніко-аналітичну базу для виконання удосконаленої системи електропостачання ТОВ «ABIC». Враховано профіль навантажень цехів, категорії надійності електроприймачів, конфігурацію виробничого майданчика та фізичну віддаленість від живлячих підстанцій. Це дозволяє здійснити вибір та обґрунтування схеми та елементів живлення, провести усі необхідні розрахунки та визначити технічно доцільні заходи модернізації СЕП, з урахуванням економічної ефективності енергосистеми підприємства.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

У сучасних умовах стабільна та ефективна робота промислового підприємства безпосередньо залежить від якості проектування та організації його системи електропостачання [7]. Зростаючі вимоги до енергоефективності, автоматизації виробництва та надійності технологічного обладнання висувають нові технічні й економічні критерії до побудови енергетичної інфраструктури.

Розрахунок електропостачання підприємства є ключовим етапом при плануванні та модернізації енергосистеми, адже саме на цьому етапі визначаються:

- дійсні та перспективні електричні навантаження;
- структура та потужність джерел живлення;
- способи резервування;
- конфігурація внутрішньої мережі живлення;
- показники якості електроенергії в контрольних точках.

Особливої актуальності тема набуває для підприємств із розгалуженою технологічною структурою, як-от ТОВ «ABIC», де функціонує велика кількість цехів із різними режимами навантаження – від холодильних і фасувальних ліній до потужного обладнання з неперервним циклом роботи. За відсутності точно виконаного розрахунку електропостачання виникають надмірні втрати енергії, зниження надійності живлення, порушення режимів роботи обладнання, а в окремих випадках і вихід з ладу електроприймачів.

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Для окремого споживача розрахунок активної та реактивної потужності рівний [8]:

$$P_c = K_{\Pi} \cdot P_H; \quad Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.1)$$

Потужність систем освітлення пропорційна площі приміщення та величині необхідного світлового потоку [7]:

$$P_O = P_{\text{Пит.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F; \quad (2.2)$$

$$Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg} \phi_O; \quad (2.3)$$

Розрахункові потужності:

$$P_P = P_C + P_O; \quad Q_P = Q_C + Q_O; \quad (2.4)$$

Розрахункові максимальні навантаження:

$$P_{\text{PΣ}} = K_O \left(\sum_{i=1}^N P_{P_i} + P_{\text{РЦі}} + P_{\text{РЗ}} \right) + P_{\text{ОΣ}}; \quad Q_{\text{PΣ}} = K_O \left(\sum_{i=1}^N Q_{P_i} + Q_{\text{РЦі}} + Q_{\text{РЗ}} \right); \quad (2.5)$$

Сумарне навантаження підприємства:

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

Розрахунок навантажень підприємства показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження				Сумарне навантаження			
		P _н , кВт	K _П	cosj	tgj	P _С , кВт	Q _С , квар	F,м ²	P _{ПІТ.О} Вт/м ²	K _{ПО}	K _{ПРА}	P _О , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Завод полімерного упакування	490,0	0,4	0,8	0,75	196,0	147,0	1287	0,016	0,85	1,2	21,0	217,0	156,0	267,3
2	Цех (друкарня)	375,0	0,45	0,8	0,75	168,8	126,6	1053	0,012	0,6	1,1	8,3	177,1	130,1	219,8
3	Завод безалкогольних напоїв	300,0	0,5	0,8	0,75	150,0	112,5	972	0,012	0,85	1,2	11,9	161,9	117,6	200,1
4	Очисні споруди	40,0	0,9	0,76	0,86	36,0	30,8	225	0,014	0,85	1,2	3,2	39,2	32,2	50,7
5	Очисні споруди	40,0	0,9	0,76	0,86	36,0	30,8	225	0,014	0,85	1,2	3,2	39,2	32,2	50,7
6	Котельня	135,0	0,6	0,8	0,75	81,0	60,8	504	0,01	1	1,2	6,0	87,0	63,4	107,7
7	Склад №1	90,0	0,35	0,5	1,73	31,5	54,6	324	0,016	0,85	1,2	5,3	36,8	56,8	67,7
8	Склад №2	155,0	0,35	0,7	1,02	54,3	55,3	396	0,015	0,85	1,2	6,1	60,3	58,0	83,6
9	Виробничий корпус /Склад №3	550,0	0,4	0,8	0,75	220,0	165,0	1377	0,015	0,85	1,2	21,1	241,1	174,1	297,3
10	Склад №4 (гот. Прод)	350,0	0,4	0,8	0,75	140,0	105,0	864	0,012	0,6	1,1	6,8	146,8	107,9	182,2
11	Оліє-очисний завод	175,0	0,55	0,6	1,33	96,3	128,3	819	0,015	0,85	1,2	12,5	108,8	133,7	172,4
12	Цех фасування олії	160,0	0,55	0,8	0,75	88,0	66,0	540	0,01	0,6	1,2	3,9	91,9	67,7	114,1
13	Цех обробки сировини	212,0	0,45	0,8	0,75	95,4	71,6	540	0,012	0,6	1,1	4,3	99,7	73,4	123,8
14	Холодильно-компресорна станція	120,0	0,4	0,9	0,48	48,0	23,2	270	0,017	0,85	1,2	4,7	52,7	25,3	58,4
15	Завод по виготовленню печива	250,0	0,6	0,76	0,86	150,0	128,3	1008	0,016	0,85	1,2	16,5	166,5	135,3	214,5
	Всього по підприємству	3442				1591,1	1305,6	10404				134,8	1774,4	1295,4	2197,03

Отримані результати дають змогу подальшого проектування системи електропостачання підприємства.

2.2 Вибір та розміщення підстанцій

Значення густини питомого навантаження на 1 м^2 площі цеху [7]:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}; \quad (2.7)$$

Кількості необхідних двотрансформаторних підстанцій які здатні забезпечити навантаження підприємства визначається за наступною формулою [7]:

$$N_{\text{ек}} \geq \frac{S_{\Sigma}}{2 \cdot S_{\text{ном.т.}} \cdot k_3}; \quad (2.8)$$

де $k_3 = 0,7 - 0,75$ – для споживачів I категорії [1];

$k_3 = 0,8 - 0,85$ – для споживачів II, III категорій [7];

Повна розрахункова потужність всіх цехів підприємства:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{Pi} = 2197 \text{ (кВА)}.$$

Сумарна площа всіх цехів підприємства:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 10404 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Значення питомої густини навантаження підприємства на 1 м^2 площі цехів:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{2197}{10404} = 0,21 \text{ (кВ}\cdot\text{А/м}^2\text{)}.$$

При даній густині доцільно обрати двотрансформаторні підстанції з потужністю апаратів $S_{\text{ном.т.}} = 1000$ чи 1600 кВА. Розглянемо та порівняємо між собою два варіанти:

1. При $S_{\text{ном.т.}} = 1000$ кВА число ТП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{2197}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 1,3 \div 1,37 \text{ (шт.)};$$

2. При $S_{\text{ном.т.}} = 1600$ кВА число ТП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{2197}{2 \cdot 1600 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 0,81 \div 0,86 \text{ (шт.)}.$$

Таким чином, для забезпечення електропостачання об'єктів підприємства доцільно передбачити встановлення двох двотрансформаторних підстанцій з номінальною потужністю по 1000 кВА, або, однієї двотрансформаторної підстанції потужністю 1600 кВА.

Порівняльні характеристики навантаження для обох варіантів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

Варіант 1				Варіант 2			
Цех	S_p , кВА	1000 кВА		Цех	S_p , кВА	1600 кВА	
		N, шт	k_3			N, шт	k_3
2,4-10	1055,18	2	0,53	1-15	2197	2	0,69
1,3,11-15	1144,47	2	0,57				

Здійснюємо техніко-економічне порівняння варіантів спорудженої системи електропостачання підприємства. Паспортні дані трансформаторів наведено в таблиці 2.3 [11].

Таблиця 2.3 - Параметри трансформаторів

$S_{\text{н.тр}}$, кВА	$U_{\text{н.т}}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	ΔP_k , кВт	$I_{\text{xx}\%}$	$U_{\text{к}\%}$
1600	10	2,8	18	1,3	5,5
1000	10	2,1	10,5	1,4	6

Однолінійна схема електропостачання ПАТ «Маяк» є радіальною на напрузі 10 кВ. Проводимо техніко-економічне порівняння варіантів спорудження підстанцій потужністю 1600 кВА і 1000 кВА за допомогою методу річних витрат (рисунок 2.1).

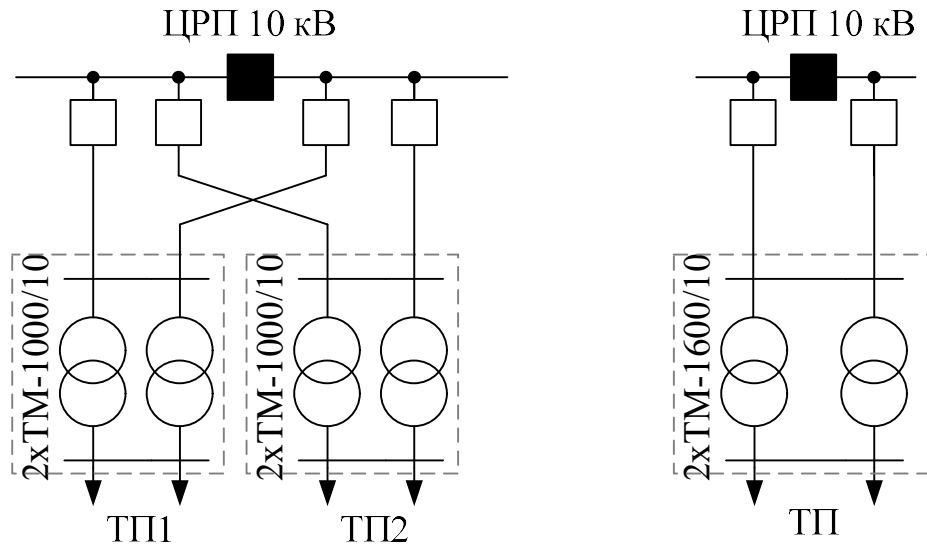


Рисунок 2.1 – Варіанти схем внутрішньозаводського електропостачання

Кращий варіант задіяних ТП буде з меншими приведеними затратами:

$$B_{\text{пр}} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + 3_{\text{пер}}; \quad (2.9)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт (0,1);

E_a – амортизація ($E_a = 0,063$ [7]);

K – капітальні вкладення в ТП, грн;

Втрати потужності в трансформаторах розраховуємо за формулою [5,7]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{ном.т.}}} \right)^2; \quad (2.10)$$

Вартість річних втрат потужності розраховуємо за допомогою діючого тарифу:

$$m = t \cdot \tau; \quad (2.11)$$

де t – тариф за електроенергію, грн/кВт·год;

Приймаємо, що $t = 6,649$ грн/кВт·год. для напруги живлення 10 кВ, а $T_M = 4500$.
Звідси вартість річних витрат активної потужності в трансформаторах:

$$m = 6,649 \cdot \left(0,124 + \frac{5000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 19190,4 \text{ (грн/рік)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 1000 кВА:

$$\Delta P_{1000} = 2 \cdot 2,1 + \frac{1}{2} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{2197}{1000} \right)^2 = 29,54 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 1600 кВА:

$$\Delta P_{1600} = 1 \cdot 2,8 + \frac{1}{1} \cdot 18 \cdot \left(\frac{2197}{1600} \right)^2 = 36,74 \text{ (кВт)};$$

Вартість спорудження двотрансформаторних ТП [10]:

$$K_{1600} = 1740800 \text{ (грн)};$$

$$K_{1000} = 1169600 \text{ (грн)}.$$

Остаточню розраховуємо, який із запропонованих варіантів буде вигіднішим:

$$B_{\text{пр}1600} = (0,1 + 0,063) \cdot 1740800 + 19190,4 \cdot 36,74 = 988805,69 \text{ (грн)};$$

$$B_{\text{пр}1000} = 2 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 1169600 + 19190,4 \cdot 29,54 = 948174,02 \text{ (грн)}.$$

Термін протягом якого буде отримана окупність додаткових капіталовкладень в елементи СЕП буде рівний:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{B_1 - B_2} = \frac{2 \cdot 1169600 - 1740800}{19190,4(36,74 - 29,54)} = 4,3 \text{ (років)}.$$

Отже обираємо варіант спорудження СЕП з двома двотрансформаторними підстанціями потужність 2хТМ-1000/10. Даний варіант є більш економічніший.

В таблиці 2.4 представлено розподіл цехів між двома трансформаторними підстанціями.

Таблиця 2.4 – Розподіл цехів між трансформаторними підстанціями

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Кз, в.о.
ТП1	2	Цех (друкарня)	177,09	130,15	219,77			
	4	Очисні споруди	39,21	32,17	50,72			
	5	Очисні споруди	39,21	32,17	50,72			
	6	Котельня	87,05	63,35	107,66			
	7	Склад №1	36,79	56,83	67,70			
	8	Склад №2	60,31	57,95	83,64			
	9	Виробничий корпус/Склад №3	241,07	174,06	297,34			
	10	Склад №4 (гот. Прод)	146,84	107,94	182,25			
		Всього по ТП1	827,57	654,62	1055,18	1000	2	0,53
ТП2	1	Завод полімерного упакування	217,00	156,03	267,28			
	3	Завод безалкогольних напоїв	161,90	117,62	200,11			
	11	Оліє-очисний завод	108,78	133,72	172,38			
	12	Цех фасування олії	91,89	67,67	114,12			
	13	Цех обробки сировини	99,68	73,39	123,78			
	14	Холодильно-компресорна станція	52,68	25,26	58,42			
	15	Завод по виготовленню печива	166,45	135,35	214,53			
		Всього по ТП2	898,38	709,04	1144,47	1000	2	0,57

Здійснюємо побудову картограми електричних навантажень підприємства. Розподіл навантаження підприємства між обраними ТП представлено в таблиці 2.4. Розподіл навантаження доцільно здійснювати таким чином, щоб мінімізувати перетоки потужностей.

Картограма електричних навантажень підприємства являє собою графічне відображення загального плану території з позначенням цехів, електротехнічних приміщень та енергетичної інфраструктури [7]. На схемі зображені умовні кружки, розміри яких пропорційно відповідають величинам електричного навантаження кожного споживача. Крім того, на картограмі вказано розміщення трансформаторних підстанцій, а також прокладення трас кабельних ліній у вигляді траншей або підземних каналів.

Місце розташування цехових ТП можна визначити за наступними формулами:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad (2.12)$$

Такі картограми використовуються для візуалізації розподілу навантаження, що дозволяє ефективно планувати енергопостачання, уникати перевантажень окремих ділянок мережі та забезпечувати оптимальне розміщення джерел живлення. Вони також є важливим інструментом при проектуванні, реконструкції та модернізації енергетичної системи підприємства.

Дані для даного розрахунку беремо з таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	ТП	Рр, кВт	X, м	Y, м	Рр*X, кВт*м	Рр*Y, кВт*м
1	Завод полімерного упакування	2	217,00	104	97	22568,40	21049,37
2	Цех (друкарня)	1	177,09	104	67	18417,34	11865,01
3	Завод безалкогольних напоїв	2	161,90	140	64	22665,62	10361,43
4	Очисні споруди	1	39,21	157	47	6156,44	1843,01
5	Очисні споруди	1	39,21	157	65	6156,44	2548,85
6	Котельня	1	87,05	65	80	5658,12	6963,84
7	Склад №1	1	36,79	50	40	1839,38	1471,51
8	Склад №2	1	60,31	40	68	2412,35	4101,00
9	Виробничий корпус/Склад №3	1	241,07	95	20	22901,47	4821,36
10	Склад №4 (гот. Прод)	1	146,84	160	21	23494,86	3083,70
11	Оліє-очисний завод	2	108,78	191	57	20777,11	6200,50
12	Цех фасування олії	2	91,89	215	70	19755,92	6432,16
13	Цех обробки сировини	2	99,68	161	123	16047,96	12260,25
14	Холодильно-компресорна станція	2	52,68	188	116	9904,18	6111,09
15	Завод по виготовленню печива	2	166,45	213	132	35453,97	21971,47
			ΣРр, кВт	ΣРр*X/ΣРр	ΣРр*Y/ΣРр	ΣРр*X, кВт*м	ΣРр*Y, кВт*м
	Сумарно по ТП1		827,57	105,17	44,34	87036,40	36698,28
	Сумарно по ТП2		898,38	163,82	93,93	147173,16	84386,27
	Координати ЦЕН		1725,95	135,70	70,16	234209,57	121084,55

Розташування трансформаторних підстанцій на території підприємства не завжди може відповідати розрахованим ідеальним координатам, оскільки в цих місцях можуть бути вже наявні будівлі, проїзди або інженерні комунікації [7]. Тому при проектуванні враховується генеральний план підприємства, і підстанції розміщуються якнайближче до розрахованих точок з урахуванням реальних обмежень на місцевості. Обрані координати представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Координати оптимального розміщення ТП

	Розраховані		Оптимальні на генплані	
	Х, м	У, м	Х, м	У, м
ТП-1	105,17	44,34	105	50
ТП-2	163,82	93,93	190	80
ЦРП	135,70	70,16	195	20

Будуємо картограму навантажень на генплані підприємства. Радіус кола пропорційно навантаженню цеху буде визначатися за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.13)$$

Величина сектору, яке характеризує освітлювальне навантаження цеху:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}; \quad (2.14)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	Х,м	У,м	Рр, кВт	Ро, кВт	г, м	α°	d, м
1	Завод полімерного упакування	104	97	217,00	21,00	18,59	34,8	37,18
2	Цех (друкарня)	104	67	177,09	8,34	16,79	17,0	33,59
3	Завод безалкогольних напоїв	140	64	161,90	11,90	16,06	26,5	32,11
4	Очисні споруди	157	47	39,21	3,21	7,90	29,5	15,80
5	Очисні споруди	157	65	39,21	3,21	7,90	29,5	15,80
6	Котельня	65	80	87,05	6,05	11,77	25,0	23,55
7	Склад №1	50	40	36,79	5,29	7,65	51,7	15,31
8	Склад №2	40	68	60,31	6,06	9,80	36,2	19,60
9	Виробничий корпус/Склад №3	95	20	241,07	21,07	19,59	31,5	39,19
10	Склад №4 (гот. Прод)	160	21	146,84	6,84	15,29	16,8	30,58
11	Оліє-очисний завод	191	57	108,78	12,53	13,16	41,5	26,32
12	Цех фасування олії	215	70	91,89	3,89	12,10	15,2	24,19
13	Цех обробки сировини	161	123	99,68	4,28	12,60	15,4	25,20
14	Холодильно-компресорна станція	188	116	52,68	4,68	9,16	32,0	18,32
15	Завод по виготовленню печива	213	132	166,45	16,45	16,28	35,6	32,56

Здійснюємо побудову картограми електричних навантажень підприємства. На схемі зображені умовні кружки, розміри яких пропорційно відповідають величинам електричного навантаження кожного споживача. Крім того, на картограмі вказано розміщення трансформаторних підстанцій, а також прокладення трас кабельних ліній у вигляді траншей або підземних каналів.

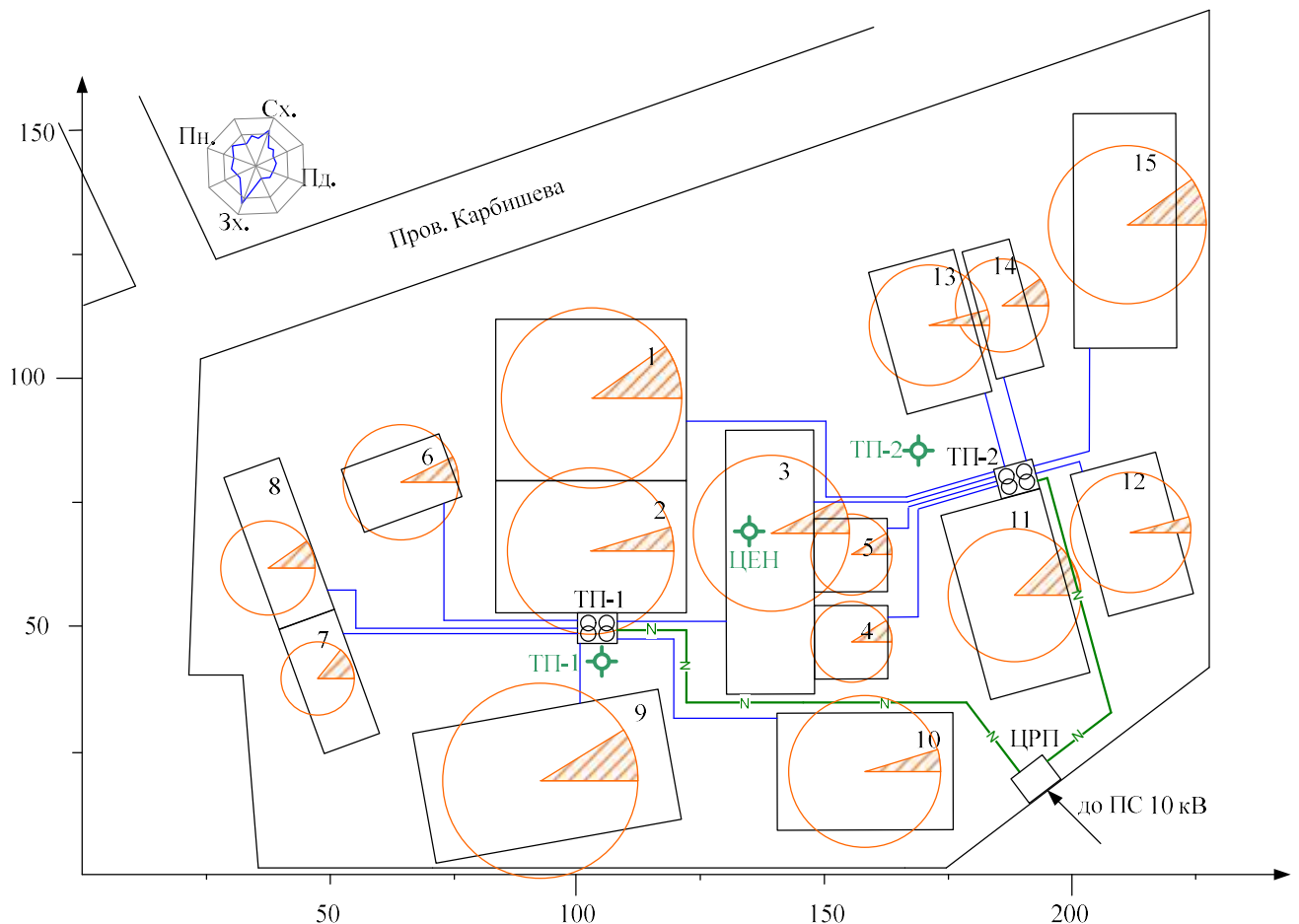


Рисунок 2.2 – Генеральний план підприємства

Таким чином, побудова картограми є не лише візуальним етапом проектування, а й аналітичним інструментом, що дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо вибору оптимальних точок підключення, оцінювати рівномірність навантаження між ТП, формувати раціональну структуру кабельних мереж та забезпечувати гнучкість у подальшій модернізації електропостачання підприємства.

2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

Згідно з ПУЕ [5], електрообладнання необхідно підбирати за типом установки, величиною номінального струму і номінальною напругою та перевіряється на термічну і динамічну стійкість при аварійних режимах роботи.

Визначимо $I_{\max}$ для нормального режиму для:

$$I_{p.па10} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2197}{\sqrt{3} \cdot 10} = 120,6 \text{ (А)};$$

$$I_{\max \text{ ТП}} = \frac{1,4 \cdot S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,8 \text{ (А)};$$

В якості кабельної лінії 10 кВ обираємо АПвЭгаПу-10 3×50 [10], допустимий струм при прокладанні у землі складає 152 А [10] прокладені в траншеї для живлення ЦРП 10 кВ підприємства від підстанції «Південна» довжиною 2400 м.

Перевірка допустимого нагрівання кабелів із зшитого ПЕ виконується для нормального та післяаварійного режимів з урахування умов прокладки:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{доп}; \quad (2.15)$$

$$I_{p.па} \leq \alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{доп}; \quad (2.16)$$

де k_1 - коефіцієнт, що характеризує температуру навколишнього середовища;

k_2 - коефіцієнт, що характеризує глибину прокладення кабелів в землі;

k_3 - коефіцієнт, що характеризує питомий термічний опір ґрунту;

k_4 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в землі;

k_5 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в повітрі;

k_6 - коефіцієнт, що характеризує вплив перерізу екрана.

$$120,6 \text{ (А)} \leq 1 \cdot 0,95 \cdot 1,28 \cdot 0,69 \cdot 1,0 \cdot 0,96 \cdot 152 = 128,4 \text{ (А)}.$$

Дана умова виконується. Також необхідно провести перевірку кабелів зі зшитого поліетилену на термічну стійкість до дії струмів КЗ.

На рисунку 2.3 показано опис конструкції та технічні характеристики кабелів АПвЭгаПу-10 3×50.

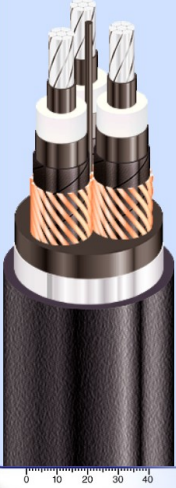
	АПвЭгаПу-10 3х50 ТУ У 31.3-00214534-017-2003		
	Кабелі силові з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену		
	ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:		
	Номінальна напруга	кВ	10
	Максимальна напруга	кВ	12
	Число та номінальний перетин струмопровідних жил	мм ²	3 х 50
	Товщина ізоляції	мм	3.4
	Мінімальний перетин екрану	мм ²	16
	Допустимий струм короткого замикання по екрану мінімального перетину	кА	3.3
	Максимально допустимий струм короткого замикання по струмопровідній жилі	кА	4.7
Тривало допустимі струмові навантаження *			
• при прокладанні у повітрі		А	158
• при прокладанні в ґрунті		А	140
Рівень часткових розрядів при номінальній напрузі, не більше		рС	6
Максимально допустима температура жили			
• тривало		° С	+90
• в аварійному режимі		° С	+130
• при короткому замиканні		° С	+250
Діапазон робочих температур		° С	-60 ... +50

Рисунок 2.3 – Конструкція кабелю АПвЭгаПу-10 3×50

Високовольтний вимикач вибирається відповідно до номінальної напругою і струмом з урахуванням можливості протидії величинам струму короткого замикання:

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}; \quad (2.17)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{max}}; \quad (2.18)$$

Комплектація РП 10 кВ ПС передбачає застосування вакуумних вимикачів типу ВРС-10-40/400 УЗ з такими технічними характеристиками: $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$; $I_{\text{н}} = 40 \text{ кА}$; $I_{\text{ном.в}} = 400 \text{ А}$; $i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$; $I_{\text{тер}} = 10 \text{ кА}$; $t_{\text{тер}} = 4 \text{ с}$ [11]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{\text{ном.в}} = 400 \text{ А} > I_{\text{м.ав}} = 187,9 \text{ А}$ для всіх приєднань до ЦРП.

З метою перевірки раніше обраних силових вимикачів та ліній живлення необхідно здійснити розрахунок струмів КЗ [12]. Розрахункова схема представлена на рисунку 2.4.

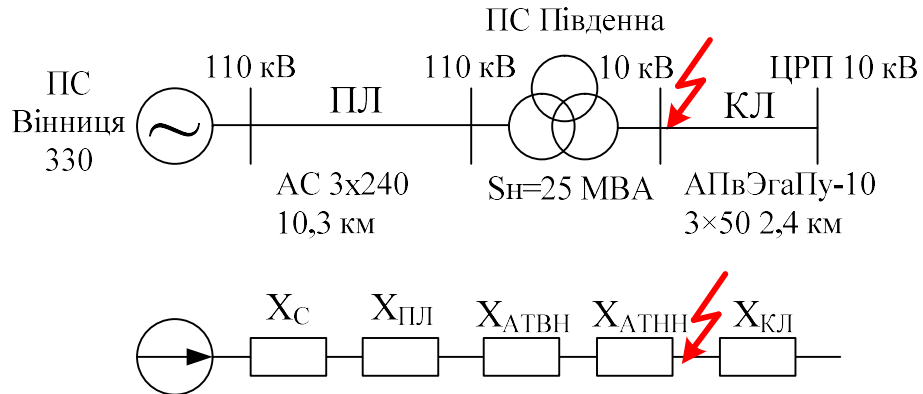


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема визначення струмів КЗ

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_T = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{110}{10} = 11, \quad (2.19)$$

Опір системи приведений до напруги 10 кВ:

$$X_c = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot I_K} \cdot \frac{1}{t_T^2} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 17772} \cdot \frac{1}{11^2} = 0,03 \text{ (Ом)}. \quad (2.20)$$

Довжина ЛЛ АС-240 від «Вінниця-300» до ПС «Південна»:

$$L_1 = 5,826 + 1,414 + 3,06 = 10,3 \text{ (км)}.$$

Опір ЛЛ:

$$X_{ЛЛ} = x_0 \cdot L_1 \cdot \left(\frac{U_B}{U_{с.н.ЛЛ}} \right)^2 = 0,4 \cdot 10,3 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,034 \text{ (Ом)}.$$

Опір автотрансформатора:

$$u_{KB} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-H\%} + u_{KB-C\%} - u_{KC-H\%}), \quad (2.21)$$

$$u_{KH} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-C\%} + u_{KC-H\%} - u_{KB-H\%}), \quad (2.22)$$

$$u_{KB} \% = 0,5 \cdot (35 + 10,5 - 24) = 10,5 \text{ (%)},$$

$$u_{KH} \% = 0,5 \cdot (-10,5 + 24 + 35) = 24,25 \text{ (%)},$$

$$x_{ATBC} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{(10,5 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 0,42 \text{ (Ом)},$$

$$x_{ATBH} = \frac{24,25}{100} \cdot \frac{(10,5 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 0,97 \text{ (Ом)}.$$

Сумарний опір від системи до точки К:

$$x_{\Sigma} = x_C + x_{ПЛ} + x_{AT} = 0,03 + 0,034 + 0,42 + 0,97 = 1,454 \text{ (Ом)}.$$

Початкове діюче значення струму трифазного КЗ:

$$I_{п0} = \frac{U_{c.н}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,454} = 4,2 \text{ (кА)}. \quad (2.23)$$

Приймаємо час вимкнення силового вимикача 10 кВ рівним $t_{B.B} = 0,15 \text{ с}$.

Розрахуємо час початку розмикання:

$$t_{від} = t_{рз.мін} + t_{B.B}, \quad (2.24)$$

$$t_{від} = 0,01 + 0,15 = 0,16 \text{ (с)}.$$

Постійна часу аперіодичної складової: $T_{ac} = 0,03 \text{ (с)}$.

Періодична складова струму від системи не зміниться:

$$I_{нт_c} = I_{но.c} = 4,2 \text{ (кА)}.$$

Аперіодична складова струму КЗ при $\tau = 0,16 \text{ с}$:

$$i_{ат_c} = \sqrt{2} \cdot I_{но.c} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}}, \quad (2.25)$$

$$i_{ат_c} = \sqrt{2} \cdot 4,2 \cdot e^{-\frac{0,16}{0,03}} = 0,29 \text{ (кА)}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{уд.c} = \sqrt{2} \cdot I_{но.c} \cdot \left(1 + e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}} \right), \quad (2.26)$$

$$i_{уд.с} = \sqrt{2} \cdot 4,2 \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} \right) = 10,1 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_k = I_{по.с}^2 \cdot (t_{від} + T_{асх}), \quad (2.27)$$

$$B_k = 4,2^2 \cdot (0,6 + 0,03) = 11 \text{ (кА}^2\text{с)}.$$

Виконаємо перевірку обраних вимикачі типу ВРС-10 на комутаційну здатність і стійкість до дії струмів КЗ. Результати перевірки в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів 10 кВ

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 40 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 4,2 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 40 = 56,6 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 4,2 + 0,29 = 6,2 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 10,1 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 4,2 \text{ (кА)}$
$B_k = I_{по}^2 t_{по}$	$I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k = 11 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$s = 50 \text{ (мм}^2\text{)} \geq s_{\min} = \frac{4,2\sqrt{0,6}}{94} = 34,4 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Умова виконується, отже живлячі кабелі АПвЭгаПу-10 3х50 вибрані вірно.

Схема підприємства показана на рисунку 2.5.

У таблиці 2.9 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

Таблиця 2.9 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

Лінія	I_p , А	I_{pa} , А	Вимикач	$I_{ном}$, А	Провідник	S , мм ²	$I_{доп}$, А
ПС–ЦРП 10 кВ	5,77	18,6	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×50	152
ЦРП –ТП-1	30	60	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	129
ЦРП –ТП-2	33	66	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	129

Таким чином, розроблена схема електропостачання не лише дозволяє забезпечити безпечну та безперебійну роботу основного виробництва, але й сприяє зниженню енерговитрат, оптимізації резервів, покращенню експлуатаційних характеристик системи та зменшенню ризиків аварійних відключень.

2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху

Для живлення електроприймачів (ЕП) цеху буде використано розподільчі пункти (РП1,2) рисунок 2.6.

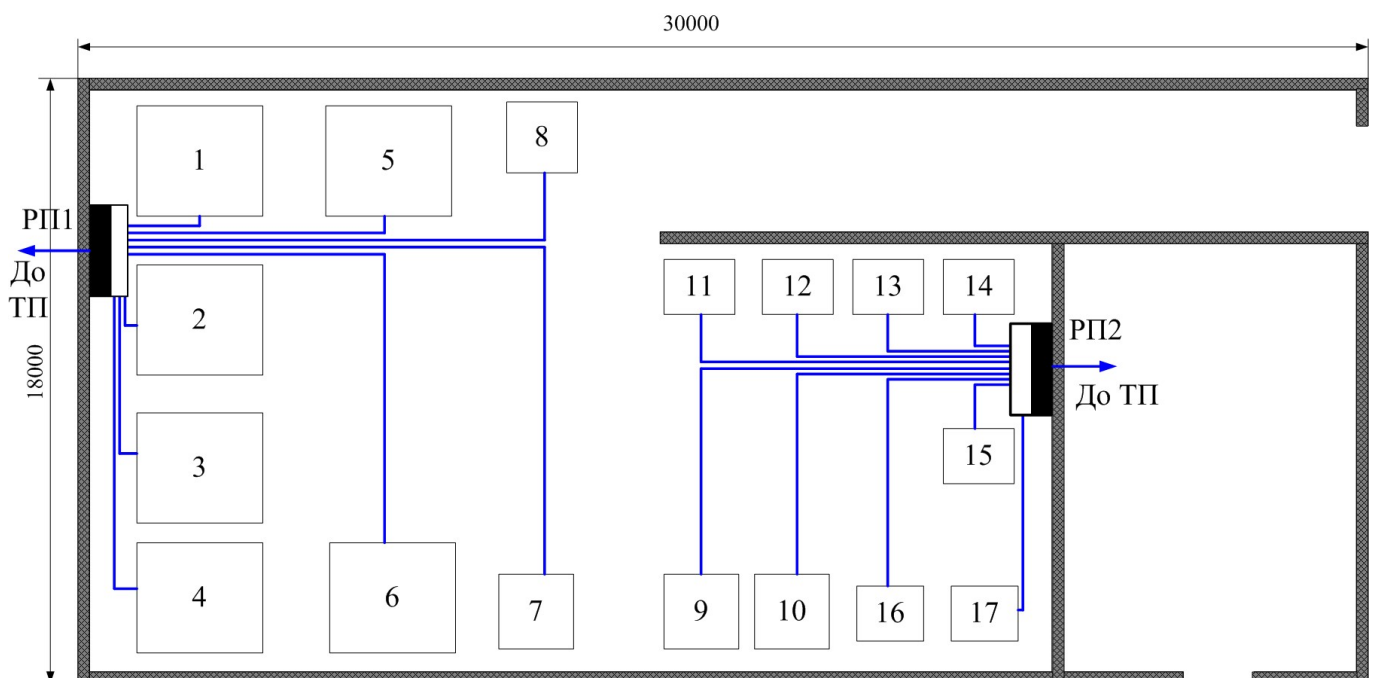


Рисунок 2.6 – План постачання цеху обробки сировини (№13 на генплані)

Проектування та розробка схеми живлення навантаження цеху є важливим етапом при введенні в експлуатацію нового обладнання, оскільки схема мережі цеху

має відповідати всім нормам та відповідати вимогам усіх виробничих процесів. При виборі оптимальної схеми необхідно враховувати такі фактори, як [8]: максимальне навантаження, потужність, розподіл та час роботи джерел живлення та навантаження, що забезпечують необхідний рівень надійності та ефективності.

В таблиці 2.10 наведені формули згідно [7] використовуючи які можна виконати розрахунок цехової мережі.

Таблиця 2.10 – Послідовність формул для розрахунку навантажень цехової мережі

Назва параметра	Формула	Приклад розрахунку для РП-1
Розрахункове активне навантаження окремого ЕП, кВт	$P_p = P_H$	
Розрахункове реактивне навантаження окремого ЕП, квар	$Q_p = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H$	
Середня активна потужність, кВт	$P_C = K_B \cdot P_H$	$P_C = 8,4 + 5,55 + 1,35 + 6,6 + 11,1 = 33$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi$	$Q_C = 9,82 + 7,4 + 1,01 + 6,73 + 6,88 = 31,85$
Груповий коефіцієнт використання	$K_B = \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} / \sum_{i=1}^n P_{Hi}$	$K_B = \frac{33}{113,4} = 0,29;$
Ефективне число ЕП, шт.	$n_e = \left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{Hi}^2$	$n_e = \frac{113,4^2}{1878,18} = 6$
Розрахунковий коефіцієнт, береться з [6] таблиці 1.1	$K_p = f(K_B; n_e)$	$K_p = 1,8$
Розрахункове активне навантаження магістральних шинопроводів, кВт	$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}$	
Розрахункове реактивне навантаження магістральних шинопроводів, квар	$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi$	
Розрахункове активне навантаження для живлячої мережі, кВт	$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}$	$P_p = 1,28 \cdot 33 = 42,24$
Розрахункове реактивне навантаження для живлячої мережі, квар	$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e \leq 10, \\ 1,0 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e > 10; \end{cases}$	$Q_p = 1,1 \cdot 31,85 = 35,03$
Значення повної розрахункової потужності, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{42,24^2 + 35,03^2} = 54,88$
Розрахунковий струм лінії, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}$	$I_p = \frac{54,88}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 83,37$

Алгоритм визначення розрахункового навантаження цехових мереж має такий вигляд (таблиця 2.1). Спочатку вибирається схема мережі виробничого цеху з урахуванням таких факторів, як розташування найближчої до споживача точки під'єднання живлення та споживачів потужністю 55 кВт і більше, живляться безпосередньо від трансформаторної підстанції.

Результат розрахунку цехової мережі представлено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок електричних навантажень цехової мережі напругою до 1000 В

Вихідні дані							Розрахункові величини			n _e	K _p	Розрахункові навантаження			
Завдання технологів				Довідкові дані			P _c	Q _c	n×P ² _H			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А
Найменування ЕП	n	P _H , кВт	n×P _H , кВт	K _B	cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП 1															
Відділював 1,2	2	12	24	0,35	0,65	1,17	8,4	9,82	288						28,0
Подрібнювач 3	1	18,5	18,5	0,3	0,6	1,33	5,55	7,4	342,25						46,8
Мийка 4	1	4,5	4,5	0,3	0,8	0,75	1,35	1,01	20,25						8,5
Дозувальна машина 5,6	2	11	22	0,3	0,7	1,02	6,6	6,73	242						23,9
Вакуум-фільтр 7,8	2	22,2	44,4	0,25	0,85	0,62	11,1	6,88	985						39,7
Всього РП 1	8		113,4	0,29			33	31,85	1878,18	6	1,28	42,24	35,03	54,88	83,37
РП 2															
Вентилятор 9,10	2	1,1	2,2	0,65	0,8	0,75	1,43	1,07	2,42						2,1
Дозрівач 11,12	2	24	48	0,25	0,85	0,62	12	7,44	1152						42,9
Мішалка 13	1	13	13	0,4	0,6	1,33	5,2	6,93	169						32,9
Циклон 14	1	1,5	1,5	0,3	0,65	1,17	0,45	0,53	2,25						3,5
Класифікатор 15р	1	7,5	7,5	0,35	0,85	0,62	2,63	1,63	56,25						13,4
Міксер 16	1	7,5	7,5	0,3	0,65	1,17	2,25	2,63	56,25						17,5
Вібратор 17	1	18,5	18,5	0,25	0,65	1,17	4,63	5,51	342,25						43,2
Всього ПРП 2	9		98,2	0,29			28,58	25,63	1780,42	5	1,35	38,58	28,2	47,79	72,61
Всього цеху	17		211,6	0,29			61,58	57,48	3658,6	12	1,08	66,51	57,48	87,9	133,55

Раніше у роботі було обрано радіальну схему цехової мережі, оскільки вона забезпечує надійніше електроживлення (рисунок 2.1). РП 1,2 виробничого цеху заживлено від ТП за допомогою кабелів АВВГ прокладених відкрито. Приєднання під РП до ЕП здійснюється провідником АПВ прокладених в трубі.

Для захисту ліній доцільно використати вимикачі від виробника ЕТІ типу ЕВ2 та ЕВ [13] з тепловими і електромагнітним та напівпровідниковим розчіплювачем.

Вибір АВ повинен відбуватися з дотриманням наступних умов [7]:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p, \quad (2.29)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_{п}, \quad (2.30)$$

$$I_{н.вдк} \geq I_{к.мах}^{(3)}. \quad (2.31)$$

Проводимо вибір АВ для захисту лінії яка живить ЕП-1.

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n}; \quad (2.32)$$

$$I_p = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 28 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм приймаємо рівним:

$$I_{п} = 5 \cdot I_m = 5 \cdot 28 = 140 \text{ (A)}. \quad (2.33)$$

Для захисту ЕП-1 доцільно встановити АВ з напівпровідниковим розчіплювачем. Обраний АВ повинен задовольняти наступним умовам перевірки:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} I_m = 1 \cdot 28 = 28 \text{ (A)};$$

$$I_{с.в.} \geq K_n I_{п} = 1,5 \cdot 140 = 210 \text{ (A)}.$$

Отже вибираємо автоматичний вимикач ЕВ100/3L 32А 3р серії економ з номінальним струмом АВ 32 А, у якого номінальний струм спрацювання розчіплювача 32 А та струмом СВ - 300 А.

Виберемо АВ для лінії від ТП до РП-1.

Згідно [10] пусковий струм РП визначаємо за формулою:

$$I_{п} = I_p - K_b \cdot I_{н.мах} + I_{п.мах}; \quad (2.34)$$

$$I_{п} = 83,37 - 0,7 \frac{22,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 0,85} + 5 \frac{22,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 375,5 \text{ (A)};$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії EB2 250/3E 125A з номінальним струмом АВ 125 А, у якого номінальний струм спрацювання розчіплювача 125 А та струмом СВ - 700 А.

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} I_M = 1,1 \cdot 83,37 = 91,7 \text{ (А)};$$

$$I_{с.в.} \geq K_{н-п} I_n = 1,5 \cdot 134,14 = 201,6 \text{ (А)}.$$

Аналогічно вибирається автоматичний вимикач для решти споживачів у спроектованій мережі цеху. Результати цих розрахунків представлені у таблиці 2.2.

У мережах з напругою до 1000 В переріз проводів лінії живлення вибирається в залежності від допустимого значення нагріву

$$I_{доп} \geq I_p \text{ (А)}.$$

Відповідно вимог вибираємо такі способи прокладки ліній живлення:

- від ТП до РП-1, РП-2 прокладка кабелю з алюмінієвими жилами з ПВХ ізоляцією в полівінілхлоридній облонці (АВВГ);
- від РП 1,2 до ЕП 1-17 прокладка кабелю з алюмінієвими жилами з ПВХ ізоляцією в полівінілхлоридній облонці (АВВГ);

Для живлення РП-1 вибираємо кабель типу АВВГ 4х50, при прокладці у трубі ПВХ в підлозі $I_{доп} = 132 \text{ А}$.

Для живлення ЕП-1 вибираємо кабель типу АВВГ 4х6, при прокладці в сталених рукавах $I_{доп} = 40 \text{ А}$.

Перевіримо втрату напруги в лінії, що живить ЕП-2:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{пит} + Q_p \cdot X_{пит}}{U_n} \cdot l; \quad (2.35)$$

$$\Delta U_{ТП-РП-1} = \frac{42,24 \cdot 3,84 + 35,03 \cdot 0,088}{380} \cdot 30 = 9,68 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{РП-1-ЕП-2} = \frac{12 \cdot 3,84 + 12 \cdot 1,17 \cdot 0,088}{380} \cdot 10,3 = 2,16 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{ТП-ЕП-2} = 9,68 + 2,16 = 11,84 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\%ТП-ЕП-2} = \frac{11,84}{380} \cdot 100 = 3,1\%. \quad (2.36)$$

Ця величина падіння напруги лінії електропередачі відповідає нормованому значенню. Розрахунки та вибір обладнання для інших ЕП виконуються аналогічним чином. Результати вибору і перевірки всього обладнання електропостачання цеху наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – АВ та КЛ цехової мережі напругою до 1000 В

Найменування ЕП	I_p, A	I_n, A	Тип АВ	$I_{ном}, A$	$I_{розч}, A$	$I_{св}, A$	Тип ЛЖ	$S, мм^2$	спос. прок.	$I_{доп}, A$
РП 1	83,4	375,2	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х50	В землі	132
РП 2	72,61	326,7	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	АВВГ	4х50	В землі	132
Відділювач 1,2	28,0	140,2	ЕВ 100/3L 32А	32	32	300	АВВГ	4х6	Відкрито	40
Подрібноувач 3	46,8	234,2	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
Мийка 4	8,5	42,7	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
Дозувальна машина 5,6	23,9	119,4	ЕВ 100/3L 32А	32	32	300	АВВГ	4х6	Відкрито	40
Вакуум-фільтр 7,8	39,7	198,4	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
Вентилятор 9,10	2,1	10,4	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
Дозрівач 11,12	42,9	214,5	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
Мішалка 13	32,9	164,6	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80
Циклон 14	3,5	17,5	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
Класифікатор 15	13,4	67,0	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
Міксер 16	17,5	87,7	ЕВ 100/3L 25А	25	25	250	АВВГ	4х4	Відкрито	26
Вібратор 17	43,2	216,2	ЕВ 100/3L 63А	63	63	300	АВВГ	4х25	Відкрито	80

Виконаємо розрахунок струмів КЗ для ділянки, що живить ЕП-1. Складемо розрахункову схему рисунок 2.7.

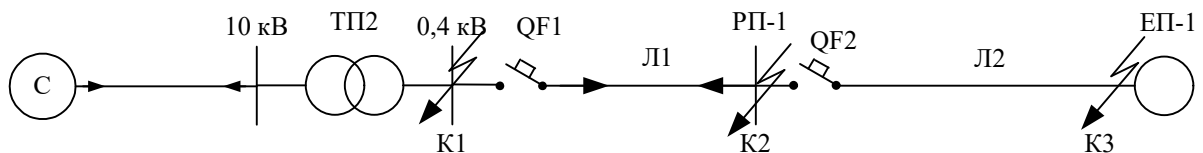


Рисунок 2.7 – Схема електропостачання ЕП-1

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_r = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{10}{0,4} = 25, \quad (2.37)$$

Визначаємо опір системи:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 1,016 \text{ (МОм)}. \quad (2.38)$$

де С - коефіцієнт напруги джерела живлення;

Активний і реактивний опір системи знаходиться:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (мОм)}, \quad (2.39)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (мОм)}. \quad (2.40)$$

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{380^2}{1000 \cdot 10^3} = 7,9 \cdot 10^{-3} = 7,9 \text{ (мОм)}.$$

Визначаємо опори ліній Л2, Л3:

$$Z_{Л2} = Z_{ТП-РП-1} = \sqrt{R_{\text{пит}}^2 + X_{\text{пит}}^2} l = \sqrt{0,769^2 + 0,066^2} \cdot 30 = 23,2 \text{ (мОм)}.$$

$$Z_{Л3} = Z_{РП1-ЕП-1} = \sqrt{6,41^2 + 0,094^2} \cdot 3 = 19,23 \text{ (мОм)}.$$

Значення струму при трифазному “металевому” КЗ визначаємо за формулою:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}};$$

- для точки К1:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 7,9} = 29,2 \text{ (кА)};$$

- для точки К2:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (7,9 + 23,2)} = 7,41 \text{ (кА)};$$

- для точки К3:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (7,9 + 23,2 + 19,23)} = 4,56 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вимикачі на комутаційну здатність:

QF1: EB2 250/3E 125A:

$$I_{\text{н.відк}} = 36 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 29,2 \text{ (кА)}.$$

QF2: EB 100/3L 32A 3p:

$$I_{н.відк} = 16 \text{ (кА)} > I_{к.мах}^{(3)} = 7,41 \text{ (кА)}.$$

Перевірка чутливості захисту та селективності заводської мережі. Для перевірки чутливості захисту необхідно визначити струм однофазного замикання точок КЗ, вказаних на рисунку 2.2.

$$I_{к}^{(1)} = \frac{U_{ф.ном}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{ф-н} \cdot 1}; \quad (2.41)$$

- для точки К2:

$$I_{к}^{(1)} = \frac{220}{\frac{26,4}{3} + 30 \cdot 2,22} = 2,918 \text{ (кА)};$$

- для точки К3:

$$I_{к}^{(1)} = \frac{220}{\frac{26,4}{3} + 30 \cdot 2,22 + 3 \cdot 14,43} = 1,854 \text{ (кА)};$$

Перевіримо чи виконується умова:

$$I_{н.розч} \leq \frac{I_{к.мін}^{(1)}}{3};$$

- для точки К2:

$$I_{н.розч} = 125(A) \leq I_{к}^{(1)} = \frac{2918}{3} = 973 \text{ (A)};$$

- для точки К3:

$$I_{н.розч} = 32(A) \leq I_{к}^{(1)} = \frac{1854}{3} = 618 \text{ (A)};$$

Умови перевірки АВ виконуються.

Виконаємо перевірку на селективність для вимикачів, що захищають лінії ТП–РП-3(вимикач 1), РП-1-ЕП-1(вимикач 2)

$$\begin{cases} 700(\text{A}) > (1,3 \cdot 1,5) \cdot 300 = 390 \dots 450(\text{A}), \\ t_{c.B2} = 0,015 + 0,1 = 0,115(\text{с}), \\ t_{c.B1} = 0,115 + 0,1 = 0,215(\text{с}). \end{cases}$$

Умови селективності по струму виконуються.

Побудуємо карту селективності дії захисту для даних вимикачів рисунок 2.8.

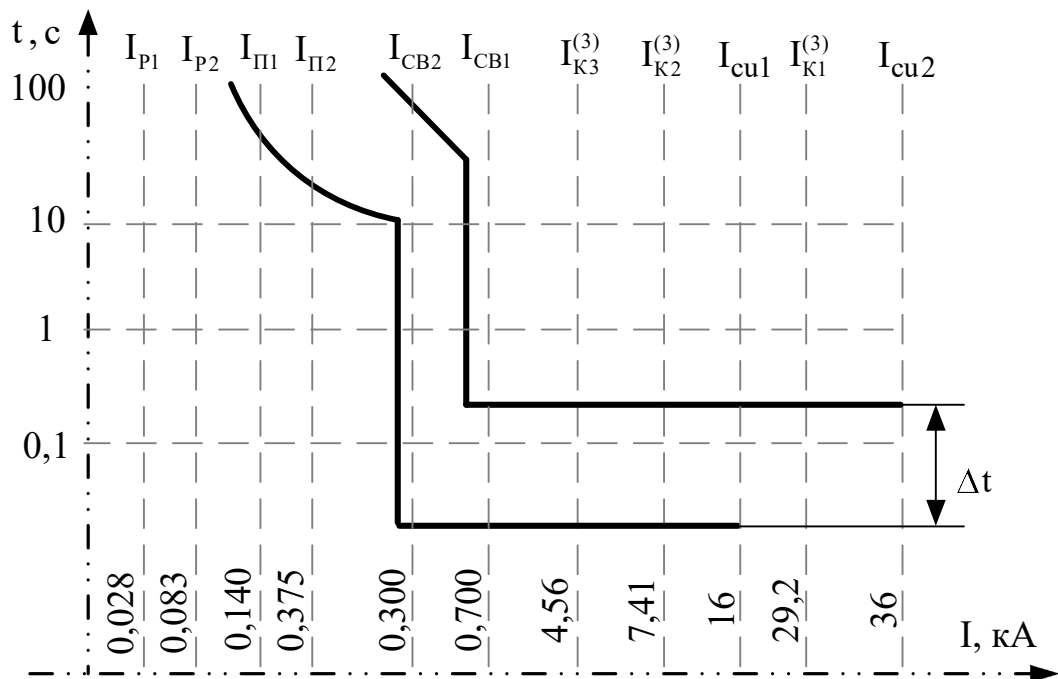


Рисунок 2.8 – Карта селективності дії захисту

Отже апарати налагоджені на селективну роботу.

Висновки по розділу 2.

У даному розділі бакалаврської дипломної роботи проведено удосконалення системи електропостачання для виробничих потужностей ТОВ «Авіс». В результаті виконаних інженерних завдань були сформовані ключові проектні рішення, які визначають загальну концепцію енергозабезпечення об'єкта:

- виконано детальний розрахунок електричних навантажень окремого цеху та всього підприємства, що дозволило визначити необхідні параметри живлення;

- переріз зовнішньої кабельної лінії на напрузі 10 кВ повинен бути 3х50 мм², а сама кабельна лінія виконана алюмінієвим кабелем з ізоляцією із зшитого поліетилену типу АПвЭгаПу-10 довжиною 2400 м від ПС «Південна»;

- вибрано тип, кількість і номінальну потужність трансформаторних підстанцій, а також їх розташування з урахуванням особливостей генерального плану підприємства та мінімізації втрат потужності. Для СЕП підприємства доцільно встановити дві двотрансформаторні підстанції з ТМ-1000/10;

- аналіз засобів захисту показав що на стороні 10 кВ доцільно встановити вакуумні вимикачі ВРС-10;

- розраховано силові електричні навантаження цеху обробки сировини та обрано усю необхідну захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію для живлення ЕП цеху. Проведено розрахунок струм КЗ та здійснено перевірку обраного обладнання.

Запропоновані рішення враховують специфіку виробничих процесів, вимоги безпеки, нормативні документи та забезпечують підвищену надійність і енергоефективність електропостачання на всіх рівнях.

3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА

Кабельні лінії є основним способом передавання електроенергії в межах промислових підприємств, оскільки вони забезпечують компактне, безпечне та надійне прокладання електромереж у ґрунті, тунелях або кабельних естакадах [4]. Їх широке застосування обумовлене низкою переваг: захищеністю від атмосферних впливів, низьким рівнем електромагнітних завад, зменшеним ризиком механічних пошкоджень у порівнянні з повітряними лініями, а також можливістю прокладання в обмежених умовах міської чи заводської забудови [17]. Однак, у процесі тривалої експлуатації, кабельні мережі піддаються старінню ізоляції, термічним і механічним перевантаженням, впливу вологи, корозії та недопустимому вигину, що в результаті може призвести до внутрішніх дефектів або повного міжфазного короткого замикання. Виявлення місця пошкодження в таких мережах є складною задачею, яка вимагає застосування спеціалізованих методів і приладів. Несвоєчасне або неточне виявлення місця аварії призводить до значних простоїв, порушення виробничого процесу, втрат продукції та фінансових збитків. Саме тому тема аналізу методів пошуку пошкоджень у кабельних мережах є вкрай актуальною, оскільки напряду пов'язана з підвищенням надійності систем електропостачання, скороченням часу локалізації аварій та покращенням загальної експлуатаційної ефективності енергетичної інфраструктури підприємства.

Кабельні лінії електропередач зазнають пошкоджень через механічні, температурні, вологісні, монтажні дефекти або старіння ізоляції [18]. Найпоширенішими є однофазні, міжфазні замикання, розтяжки жил, а також дефекти зовнішньої оболонки. Визначення виду пошкодження здійснюється шляхом вимірювання перехідного опору між жилами та оболонкою кабелю з використанням омметра, мегаомметра або високовольтних випробувальних установок. Для кожного типу дефекту характерні певні електричні ознаки, умови виявлення та наслідки для кабельної лінії.

В таблиці 3.1 представлено аналіз видів пошкодження КЛ.

Таблиця 3.1 – Аналіз видів пошкодження КЛ

Тип пошкодження	Основна причина	Електричні ознаки	Наслідки	Складність виявлення
Однофазне замикання	Пробій ізоляції однієї жили на оболонку	Перехідний опір: від Ом до сотень МОм	Часткове знеструмлення, ризик пробою	Середня (омметр, мегаомметр, іноді – ВВУ)
Міжфазне замикання	Пробій між жилами, іноді з оболонкою	Опір близький до нуля або кілька кОм	Повне КЗ, можливий перегрів і обрив кабелю	Середня, іноді складна через варіації опору
Розтяжка (розрив) жил	Зсув ґрунту, механічні впливи	Різке підвищення опору або обрив ланцюга	Порушення цілісності, втрата живлення	Висока (візуальна або імпульсна локалізація)
Пошкодження зовнішньої оболонки	Механіка, волога, монтажні дефекти	Часто без змін опору до пробою	Корозія оболонки, втрата герметичності	Висока (визначається тільки за певних умов)

Для попереднього визначення типу пошкодження силових кабельних ліній застосовуються пересувні вимірювальні лабораторії, оснащені стаціонарним і переносним діагностичним обладнанням [19]. Після забезпечення електробезпеки виконуються вимірювання опору ізоляції між жилами та між жилами й оболонкою за допомогою омметра або мегаомметра. Це дозволяє виявити більшість однофазних і міжфазних пошкоджень. У випадках, коли опір надто високий і стандартні прилади не дають результату, застосовують високовольтні установки постійного струму, що дає змогу локалізувати складні дефекти, включаючи пробої ізоляції, розриви жил і пошкодження в муфтах.

Методи виявлення пошкоджень кабельних ліній класифікуються на відносні та абсолютні, причому їх різноманітність обумовлена широким спектром типів пошкоджень (наприклад, однофазні замикання, міжфазні пробої, високорезистивні дефекти, розриви жил), конструктивними особливостями кабелів, варіантами прокладання (ґрунтові, тунельні, міські комунікації), а також умовами експлуатації. Відносні методи (імпульсний, коливального розряду, хвильовий, петльовий) дозволяють попередньо визначити протяжність до зони дефекту на основі електрофізичних параметрів кабелю, тоді як абсолютні методи (акустичний, індукційний, електроакустичний) забезпечують точне визначення просторових координат місця пошкодження безпосередньо на трасі. Наявність різних методів є технічно доцільною, оскільки кожен з них орієнтований на певний тип

пошкодження та умови доступу, що забезпечує необхідну точність діагностики та ефективність локалізації дефекту при мінімальних витратах часу та ресурсів [20].

Методи визначення місць пошкодження кабелів представлено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Методи визначення місць пошкодження кабелів

Імпульсний метод.

Імпульсний метод застосовується для визначення відстані до місця пошкодження кабельної лінії, коли перехідний опір у зоні дефекту не перевищує 150–200 Ом. Метод неефективний для "запливаючих пробоїв", але широко використовується у випадках коротких замикань, обривів жил або розтяжок [19].

Принцип дії полягає у подачі зондувального електричного імпульсу в пошкоджену жилу кабелю. Імпульс поширюється по лінії, частково відбивається від місць зміни хвильового опору (наприклад, місця пошкодження, муфти, кінці лінії) і повертається до вимірювального приладу. За затримкою часу між посиленням та поверненням імпульсу, а також за його формою, можна визначити як відстань до

дефекту, так і його характер.

Відстань до пошкодження обчислюється за формулою:

$$L = \frac{v \cdot t}{2}; \quad (3.1)$$

де $v \approx 160 \text{ м/мкс}$ – швидкість поширення імпульсу в кабелі;

t – час проходження імпульсу в обидва боки.

Схема підключення приладу для імпульсного методу наведена на рисунку 3.2.

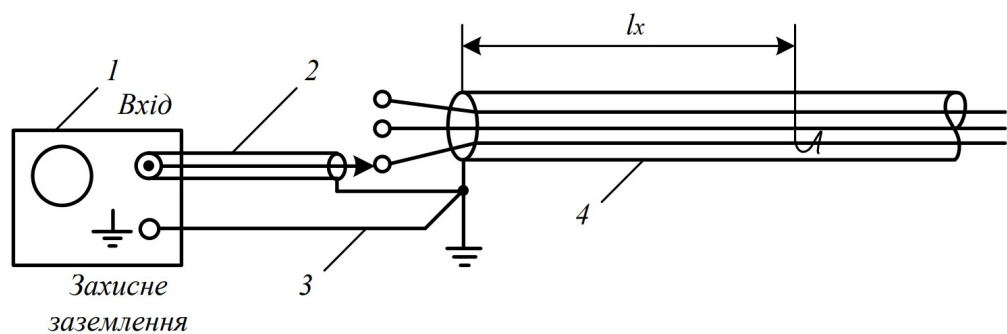


Рисунок 3.2 – Схема підключення вимірника неоднорідності лінії до пошкодженого кабелю: 1 - вимірник неоднорідності лінії Р5-10, Р5-11; 2 - сполучний кабель; 3 - провід захисного заземлення; 4 - пошкоджений кабель

На екрані рефлектометра (наприклад, РЕЙС-105Р або Р5-10, Р5-11) імпульси відображаються у вигляді відхилень. При обриві жили — викид угору (позитивна полярність), при короткому замиканні — вниз (негативна полярність). У випадках значних електромагнітних завад або високого опору пошкодження може бути використаний режим порівняння імпульсних характеристик справної та дефектної жил.

Імпульсні характеристики кабельної лінії з різними видами пошкоджень показані на рисунку 3.3:

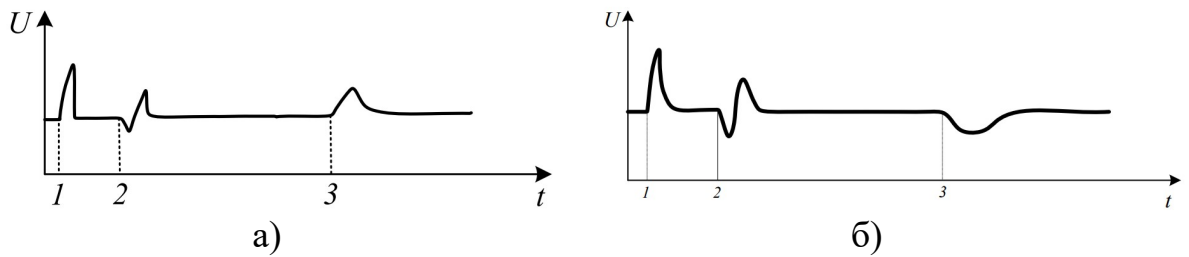


Рисунок 3.3 – Імпульсна характеристика кабельної лінії при: а - виміри відстані до обриву чи повної довжини кабелю; б - виміри відстані до короткого замикання в кабелі; 1 - початок кабельної лінії; 2 - відображення імпульсу від муфти; 3 - відображення імпульсу від обриву чи повної довжини кабельної лінії

Метод дозволяє з високою точністю (до 1 м) локалізувати пошкодження в кабельних мережах напругою до 10 кВ, є швидким, неінвазивним і зручним для попередньої діагностики перед застосуванням більш спеціалізованих методів.

Метод коливального розряду.

Метод коливального розряду використовується для визначення відстані до пошкодження в кабельних лініях у випадках, коли перехідний опір у місці дефекту має дуже високе значення (десятки–сотні МОм), що характерно для так званих «запливаючих пробоїв» [19]. Суть методу полягає в подачі на пошкоджену жилу високої напруги з випробувальної установки до моменту пробою ізоляції. У результаті пробою в кабелі виникає затухаючий електромагнітний коливальний процес, хвилі якого поширюються в обидві сторони від точки пошкодження.

Початок і відбиття цих хвиль фіксуються вимірювальним пристроєм (наприклад, ЦР200), що дозволяє за часовими мітками та відомою швидкістю поширення хвилі ($v \approx 160$ м/мкс) точно обчислити відстань до місця дефекту. Для уникнення помилкових спрацювань від сторонніх відбиттів (муфт, неоднорідностей) сучасні прилади мають функції регулювання рівня спрацювання та введення затримок імпульсів.

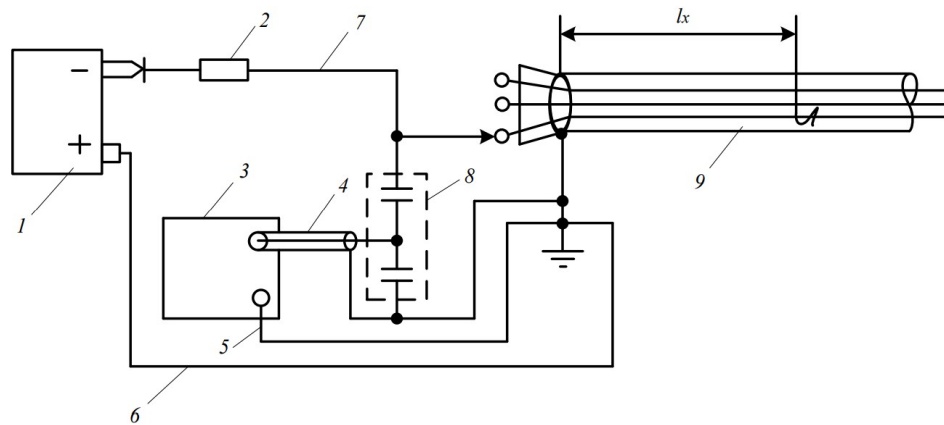


Рисунок 3.4 – Схема підключення приладів при вимірі відстані до місця "запливаючого" пробоя в трифазному кабелі: 1 - високовольтна випробувальна установка; 2 - зарядний резистор; 3 - вимірник відстані до місця пошкодження в кабелі ЦР200; 4 - сполучний кабель; 5 - провід захисного заземлення вимірника ЦР200; 6 - ланцюг заземлення високовольтної випрямної установки; 7 - провід високої напруги; 8 - приєднувальний пристрій; 9 - пошкоджений силовий кабель

Типова еюра коливального процесу, що реєструється при пробі, наведена на рисунку 3.5, де вказані характерні часові моменти t_0 – t_3 , за якими визначається відстань до пошкодження.

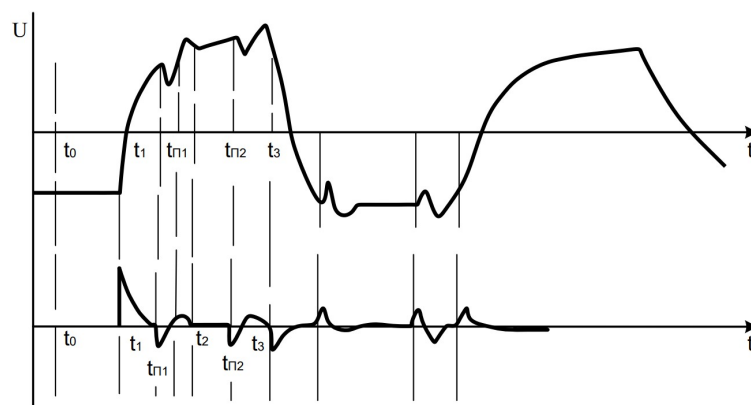


Рисунок 3.5 – Еюри напруг коливального процесу при пробі зарядженої кабельної лінії, зняті на затисках кабелю, і еюри напруг після диференціювання коливального процесу вхідними ланцюгами вимірника:

В даний час для виміру відстані до місця пробоя серійно випускається вимірник відстані до місця пошкодження кабелю ЦР200.

Хвильовий метод.

Хвильовий метод застосовується для визначення місця пошкодження кабельної лінії при перехідному опорі в зоні дефекту від 0 Ом до кількох сотень ком [20]. Метод базується на генерації короткочасної високовольтної хвилі, що надсилається в кабель від зарядженого конденсатора через розрядник. У випадку наявності дефекту хвиля викликає пробій або відбивається від місця пошкодження, формуючи в кабелі коливальний процес.

У разі пробією імпульсна хвиля поглинається в місці пошкодження з певною затримкою (T), після чого частина енергії відбивається назад до конденсатора. У випадку, коли опір у місці дефекту близький до нуля, пробією не відбувається, і хвиля багаторазово відбивається між початком кабелю та місцем замикання. Форма та затримка між хвилями аналізуються на екрані вимірювального приладу (наприклад, ЦР200), що дозволяє визначити відстань до дефекту.

Типова епюра хвильового процесу наведена на рисунку 3.6, де позначено часові інтервали між імпульсами t_0 , t_1 , t_2 , які потрібні для розрахунку відстані.

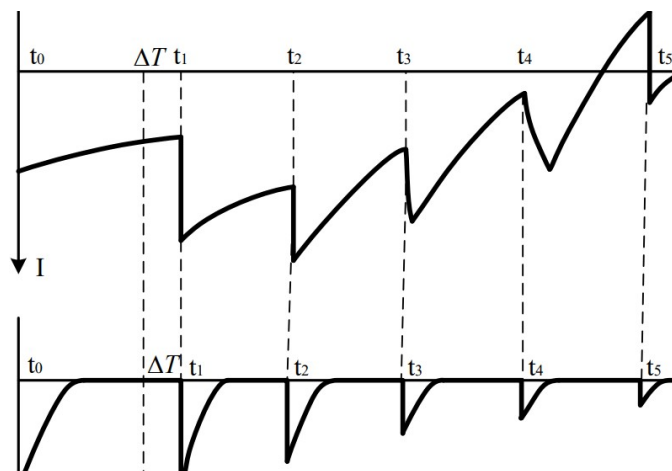


Рисунок 3.6 – Епюри струму в ланцюзі конденсатора і епюри напруги на виході приєднувального пристрою: t_0 - момент часу посылки високовольтної хвилі від зарядженого конденсатора; T - затримка за часом пробією в місці пошкодження; t_1 , t_2 , t_3 , t_4 - момент часу приходу імпульсів струму до початку кабелю, відбитих від місця пошкодження.

Для зменшення впливу відбиттів від з'єднувальних муфт та неоднорідностей хвильового опору в кабелі, сучасні прилади мають можливість регулювання

чутливості та введення програмованих затримок. Це дозволяє уникнути помилкових спрацювань та підвищити точність вимірювання.

Хвильовий метод є ефективним при діагностиці кабельних ліній середньої напруги, особливо у випадках нестабільних дефектів, і дозволяє проводити локалізацію пошкоджень без складних розкопувань кабельної траси.

Петлевий метод.

При визначенні місця пошкодження захисної пластмасової ізоляції використовується петлевий метод. Схема підключення приладів при використанні петлевого методу показана на Рисунок 3.7 [19]. Необхідною умовою для визначення відстані до місця пошкодження пластмасової захисної оболонки є зняття заземлення з кінцевих ланок і повна впевненість у тому, що всі муфти, встановлені по трасі кабелю, ізолювані від землі. У протилежному випадку застосувати петлевої метод неможливо. Схема працює в такий спосіб.

Перемикач встановлюється в положення І. Струм від генератора протікає по ланцюзі: оболонка кабелю, що екранує, (довжина l_x), опір у місці пошкодження і заземлений вивід генератора. При цьому за допомогою вольтметра роблять вимір напруги на ділянці l_x (U_1) і показання його записують. Далі перемикач встановлюють у положення ІІ. При цьому струм від генератора буде протікати по ланцюзі: непошкоджена жила кабелю, що екранує оболонка кабелю (ділянка $L-l_x$), опір у місці пошкодження і заземлений вивід генератора. За допомогою вольтметра роблять вимір падіння напруги на ділянці $L-l_x$ (U_2).

Складається рівняння:

$$\frac{i_x}{L - i_x} = \frac{U_1}{U_2}; \quad (3.2)$$

$$i_x = \frac{L \cdot U_1}{U_1 + U_2}; \quad (3.3)$$

Точність визначення відстані до місця пошкодження пластмасової ізоляції даним методом невелика і складає біля $\pm 15\%$ вимірюваної довжини.

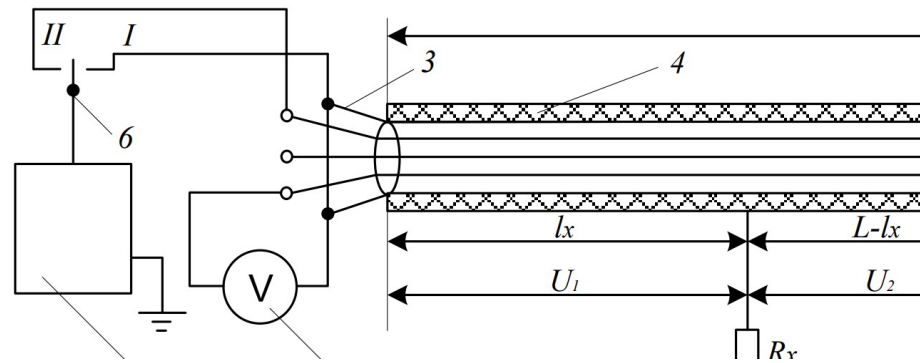


Рисунок 3.7 – Схема підключення приладів і установки закоротки при використанні петлевого методу: 1 - генератор постійного струму; 2 - вимірювальний вольтметр; 3 - алюмінієва оболонка кабелю; 4 - пластмасова оболонка кабелю; 5 - місце пошкодження пластмасової оболонки кабелю; 6 – перемикач

Петлевий метод є ефективним засобом визначення відстані до місця пошкодження зовнішньої пластмасової оболонки кабельної лінії за умови, що всі муфти ізолювані від землі, а кінці лінії не заземлені. Завдяки вимірюванню падінь напруги в обох напрямках кола, метод дозволяє обчислити відстань до дефекту з достатньою точністю без складного обладнання. Він особливо корисний у випадках негерметичних пошкоджень, коли традиційні методи локалізації не дають результату.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз відносних методів

Метод	Тип пошкоджень	Принцип дії	Переваги	Обмеження
Імпульсний метод	Обриви, короткі замикання, розтяжки ($R_p \leq 200 \text{ Ом}$)	Вимір часу між зондувальним та відбитим імпульсом	Висока точність, швидкість, простота інтерпретації	Не працює при високому опорі пошкодження
Метод коливального розряду	Запливаючий пробій (R_p десятки-сотні МОм)	Фіксація коливань після пробою ізоляції та аналіз часових міток	Підходить для нестабільних дефектів високого опору	Вимоги до точного налаштування рівня напруги пробою
Хвильовий метод	Широкий спектр пошкоджень ($R_p \approx 0 - \text{сотні кОм}$)	Створення хвильового процесу з аналізом відбиттів	Ефективний при складних замиканнях та вологих місцях	Чутливість до неоднорідностей хвильового опору
Петлевий метод	Широкий спектр пошкоджень ($R_p \approx 0 - \text{сотні кОм}$)	Порівняння падіння напруги в двох положеннях схеми	Простий у реалізації, не потребує дорогого обладнання	Не застосовується при заземлених кінцях чи муфтах

Акустичний метод.

Акустичний метод є універсальним абсолютним методом визначення місця пошкодження кабельної лінії, що базується на реєстрації звукових коливань, які виникають у результаті іскрового розряду в місці дефекту [19]. Метод дозволяє локалізувати пошкодження будь-якого характеру – від однофазних і міжфазних замикань до обривів жил – з високою точністю, за умови, що перехідний опір у місці дефекту становить десятки Ом і більше.

Суть методу полягає в подачі імпульсної високовольтної напруги на пошкоджену жилу кабелю, що викликає розряд між провідником і оболонкою в зоні пошкодження. Звукові коливання, які при цьому виникають, передаються через ґрунт до поверхні, де виявляються за допомогою акустичних датчиків або стетоскопів. Прилади типу КАИ-80/КАИ-90 дозволяють вести пошук у комбінованому режимі: індукційному та акустичному.

Для підвищення точності визначення місця пошкодження застосовуються двоканальні приймачі (рисунок 3.8), які синхронізують момент пробою з відкриттям каналу прийому звуку, що знижує рівень перешкод.

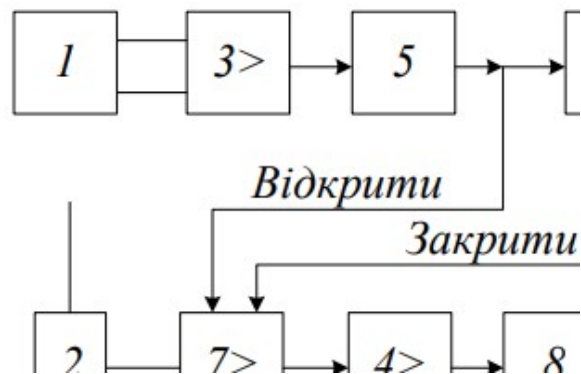


Рисунок 3.8 – Структурна схема двоканального приймача для акустичного методу

Також можливе використання методів за напрямком звуку або вимірювання часу його поширення для уточнення координат дефекту, зокрема в сталевих трубах (рисунок 3.9).

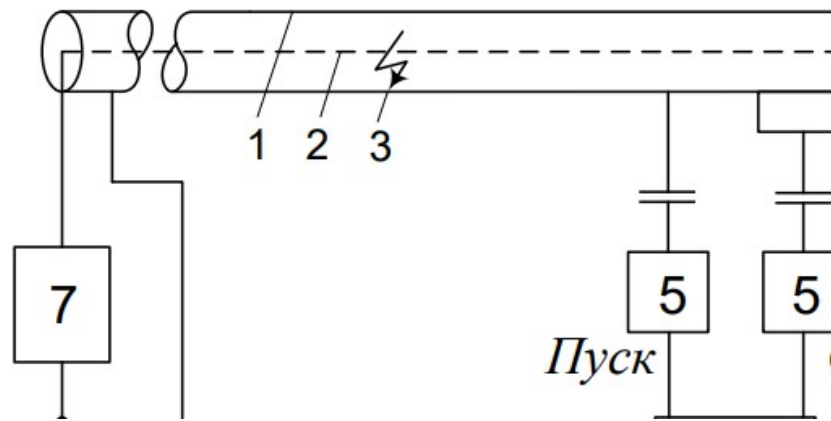


Рисунок 3.9 – Схема виміру відстані, пройденого звуковою хвилею: 1- металева труба кабелю; 2- жила кабелю; 3 - місце пробоя; 4 - акустичний датчик; 5 - блоки пуску й зупинка лічильника; 6 - лічильник; 7 - високовольтна випрямна установка

Найбільш ефективно метод працює у глинистих або бетонованих покриттях, де забезпечується хороша передача звукових коливань. Його ефективність залежить від енергії розряду (типово 200–1000 Дж), яку формують спеціалізовані генератори або конденсаторні батареї. При дуже малому опорі у місці пошкодження або відсутності отвору в оболонці кабелю метод може бути неефективним. Тому акустичний метод зазвичай застосовується після попереднього визначення зони пошкодження за допомогою дистанційних (відносних) методів.

Індукційно-імпульсний метод.

Індукційно-імпульсний метод застосовується для точного визначення місця пошкодження типу "запливаючий пробій" у кабельних лініях [20]. Принцип методу полягає у фіксації напрямку поширення електромагнітних хвиль, що виникають при періодичних іскрових пробоях у кабелі, за допомогою індукційного датчика. Ці хвилі розповсюджуються від місця дефекту в обидва боки, а отже, зміна напрямку початкового фронту хвилі дозволяє ідентифікувати точку пошкодження.

Для створення пробоя пошкоджену жилу заряджають від високовольтної випробувальної установки до виникнення періодичних розрядів. Далі за допомогою кабельного шукача типу КИИ-83 або КИИ-89, який переноситься вздовж траси, фіксується полярність електромагнітного імпульсу. У точці, де знак полярності

змінюється, і знаходиться місце дефекту. Це підтверджується візуальним відхиленням стрілочного індикатора приладу.

Після визначення зони дефекту методом зміни полярності доцільно для уточнення координат застосувати акустичний метод. Така комбінація підвищує точність локалізації пошкоджень, особливо при складних умовах прокладання кабелю.

Індукційний метод.

Індукційний метод ґрунтується на створенні навколо кабелю магнітного поля за рахунок пропускання змінного струму звукової частоти, який фіксується індукційним датчиком. Пошкодження визначається по аномаліях у структурі поля – наприклад, його ослабленні або зникненні [20]. Метод дозволяє встановити: трасу кабелю, глибину прокладання, точне положення пошкодженого кабелю серед інших, міжфазні та однофазні пошкодження.

Для трасування застосовується генератор звукової частоти, що підключається за схемами фаза-земля або між жилами, а сам сигнал реєструється за допомогою індукційного перетворювача. Визначення глибини здійснюється за допомогою повороту датчика під кутом 45° (рисунок 3.10).

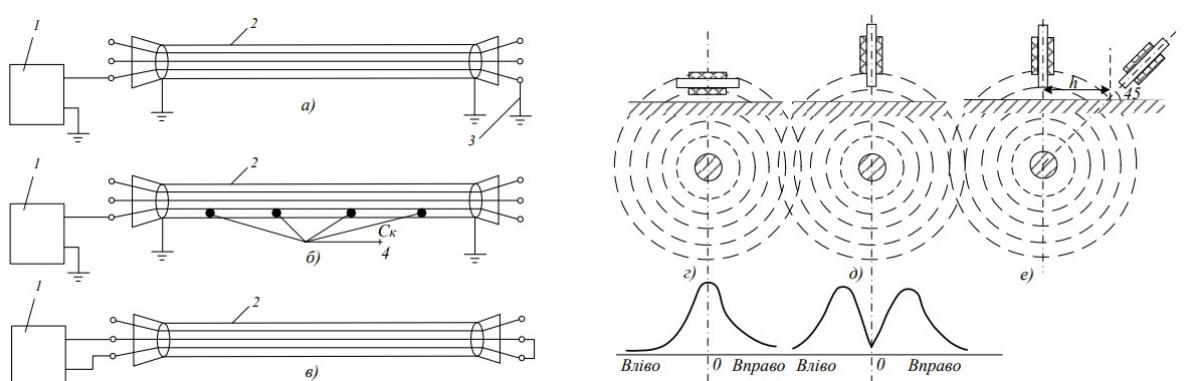


Рисунок 3.10 – Схема підключення генератора при визначенні траси і глибини прокладки кабельної лінії

а - схема визначення траси кабельної лінії на частоті 1000 Гц; б - схема визначення траси кабельної лінії на частоті 10000 Гц; в - схема визначення траси кабельної лінії при включенні генератора на частоту 1000 Гц чи 10000 Гц між двома

жилами кабелю; г - ЭДС, що наводиться в горизонтально розташованому індукційному перетворювачі при переміщенні його вправо і уліво від осі кабелю; 32 д - ЭДС, що наводиться у вертикально розташованому індукційному перетворювачі при переміщенні його вправо і уліво від осі кабелю; е - розташування індукційного перетворювача при визначенні глибини прокладки кабельної лінії; 1 - генератор; 2 - кабельна лінія; 3 - закоротка; 4 - розподілена ємність кабелю

Після розкопування траншеї метод дозволяє виділити пошкоджений кабель за зміною амплітуди сигналу. Визначення міжфазних пошкоджень ґрунтується на характерній зміні сигналу за кроком скрутки жил і зникненням сигналу за місцем пошкодження (Рисунок 3.11). Метод "аномалії нуля" дозволяє шукати місце пошкодження за різким зростанням показника приладу.

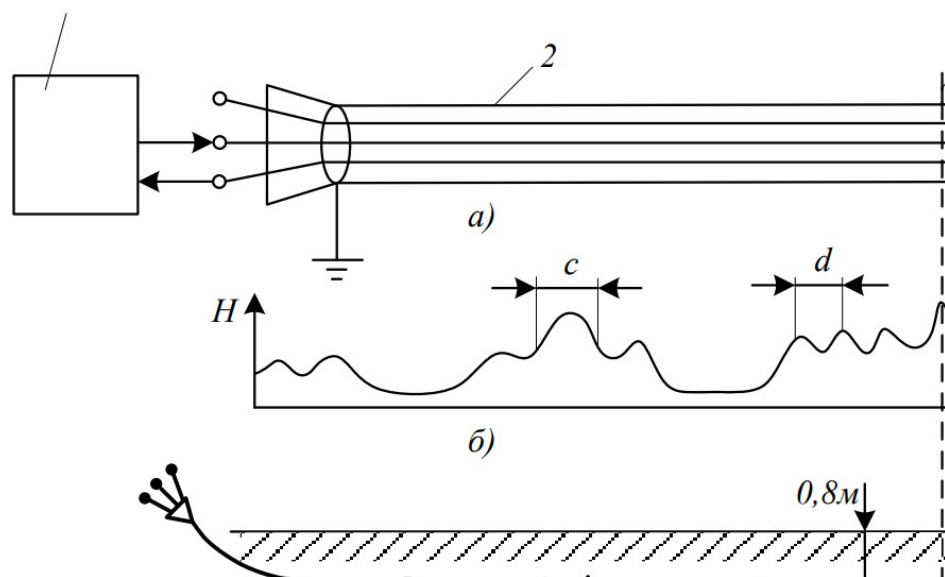


Рисунок 3.11 – Визначення місця міжфазного пошкодження індукційним методом: а - схема підключення генератора звукової частоти: 1 - генератор звукової частоти; 2 - пошкоджений кабель; 3 - місце міжфазного пошкодження кабелю; б - крива зміни напруженості електромагнітного полюса чи по трасі кабелю з міжфазним замиканням жил (залишковий опір у місці пошкодження десяти частки Ома); d - крок скрутки жил кабелю; з d на ділянці розташування муфт; в - траса прокладки пошкодженого кабелю.

Електроакустичний метод.

Електроакустичний метод призначений для визначення місця однофазного замикання у кабельних лініях. Суть методу полягає в створенні імпульсного електричного розряду між пошкодженою жилою і оболонкою за допомогою генератора акустичних ударних випробувань (ГАУВ), який заряджає конденсатор ємністю 300–400 мкФ до напруги 5–10 кВ.

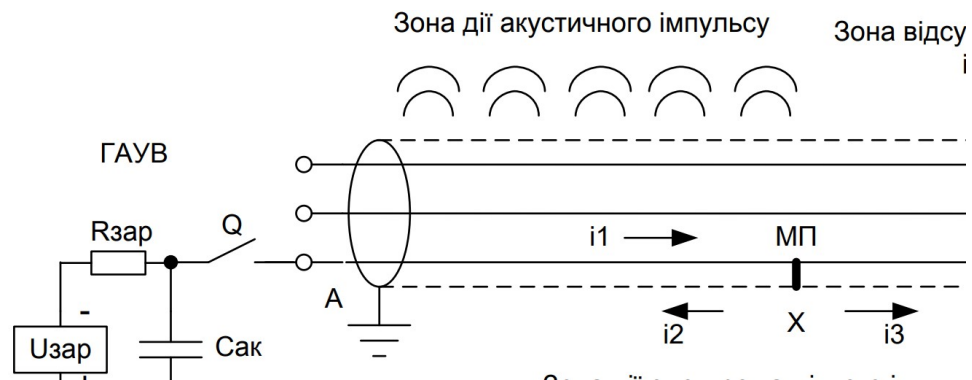


Рисунок 3.12 – Принцип пошуку однофазного замикання в кабелі електроакустичним методом

На Рисунку 3.12 зображений кабель, до якого між несправною жилою й оболонкою підключений ГАУВ – конденсатор, що періодично розряджається на кабель, ємністю 300-400 мкФ, заряджений до напруги 5-10кВ.

При проходженні імпульсу струму від місця підключення до точки пошкодження виникають електродинамічні зусилля, що спричиняють вібрацію оболонки кабелю [19]. Ці вібрації передаються через ґрунт і реєструються акустичним датчиком. Поза місцем пошкодження струм не протікає, тому і звуковий сигнал відсутній.

Одночасно з акустичним сигналом утворюється електромагнітний імпульс, який використовується для синхронізації приймача. Під час переміщення уздовж траси кабелю оператор фіксує рівномірний звуковий сигнал до місця пошкодження і його повне зникнення після, що й дозволяє точно локалізувати місце дефекту.

Таблиця 5.3 – Порівняльний аналіз абсолютних методів

Метод	Принцип дії	Обладнання	Переваги	Обмеження
Акустичний	Фіксація звуку іскрового розряду в місці пошкодження кабелю за допомогою акустичного датчика	Акустичні датчики, підсилювачі, стрілочні індикатори (АКИ-1)	Універсальність, можливість визначення декількох типів пошкоджень	Погана передача звуку через сухий ґрунт, бетон або глибоке залягання кабелю
Індукційно-імпульсний	Визначення місця пошкодження за напрямком поширення електромагнітних хвиль при пробі	Високовольтна установка, кабельний шукач - Трасо Шукач ТШ-5	Однозначне визначення напрямку до місця пошкодження	Метод працює лише при періодичних пробоях («запливаючий пробій»)
Індукційний	Реєстрація магнітного поля, створеного змінним струмом, для знаходження траси та місця пошкодження	Генератор звукової частоти, індукційний датчик, приймач з телефоном	Підходить для трасування, пошуку глибини та виявлення міжфазних і однофазних пошкоджень	Важко працює у зоні сильних електромагнітних завад, сигнал згасає за пошкодженням
Електроакустичний	Фіксація вібрацій оболонки кабелю та електромагнітного імпульсу під час періодичного розряду	Конденсатор високої ємності (ГАУВ), приймач з акустичним датчиком	Висока точність локалізації за різницею у сигналі до та після пошкодження	Метод потребує значної енергії розряду, неможливий при суцільному КЗ або спайці

Алгоритм вибору найбільш доцільного методу пошуку пошкодження кабельних ліній.

Алгоритм вибору найбільш доцільного методу пошуку пошкодження кабельних ліній передбачає поетапну діагностику з урахуванням характеру дефекту, конструктивних особливостей кабелю, умов прокладання та доступного обладнання. На першому етапі проводиться візуальний огляд та вимірювання опору ізоляції, що дозволяє попередньо визначити тип пошкодження. Далі здійснюється застосування відносних методів (імпульсного, коливального розряду, хвильового, петлевого) для орієнтовної локалізації зони дефекту за часовими або електричними параметрами. Залежно від величини перехідного опору у місці пошкодження обирається відповідний метод: імпульсний – при $R_p \leq 200 \text{ Ом}$, коливального розряду – при $R_p > 10 \text{ МОм}$, хвильовий – для широкого діапазону опорів, петлевий – для виявлення пошкоджень зовнішньої оболонки. Після встановлення зони дефекту, для точної

локалізації на трасі кабелю застосовуються абсолютні методи: індукційний, акустичний, електроакустичний або індукційно-імпульсний.

Алгоритм випробування та пошуку місць пошкодження на кабельних лініях представлено на рисунку 3.13.

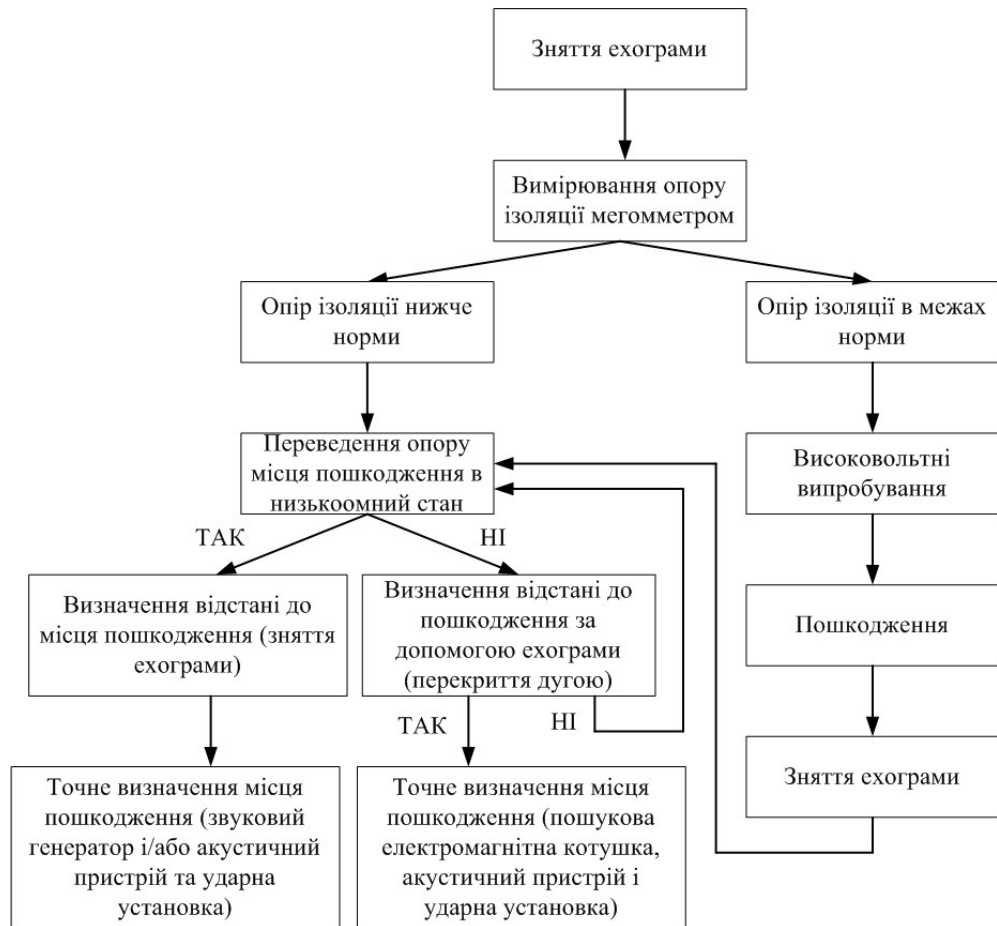


Рисунок 3.13 – Алгоритм випробування та пошуку місць пошкодження на кабельних лініях

Вибір найбільш доцільного методу пошуку пошкодження кабельної лінії залежить від характеру несправності, типу кабелю, умов прокладки та наявного обладнання. Спочатку доцільно застосовувати відносні методи (імпульсний, коливального розряду, хвильовий або петлевий) для визначення відстані до дефекту за допомогою часових чи напружових співвідношень. Якщо пошкодження має складний або нестабільний характер, використовується хвильовий чи метод коливального розряду. Для точного локального пошуку на трасі лінії використовують абсолютні методи – індукційний (для визначення місця міжфазного або однофазного замикання), електроакустичний (при наявності слабких струмів)

або акустичний (при надійному пробої). В умовах сильної зашумленості або глибокого залягання кабелю перевагу надають методам з підвищеною стійкістю до завад – індукційно-імпульсному чи методу «аномалії нуля». Таким чином, вибір методу є багатофакторним і базується на поєднанні діагностичних можливостей, технічних обмежень та досвіду експлуатаційного персоналу.

Висновки по розділу 3.

В ході проведення науково-дослідної роботи по аналізу методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства було отримано наступні результати:

1. У результаті проведеного аналізу пошкоджень кабельних мереж встановлено, що основними їх причинами є старіння ізоляції, термічні та механічні навантаження. Це дозволило обґрунтувати необхідність систематичної діагностики кабельних ліній з метою запобігання аваріям і мінімізації виробничих втрат.

2. Проаналізовано принципи роботи основних відносних методів (імпульсного, коливального розряду, хвильового, петлевого) та їх ефективність при пошуку пошкоджень різного типу. В результаті встановлено, що відносні методи визначення місця пошкодження кабельних ліній дозволяють оперативно локалізувати зону дефекту з подальшою її деталізацією абсолютними методами. Вони базуються на аналізі фізичних процесів у кабелі (поширення імпульсів, хвиль, напруг, струмів) і включають такі підходи, як імпульсний, коливального розряду, хвильовий та петлевий метод. Кожен з них має свої переваги, залежно від типу та величини перехідного опору в місці пошкодження, що забезпечує широку область застосування. Водночас точність і ефективність цих методів залежать від умов прокладання кабелю, наявності заземлень, типу оболонки та характеристик навколишнього середовища.

3. Досліджено можливості абсолютних методів (акустичного, індукційного, електроакустичного, індукційно-імпульсного), які забезпечують точне визначення просторового положення дефекту на трасі кабелю. В результаті встановлено, що абсолютні методи пошуку пошкоджень кабельних ліній забезпечують точне

визначення місця дефекту безпосередньо на трасі прокладання кабелю після попередньої локалізації зони пошуку відносними методами. Вони ґрунтуються на реєстрації фізичних проявів, що виникають у місці пошкодження: акустичних сигналів (при іскровому пробої), електромагнітного випромінювання або змін магнітного поля, зумовлених прикладеним струмом чи напругою. До таких методів належать акустичний, індукційний, електроакустичний та індукційно-імпульсний. Вони особливо ефективні на завершальному етапі діагностики, коли необхідно з високою точністю (до десятків сантиметрів) визначити точку пошкодження перед розкопкою. Залежно від умов прокладання, типу ґрунту, глибини залягання та типу ізоляції кабелю, обирається найбільш доцільний метод. Практика показує, що використання абсолютних методів у комплексі з відносними забезпечує максимальну достовірність і ефективність при виявленні пошкоджень у кабельних мережах.

У результаті проведеного аналізу методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства встановлено, що ефективна локалізація дефектів є ключовим чинником забезпечення надійності електропостачання. Визначено, що пошкодження кабельних ліній мають різну природу, електричні ознаки та складність виявлення, що обумовлює необхідність застосування як відносних, так і абсолютних методів діагностики. Відносні методи дозволяють швидко окреслити зону пошкодження за часовими або напруговими характеристиками, тоді як абсолютні забезпечують точне визначення координат дефекту на місцевості. Практична доцільність полягає в поєднанні цих підходів, що дозволяє мінімізувати час простою, витрати на розкопки та зменшити ймовірність помилкової локалізації. Таким чином, системний підхід до вибору методів пошуку пошкоджень кабелів є необхідною умовою підвищення експлуатаційної ефективності кабельних мереж промислових підприємств.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці під час удосконалення системи електропостачання основного виробництва ТОВ «Авіс». На електротехнічний технологічний персонал, який здійснює обслуговування електрообладнання даного об'єкта, впливають наступні шкідливі виробничі фактори [22, 23].

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); іонізація повітря.

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

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

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

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

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні.

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень ТОВ «Авіс». До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає вимогам з урахуванням показників пожежовибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон) [25, 26]. Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектної організації і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу. При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом,

повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з таблицями 7.4.1, 7.4.2 ПВЕ (як для пересувних механізмів). В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення ззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів. В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

4.1.2 Електробезпека

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.

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.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та

з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [27]. Параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях заводу наведено в таблиці 1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [28]:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Іб	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Іб	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [27] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [28]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії; встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт під час організації обслуговування електрообладнання – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [29] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

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 4,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 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» [30] (таблиця 4.4).

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 4.4 – 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.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [32, 33]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [36], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [34].

Основні виробничі приміщення ТОВ «Авіс» за вибухонебезпечністю та пожежонебезпечністю відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В з зонами П-Іа в приміщеннях, де є тверді горючі речовини чи матеріали (компоненти біоматеріалів, тара).

Будівлі, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні

конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати вогонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвилинах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції:

- втрати несучої спроможності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-

2016 [35] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків, сільськогосподарських будівель і споруд потрібно приймати за таблицею 4.7 (знаменник) [35].

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	6/9	8/9	10/12

На території ТОВ «Авіс» встановлено 35 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) та 12 ВВП-9 [37].

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні

електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської дипломної роботи, що присвячена удосконаленню системи електропостачання ТОВ «АВІС» з дослідженням методів пошуку пошкоджень кабельних ліній, було отримано такі результати:

1. Виконано детальний розрахунок електричних навантажень окремого цеху та всього підприємства, що дозволило визначити необхідні параметри живлення. Переріз зовнішньої кабельної лінії на напрузі 10 кВ повинен бути $3 \times 50 \text{ мм}^2$, а сама кабельна лінія виконана алюмінієвим кабелем з ізоляцією із зшитого поліетилену типу АПвЭгаПу-10 довжиною 2400 м від ПС «Південна». Вибрано тип, кількість і номінальну потужність трансформаторних підстанцій, а також їх розташування з урахуванням особливостей генерального плану підприємства та мінімізації втрат потужності. Для СЕП підприємства доцільно встановити дві двотрансформаторні підстанції з трансформаторами ТМ-1000/10. Аналіз засобів захисту електрообладнання в аварійних режимах роботи показав що на стороні 10 кВ доцільно використати вакуумні вимикачі ВРС-10. Розраховано силові електричні навантаження цеху підготовки сировини та обрано усю необхідну захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію для живлення ЕП цеху. Проведено розрахунок струм КЗ та здійснено перевірку обраного обладнання.

2. В рамках наукового дослідження здійснено аналіз основних типів пошкоджень кабельних ліній (однофазні, міжфазні замикання, розриви жил, пошкодження оболонки), визначено їхні електричні ознаки та складність виявлення. Проведено класифікацію методів пошуку дефектів на відносні (імпульсний, хвильовий, коливального розряду, петлевий) та абсолютні (акустичний, індукційний, електроакустичний, індукційно-імпульсний).

3. Основним результатом науково-дослідної роботи є обґрунтування комплексного підходу до вибору методів пошуку пошкоджень у кабельних мережах промислового підприємства з урахуванням типу дефекту, електричних характеристик кабелю, умов прокладання та параметрів середовища. У роботі здійснено структуроване порівняння абсолютних та відносних методів діагностики, вказано їхню ефективність залежно від електрофізичних параметрів ушкодження та

технічної доступності. Запропоновано алгоритм вибору найбільш доцільного методу, що дозволяє мінімізувати витрати часу на локалізацію аварії, підвищити достовірність виявлення пошкодження та знизити загальні експлуатаційні втрати підприємства, пов'язані з простоєм обладнання. Запропонований підхід підвищує ефективність технічної діагностики кабельних мереж та може бути інтегрований у систему технічного обслуговування об'єктів з високими вимогами до безперебійного електропостачання.

3. У результаті проведеного аналізу методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства встановлено, що ефективна локалізація дефектів є ключовим чинником забезпечення надійності електропостачання. Визначено, що пошкодження кабельних ліній мають різну природу, електричні ознаки та складність виявлення, що обумовлює необхідність застосування як відносних, так і абсолютних методів діагностики. Відносні методи дозволяють швидко окреслити зону пошкодження за часовими або напруговими характеристиками, тоді як абсолютні забезпечують точне визначення координат дефекту на місцевості. Практична доцільність полягає в поєднанні цих підходів, що дозволяє мінімізувати час простою, витрати на розкопки та зменшити ймовірність помилкової локалізації. Таким чином, системний підхід до вибору методів пошуку пошкоджень кабелів є необхідною умовою підвищення експлуатаційної ефективності кабельних мереж промислових підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
2. Державна інспекція енергетичного нагляду України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sies.gov.ua/>, дата звернення: 16.05.2025.
3. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
4. Головатюк М. О., Леонтьєв В. О., Видмиш В. А. Г 61 Експлуатація кабельних ліній електропередачі. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 109 с.
5. Правила улаштування електроустановок (1-ше перегл. і допов. вид.). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
6. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees>, дата звернення: 15.05.2021.
7. Бурбело М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 123 с.
8. Р-50-072-98. Енергозбереження. Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в діючих мережах електропостачання напругою від 0,4 до 110 кВт включно.
9. Бурбело М. Й. Спеціальні питання електропостачання : електронний навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2025. 89 с.
10. Офіційний сайт ТОВ «Завод Південкабель» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yuzhcable.info>, дата звернення: 17.05.2025.
11. Вимикачі навантаження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-s756>, дата звернення: 17.05.2025.
12. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2008. 82 с.

13. Промислові автоматичні вимикачі ЕВ та ЕВ2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eti.ua/produksiya-ua/etibreak/eb2/>, дата звернення: 16.05.2025.
14. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>, дата звернення: 17.05.2025.
15. ДСТУ 3463-96. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1999. 204 с.
16. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produksiya-1189/>, дата звернення: 17.05.2025.
17. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011 Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанова (у редакції наказу від 26.01.2017 № 82).
18. Методи визначення місця пошкодження кабелю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.maksvel.com.ua/index.php/dovidnyk-elektryka/75-metody-vyznachennia-mistsia-poshkodzhennia-kabeliu/>, дата звернення: 16.05.2025.
19. George J. Anders. Rating of Electric Power Cables: Ampacity Computations for Transmission, Distribution, and Industrial Applications// IEEE Press power engineering series. –2000 P. 428.
18. Пошук місця пошкодження кабелю: 5 кращих методик [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buduemo.com.ua/news/electricity/poshuk-miscja-poshkodzhennja-kabelju-5-kraschih-metodik.html/>, дата звернення: 16.05.2025.
21. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки відносно опрацювання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах и роботах студентів електротехнічних спеціальностей: навч. Посіб. Вінниця, ВНТУ, 2003. 46 с.
22. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
23. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

24. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.

25. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

26. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

27. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

28. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

29. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

30. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

31. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

32. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

33. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

34. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

35. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
36. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
37. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

Додаток А ВИХІДНІ ДАНІ

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОСНОВНОГО
ВИРОБНИЦТВА ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС»**

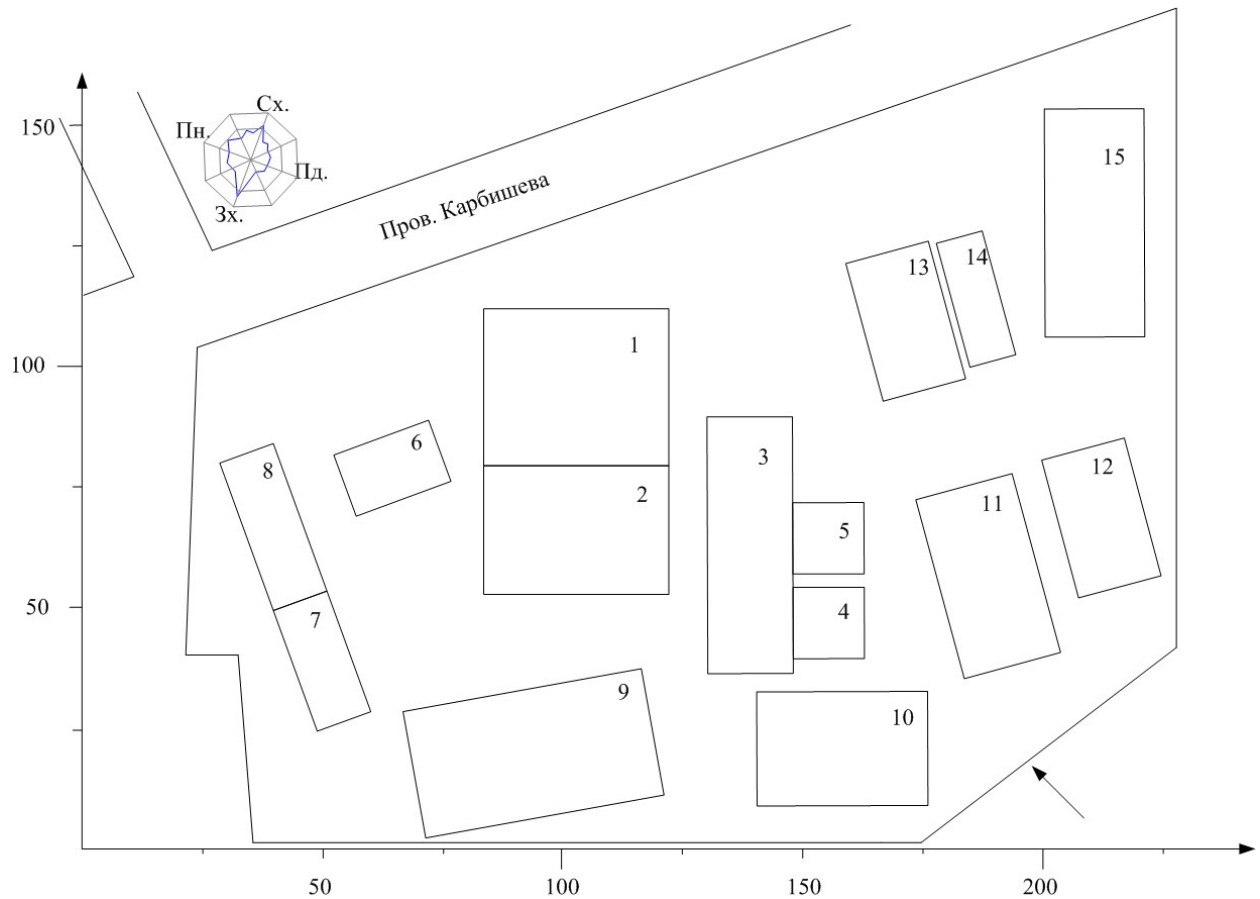


Рисунок А.1 – Генплан ТОВ «Авіс»

Таблиця А.1 – Електричні навантаження ТОВ «Авіс»

№	Назва цеху	P_H , кВт	K_{II}	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	F, m^2
1	Завод полімерного упакування	490,0	0,4	0,8	0,75	196,0	147,0	1287
2	Цех (друкарня)	375,0	0,45	0,8	0,75	168,8	126,6	1053
3	Завод безалкогольних напоїв	300,0	0,5	0,8	0,75	150,0	112,5	972
4	Очисні споруди	40,0	0,9	0,76	0,86	36,0	30,8	225
5	Очисні споруди	40,0	0,9	0,76	0,86	36,0	30,8	225
6	Котельня	135,0	0,6	0,8	0,75	81,0	60,8	504
7	Склад №1	90,0	0,35	0,5	1,73	31,5	54,6	324
8	Склад №2	155,0	0,35	0,7	1,02	54,3	55,3	396
9	Виробничий корпус/Склад №3	550,0	0,4	0,8	0,75	220,0	165,0	1377
10	Склад №4 (гот. Прод)	350,0	0,4	0,8	0,75	140,0	105,0	864
11	Оліє-очисний завод	175,0	0,55	0,6	1,33	96,3	128,3	819
12	Цех фасування олії	160,0	0,55	0,8	0,75	88,0	66,0	540
13	Цех обробки сировини	212,0	0,45	0,8	0,75	90,0	67,5	540
14	Холодильно-компресорна станція	120,0	0,4	0,9	0,48	48,0	23,2	270
15	Завод по виготовленню печива	250,0	0,6	0,76	0,86	150,0	128,3	1008

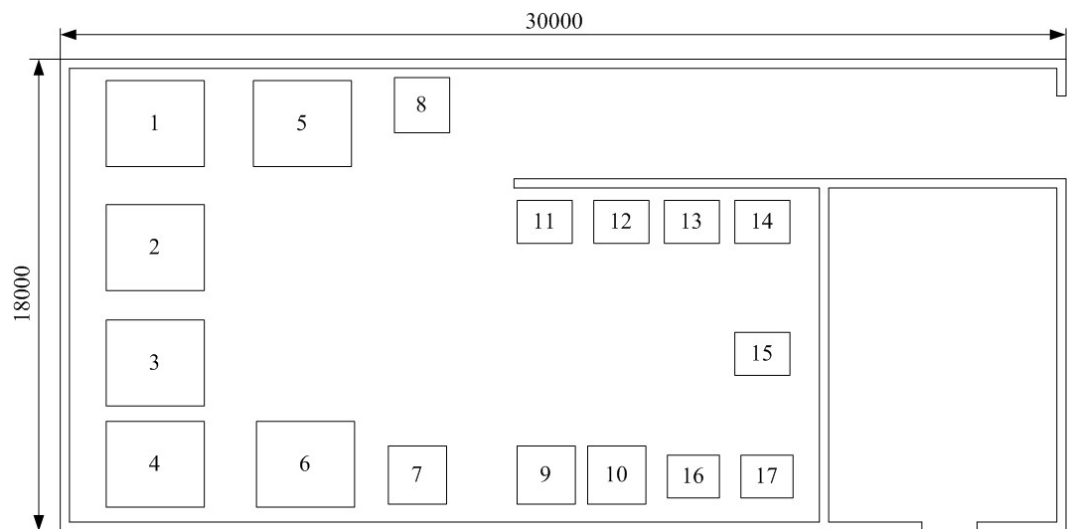


Рисунок А.2 – План цеху обробки сировини (№13 на генплані)

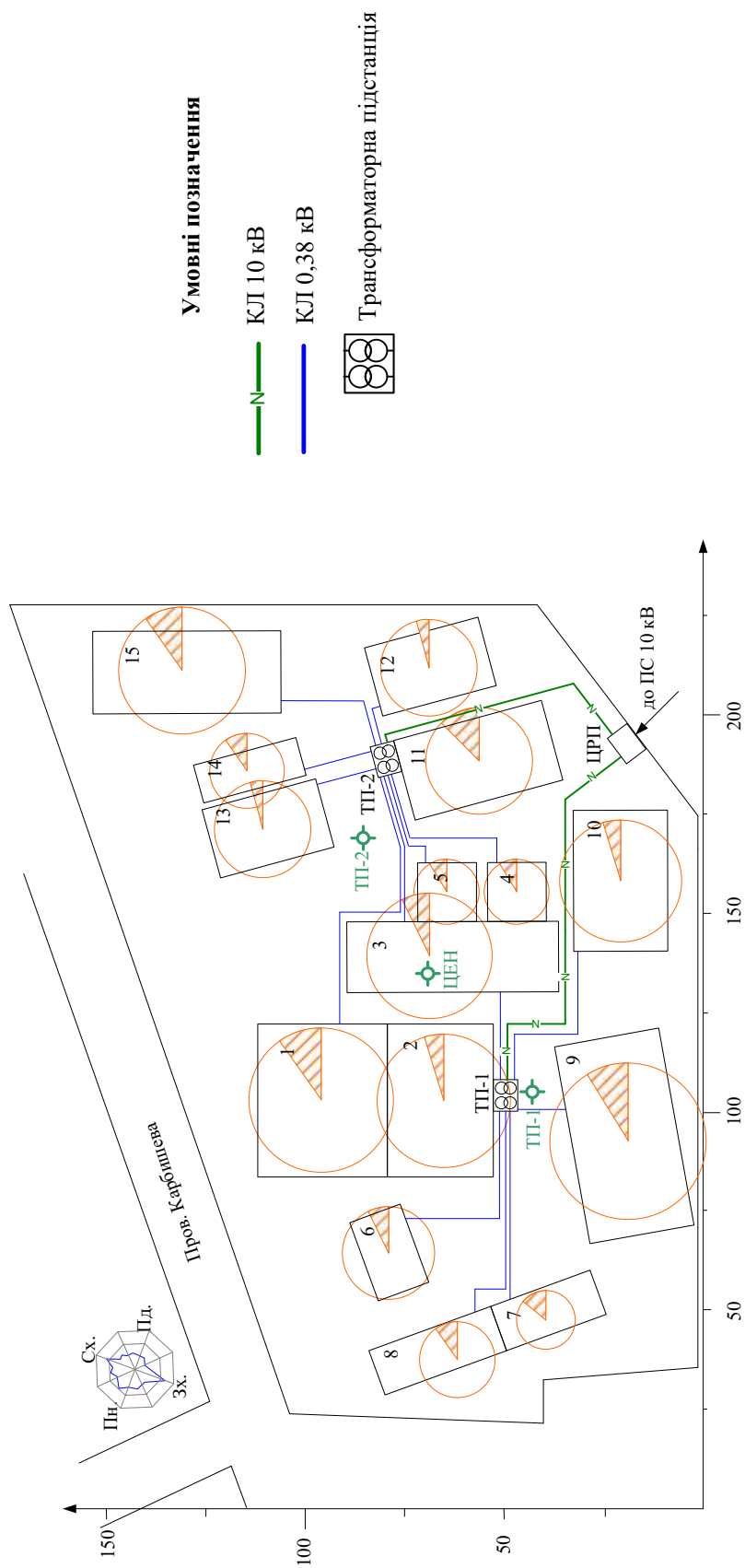
Таблиця А.2 – Електричні навантаження цеху

№	Найменування	Рн,
1-2	Відділювач	12,0
3	Подрібнювач	18,5
4	Мийка	4,5
5-6	Дозувальна	11,0
7-8	Вакуум-фільтр	22,2
9-10	Вентилятор	1,1
11-	Дозрівач	24,0
13	Мішалка	13,0
14	Циклон	1,5
15	Класифікатор	7,5
16	Міксер	7,5
17	Вібратор	18,5

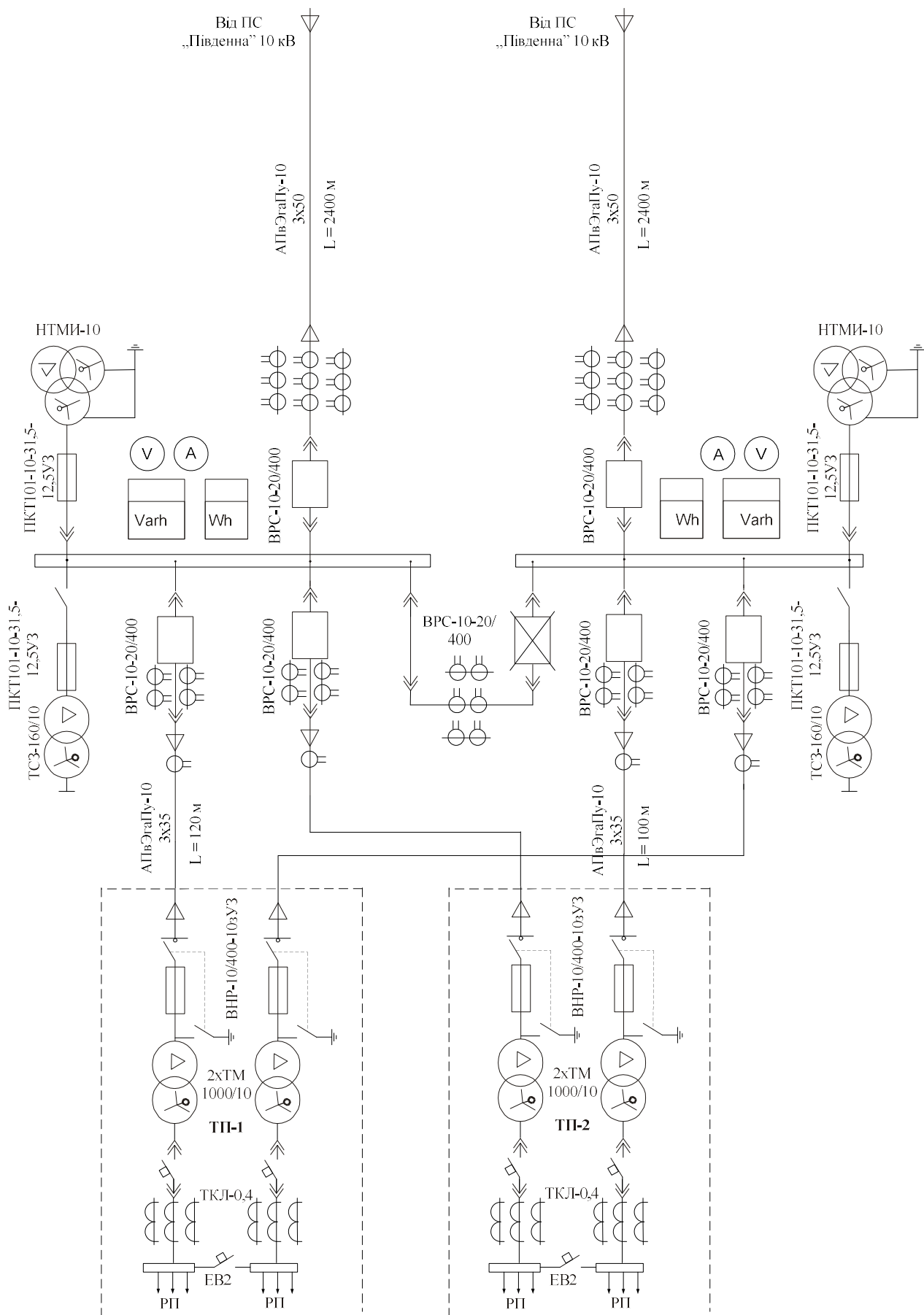
Додаток Б ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОСНОВНОГО
ВИРОБНИЦТВА ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС»**

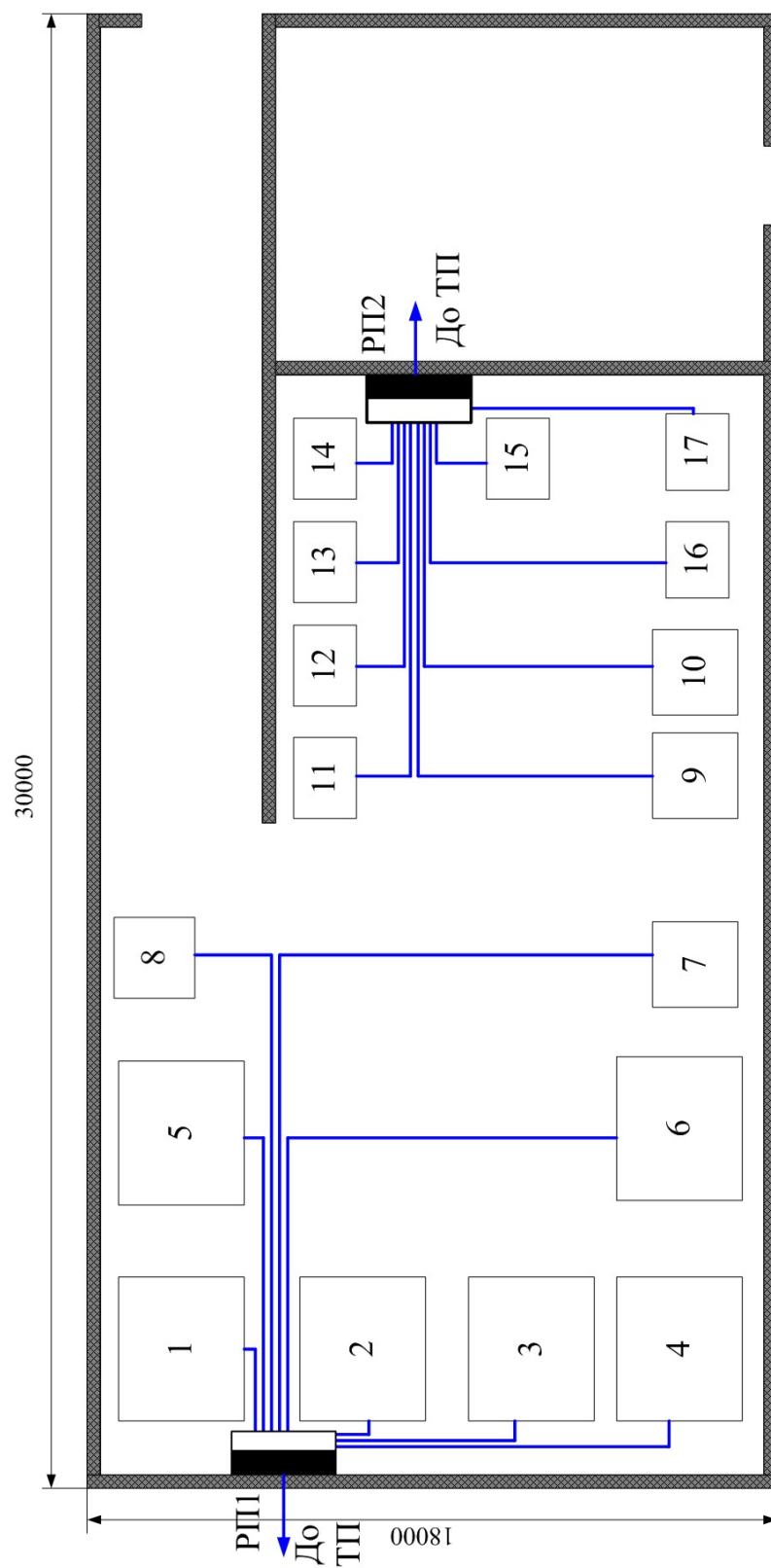
План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами



Однолінійна схема електропостачання підприємства



План електропостачання цеху



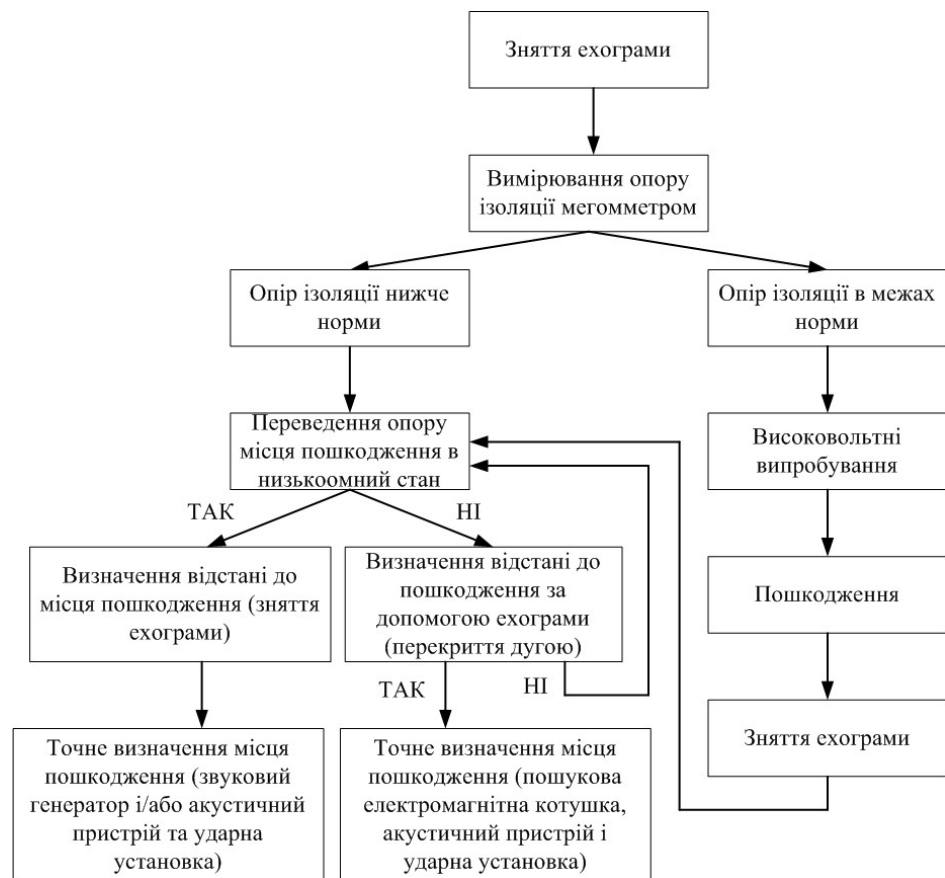
Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

ТП	Захист			Розподільча лінія					РП	Захист			Розподільча лінія					ЕП		Найменування ЕП						
	Тип АВ	Ін. А	Ін. розч. А	Іс. в. А	Ір. А	Прокладання	Марка ЛК	Переріз ЛК		Ізоп. А	Ін. А	Ін. розч. А	Іс. в. А	Ір. А	Прокладання	Марка ЛК	Переріз ЛК	Ізоп. А	Інск. А		Рн. кВт	№				
○	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	83,4	В землі	АВВГ	4х50	132	РП1	ЕВ 100/3Л 32А	32	32	300	28	Відкрито	АВВГ	4х6	34	140	12	1, 2	Відліновач 1,2 Потрібнонач 3 Імбіка 4 Дозуальна машина 5,6 Вакуум-фільтр 7,8			
											ЕВ 100/3Л 63А	63	63	300	46,8	Відкрито	АВВГ	4х25	80	234,2	18,5	3		○		
											ЕВ 100/3Л 16А	16	16	250	8,5	Відкрито	АВВГ	4х2,5	19	42,7	4,5	4			○	
											ЕВ 100/3Л 32А	32	32	300	23,9	Відкрито	АВВГ	4х6	34	119,4	11	5, 6				○
											ЕВ 100/3Л 63А	63	63	300	39,7	Відкрито	АВВГ	4х25	80	198,4	22,2	7, 8				
○	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	72,6	В землі	АВВГ	4х50	132	РП2	ЕВ 100/3Л 16А	16	16	250	2,1	Відкрито	АВВГ	4х2,5	19	10,4	1,1	9, 10	Вентилатор 9,10 Дозуравач 11,12 Мішала 13 Гіксон 14 Класифікатор 15 Міксер 16 Вібратор 17			
											ЕВ 100/3Л 63А	63	63	300	42,9	Відкрито	АВВГ	4х25	80	214,5	24	11, 12		○		
											ЕВ 100/3Л 25А	25	25	250	32,9	Відкрито	АВВГ	4х4	26	164,6	13	13			○	
											ЕВ 100/3Л 16А	16	16	250	3,5	Відкрито	АВВГ	4х2,5	19	17,5	1,5	14				○
											ЕВ 100/3Л 16А	16	16	250	13,4	Відкрито	АВВГ	4х2,5	19	67	7,5	15				
○	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	700	72,6	В землі	АВВГ	4х50	132	РП2	ЕВ 100/3Л 16А	16	16	250	17,5	Відкрито	АВВГ	4х2,5	19	87,7	7,5	16	○			
											ЕВ 100/3Л 63А	63	63	300	43,2	Відкрито	АВВГ	4х25	80	216,2	18,5	17		○		
											ЕВ 100/3Л 16А	16	16	250	2,1	Відкрито	АВВГ	4х2,5	19	10,4	1,1	9, 10			○	

Аналіз методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства



Методи визначення місць пошкодження кабелів



Алгоритм випробування та пошуку місць пошкодження на кабельних лініях

Аналіз методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства

Порівняльний аналіз відносних методів

Метод	Тип пошкоджень	Принцип дії	Переваги	Обмеження
Імпульсний метод	Обриви, короткі замикання, розтяжки ($R_p \leq 200 \text{ Ом}$)	Вимір часу між зондувальним та відбитим імпульсом	Висока точність, швидкість, простота інтерпретації	Не працює при високому опорі пошкодження
Метод коливального розряду	Запливаючий пробій (R_p десятки-сотні МОм)	Фіксація коливань після пробою ізоляції та аналіз часових міток	Підходить для нестабільних дефектів високого опору	Вимоги до точного налаштування рівня напруги пробою
Хвильовий метод	Широкий спектр пошкоджень ($R_p \approx 0 - \text{сотні кОм}$)	Створення хвильового процесу з аналізом відбиттів	Ефективний при складних замиканнях та вологих місцях	Чутливість до неоднорідностей хвильового опору
Петлевий метод	Широкий спектр пошкоджень ($R_p \approx 0 - \text{сотні кОм}$)	Порівняння падіння напруги в двох положеннях схеми	Простий у реалізації, не потребує дорогого обладнання	Не застосовується при заземлених кінцях чи муфтах

Порівняльний аналіз абсолютних методів

Метод	Принцип дії	Обладнання	Переваги	Обмеження
Акустичний	Фіксація звуку іскрового розряду в місці пошкодження кабелю за допомогою акустичного датчика	Акустичні датчики, підсилювачі, стрілочні індикатори (АКИ-1)	Універсальність, можливість визначення декількох типів пошкоджень	Погана передача звуку через сухий ґрунт, бетон або глибоке залягання кабелю
Індукційно-імпульсний	Визначення місця пошкодження за напрямком поширення електромагнітних хвиль при пробіі	Високовольтна установка, кабельний шукач - Трасо Шукач ТШ-5	Однозначне визначення напрямку до місця пошкодження	Метод працює лише при періодичних пробоях («запливаючий пробій»)
Індукційний	Реєстрація магнітного поля, створеного змінним струмом, для знаходження траси та місця пошкодження	Генератор звукової частоти, індукційний датчик, приймач з телефоном	Підходить для трасування, пошуку глибини та виявлення міжфазних і однофазних пошкоджень	Важко працює у зоні сильних електромагнітних завад, сигнал згасає за пошкодженням
Електроакустичний	Фіксація вібрацій оболонки кабелю та електромагнітного імпульсу під час періодичного розряду	Конденсатор високої ємності (ГАУВ), приймач з акустичним датчиком	Висока точність локалізації за різницею у сигналі до та після пошкодження	Метод потребує значної енергії розряду, неможливий при суцільному КЗ або спайці

**Додаток В ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ**

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОСНОВНОГО
ВИРОБНИЦТВА ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС»**

Додаток Г ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОСНОВНОГО
ВИРОБНИЦТВА ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС»**

Удосконалення системи електропостачання основного виробництва Товариства з обмеженою відповідальністю «Авіс»

Мартиненко Михайло Михайлович

Спеціальність 141 -“Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”

Науковий керівник:

Актуальність та мета дипломної роботи

Актуальність теми. Забезпечення надійного та ефективного електропостачання виробничих підприємств є одним із ключових факторів стабільної роботи промислового комплексу [1, 3]. Удосконалення системи електропостачання дозволяє знизити втрати [2], підвищити рівень безпеки, зменшити аварійність та забезпечити гнучкість змін виробничого навантаження. Особливої актуальності набуває модернізація електропостачання у випадках розгалуженої інфраструктури з великою кількістю ліній, як це спостерігається на підприємстві ТОВ «Авіс», де критичне обладнання працює в умовах безперервного циклу.

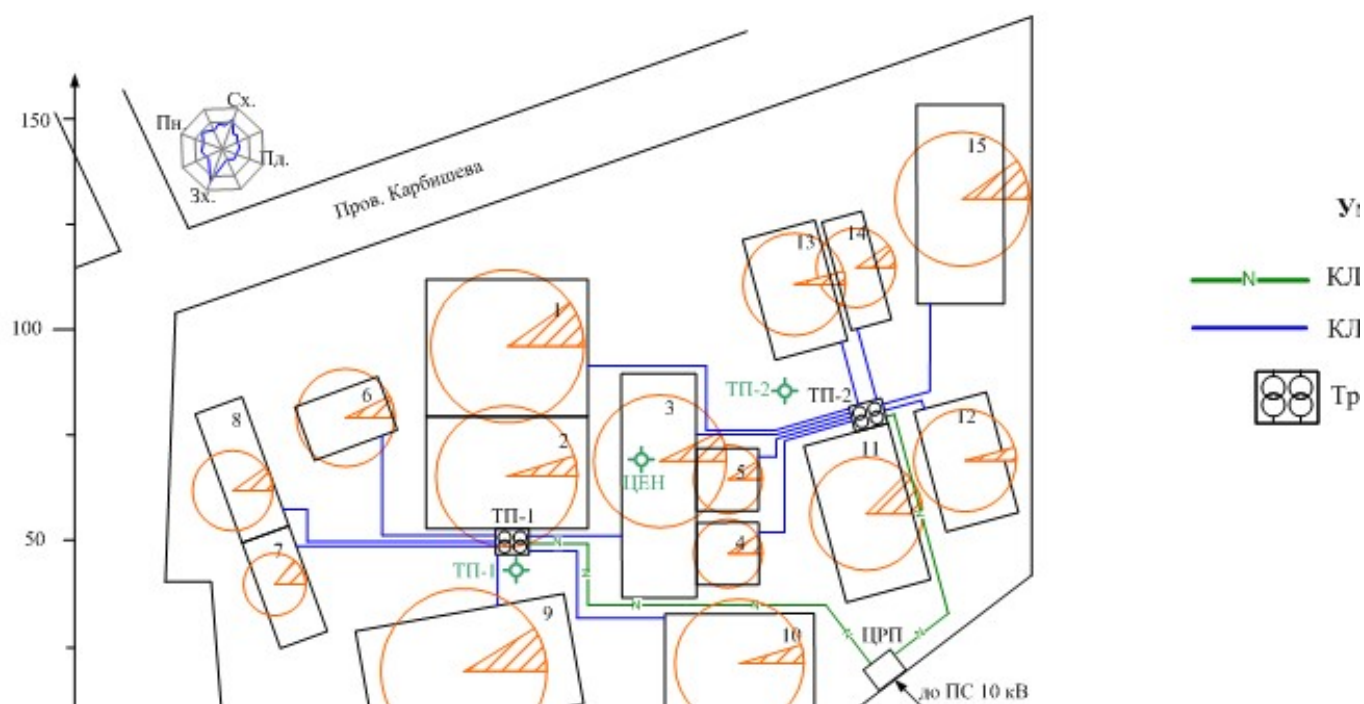
Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення системи електропостачання ТОВ «Авіс» шляхом підвищення надійності та економічності її роботи, що дозволить провести аналіз існуючої схеми живлення, розрахунок електричних навантажень, оптимізацію структури СЕП, а також дослідження методів пошуку пошкоджень у кабельних лініях.

Об’єкт дослідження – це процес функціонування системи електропостачання, який буде подальшим аналізом методів пошуку пошкоджень у кабельних лініях підприємства.

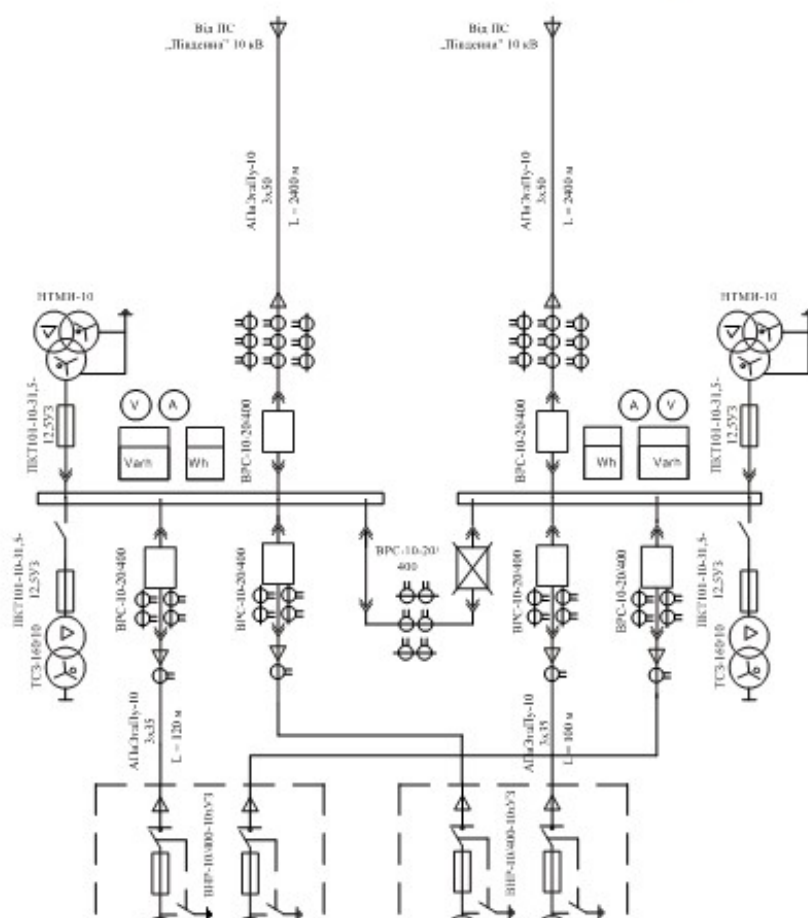
Предмет дослідження – Удосконалення системи електропостачання основного виробництва Товариства з обмеженою відповідальністю «Авіс».

Методи. В даній роботі використано розповсюджені теоретичні та експериментальні методи.

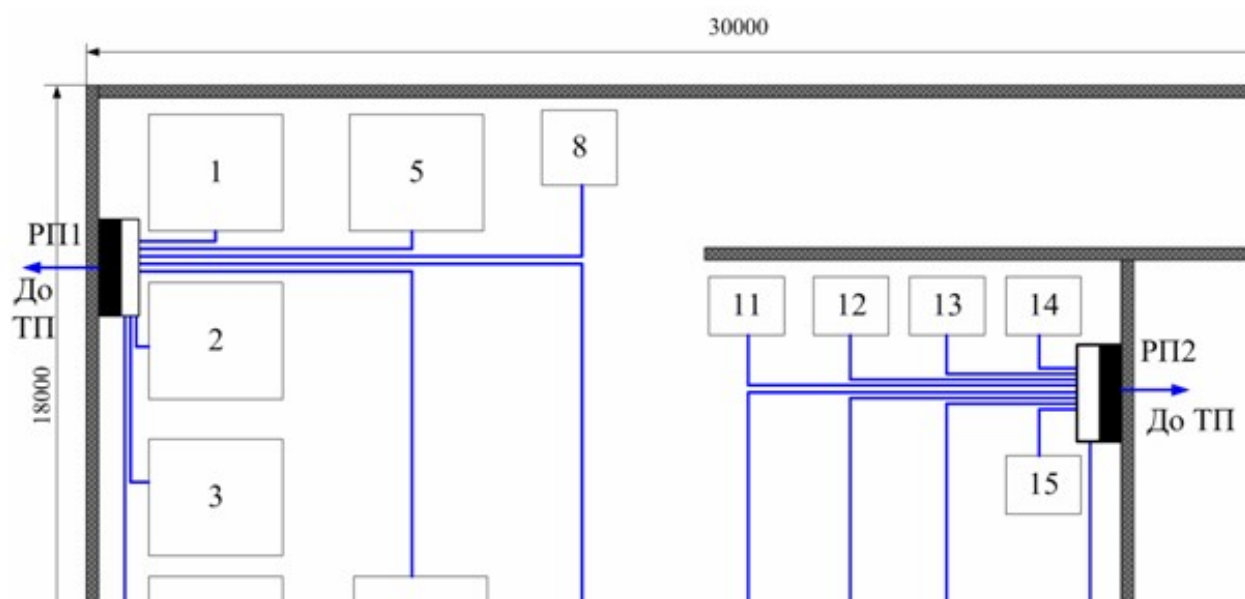
План підприємства із силовими розподільчими, та живильним



Однолінійна схема живлення підприємства



План електропостачання цеху



Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання

ТП	Загальні				Розподільча лінія					РП	Загальні				Розподільча лінія				
	Тип АВ	Ін, А	Ін розч, А	Іс в, А	Ір, А	Прокладання	Марка ЛК	Переріз ЛК	Ізоп, А		Тип АВ	Ін, А	Ін розч, А	Іс в, А	Ір, А	Прокладання	Марка ЛК	Переріз ЛК	Ізоп, А
○	EB2 250/3E 125A	125	125	700	83,4	В землі	ABBГ	4x50	132	○	EB 100/3L 32A	32	32	300	28	Відкрито	ABBГ	4x6	
											EB 100/3L 63A	63	63	300	46,8	Відкрито	ABBГ	4x25	80
○											EB 100/3L 16A	16	16	250	8,5	Відкрито	ABBГ	4x2,5	10
											EB 100/3L 32A	32	32	300	23,9	Відкрито	ABBГ	4x6	30
											EB 100/3L 63A	63	63	300	39,7	Відкрито	ABBГ	4x25	80
○	EB2 250/3E 125A	125	125	700	72,6	В землі	ABBГ	4x50	132	○	EB 100/3L 16A	16	16	250	2,1	Відкрито	ABBГ	4x2,5	10
											EB 100/3L 63A	63	63	300	42,9	Відкрито	ABBГ	4x25	80
											EB 100/3L 25A	25	25	250	32,9	Відкрито	ABBГ	4x4	20
											EB 100/3L 16A	16	16	250	3,5	Відкрито	ABBГ	4x2,5	10
											EB 100/3L 16A	16	16	250	13,4	Відкрито	ABBГ	4x2,5	10
														17,5					
											EB 100/3L 63A	63	63	300	43,2	Відкрито	ABBГ	4x25	80

Аналіз методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах пі



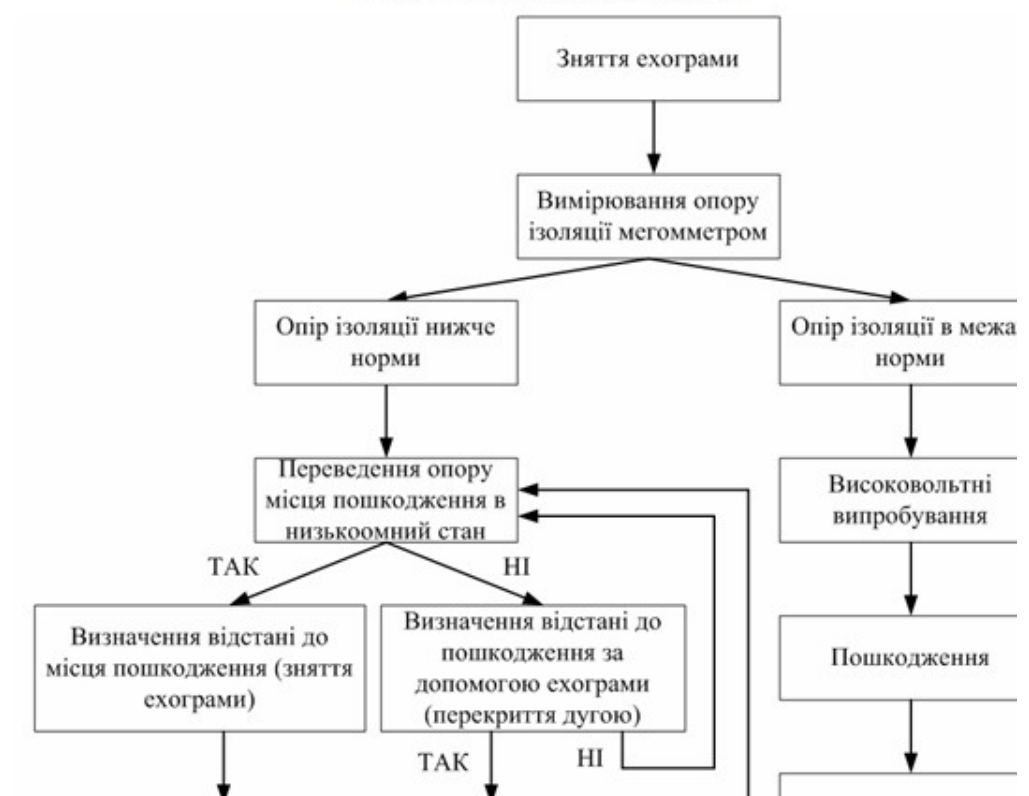
Порівняльний аналіз абсолютн

Метод	Принцип дії	Обладнання	П
Акустичний	Фіксація звуку іскрового розряду в місці пошкодження кабелю за допомогою акустичного датчика	Акустичні датчики, підсилювачі, стрілочні індикатори (АКИ-1)	Універсальний
Індукційно-імпульсний	Визначення місця пошкодження за напрямком поширення електромагнітних хвиль при пробі	Високовольтна установка, кабельний шукач - Трасо Шукач ТШ-5	Односторонній
Індукційний	Регістрація магнітного поля, створеного змінним струмом, для знаходження траси та місця пошкодження	Генератор звукової частоти, індукційний датчик, приймач з телефоном	Підтримує глибини мікросигналу
Електроакустичний	Фіксація вібрації оболонки кабелю та електромагнітного імпульсу під час періодичного розряду	Конденсатор високої ємності (1 АУВ), приймач з акустичним датчиком	Висококалібрі

Порівняльний аналіз відносних методів

Метод	Тип пошкоджень	Принцип дії	Переваги	Обмеження
Імпульсний метод	Обриви, короткі замикання, розтяжки ($R_p \leq 200 \text{ Ом}$)	Вимір часу між зондувальним та відбитим імпульсом	Висока точність, швидкість, простота інтерпретації	Не працює при високій опорі пошкодження
Метод	Запливаючий пробій	Фіксація коливань після	Підходить для	Вимоги до точності

Алгоритм випробування та пошуку місць пошкодження кабельних ліній



Висновки по роботі

Основним результатом науково-дослідної роботи є обґрунтування комплексного вибору методів пошуку пошкоджень у кабельних мережах промислового підпілля з урахуванням типу дефекту, електричних характеристик кабелю, умов прокладання та параметрів середовища. У роботі здійснено структуроване порівняння абсолютних та відносних методів діагностики, вказано їхню ефективність залежно від електричних параметрів ушкодження та технічної доступності. Запропоновано алгоритм вибору найбільш доцільного методу, що дозволяє мінімізувати витрати часу на локалізацію аварії та підвищує достовірність виявлення пошкодження та знизити загальні експлуатаційні витрати підприємства, пов'язані з простоєм обладнання. Запропонований підхід підвищує ефективність технічної діагностики кабельних мереж та може бути інтегрований у систему технічного обслуговування об'єктів з високими вимогами до безперебійного електропостачання.

3. У результаті проведеного аналізу методів пошуку пошкоджень в кабельних мережах підприємства встановлено, що ефективна локалізація дефектів є ключовим чинником забезпечення надійності електропостачання. Визначено, що пошкодження кабелів мають різну природу, електричні ознаки та складність виявлення, що обумовлює застосування як відносних, так і абсолютних методів діагностики. Відносні методи дозволяють швидко окреслити зону пошкодження за часовими або напружувальними характеристиками, тоді як абсолютні забезпечують точне визначення координат.