

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка системи електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк»

Виконав: студент 4-го курсу, групи ЕЕ-216 спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Барабаш А. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: канд. техн. наук, доцент каф. ЕСЕЕМ

Кутіна М. В.

(прізвище та ініціали)

« 6 » червень 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ЕСС

Сікорська С. В.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д. т. н., проф. Бурбело М. Й.

(прізвище та ініціали)

« 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

Освітня програма «Електропостачання та енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

« 20 » 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Барабаш Анні Олегівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Розробка системи електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк»»**

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

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

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

3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства (об'єкта); план цеху (об'єкта, ділянки, приміщення) із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього і зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеху, об'єкта, ділянки, 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

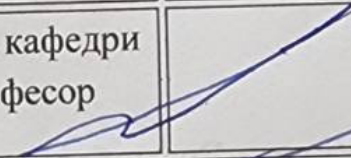
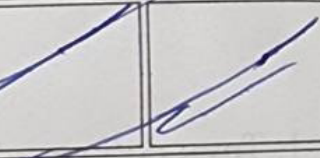
2. Розрахунок електропостачання підприємства

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

2.2 Вибір та розміщення підстанції

- 2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства
 2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху
 3. Застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабелі мережах підприємства
 4. Охорона праці
 Висновки
 Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу
 - Генплан підприємства. Однолінійна схема електропостачання підприємства
 - План цеху. Розрахунково-монтажна таблиця.
 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання « 28 » квітня 20 25 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітки
		початок	закінчення	
1	Загальні відомості про підприємство	28.04.2025	16.05.2025	вик
2	Розрахунок електропостачання підприємства	16.05.2025	23.05.2025	вик
3	Застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабельних мережах підприємств	23.05.2025	28.05.2025	вик
4	Охорона праці	28.05.2025	1.06.2025	вик
5	Графічна частина роботи	1.06.2025	6.06.2025	вик

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Барабаш А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кутіна М.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Войтюк Ю. П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 70 сторінок формату А4, на яких є 17 рисунків, 18 таблиць, список використаних джерел містить 31 найменування.

Метою роботи є підвищення надійності електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк»», шляхом вибору оптимальної структури системи електропостачання підприємства та застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабельних мережах заводу.

У першому розділі роботи наведено загальну інформацію про підприємство, опис технологічного процесу та відомості про споживання та живлення заводу.

У другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи був проведений розрахунок електричних навантажень, та визначено оптимальне місце розміщення підстанцій, розроблена система електропостачання з застосуванням сучасної комутаційно-захисної апаратури, кабельно-провідникової продукції на ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

У третьому розділі проведено дослідження із застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабельних мережах промислових підприємств.

У четвертому розділі роботи розроблені заходи з охорони праці, що спрямовані на покращення умов праці на підприємстві, нормуванню шкідливих факторів під час виробничого процесу та їх дію на організм людини. Особливу увагу приділено нормам пожежної безпеки на промисловому підприємстві.

Ключові слова: електропостачання, електроприймач, розподільчий пункт, трансформаторна підстанція, локаційний метод, кабельна мережа.

ANNOTATION

The bachelor's qualification work consists of 70 pages of A4 format, which include 17 figures, 18 tables, and the list of sources used contains 31 names.

The purpose of the work is to increase the reliability of the power supply of the Private joint-stock company "Vinnytsia Plant "Mayak"" by choosing the optimal structure of the enterprise's power supply system and applying the location method to find the location of damage in the plant's cable networks.

The first section of the work provides general information about the enterprise, a description of the technological process and information about the plant's consumption and power supply.

In the second section of the bachelor's qualification work, a calculation of electrical loads was carried out, and the optimal location of substations was determined, a power supply system was developed using modern switching and protective equipment, cable and wire products at PJSC "Vinnytsia Plant "Mayak".

In the third section, a study was conducted on the use of the location method to find the location of damage in the cable networks of industrial enterprises.

In the fourth section of the work, labor protection measures are developed, aimed at improving working conditions at the enterprise, regulating harmful factors during the production process and their effect on the human body. Special attention is paid to fire safety standards at an industrial enterprise.

Keywords: power supply, electrical receiver, distribution point, transformer substation, location method, cable network.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	6
1.1 Короткий опис технологічних процесів.....	7
1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика.....	9
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	13
2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства.....	13
2.2 Вибір та розміщення підстанцій.....	18
2.2.1 Вибір і розміщення цехових ТП	18
2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства.....	24
2.3.1 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	26
2.3.2 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів.....	27
2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху.....	33
2.4.1 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі ..	33
2.4.2 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В	36
3 ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ПОШУКУ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА.....	41
3.1 Принцип роботи та головні діагностичні ознаки методу імпульсної рефлектометрії.....	41
3.2 Методи розшифрування рефлектограм.....	48
3.3 Діагностика кабельних мереж ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».....	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	55
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації.....	55
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	55
4.1.2 Електробезпека.....	59

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	60
4.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення	60
4.2.2 Склад повітря робочої зони	61
4.2.3 Виробниче освітлення	61
4.2.4 Виробничий шум.....	62
4.2.5 Виробничі вібрації	63
4.3. Пожежна безпека	64
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТКИ	71
Додаток А. Вихідні дані.....	72
Додаток Б. Графічна частина.....	76
Додаток В. Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	87
Додаток Г. Ілюстративна частина	89

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність виробничого процесу значною мірою залежить від системи електропостачання, що забезпечує стабільну роботу підприємства. СЕП повинна відповідати ряду вимог: бути економічною, безпечною в експлуатації, надійною, забезпечувати можливість подальшого розвитку без значних змін і гарантувати відповідну якість електроенергії згідно з нормативним документам.

Надійне електропостачання є критично важливим для будь-якого промислового підприємства. Воно забезпечує стабільну роботу технологічного обладнання, знижує імовірність виникнення браку на підприємстві та гарантує безпеку праці персоналу.

Кабельні мережі є одними з найбільш вразливих елементів системи електропостачання, тому швидке та точне виявлення місця пошкодження кабелю є ключовим для мінімізації часу простою та відновлення роботи підприємства. Застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабельних мережах дозволяє з високою точністю визначити місце пошкодження, що значно скорочує час пошуку місця пошкодження та запобігає ризику розвитку аварійних ситуацій та підвищує безпеку експлуатації.

Тому проектування ефективної системи електропостачання та застосування локаційного методу пошуку пошкоджень у КЛ є ключовими чинниками для підвищення надійності та ефективності роботи ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

Мета роботи – підвищення надійності системи електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» шляхом вибору оптимальної структури системи електропостачання підприємства та застосування локаційного методу пошуку місця пошкодження в кабельних мережах підприємства.

Основними задачами при розрахунку системи електропостачання є:

- дослідження технологічного процесу та аналіз електричного навантаження підприємства;

- вибір та розрахунок системи електропостачання підприємства та окремого цеху;
- дослідження питання знаходження місць пошкоджень кабельних мереж за допомогою локаційного методу.

Об'єкт дослідження – процес функціонування системи електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

Предмет дослідження – розробка системи електропостачання приватного акціонерного Товариства «Вінницький завод «Маяк».

Методи. У бакалаврській кваліфікаційній роботі використано аналітичні, теоретичні та експериментальні методи, а саме: методи визначення електричних навантажень підприємства та цеху (метод упорядкованих діаграм та коефіцієнта попиту) та локаційний метод для пошуку пошкоджень у КЛ.

Короткий зміст роботи. У першому розділі розглянуто основний технологічний цикл виробництва та наведено відомості про електричні навантаження електроспоживачів. Другий розділ присвячено розрахункам електричних навантажень підприємства, вибору та розміщенню трансформаторних підстанцій, вибору схеми електропостачання підприємства та цеху. У третьому розділі розглянуто методи діагностики пошкоджень кабельних мереж підприємства, зокрема локаційний метод. Четвертий розділ описує рішення щодо безпечного користування виробничого обладнання, охорони праці промислово-виробничого персоналу та пожежної безпеки на ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

Новизна. Полягає в інтеграції традиційних методів проєктування систем електропостачання із сучасними підходами до діагностики стану кабельних мереж. Особливістю є застосування локаційного методу для швидкого виявлення місць пошкоджень, що дозволяє знизити час пошуку пошкодження та забезпечити безперервність електропостачання на промисловому підприємстві.

Практична цінність роботи. Можливість використання розробленої схеми електропостачання як проєктного рішення для аналогічних промислових підприємств. Розрахунки електричних навантажень, вибір обладнання, побудова схеми електропостачання підприємства та цеху можуть бути адаптовані до певних умов

при проектуванні нових чи реконструкції існуючих енергосистем. А застосування локаційного методу має високу прикладну значущість для самого підприємства, оскільки дозволяє зменшити витрати на обслуговування, мінімізувати простой обладнання та підвищити загальну надійність мережі ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

Апробація результатів бакалаврської кваліфікаційної роботи. Результати дослідження представлено на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки у 2025 році. Тези доповідей опубліковані в матеріалах конференції [15].

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

Історія ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» розпочалася у 1968 році, коли за наказом Міністерства радіотехнічної промисловості СРСР №492 від 10 вересня у Вінниці почалося будівництво заводу радіотехнічної апаратури (ВЗРТА). Офіційно ж завод був заснований 21 липня 1969 року. Це було єдине виробництво в СРСР, яке спеціалізувалося на виготовленні блоків і систем живлення, а також друкувальних пристроїв для електронно-обчислювальних машин військово-промислового комплексу. Разом із філіями на заводі працювало близько 8,5 тисяч осіб. ВЗРТА входив до числа провідних підприємств у структурі Мінрадіопрому. Значна увага приділялася будівництву та розвитку соціальної інфраструктури: зведено шість житлових будинків, чотири гуртожитки, дитячий табір, культурно-спортивний комплекс із басейном, їдальню, кафе та інші об'єкти. Вироблялося 40 найменувань товарів народного споживання [1].

Однак із початком розпаду Радянського Союзу у 1991 році потужне підприємство втратило свою актуальність. Виробництво скорочувалося, борги зростали, почались масові скорочення, зникли перспективи розвитку, цехи спорожніли. Тому обрали новий напрямок розвитку заводу — теплові прилади [1].

У 1991 році на базі промислового підприємства було утворено відкрите акціонерне товариство «Маяк», яке з часом стало одним із провідних представників промисловості в Україні.

У 1994 році, згідно з рішенням Міністерства машинобудування, військово-промислового комплексу та конверсії України, державне підприємство ВЗРТА було трансформоване у відкрите акціонерне товариство «Маяк».

У 1997 році була зареєстрована торгова марка «Термія», під якою почалося серійне виробництво продукції підприємства.

Подальші організаційно-правові зміни відбулися у 2012 році, коли підприємство набуло статусу публічного акціонерного товариства. Згодом, у травні 2017 року, його було перейменовано на приватне акціонерне товариство «Вінницький завод

«Маяк». [2]. На 15-ти гектарах заводської території розміщено конструкторське бюро, виробничі цехи, підсобне виробництво, складські приміщення, транспорт.

Сьогодні на заводі випускають 5 видів електричних конвекторів, теплові завіси, агрегати повітряного опалення, електрокотли і електроплитки, маслонаповнені радіатори, плінтусні конвектори, інфрачервоні обігрівачі, загалом 40 видів продукції під власною торговою маркою «Термія» впевнено лідирують і займають нові ринки країн ЄС [1].

1.1 Короткий опис технологічних процесів

Виробництво на заводі побудована за принципом «повного циклу» розробки та виготовлення продукції- від креслення до виготовлення оснащення, штамів, пресформ. Далі фарбування, складання, випробування зразків і аж до випуску серії [1]. Цей процес охоплює кілька ключових етапів, які забезпечують високу якість та відповідність продукції вимогам замовника.

Усі виробничі підрозділи, а також допоміжні організації та пов'язані підприємства беруть участь у реалізації технологічного процесу, забезпечуючи стабільне функціонування основного виробництва.

1. Механічний цех виконує точну обробку металевих заготовок на токарних, фрезерних, шліфувальних та інших станках; виготовляє корпусні деталі, вали, втулки тощо.

2. Заготівельний цех займається первинною обробкою сировини: різанням металу, різанням профілів, підготовкою заготовок для подальшої обробки.

3. Ковально-штамповочний цех виконує штампування і кування деталей, надаючи їм потрібну форму за допомогою пресів і молотів.

4. Зварювальний цех забезпечує зварювання металевих конструкцій та вузлів виробів за допомогою електродугового та інших методів зварювання.

5. Намоточний цех виготовляє електромагнітні котушки, трансформатори, інші обмотувальні вироби; здійснює ізоляцію та просочення.

6. Цех сталелегуюмінієвого лиття здійснює лиття деталей зі сталі та алюмінієвих сплавів у форми різної складності.

7. Інструментальний цех виготовляє та ремонтує штампи, прес-форми, інструменти, оснащення для верстатів.

8. Фарбувальний цех займається ґрунтуванням, фарбуванням та лакуванням готових виробів; застосовуються порошкові та рідкі фарби.

9. Збірно-монтажний цех здійснює кінцеве складання вузлів і приладів, монтаж електричних частин, підготовку виробів до тестування та пакування.

10. Адміністративний корпус містить керівництво підприємства, бухгалтерію, економістів, проєктні бюро тощо.

11. Ремонтно-механічний цех займається ремонтом і технічним обслуговуванням виробничого обладнання заводу.

12. Очисні споруди забезпечують очищення промислових і побутових стоків перед скиданням або повторним використанням.

13. Енергоблок відповідає за забезпечення заводу електроенергією, паром, водою, стисненим повітрям тощо.

14. Цех друкованих плат виготовляє одно- і багат шарові друковані плати для електронної апаратури підприємства.

15. Відділ випробувань проводить перевірку якості та функціональності готової продукції перед її передачею замовнику.

16. Котельня забезпечує теплопостачання виробничих та адміністративних приміщень підприємства.

17. Цех нестандартного обладнання проєктує та виготовляє обладнання нестандартної конфігурації для потреб власного виробництва або на замовлення.

18. Автотранспортний цех обслуговує вантажний та легковий автотранспорт підприємства, виконує перевезення продукції, сировини та персоналу.

19. Склади ОМТС (відділу матеріально-технічного забезпечення) забезпечують зберігання, облік і видачу матеріалів, комплектуючих, інструментів та сировини.

20. Столова організовує харчування працівників підприємства.

21. Цех термопластавтоматів виробляє пластмасові деталі методом лиття під тиском із використанням термопластавтоматів.

22. КСК «МАЯК» - культурно-спортивний комплекс заводу, що організовує дозвілля, спортивні та культурні заходи для працівників.

23. Типографія займається виготовленням поліграфічної продукції для внутрішніх і зовнішніх потреб (інструкції, технічна документація, маркування).

24. Корпус порошків і металургії спеціалізується на виготовленні деталей методом порошкової металургії - пресуванням металевих порошків із подальшим спіканням.

Підприємство ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» отримує живлення від ПС 110/35 кВ міської мережі, що знаходиться на відстані 6 км від підприємства.

1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика

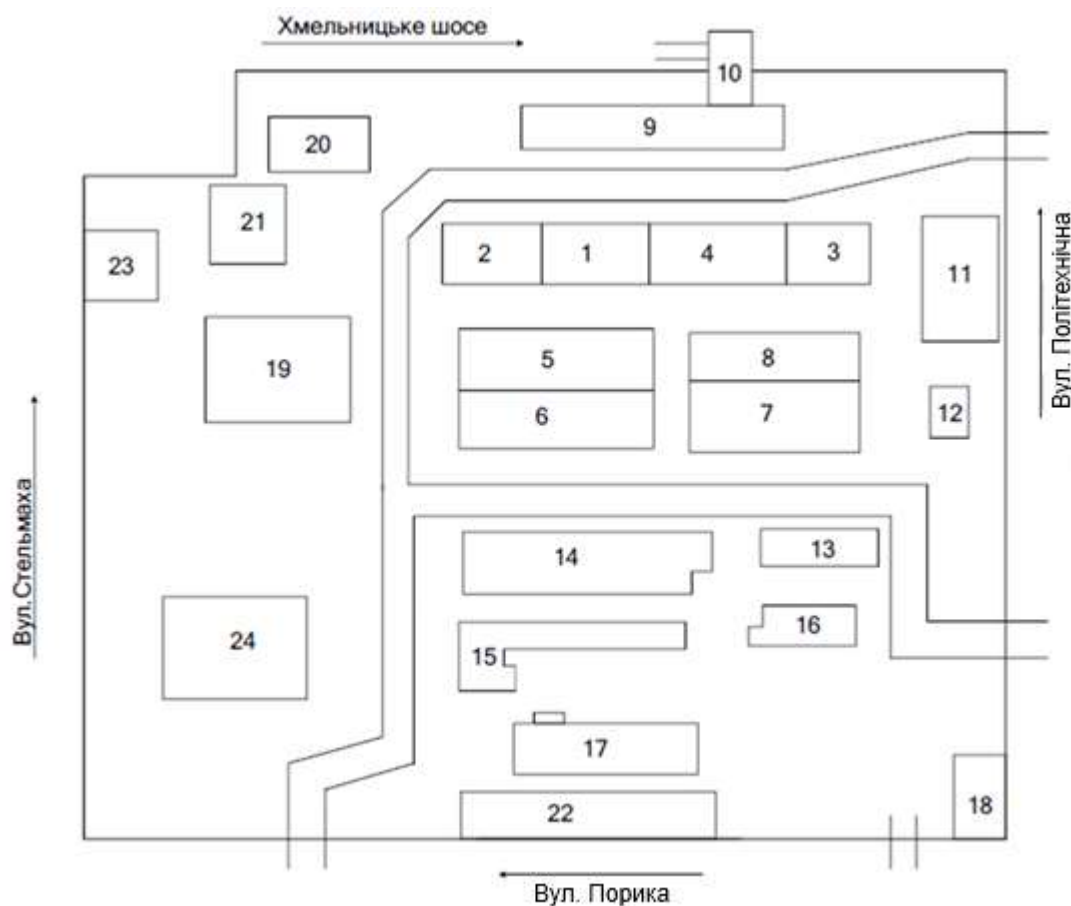


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження підприємства

№	Назва цеху	Рн, кВт
1	Механічний цех	272,8
2	Заготівельний цех	300
3	Ковально-штамповочний цех	480
4	Зварювальний цех	1080
5	Намоточний цех	1176
6	Цех сталелегатурного лиття	1680
7	Інструментальний цех	576
8	Фарбувальний цех	840
9	Збірно-монтажний цех	432
10	Адміністративний корпус	96
11	Ремонтно-механічний цех	456
12	Очисні споруди	480
13	Енергоблок	1680
14	Цех друкованих плат	408
15	Відділ випробувань	288
16	Котельня	1800
17	Цех нестандартного обладнання	360
18	Автотранспортний цех	144
19	Склади ОМТС	96
20	Столова	552
21	Цех термопластавтоматів	1566
22	КСК "МАЯК"	60
23	Типографія	180
24	Корпус порошків і металургії	240

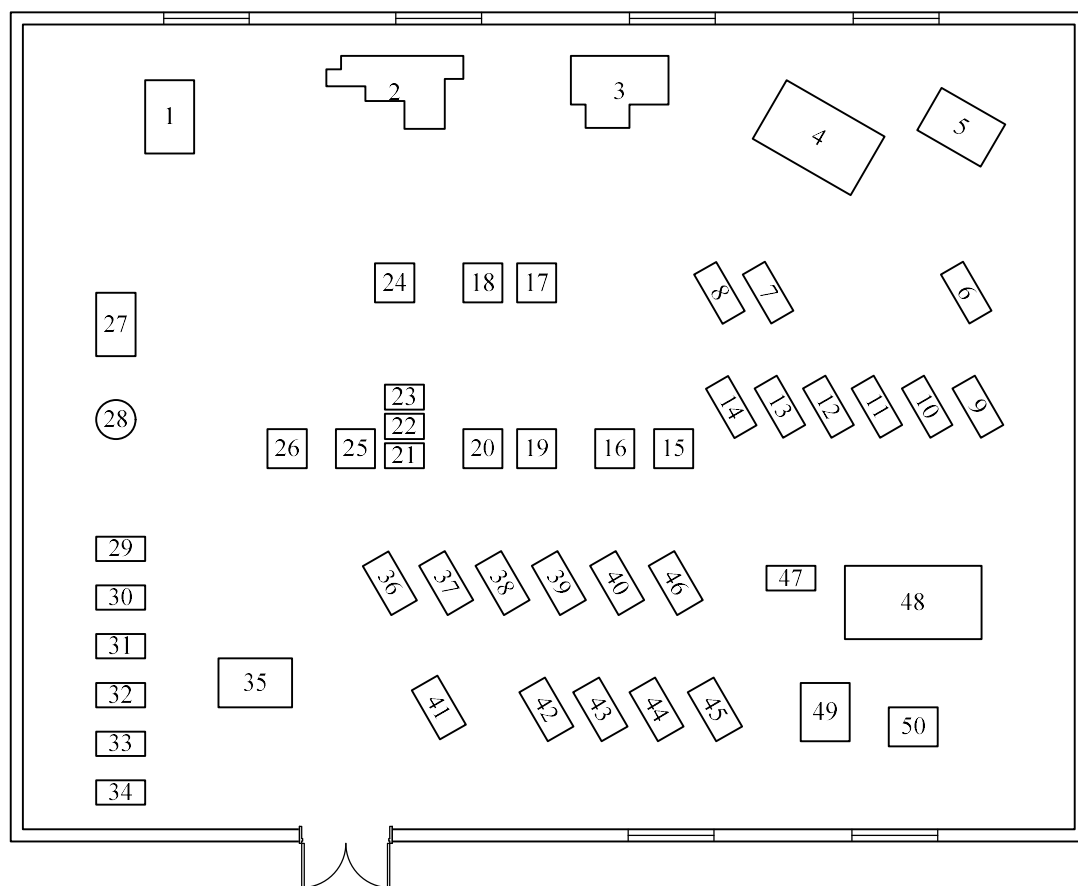


Рисунок 1.2 – План механічного цеху

Таблиця 1.2 – Електричні навантаження механічного цеху

№	Назва приймача	Рн, кВт
1, 35	Різьбонарізний станок	16,2
2	Універсально шліфувальний станок	11,4
3	Плоскошліфувальний станок	5,35
4, 36	Токарно гвинторізний станок	11,5
5	Токарно гвинторізний станок	5,52
6	Універсально фрезерний станок	9
7	Універсально фрезерний станок	7,44
8	Горизонтально фрезерний станок	6,72
9-13	Вертикально фрезерний станок	6,24
14	Універсально фрезерний станок	4,2
15-17, 24	Свердлильний станок	0,84
18-20, 25, 29-34	Різьбонарізний станок	1,92
21-23	Свердлильний станок	2,52
26	Вертикально свердлильний станок	1,44
27	Універсально заточувальний станок	1,32
28	Вертикально фрезерний станок	0,96
37	Токарно гвинторізний станок	4,8

Продовження таблиці 1.2

№	Назва приймача	Р _н , кВт
38, 46	Токарно гвинторізний станок	12
39-45	Токарно гвинторізний станок	3,84
47	Піч нагрівальна	12
48	Торце-розкатний станок	38,4
49-50	Полірувальний станок	4,32

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Для розрахунку електричних навантажень всього підприємства необхідно провести розрахунки навантажень кожного цеху окремо. Для прикладу розглянено механічний цех. Розрахунок навантаження цехової мережі виконаємо за допомогою методу впорядкованих діаграм, що полягає в тому, що група електроприймачів з різними показниками повинна бути приведена до еквівалентної групи з однаковими показниками.

Для механічного цеху обґрунтовано обрано радіально-магістральну схему цехової електричної мережі, яка забезпечує ефективну організацію електроживлення споживачів.

З огляду на планувальне розміщення електроприймачів №6–26 та №36–50 в паралельних рядах, доцільно здійснити підведення електроенергії до них від шинопроводів ШР-1 і ШР-2 відповідно. Зазначені шинопроводи, у свою чергу, підключаються до розподільчих щитів РЩ та РП-2.

Електроприймачі №1–5 та №27–35 передбачено жити безпосередньо від розподільчих пунктів РП-1 та РП-2 відповідно.

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів приймаються рівними номінальним:

$$P_p = P_n, \quad Q_p = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n; \quad (2.1)$$

де P_n - активна потужність електроприймачів, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ - номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

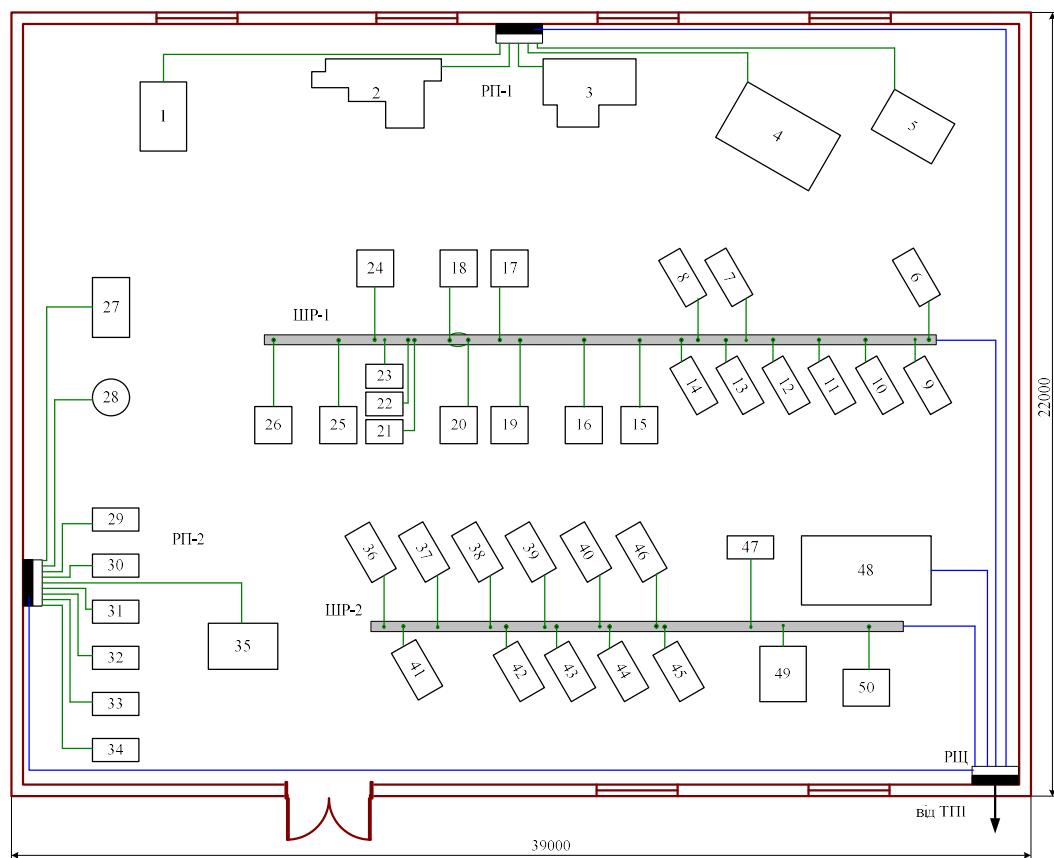


Рисунок 2.1 – План електропостачання механічного цеху

Розрахункові навантаження для електричних мереж напругою до 1000 В визначають за наступними формулами:

$$P_M = K_M \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}; \quad (2.2)$$

$$Q_M = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e \leq 10, \\ 1,0 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e > 10; \end{cases} \quad (2.3)$$

Розрахункові навантаження для магістральних шинопроводів визначаємо так:

$$P_M = K_M \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}; \quad Q_M = K_M \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.4)$$

де K_M - розрахунковий коефіцієнт;

n_e - ефективне число електроприймачів;

Значення розрахункового коефіцієнта знаходимо із таблиці 1.2 [1, таблиці 1. 2].

Визначаємо середні значення активної та реактивної потужності за формулами:

$$P_C = K_B \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.5)$$

Для заданих формул знаходимо груповий коефіцієнт використання та ефективне число електроприймачів цеху:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}; \quad (2.6)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}; \quad (2.7)$$

Значення ефективного числа ЕП потрібно округлити до меншого цілого числа.

Із таблиці 1.1 [4] знаходимо розрахунковий коефіцієнт $K_M = f(K_B; n_e)$.

Формула для знаходження повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.8)$$

Знаючи значення повної потужності можна визначити розрахунковий струм:

$$I_M = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H} \quad (2.9)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

Розрахуємо силове навантаження для РП-1:

$$P_C = 1,94 + 1,37 + 1,07 + 1,38 + 0,66 = 6,43 \text{ (кВт);}$$

$$Q_C = 4,47 + 1,6 + 1,25 + 3,18 + 1,52 = 12,03 \text{ (квар);}$$

$$K_B = \frac{6,43}{49,92} = 0,13;$$

$$n_e = \frac{49,99^2}{584} = 4 \text{ (шт.)}.$$

Із [4, таблиця 1.1] коефіцієнт K_M становить 2,75 звідси:

$$P_p = 2,75 \cdot 6,43 = 17,67 \text{ (кВт)};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 12,03 = 13,23 \text{ (квар)};$$

$$S_p = \sqrt{17,67^2 + 13,23^2} = 22,08 \text{ (кВА)};$$

$$I_p = \frac{22,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 35,54 \text{ (А)}.$$

Розрахуємо силове навантаження для цеху:

$$P_c = 39,62 \text{ (кВт)};$$

$$Q_c = 76,27 \text{ (квар)};$$

$$K_B = \frac{39,62}{272,83} = 0,15;$$

$$n_e = \frac{272,83^2}{3363} = 22 \text{ (шт.)}.$$

Із [4, таблиця 1.2] знаходимо коефіцієнт $K_M = 0,8$ звідси:

$$P_M = 0,8 \cdot 39,62 = 31,7 \text{ (кВт)};$$

$$Q_M = 0,8 \cdot 76,27 = 61,02 \text{ (квар)};$$

$$S_M = \sqrt{31,7^2 + 61,02^2} = 68,76 \text{ (кВА)};$$

Результати розрахунків цехової мережі заносимо до таблиці Б.1 додатку Б.

Щоб знайти активну та реактивну потужність силового обладнання заводу необхідно скористатися методом коефіцієнта попиту згідно таких формул:

$$P_c = K_{\Pi} \cdot P_n; \quad Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.10)$$

Також згідно цього методу можна визначити розрахункове навантаження освітлювальних установок. Розрахункова потужність електричного освітлення визначається за такими формулами:

$$P_o = P_{\text{пит.о}} \cdot K_{\text{по}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot F; \quad (2.11)$$

$$Q_o = P_o \cdot \operatorname{tg} \phi_o ; \quad (2.12)$$

де $P_{\text{пит.о}}$ - питома густина освітлювального навантаження в межах : 0,011-0,022 в залежності від типу приміщення;

$K_{\text{по}}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$K_{\text{пра}}$ - коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі з;

$$K_{\text{по}} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення;} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення;} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції;} \\ 1,0 - \text{аварійне освітлення.} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$K_{\text{пра}} = \begin{cases} 1,1 - \text{ДРЛ;} \\ 1,2 - \text{люмінесцентні - стартерні;} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінесцентні - безстартерні.} \end{cases} \quad (2.14)$$

Розрахункова потужність визначається як сума потужностей силового та освітлювального навантажень, розрахованих відповідно до прийнятих технічних параметрів і режимів експлуатації:

$$P_p = P_c + P_o ; \quad Q_p = Q_c + Q_o ; \quad (2.15)$$

Знаходимо розрахункові максимальні навантаження підприємства за формулами:

$$P_{\text{рз}} = K_o \left(\sum_{i=1}^N P_{\text{pi}} + P_{\text{пцi}} + P_{\text{рз}} \right) + P_{\text{ос}} ; \quad Q_{\text{рз}} = K_o \left(\sum_{i=1}^N Q_{\text{pi}} + Q_{\text{пцi}} + Q_{\text{рз}} \right) ; \quad (2.16)$$

де $P_{\text{pi}}, Q_{\text{pi}}$ - розрахункові максимальні навантаження цехів, кВт, квар;

N - число ТП або цехів;

$P_{\text{пцi}}, Q_{\text{пцi}}$ - розрахункове максимальне навантаження цехових електроприймачів;

K_o - коефіцієнт одночасності максимумів навантаження з [1];

$P_{\text{рз}}, Q_{\text{рз}}$ - розрахункові максимальні навантаження загальнозаводських ЕП і цехових ТП, кВт, квар.

З [4, таблиця 1.4] значення K_o становить 0,95.

Відповідно повна потужність навантаження підприємства визначається як:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}; \quad (2.17)$$

Згідно даних формул проведемо розрахунок для заготівельного цеху:

$$P_c = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ (кВт)}$$

$$P_p^o = 0,017 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1215 = 21,1 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p^o = 21,1 \cdot 0,43 = 9,1 \text{ (кВАр)},$$

$$P_{p\Sigma} = P_{pc\Sigma} + P_{po\Sigma} = 150 + 21,1 = 171,1 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_{pc\Sigma} + Q_{po\Sigma} = 128,3 + 9,1 = 138,4 \text{ (кВАр)}$$

$$Sp = \sqrt{171,1^2 + 138,4^2} = 220,0 \text{ (кВА)}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки для всього підприємства та заносимо результати у таблицю Б.2 додатка Б.

2.2 Вибір та розміщення підстанцій

2.2.1 Вибір і розміщення цехових ТП

Визначимо повну розрахункову потужність для всіх цехів підприємства із напругою живлення електроприймачів 380 В:

$$S_\Sigma = \sum_{i=1}^{12} \sqrt{P_{Pi}^2 + Q_{Pi}^2} = 9952,8 \text{ (кВА)}; \quad (2.18)$$

Загальну площу усіх цехів знаходимо за формулою:

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^{12} F_i = 38223 \text{ (м}^2\text{)}; \quad (2.19)$$

Знайдемо питому густину навантаження на 1 м² площі:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_\Sigma}{F_\Sigma} = \frac{9952,8}{38223} = 0,26 \text{ (кВА/м}^2\text{)}; \quad (2.20)$$

$$S_{\text{НОМ.Т}} = \begin{cases} 630,1000 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} < 0,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2, \\ 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} = 0,2 \div 0,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2, \\ 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} = 0,3 \div 0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2. \end{cases}$$

Згідно з [4] при даному значенні питомої густини навантаження необхідно встановити силові трансформатори потужністю 1600 кВА.

Знайде-

мо необхідну для встановлення кількість двотрансформаторних підстанцій:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{9952,8}{2 \cdot 1600 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 3,66 \div 3,89. \quad (2.21)$$

де $k_3 = 0,8 \div 0,85$ - коефіцієнт завантаження трансформаторів двотрансформаторної підстанції із споживачами II та III категорії.

Оскільки «Маяк» належить до споживачів II категорії електропостачання необхідно встановити чотири двотрансформаторних підстанцій.

Розподілимо трансформаторні підстанції між цехами і визначимо їх фактичний коефіцієнт завантаження. Розрахунки зведемо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розподіл трансформаторних підстанцій 1600 кВА

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Kз, в.о.
ТП1	1	Механічний цех	52,76	71,13	88,56	1600	2	0,75
	2	Заготівельний цех	171,07	138,39	220,03			
	9	Збірно-монтажний цех	229,98	162,88	281,82			
	10	Адміністративний корпус	63,82	44,89	78,02			
	19	Склади ОМТС	62,89	40,56	74,84			
	20	Столова	287,66	139,27	319,60			
	21	Цех термопластавтоматів	958,48	713,76	1195,05			
	23	Типографія	128,20	62,00	142,40			
		Всього по ТП1	1954,87	1372,88	2388,79			
ТП2	3	Ковально-штамповочний цех	232,85	192,81	302,32	1600	2	0,85
	4	Зварювальний цех	568,09	644,81	859,37			
	5	Намоточний цех	502,79	495,45	705,88			
	6	Цех сталелюмінієвого лиття	795,33	385,02	883,62			
		Всього по ТП2	2099,06	1718,09	2712,54			
ТП3	14	Цех друкованих плат	263,49	236,68	354,18			
	15	Відділ випробувань	155,59	194,32	248,93			
	16	Котельня	1087,00	926,93	1428,56			
	17	Цех нестандартного обладнання	173,50	122,16	212,19			
	18	Автотранспортний цех	89,78	43,43	99,73			

	22	КСК "МАЯК"	71,55	40,83	82,38			
	24	Корпус порошків і металургії	193,16	170,51	257,65			
		Всього по ТПЗ	2034,06	1734,85	2673,41	1600	2	0,84
ТП4	7	Інструментальний цех	327,02	197,21	381,88			
	8	Фарбувальний цех	494,13	361,92	612,50			
	11	Ремонтно-механічний цех	259,84	156,58	303,37			
	12	Очисні споруди	265,87	198,90	332,03			
	13	Енергоблок	846,61	633,17	1057,19			
		Всього по ТП4	2193,46	1547,79	2684,57	1600	2	0,84

Оптимальний варіант розміщення центрального розподільчого пункту визначається шляхом порівняння втрат електроенергії в трансформаторних підстанціях; перевага надається тому рішення, яке забезпечує мінімальні енергетичні втрати.

Таблиця 2.2 - Номінальні величини силового трансформатора

Марка	S_H , кВА	U_{BH} , кВ	U_{HH} , кВ	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_K , кВт	I_{XX} , %	U_K , %
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,8	18	1,3	5,5

Втрати енергії в трансформаторах типу ТМ-1600/10:

$$\Delta P_{TP} = n \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_M}{S_{HOM.T}} \right)^2, \quad (2.22)$$

$$\Delta Q_{TP} = n \cdot \frac{\Delta I_{X\%}}{100} \cdot S_{HOM.T} + \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta U_K}{100} \cdot \left(\frac{S_M}{S_{HOM.T}} \right)^2, \quad (2.23)$$

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_{TP} \cdot \tau, \quad (2.24)$$

де ΔP_{XX} , ΔP_K – втрати холостого ходу і короткого замикання в трансформаторах підстанції;

S_{HOM} – номінальна потужність трансформатора ТП;

τ – величина максимальних втрат.

Значення максимальних втрат розраховуємо за формулою:

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ (год)}, \quad (2.25)$$

Таблиця 2.3 - Втрати енергії в трансформаторах

	Марка ТП	п, шт.	S_T , кВА	S_H , кВА	K_3 , %	ΔP , кВт	ΔQ , кВт	ΔW , кВт*год/рік
ТП 1	ТМ-1600/10	2	1600	2388,79	0,67	25,66	41,66	74063,64

ТП 2	ТМ-1600/10	2	1600	2712,54	0,59	31,47	41,68	90822,08
ТП 3	ТМ-1600/10	2	1600	2673,41	0,60	30,73	41,68	88683,17
ТП 4	ТМ-1600/10	2	1600	2684,57	0,60	30,94	41,68	89289,97
Всього						118,8	166,7	342858,9

Згідно розрахунків, для забезпечення електроживлення цехів підприємства передбачено встановлення чотирьох двотрансформаторних підстанцій, кожна з яких обладнана трансформаторами потужністю по 1600 кВА.

Розрахуємо місце установки цехових ТП, а результати занесемо до таблиці 2.4:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad (2.26)$$

Таблиця 2.4 – Координати розміщення цехів та трансформаторних підстанцій

№	Цех	ТП	Рр, кВт	X, м	Y, м	Рр*X, кВт*м	Рр*Y, кВт*м
1	Механічний цех	1	52,76	231	274	12188,36	14457,19
2	Заготівельний цех	1	171,07	186	274	31818,67	46872,66
3	Ковально-штамповочний цех	2	232,85	332	274	77307,69	63802,13
2	Зварювальний цех	2	568,09	283	274	160769,70	155656,88
5	Намоточний цех	2	502,79	215	228	108099,21	114635,45
6	Цех сталелегированого лиття	2	795,33	214	201	170200,00	159860,75
7	Інструментальний цех	4	327,02	310	203	101374,65	66384,05
8	Фарбувальний цех	4	494,13	310	229	153180,30	113155,77
9	Збірно-монтажний цех	1	229,98	257	331	59105,29	76123,94
10	Адміністративний корпус	1	63,82	291	355	18570,46	22654,68
11	Ремонтно-механічний цех	4	259,84	392	263	101855,81	68336,93
12	Очисні споруди	4	265,87	387	205	102890,23	54502,58
13	Енергоблок	4	846,61	330	146	279381,17	123605,00
14	Цех друкованих плат	3	263,49	228	139	60074,90	36624,61
15	Відділ випробувань	3	155,59	221	98	34385,83	15248,02
16	Котельня	3	1087,00	322	111	350013,48	120656,82
17	Цех нестандартного обладнання	3	173,50	236	57	40944,90	9889,23
18	Автотранспортний цех	3	89,78	399	36	35820,37	3231,91
19	Склади ОМТС	1	62,89	92	223	5786,28	14025,45

№	Цех	ТП	Рр, кВт	Х, м	У, м	Рр*Х, кВт*м	Рр*У, кВт*м
20	Столова	1	287,66	79	287	22725,46	82559,57
21	Цех термопластавтоматів	1	958,48	110	322	105433,16	308631,61
22	КСК "МАЯК"	3	71,55	228	28	16313,95	2003,47
23	Типографія		128,20	23	268	2948,51	34356,53
24	Корпус порошків і металургії	3	193,16	73	102	14100,60	19702,21
			ΣРр, кВт	ΣРр*Х/ΣРр	ΣРр*У/ΣРр	ΣРр*Х, кВт*м	ΣРр*У, кВт*м
	Сумарно по ТП1		1826,67	139,94	309,48	255627,67	565325,09
	Сумарно по ТП2		2099,06	246,00	235,32	516376,60	493955,20
	Сумарно по ТП3		2034,06	271,21	101,94	551654,03	207356,27
	Сумарно по ТП4		2193,46	336,77	194,21	738682,16	425984,33
	Координати ЦЕН		8281,44	249,39	208,54	2065288,97	1726977,42

Згідно розрахованих координат розміщення ТП виберемо оптимальні координати на генеральному плані підприємства та результати занесемо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Координати розміщення цехових ТП

	Розраховані		Оптимальні на генплані	
	Х, м	У, м	Х, м	У, м
ТП-1	139,94	309,48	89	278
ТП-2	246,00	235,32	273	233
ТП-3	271,21	101,94	287	101
ТП-4	336,77	194,21	340	172
ЦРП	249,39	208,54	120	192

Для уточнення оптимального розташування трансформаторних підстанцій (ТП) доцільно побудувати картограму електричних навантажень та визначити центр електричних навантажень підприємства.

Картограма створюється на основі генерального плану об'єкта. Електричне навантаження кожного цеху відображається у вигляді круга, площа якого пропорційна відповідній розрахунковій активній потужності.

Приймаємо масштаб рівним $m_p = 0,1 \text{ кВт/м}^2$. Згідно прийнятого масштабу розраховуємо радіуси кругів за такою формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.27)$$

Сектор освітлювального навантаження визначається як:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}; \quad (2.28)$$

Зробимо розрахунки для усіх цехів та зведемо результати до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X,м	Y,м	Pp, кВт	Po, кВт	r, м	α°	d, м
1	Механічний цех	231	274	52,76	21,07	9,17	143,7	18,33
2	Заготівельний цех	186	274	171,07	21,07	16,50	44,3	33,01
3	Ковально-штамповочний цех	332	274	232,85	16,85	19,26	26,1	38,51
4	Зварювальний цех	283	274	568,09	28,09	30,08	17,8	60,15
5	Намоточний цех	215	228	502,79	32,39	28,30	23,2	56,59
6	Цех сталелегуючого лиття	214	201	795,33	39,33	35,59	17,8	71,17
7	Інструментальний цех	310	203	327,02	39,02	22,82	43,0	45,64
8	Фарбувальний цех	310	229	494,13	32,13	28,05	23,4	56,10
9	Збірно-монтажний цех	257	331	229,98	35,58	19,14	55,7	38,27
10	Адміністративний корпус	291	355	63,82	11,02	10,08	62,1	20,16
11	Ремонтно-механічний цех	392	263	259,84	31,84	20,34	44,1	40,68
12	Очисні споруди	387	205	265,87	1,87	20,58	2,5	41,15
13	Енергоблок	330	146	846,61	6,61	36,72	2,8	73,43
14	Цех друкованих плат	228	139	263,49	59,49	20,48	81,3	40,97
15	Відділ випробувань	221	98	155,59	40,39	15,74	93,5	31,48
16	Котельня	322	111	1087,00	7,00	41,60	2,3	83,21
17	Цех нестандартного обладнання	236	57	173,50	29,50	16,62	61,2	33,24
18	Автотранспортний цех	399	36	89,78	10,58	11,96	42,4	23,91
19	Склади ОМТС	92	223	62,89	24,49	10,01	140,2	20,02
20	Столова	79	287	287,66	11,66	21,40	14,6	42,80
21	Цех термопластавтоматів	110	322	958,48	18,88	39,07	7,1	78,13
22	КСК "МАЯК"	228	28	71,55	47,55	10,67	239,2	21,35
23	Типографія	23	268	128,20	20,20	14,29	56,7	28,58
24	Корпус порошків і металургії	73	102	193,16	49,16	17,54	91,6	35,08

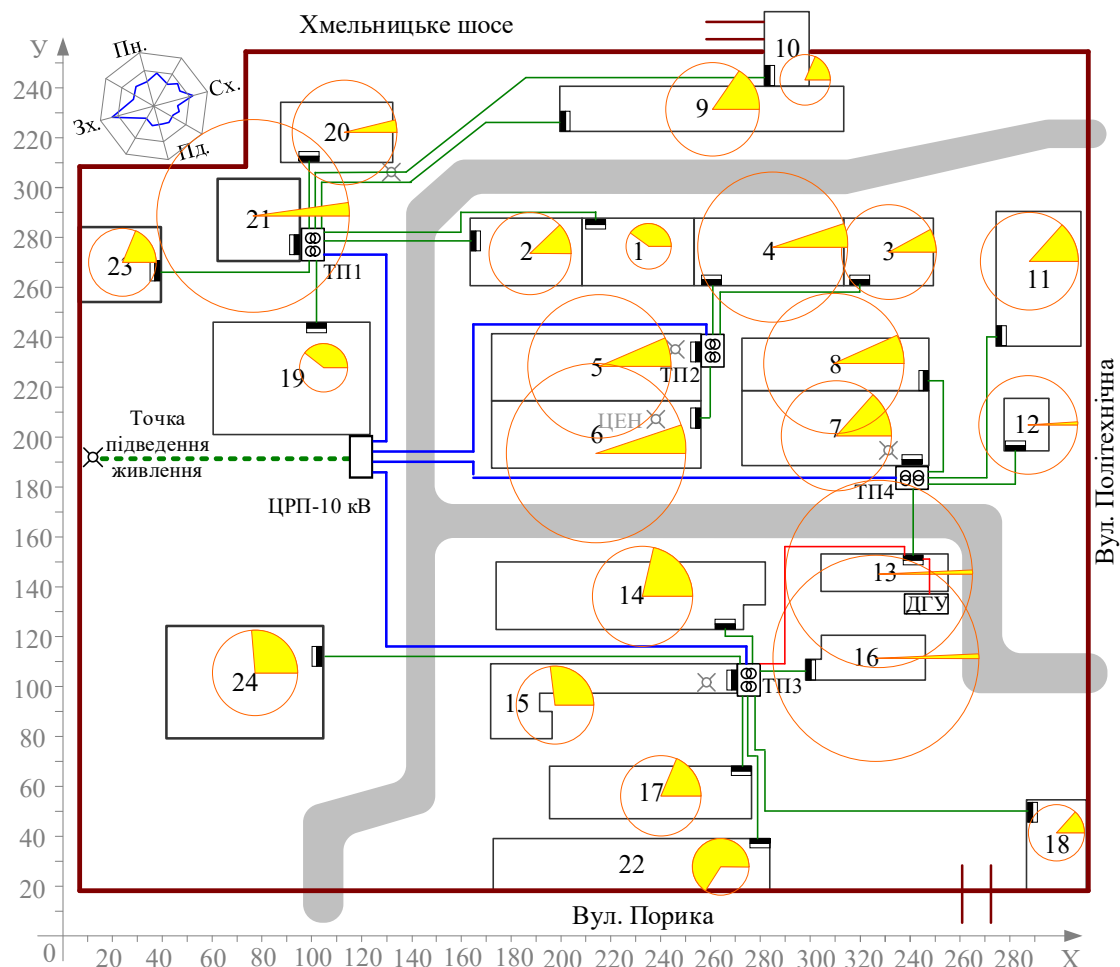


Рисунок 2.2 – Генеральний план підприємства

2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

Живлення ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» здійснюється від підстанції «Західна» напругою 110/10 кВ, яка розташована на відстані приблизно 6 км від території підприємства.

З огляду на просторове розміщення цехових трансформаторних підстанцій у різних напрямках від центрального розподільчого пункту, для внутрішнього електропостачання прийнято радіальну схему на напругу 10 кВ.

На території підприємства передбачено встановлення ЦРП 10 кВ із двома секціями розподільних шин.

Заводські електричні мережі виконані кабельними лініями, прокладеними в траншеях відповідно до будівельних і електротехнічних норм.

Відповідно до вимог ПУЕ [5], електричні апарати вибирають з урахуванням умов їх встановлення, номінальних параметрів (струму та напруги), також вони проходять перевірку на термічну та електродинамічну стійкість.

Вибір високовольтних вимикачів здійснюється за номінальною напругою та розрахунковим струмом, з урахуванням можливих післяаварійних режимів роботи системи.

Умови вибору вимикачів:

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}, \quad (2.29)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{max}}, \quad (2.30)$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі типу ВРС-10-20/630. Номінальний струм вимикача $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ А}$. Власний час відключення становить 0,055 с.

Для живлення заводу обираємо силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену типу АПвПу-10 прокладені в траншеї.

Здійснено вибір перерізу кабелю за допустимим розрахунковим струмом:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{9952,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 274 \text{ (А)}, \quad (2.31)$$

$$I_{\text{п.а}} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{9952,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 547 \text{ (А)}, \quad (2.32)$$

Умова вибору кабелю по розрахунковому струму із врахуванням поправочних коефіцієнтів:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (2.33)$$

$$547 \text{ (А)} \leq 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 588 = 582 \text{ (А)}.$$

де k_1 - поправочний коефіцієнт при температурі зовнішнього середовища;

k_2 - поправочний коефіцієнт в залежності від глибини прокладання;

k_3 - поправочний коефіцієнт в залежності від теплового опору ґрунту;

k_4 - поправочний коефіцієнт в залежності від відстані між фазами;

k_5 - поправочний коефіцієнт в залежності від прокладених поруч кабелів;

k_6 - поправочний коефіцієнт при прокладанні в трубах і каналах.

Згідно розрахунків для живлення ЦРП вибираємо кабель типу 2хАПвПу-10 перерізом 3х185 мм² із значенням допустимого струму $I_{\text{доп}}=294 \cdot 2=588$ А [5]. Для інших приєднань вибір перерізу кабелю здійснюємо аналогічно і заносимо результати у таблицю 2.7.

2.3.1 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Для підключення трансформаторних підстанцій ТП до центрального розподільчого пункту (ЦРП) обґрунтовано обрано радіальну схему електропостачання з робочою напругою 10 кВ, що забезпечує простоту реалізації та надійність у разі пошкодження окремих ділянок мережі.

Для подальшого проєктування електричної мережі необхідно провести розрахунок струмів у нормальному режимі експлуатації, а також у післяаварійних умовах, що дозволяє обґрунтувати вибір апаратури та перевірити її на відповідність умовам роботи.

а) ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2389}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 84,5 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{п.а}} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2389}{\sqrt{3} \cdot 10} = 169 \text{ (A)},$$

б) ТП2:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2712}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 96 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{п.а}} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2712}{\sqrt{3} \cdot 10} = 192 \text{ (A)},$$

в) ТП3:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2673}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 94,5 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{п.а}} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2673}{\sqrt{3} \cdot 10} = 189 \text{ (A)},$$

г) ТП4:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2685}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 95 \text{ (A)},$$

$$I_{п.а} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2685}{\sqrt{3} \cdot 10} = 190 \text{ (A)},$$

$$I_{max} = \frac{1,3 \cdot S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,3 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 120 \text{ (A)},$$

Таблиця 2.7 – Вибір високовольтного обладнання

Лінія	I_p , А	$I_{п.а}$, А	Вимикач	$I_{ном}$, А	Провідник	S , мм ²	$I_{доп}$, А
С-ЦРП	274	547	ВРС-10-20/630	630	АПвПу-10	2×3×185	582
ЦРП -ТП1	84,5	169	ВРС-10-20/630	630	АПвПу-10	3×95	236
ЦРП -ТП2	96	192	ВРС-10-20/630	630	АПвПу-10	3×95	236
ЦРП -ТП3	95	189	ВРС-10-20/630	630	АПвПу-10	3×95	236
ЦРП –ТП4	95	190	ВРС-10-20/630	630	АПвПу-10	3×95	236

2.3.2 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів

Проведемо розрахунок струмів КЗ для перевірки обраних вимикачів та кабелів на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Згідно із ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 знайдемо струми трифазних КЗ, усі величини знаходимо у відносних одиницях [9]. Для розрахунків приймемо значення базисної потужності рівним $S_R = 1000$ МВА. Значення базисної напруги обираємо таким, що відповідає номінальній напрузі ступеня виникнення КЗ $U_R = 10$ кВ.

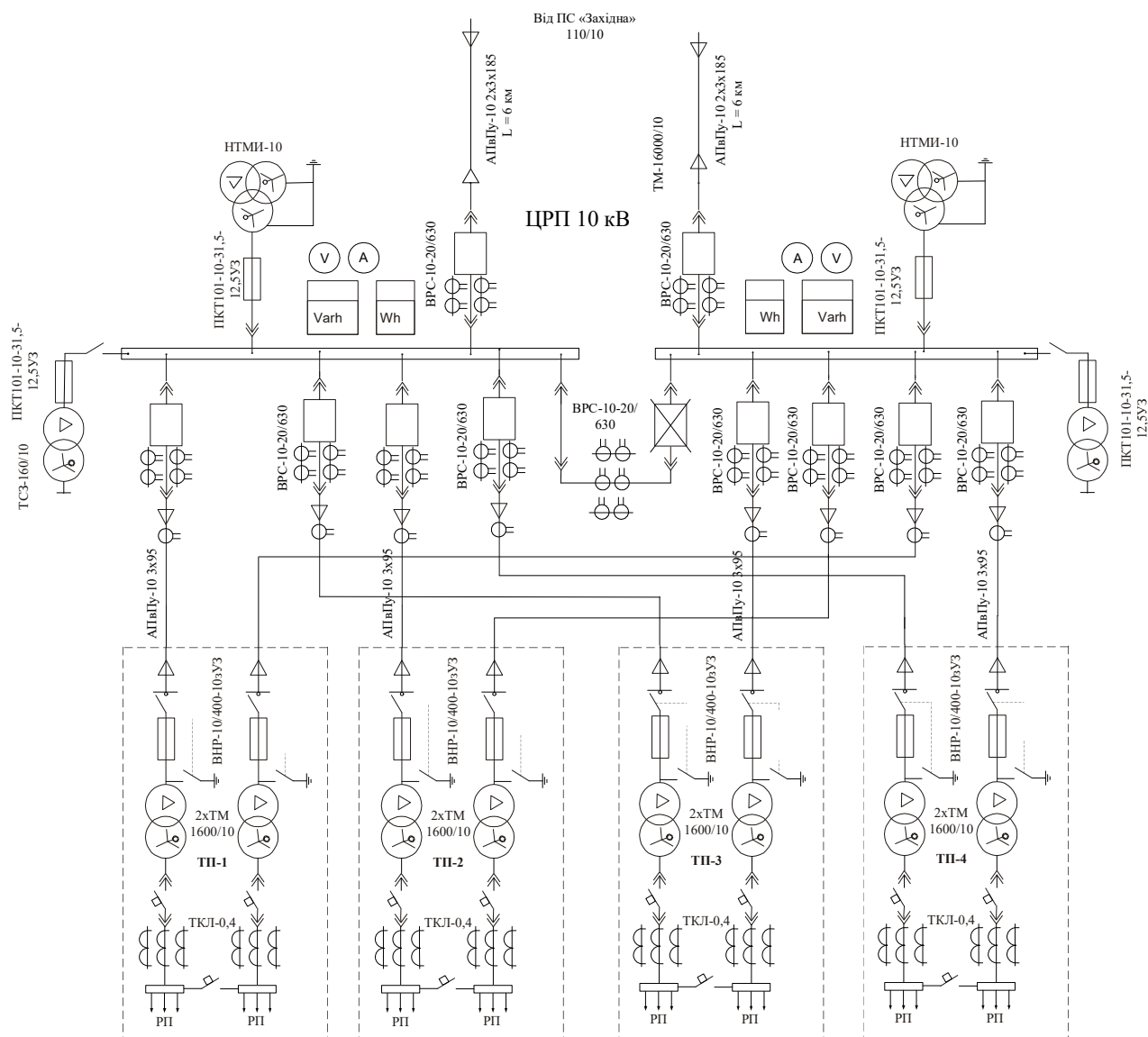


Рисунок 2.3 – Загальна схема електропостачання

Розрахуємо стуми КЗ на шинах 10 кВ ЦРП. Схему заміщення та розрахункову схему покажемо на рисунку 2.4.

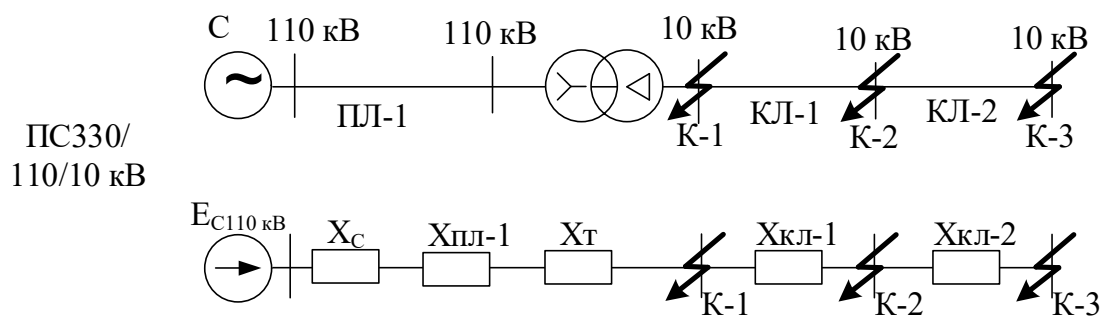


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема і схема заміщення

Розрахуємо значення струмів у точці К-1:

$$I_R = \frac{S_R}{\sqrt{3} \cdot U_R} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ (кА)}, \quad (2.34)$$

Знайдемо опори елементів, що зведені до базисних умов:

Опір системи:

$$X_{C1} = \frac{S_R}{S_{K1}} = \frac{1000}{3736} = 0,3 \text{ (в.о.)}, \quad (2.35)$$

Опір лінії ПЛ-1:

$$X_{Л} = X_{\text{пит.Л}} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{сеп}}^2}, \quad (2.36)$$

$$X_{\text{ПЛ}} = 0,39 \cdot 6,3 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,2 \text{ (в.о.)},$$

Опір трансформатора:

$$X_T = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_R}{S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6,7 \text{ (в.о.)}, \quad (2.37)$$

Результуючий опір:

$$X_{\Sigma 1} = X_{C1} + X_{\text{ПЛ}} + X_T = 0,3 + 0,2 + 6,7 = 7,2 \text{ (в.о.)}, \quad (2.38)$$

Визначаємо діюче значення струму трифазного КЗ:

$$I_{\text{по.к1}} = \frac{E_c''}{X_{\Sigma 1}} \cdot I_R = \frac{1}{7,2} \cdot 55 = 7,6 \text{ (кА)}, \quad (2.39)$$

Періодична складова струму:

$$I_{\text{пт.с}} = I_{\text{ПО}} = 7,6 \text{ (кА)},$$

Розрахуємо значення струмів у точці К-2:

$$I_R = \frac{S_R}{\sqrt{3} \cdot U_R} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ (кА)}, \quad (2.40)$$

Визначаємо опори елементів, що зведені до базисних умов:

Опір системи:

$$X_{C2} = \frac{S_R}{S_{K2}} = \frac{1000}{138} = 7,3 \text{ (в.о.)}, \quad (2.41)$$

Опір лінії КЛ-1:

$$X_{\text{Л}} = X_{\text{пит.Л}} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{сер}}^2}, \quad (2.42)$$

$$X_{\text{ПЛ}} = 0,063 \cdot 6 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,4 \text{ (в.о.)},$$

Результуючий опір рівний:

$$X_{\Sigma 2} = X_{C2} + X_{\text{КЛ}} = 7,3 + 3,4 = 10,7 \text{ (в.о.)}, \quad (2.43)$$

Визначаємо діюче значення струму трифазного КЗ:

$$I_{\text{по.с2}} = \frac{E_c''}{X_{\Sigma 2}} \cdot I_R = \frac{1}{10,7} \cdot 55 = 5,14 \text{ (кА)}, \quad (2.44)$$

Періодична складова струму:

$$I_{\text{пт.С}} = I_{\text{ПО}} = 5,14 \text{ (кА)},$$

Для визначення аперіодичної складової струму КЗ та теплового імпульсу B_K , розрахуємо відносні активні опори елементів:

$$R_e \approx 0,1 \cdot X_C = 0,1 \cdot 7,3 = 0,73, \quad (2.45)$$

$$R_{\Sigma} = R_e = 0,73, \quad (2.46)$$

Значення постійної часу затухання аперіодичної складової струму:

$$T_{\text{ac}} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot R_{\Sigma}} = \frac{X_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}} = \frac{7,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,73} = 0,032 \text{ (с)}, \quad (2.47)$$

Розрахунковий час початку розмикання контактів вимикача:

$$\tau = t_{\text{рз.мін}} + t_{\text{в.в.}} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ (с)}, \quad (2.48)$$

де $t_{\text{рз.мін}}$ - мінімальний час спрацювання реле захисту;

$t_{\text{в.в.}}$ - власний час відключення вимикача (до моменту розходження головних контактів).

Аперіодична складова струму КЗ при $t = \tau = 0,065 \text{ с}$:

$$i_{\text{ат.С}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ac}}}} = \sqrt{2} \cdot 5,14 \cdot e^{\frac{-0,065}{0,032}} = 0,95 \text{ (кА)}, \quad (2.49)$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 5,14 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,065}{0,032}} \right) = 8,22 \text{ (кА)}, \quad (2.50)$$

Час відключення КЗ:

$$t_{від} = t_{рз} + t_{нВ} = 0,05 + 0,01 = 0,06 \text{ (с)}, \quad (2.51)$$

Тепловий імпульс:

$$W_K = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac}) = 5,14^2 \cdot (0,06 + 0,032) = 2,4 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}. \quad (2.52)$$

Розраховуємо значення струмів у точці К-3:

$$I_R = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ (кА)},$$

Визначаємо опори елементів, що зведені до базисних умов:

Опір системи:

$$X_{СЗ} = \frac{S_R}{S_{К1}} = \frac{1000}{94} = 10,6 \text{ (в.о.)}, \quad (2.53)$$

Опір лінії ПЛ-1:

$$X_{Л} = X_{пит.Л} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{сер}^2}, \quad (2.54)$$

$$X_{ПЛ} = 0,064 \cdot 0,13 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,08 \text{ (в.о.)},$$

Результуючий опір рівний:

$$X_{\Sigma 3} = X_{СЗ} + X_{КЛ1} = 10,6 + 0,08 = 10,68 \text{ (в.о.)}, \quad (2.55)$$

Визначаємо діюче значення струму трифазного КЗ:

$$I_{по.с3} = \frac{E_c''}{X_{\Sigma 3}} \cdot I_R = \frac{1}{10,68} \cdot 55 = 5,14 \text{ (кА)}, \quad (2.56)$$

Періодична складова струму:

$$I_{пт.С} = I_{ПО} = 5,14 \text{ (кА)},$$

Для визначення аперіодичної складової струму КЗ та теплового імпульсу W_K , розрахуємо відносні активні опори елементів:

$$R_e \approx 0,1 \cdot X_C = 0,1 \cdot 10,6 = 1,06, \quad (2.57)$$

$$R_{\Sigma} = R_e = 1,06, \quad (2.58)$$

Значення постійної часу затухання аперіодичної складової струму:

$$T_{ac} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot R_{\Sigma}} = \frac{X_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}} = \frac{10,68}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,068} = 0,032 \text{ (с)}, \quad (2.59)$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{\text{ПО}}^2 \cdot (t_{\text{від}} + T_{ac}) = 5,14^2 \cdot (0,06 + 0,032) = 2,4 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}. \quad (2.60)$$

Відповідно до ГОСТ 687 - 78 високовольтні вимикачі повинні бути перевірені на комутаційну здатність, на динамічну стійкість, а також на термічну стійкість до дії струмів КЗ. Результати перевірки обраних вимикачів занесемо у таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Умови вибору високовольтних вимикачів

Умова вибору	Номінальні параметри вимикачів	Розрахункові параметри мережі
Вимикач типу ВРС-10-20/630 на стороні 10 кВ		
$I_{\text{ном.від}} = I_{\text{Пт.}}$	$I_{\text{ном.від}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{Пт}} = I_{\text{ПтС}} = 5,14 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.від}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{Пт}} + i_{\text{ат}}$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{21}{100}\right) = 34 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 5,14 + 0,95 = 8,2 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.С}} = 8,2 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{ПО}}$	$I_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{ПО}} = 5,14 \text{ кА}$
$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 2,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Здійснимо перевірку обраних кабелів на термічну стійкість до дії струмів КЗ:

$$S \geq S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} \cdot 10^3, \quad (2.61)$$

де $C_T = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$ - термічний коефіцієнт для алюмінієвого кабелю з ізоляцією із шитого поліетилену.

$$S1_{\min 10\text{кВ}} = \frac{\sqrt{2,4}}{90} \cdot 10^3 = 17,2 \text{ (мм}^2\text{)} < 185 \text{ (мм}^2\text{)},$$

$$S2_{\min 10\text{кВ}} = \frac{\sqrt{2,4}}{90} \cdot 10^3 = 17,2 \text{ (мм}^2\text{)} < 95 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Отже переріз усіх кабелів було вибрано вірно.

2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху

Для забезпечення надійності електропостачання вибираємо радіальну схему цехової мережі «див. рис. 2.1.».

Для захисту на лініях встановлені автоматичні вимикачі виробництва ЕТІ типу EB2 та NBS-TMS з електронним та тепловими і електромагнітним розчіплювачем відповідно.

Згідно ПУЕ [5] вибираємо такі способи прокладки кабельних ліній ліній:

від РЩ до РП 1,2 кабель із алюмінієвими жилами типу АВВГ прокладеним в землі;

від РЩ до ЕП 48 кабель із алюмінієвими жилами типу АВВГ прокладеним в підлозі в трубі;

від РП 1,2 до ЕП та ШРА за провідниками АПВ та кабелями АВВГ покладених в підлозі в трубі.

2.4.1 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється згідно наступних умов:

$$I_{\text{н.розч}} \geq K_{\text{відс}} \cdot I_{\text{р}}; \quad (2.62)$$

$$I_{\text{с.в}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}}. \quad (2.63)$$

$$I_{\text{н.відкл.}} \geq I_{\text{К.мах}}^{(3)}. \quad (2.64)$$

де $I_{\text{н.розч}}$ - номінальний струм розчіплювача;

$I_{\text{с.в}}$ - струм спрацювання струмової відсічки;

$K_{\text{відс}}$ - коефіцієнт відстроювання, що визначається з умов надійності відстроювання захисту від перевантажень і його неспрацювання (повернення) при (після) пуску або само запуску;

$I_{\text{м}}$ - розрахунковий струм електроприймача;

$K_{\text{н}}$ - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

$I_{\text{п}}$ - значення пікового струму.

Здійснимо вибір автоматичного вимикача для ЕП-1.

Розрахунковий струм ЕП-1:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta}; \quad (2.65)$$

$$I_{\text{р}} = \frac{16,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 60 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм визначимо наближено, в залежності від типу приводу:

$$I_{\text{р}} = \begin{cases} 5 \cdot I_{\text{р}} - \text{для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2,5 \cdot I_{\text{р}} - \text{для АД з ФР;} \\ 3 \cdot I_{\text{р}} - \text{для ДПС та зварювальних Т – рів;} \end{cases} \quad (2.66)$$

$$I_{\text{п}} = 3 \cdot I_{\text{р}} = 5 \cdot 60 = 300 \text{ (A)}.$$

Для захисту ЕП-1 необхідно встановити автоматичний вимикач із тепловим та електромагнітним розчіплювачами. Для цього необхідно розрахувати номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки:

$$I_{\text{н.розчп}} = 80 \text{ (A)} \geq 1 \cdot 60 = 60 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.відс}} = 800 \text{ (A)} \geq 2,1 \cdot 60 = 126 \text{ (A)}.$$

Згідно даних розрахунків вибираємо автоматичний вимикач типу NBS-TMS 100/3L 80A3p із тепловим та електромагнітним розчіплювачами, номінальний струм якого 80 А, номінальним струмом розчіплювача 80 А та струмом спрацювання відсічки 800 А.

Проводимо аналогічні розрахунки для вибору комутаційно-захисної апаратури для усіх інших електроприймачів механічного цеху.

Виберемо автоматичний вимикач для захисту РП-1. При розрахунку групового навантаження розрахунковий струм РП-1 склав $I_p = 33,54$ А, дане значення менше струму самого потужного ЕП приєднаного до РП-1, яким являється ЕП №1 (Різьбонарізний станок), розрахунковий струм якого рівний $I_p = 60$ А, тому в якості розрахункового струму РП-1 приймаємо розрахунковий струм ЕП-1.

$$I_p = 60 \text{ (А)}.$$

Для живлення РП-1 оберемо кабель типу АВВГ перерізом $3 \times 150 + 1 \times 70$, при прокладенні в підлозі у трубі, із допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 261$ (А).

Перевіримо втрату напруги в кабелі, що живить ЕП-1:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_p \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_H} \cdot l; \quad (2.67)$$

$$\Delta U_{\text{РЩ-РП1}} = \frac{17,67 \cdot 1,54 + 13,23 \cdot 0,072}{380} \cdot 40 = 1,74 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{РП1-ЕП1}} = \frac{16,2 \cdot 1,54 + 16,2 \cdot 2,3 \cdot 0,072}{380} \cdot 20 = 1,21 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{РЩ-ЕП1}} = \Delta U_{\text{РЩ-РП1}} + \Delta U_{\text{РП1-ЕП1}} = 1,74 + 1,21 = 2,95 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\% \text{РЩ-ЕП1}} = \frac{2,95}{380} \cdot 100\% = 0,8.$$

$$\Delta U_{\% \text{РЩ-ЕП1}} = \frac{13,24}{380} 100\% = 3,48\% - \text{дана втрата напруги є допустима.}$$

Виберемо автоматичний вимикач для лінії від РЩ до РП-1.

Згідно [7], с. 75 знаходимо значення пікового струму:

$$I_{\text{п}} = I_p - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}}; \quad (2.68)$$

де $I_{\text{н.макс}}$, $I_{\text{п.макс}}$ - номінальний і піковий струми найбільш потужних ЕП,

K_B - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_{\text{п}} = I_M - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 60 - 0,12 \cdot 65 + 300 = 350 \text{ (А)}.$$

Вибираємо для встановлення на лініях від ТП до ГРП автоматичні вимикачі. Вибираємо селективний автоматичний вимикач типу ЕВ2 250/3Е 125А 3р з номінальним струмом $I_{\text{ном.в}} = 125 \text{ А}$ і номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{н.розч}} = 125 \text{ А}$ та струмом спрацювання відсічки 1250 А.

$$I_{\text{н.розч}} = 125 \geq K_{\text{відс}} I_{\text{М}} = 1 \cdot 60 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{с.в}} = 1250 \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}} = 2,1 \cdot 350 = 735 \text{ (А)}.$$

Загальний перелік захисно-комутаційної апаратури цеху наведено у таблиці Б.3 додатку Б.

2.4.2 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Введення в експлуатацію виробничої системи підприємства починається з розробки проекту, який буде забезпечувати якісну та надійну роботу всіх електроприймачів, допоміжних апаратів та ліній живлення у виробничих цехах, допоміжних і адміністративно-побутових приміщеннях та інших будівлях.

Проведемо розрахунок струмів КЗ для перевірки раніше обраних автоматичних вимикачів напругою 380 В.

Для прикладу здійснимо розрахунок для лінії ЕП-27. Розрахункова показана на рисунку 2.5.

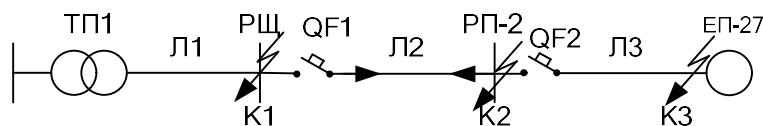


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема для ЕП-27 механічного цеху

Знайдемо опір трансформатора за наступною формулою:

$$Z_{\text{Т}} = \frac{U_{\text{к\%}}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{380^2}{1600 \cdot 10^3} = 4,96 \cdot 10^{-3} = 4,96 \text{ (МОм)}.$$

Також знайдемо опори ліній Л1, Л2 та Л3:

$$Z_{Л1} = \sqrt{R_{пит}^2 + X_{пит}^2} \cdot l = \sqrt{0,769^2 + 0,066^2} \cdot 4 = 3,1 \text{ (мОм)};$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_{пит}^2 + X_{пит}^2} \cdot l = \sqrt{0,769^2 + 0,066^2} \cdot 41,1 = 31,7 \text{ (мОм)};$$

$$Z_{Л3} = \sqrt{R_{пит}^2 + X_{пит}^2} \cdot l = \sqrt{9,61^2 + 0,098^2} \cdot 8,6 = 82,65 \text{ (мОм)}.$$

Розрахуємо максимальне значення струму трифазного КЗ за формулою:

$$I_{к.мах}^{(3)} = \frac{1,05 U_{ном}}{\sqrt{3} Z_{\Sigma}}, \quad (2.69)$$

де Z_{Σ} - повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ.

- струм трифазного КЗ для точки К1:

$$I_{к.мах}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (4,96 + 3,1)} = 28,6 \text{ (кА)};$$

- струм трифазного КЗ для точки К2:

$$I_{к.мах}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (4,96 + 3,1 + 31,7)} = 5,7 \text{ (кА)};$$

Перевіримо кабель АВВГ 3х150 на термічну стійкість до дії струмів КЗ:

$$S \geq S_{min} = \frac{I_{к.мах}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{вим}}}{C_T} \cdot 1000 = \frac{28,6 \cdot \sqrt{0,14}}{90} \cdot 1000 = 119 \text{ мм}^2; \quad (2.70)$$

$$150 \text{ мм}^2 \geq 119 \text{ мм}^2.$$

Виконаємо перевірки вибраних захисних апаратів за умовою комутаційної здатності:

- для точки К1 ГРП:

$$I_{н.відкл} = 160 \geq I_{к.сер}^{(3)} = \frac{28,6 + 32,6}{2} = 30,6 \text{ (кА)};$$

- для точки К2 РП-2:

$$I_{н.відкл} = 63 \geq I_{к.сер}^{(3)} = \frac{5,7 + 6,1}{2} = 5,9 \text{ (кА)}.$$

Для перевірки чутливості захисту також необхідно визначити струми однофазних КЗ для точок К2 та К3 за наступною формулою:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot 1}; \quad (2.71)$$

- для точки К2:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{4,96 + 2,22 \cdot 4 + 2,22 \cdot 41,1} = 2,1 (\text{кА});$$

- для точки К3:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{4,96 + 2,22 \cdot 4 + 2,22 \cdot 41,1 + 24,08 \cdot 8,6} = 0,7 (\text{кА});$$

Для правильного вибору захисних апаратів має виконуватися умова:

$$I_{\text{н.розч}} \leq \frac{I_{\text{к.міп}}^{(1)}}{3}; \quad (2.72)$$

- для точки К2 РП-2:

$$I_{\text{н.розч}} = 80 (\text{А}) \leq I_K^{(1)} = \frac{2100}{3} = 700 (\text{А});$$

- для точки К3 ЕП-27:

$$I_{\text{н.розч}} = 12 (\text{А}) \leq I_K^{(1)} = \frac{700}{3} = 233,3 (\text{А}).$$

Умови виконуються.

Перевіримо селективність вимикачів за наступними умовами:

$$\begin{cases} I_{\text{с.В1}} > (1,3..1,5)I_{\text{с.В2}}, \\ t_{\text{с.В1}} = t_{\text{с.В2}} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.73)$$

Перевірку здійснимо для вимикачів, що захищають лінії РЩ – РП-2, РП-2 – ЕП-27 (таблиця Б.3 додатку Б).

$$\begin{cases} I_{\text{с.В1}} = 800 > (1,3..1,5)I_{\text{с.В2}} = (1,3..1,5) \cdot 60 = 78...90, \\ t_{\text{с.В1}} = 0,2 \geq t_{\text{с.В2}} + \Delta t = 0,015 + 0,1 = 0,115. \end{cases}$$

Умови селективності виконуються.

Побудуємо карту селективності дії захисту.

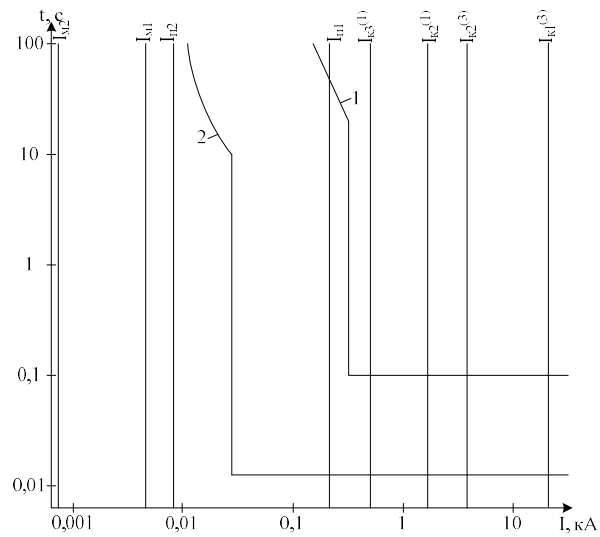


Рисунок 2.6 – Карта селективності дії захисту

Отже обрані захисні апарати забезпечать надійний і селективний захист електроустановок у разі виникнення аварійної ситуації.

Висновки

В даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено систему електропостачання ПАТ «Маяк». Проведено розрахунок електричних навантажень механічного цеху та комбінату в цілому, з врахуванням коефіцієнтів використання, коефіцієнтів попиту, коефіцієнту одночасності, коефіцієнтів питомого освітлення.

Виконано розрахунок цехової та внутрішньозаводської мережі та проведено вибір основного обладнання, що відповідає всім вимогам нормативних документів та забезпечує надійне живлення електроприймачів цехів та підприємства в цілому.

Згідно розрахунків було обрано встановлення ЦРП-10 кВ та чотирьох двотрансформаторних ТП із трансформаторами типу ТМ-1600/10, що допоможе забезпечити підприємство надійним електропостачанням.

За допомогою результатів розрахунку коротких замикань можна зробити висновки про правильність вибору вимикачів та кабелів цехової і заводської мереж. Для зовнішнього електропостачання заводу від підстанції 110/10 кВ обрано кабель типу 2хАПвПу-10 перерізом 3х185 мм². Живлення від ЦРП трансформаторних підстанцій виконано кабелем АПвПу-10 перерізом 3х95 мм². На стороні 10 кВ вибрано для встановлення вакуумні вимикачі викатного типу ВРС-10-20/630. Загальний перелік захисно-комутаційної апаратури для механічного цеху наведено у таблиці Б.3 додатку Б.

Обрана схема електропостачання забезпечує надійне та безперебійне живлення підприємства електроенергією.

3 ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ПОШУКУ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА

Кабельні лінії електропостачання є ключовим елементом систем електропостачання промислових підприємств. Вони виконують функцію живлення технологічного обладнання, автоматизованих систем керування та інших компонентів виробничої інфраструктури. Основною причиною пошкодження кабельних трас є механічне порушення їх цілісності внаслідок впливу будівельної техніки під час проведення земляних робіт.

Додатковими факторами, що спричиняють вихід з ладу кабелів, є старіння ізоляції (міжфазної та поясної), корозійне руйнування зовнішнього покриття, перевантаження, зволоження, а також механічне пошкодження ізоляції гризунами. Наслідками таких дефектів є зупинка виробничих процесів, пошкодження електротехнічного обладнання, суттєві економічні збитки, а також загроза безпеці персоналу.

Процедура виявлення місця пошкодження є технічно складною та потребує значного часу, що може спричинити тривалу перерву у роботі підприємства. Тому оперативне локалізування дефекту є одним із пріоритетних завдань енергетичної служби. Сьогодні для діагностики стану кабельних ліній та визначення місця пошкодження застосовуються різні методи, серед яких найбільш ефективним вважається локаційний метод (імпульсна рефлектометрія).

3.1 Принцип роботи та головні діагностичні ознаки методу імпульсної рефлектометрії

Суть локаційного методу полягає в тому, що в кабельну лінію подається короткий електричний імпульс, який поширюється вздовж кабелю доки не наткнеться на перешкоду (місце пошкодження, обрив, коротке замикання чи відгалуження). На місці пошкодження частина або весь сигнал відбивається назад у напрямку джерела. Рефлектометр фіксує час затримки між посиленням та поверненням імпульсу, що

дозволяє розрахувати відстань до пошкодження, не розкопуючи траншею. Відстань до місця пошкодження можна визначити за формулою:

$$L = \frac{t_1}{2} v \quad (3.1)$$

де v – швидкість розповсюдження імпульсу у лінії.

Процес зондування починається з приєднання рефлектометра до лінії електропередачі. Більшість приладів для діагностування стану лінії підключаються до неї, коли вона виводиться з роботи, тобто, вимикається прикладена до неї напруга, однак деякі прилади дозволяють робити обстеження ліній, що перебувають під високою напругою, з використанням спеціальних захисних фільтрів [15].

Під час зондування лінії необхідно виставити наступні уставки рефлектометра: коефіцієнт укорочення (показує в скільки разів швидкість поширення сигналу по лінії менша від швидкості світла у вакуумі); вихідний опір приладу (він має бути узгодженим із хвильовим опором лінії щоб уникнути ускладнень під час аналізу рефлектограми); діапазон вимірювання (повинен бути на 10-20% більшим за максимальну довжину лінії); тривалість зондувального імпульсу (оптимальна тривалість імпульсу приблизно рівна часу наростання імпульсу).

Будь-який вид пошкодження так само як і інші неоднорідності створюють на рефлектограмі додаткові відбиті імпульси. Кожна з неоднорідностей носить активний, індуктивний або ємнісний характер, тому важливо детально дослідити характер зміни форми відбитого імпульсу. З цією метою проводився аналіз попередніх досліджень та нові дослідження [15]. Для аналізу рефлектограми використовують поняття коефіцієнта відбиття, тобто відношення комплексної напруги (струму) зворотної хвилі в кінці лінії до напруги (струму) прямої хвилі.

$$N = \frac{B_2}{B_1} = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B}, \quad (3.2)$$

де Z_H – опір навантаження;

Z_{XB} – хвильовий опір лінії;

За результатами попередніх досліджень при обриві лінії сигнал, відбитий від місця обриву, зберігає ту ж полярність, що й зондувальний, а значення коефіцієнта

відбиття дорівнює одиниці. При короткому замиканні відбитий сигнал змінює свою полярність відносно вихідного імпульсу, а $N = -1$. Тобто, при обриві провода опір в місці обриву значно збільшиться і імпульс, відбитий від місця обриву, матиме додатну полярність [14].

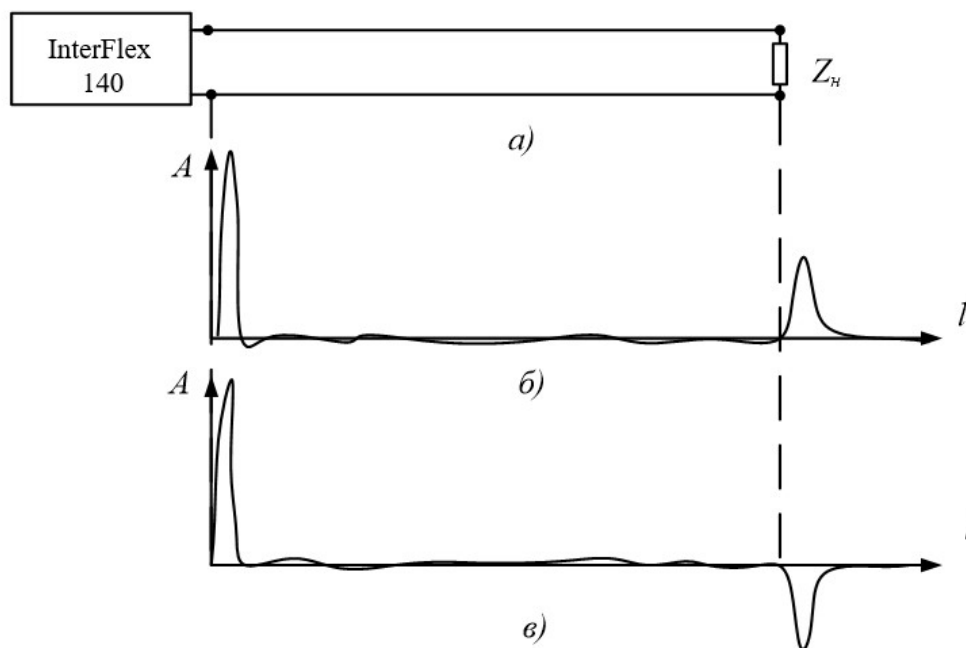


Рисунок 3.1 – а) - схема під'єднання приладу до лінії; б) - покази рефлектометра при обриві лінії, коли $Z_H = \infty$; в) - покази рефлектометра при короткому замиканні, коли $Z_{\text{хв}} = 0$

Також у лініях можуть бути місця, де з'єднуються лінії із різним хвильовим опором (кабельні муфти з іншим хвильовим опором), що також вважається неоднорідністю та породжує відбитий імпульс. Амплітуда відбитого імпульсу тим більша, чим більша різниця між опорами у місці з'єднання. Якщо при проходженні імпульсу в місці неоднорідності відбувається перехід від більшого опору до меншого, то відбитий імпульс змінює свою полярність, якщо ж навпаки, то полярність імпульсу зберігається.

Розглянемо вплив резистивного навантаження R_n на форму відбитого імпульсу.

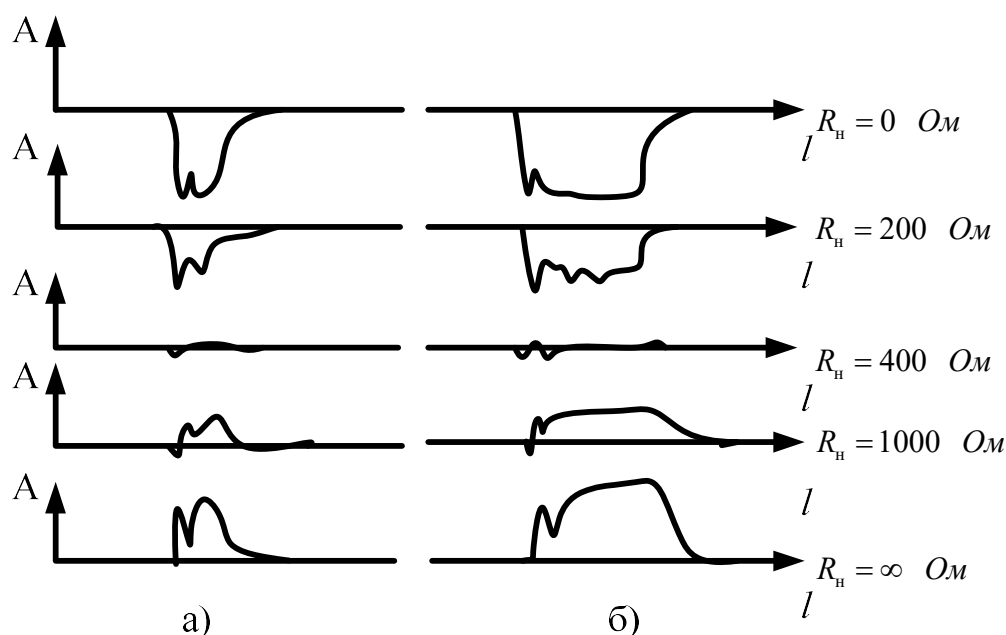


Рисунок 3.2 – Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини резистивного навантаження R_n на кінці кабельної лінії при різній тривалості зондувального імпульсу τ : а) – 0,05 мкс, б) – 0,1 мкс

Отже, згідно рисунка 3.2 якщо активний опір лінії (навантаження) R_n і хвильовий опір $Z_{хв}$ однакові, то не існує відбитого імпульсу; якщо $R_n < Z_{хв}$, то відбитий імпульс змінює свою полярність; якщо $R_n > Z_{хв}$, то відбитий імпульс зберігає свою полярність; якщо $R_n = 0$ (коротке замикання на лінії), то відбитий імпульс змінює свою полярність; якщо $R_n = \infty$ (обрив лінії), то відбитий імпульс зберігає свою полярність; якщо в лінії здійснюється перехід з меншого хвильового опору на більший, то імпульс зберігає свою полярність, в протилежному випадку, змінює свою полярність [14].

Приєднання відгалуження до лінії розглядається як ємнісне навантаження. Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини ємнісного навантаження показано на рисунку 3.3.

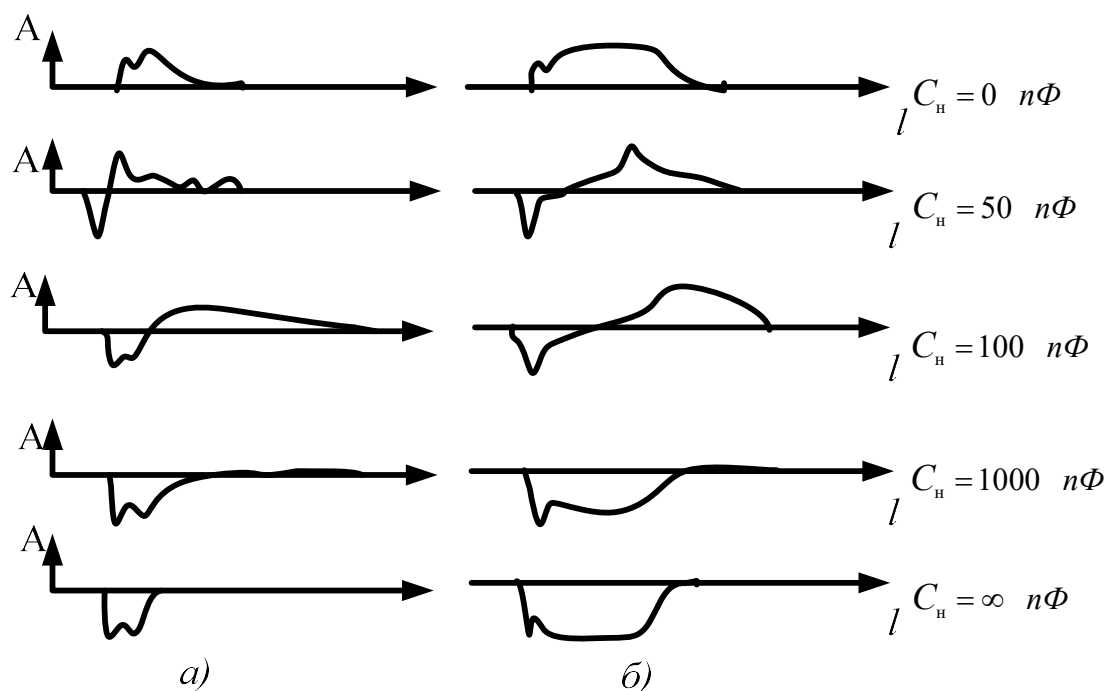


Рисунок 3.3 – Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини ємнісного навантаження C_i в кінці кабельної лінії при тривалості зондувального імпульсу τ , відповідно, 0,05 мкс, (а); 0,1 мкс, (б)

Покажемо на прикладі лінії з одним розімкнутим відгалуженням та розімкнутим кінцем лінії.

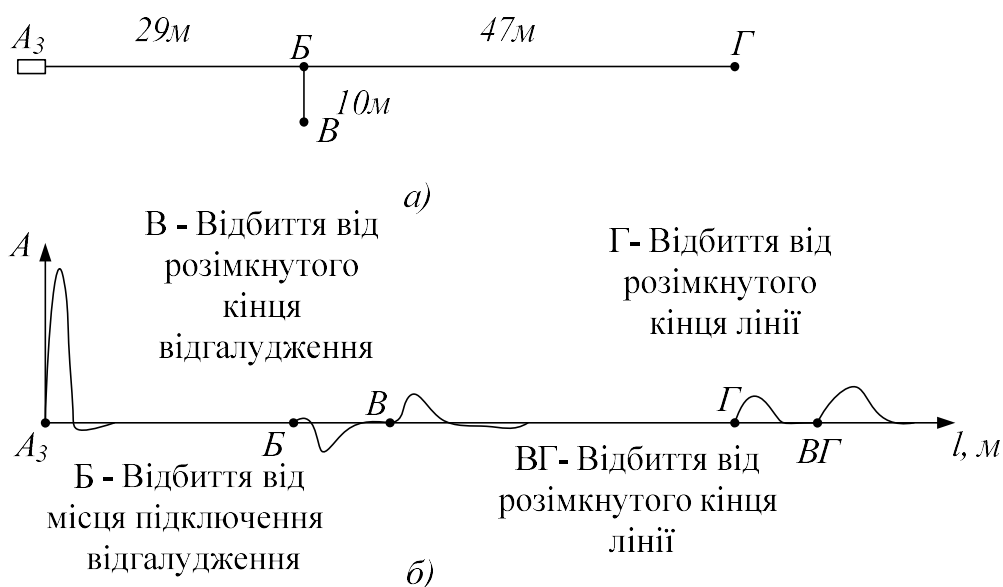


Рисунок 3.4 – Схема лінії з одним відгалуженням та її рефлектограма

Із рисунка 3.4 можемо зробити висновок, що імпульс при відбитті від місця приєднання відгалуження змінить свою полярність на протилежну. Також у місці приєднання відгалуження результуючий хвильовий опір зменшується вдвічі (паралельне з'єднання однакових опорів лінії і відгалуження). Для місця розгалуження коефіцієнти відбиття і переломлення можна визначити, як [15]:

$$K_v = ((Z_h/2) - Z_h) / ((Z_h/2) + Z_h) = -1/3 \quad (3.3)$$

$$K_p = 2(Z_h/2) / (Z_h/2 + Z_h) = 2/3 \quad (3.4)$$

Результати дослідження показали, що у місці відгалуження виникає від'ємний відбитий імпульс з амплітудою, рівною 1/3 падаючого, пройшовши далі, переломлений імпульс має позитивну полярність і становить приблизно 2/3 від падаючого. Отже, відгалуження вносять істотні зміни, а відбиті імпульси ускладнюють рефлектограму [15].

Розглянемо вплив індуктивного навантаження на форму відбитого імпульсу. Як індуктивне навантаження у кабельних лініях є обмотка силових трансформаторів.

При різній величині індуктивності відбитий імпульс, крім додатної частини, має явно виражену від'ємну частину, як при короткому замиканні, але зі збільшенням індуктивності поступово стає додатним і вже при величині $L_H = 161,8$ мкГн відбивається, як при холостому ході. Збільшення тривалості зондувального імпульсу до 0,5 мкс приводить до того, що при величині $L_H > 161,8$ мкГн імпульс, відбитий від індуктивності, має ще від'ємну частину.

Згідно з рис. 3.5, при величині індуктивності більшій від $L_H = 360,2$ мкГн, додатна частина відбитого імпульсу переважає, тобто, на кінці лінії встановлюється режим, близький до холостого ходу [14].

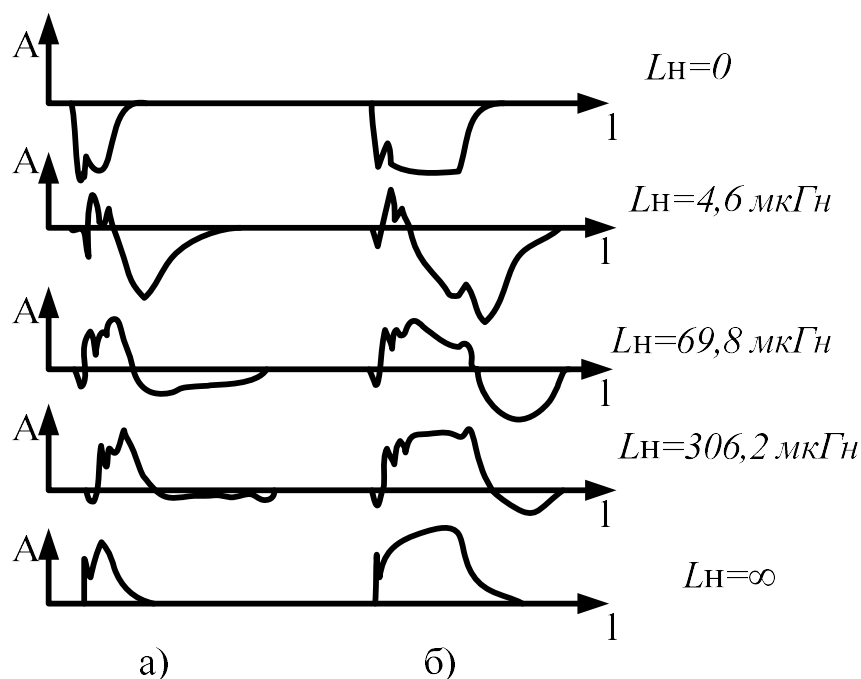


Рисунок 3.5 – Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини індуктивного навантаження L_i на кінці кабельної лінії при довжинах зондувального імпульсу : а – 0,05 мкс, б – 0,1 мкс.

На рисунку 3.6 показано рефлектограми трансформаторів, що використовуються у мережах найбільше. Згідно цих даних можна зробити висновок, що полярність імпульсу залишається додатною незалежно від потужності трансформатора, однак, зі збільшенням потужності простежується тенденція зменшення амплітуди відбитого сигналу. При розпізнаванні рефлектограм місця приєднання обмоток трансформаторів можна вважати приблизно аналогічними розімкнутому кінцю лінії (режим холостого ходу) [14].

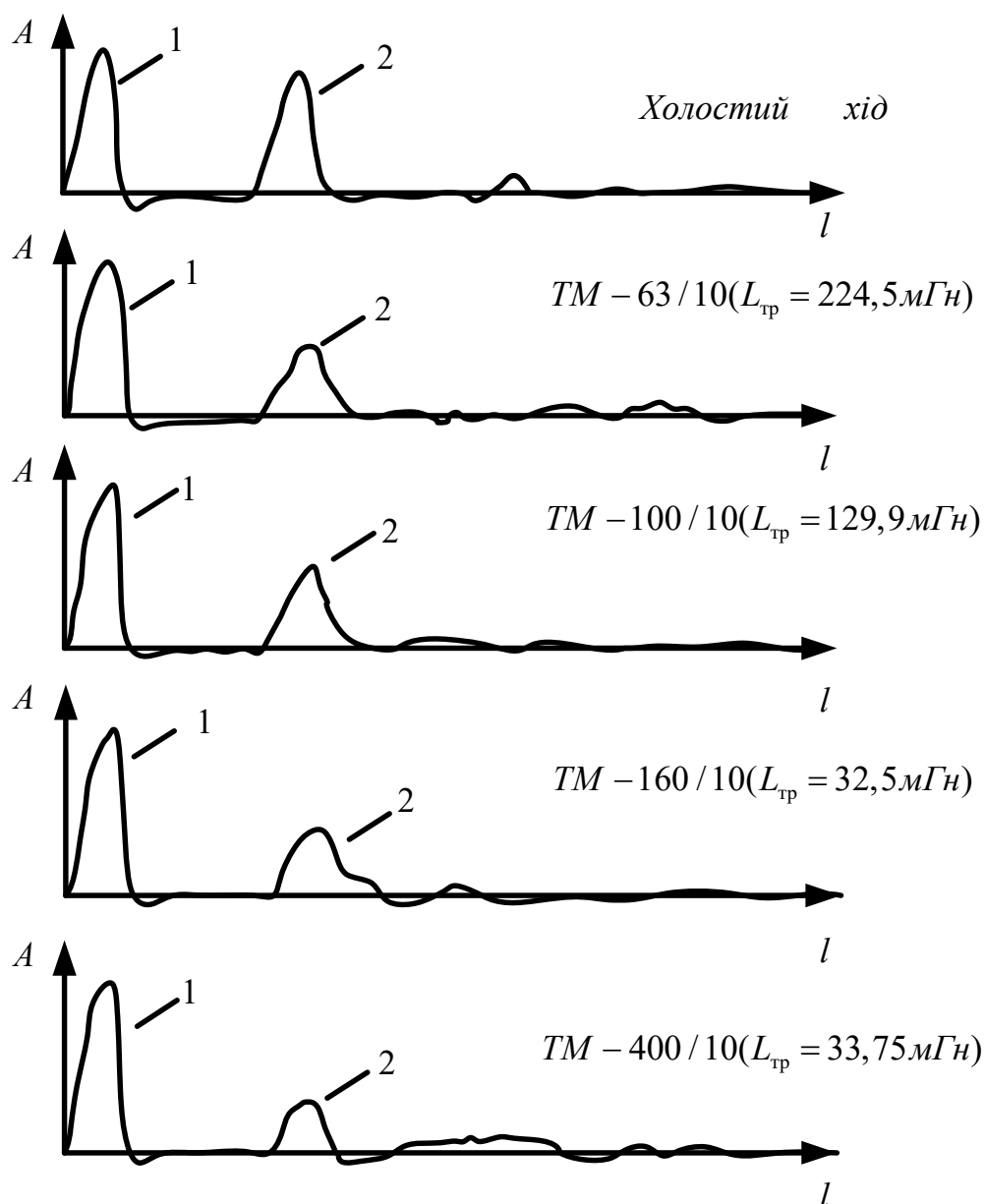


Рисунок 3.6 – Рефлектограми відбитих імпульсів у залежності від величини навантаження $L_{тр}$ наприкінці лінії у вигляді обмоток трансформаторів різної потужності; 1 – зондувальний імпульс, 2 – відбитий імпульс

3.2 Методи розшифрування рефлектограм

Для розшифрування рефлектограм використовують три методи: метод візуального логічного аналізу; розшифрування рефлекторграми шляхом створення штучних к.з. чи обривів кабеля та різницевого метод розпізнавання рефлектограм.

Для методу візуального логічного аналізу потрібно використовувати словник діагностичних ознак неоднорідностей, рефлектограми, знятої з діючої лінії в нормальному режимі роботи, та її розшифрування. Даний метод актуальний для досвідчених фахівців, що можуть за допомогою словника та власного досвіду розшифрувати результати рефлектограм.

Для методу зі створенням штучних КЗ та обривів необхідно зняти рефлектограми в нормальному режимі роботи. Далі для отримання контрольних точок (точки приєднання відгалужень та кінці лінії) необхідно створити штучні к.з. в усіх точках, починаючи із 2, рис. 3.7, в). На рефлектограмі видно, що амплітуда імпульсу відбитого від точки к.з. збільшилась в два рази, а усі інші відбиття зникли. Наступною контрольною точкою буде точка 3, (рис. 3.7, г), де імпульс змінив свою форму, інші ж імпульси не змінилися. В точці 4 (рис. 3.7, г) при створенні штучного к.з. імпульс також збільшив свою амплітуду, а відбиття від точок 5, 6 і 7 майже зникли. При створенні к.з. на кінцях відгалужень 5 і 6 по чергово (рис. 3.7, д, е) імпульс, відбитий від місця пошкодження, став від'ємним. При створенні к.з. в кінці лінії, точка 7 (рис. 3.7, є), імпульс, відбитий від кінця лінії, також змінив свою полярність, усі інші відбиті імпульси відповідають формі імпульсів рефлектограми, знятої в нормальному режимі роботи. Імпульси, відбиті від кінців лінії, завжди за амплітудою будуть більші, ніж імпульси, відбиті від неоднорідностей мережі. При цьому вони можуть змінювати свою полярність, якщо довжина відгалуження незначна [14].

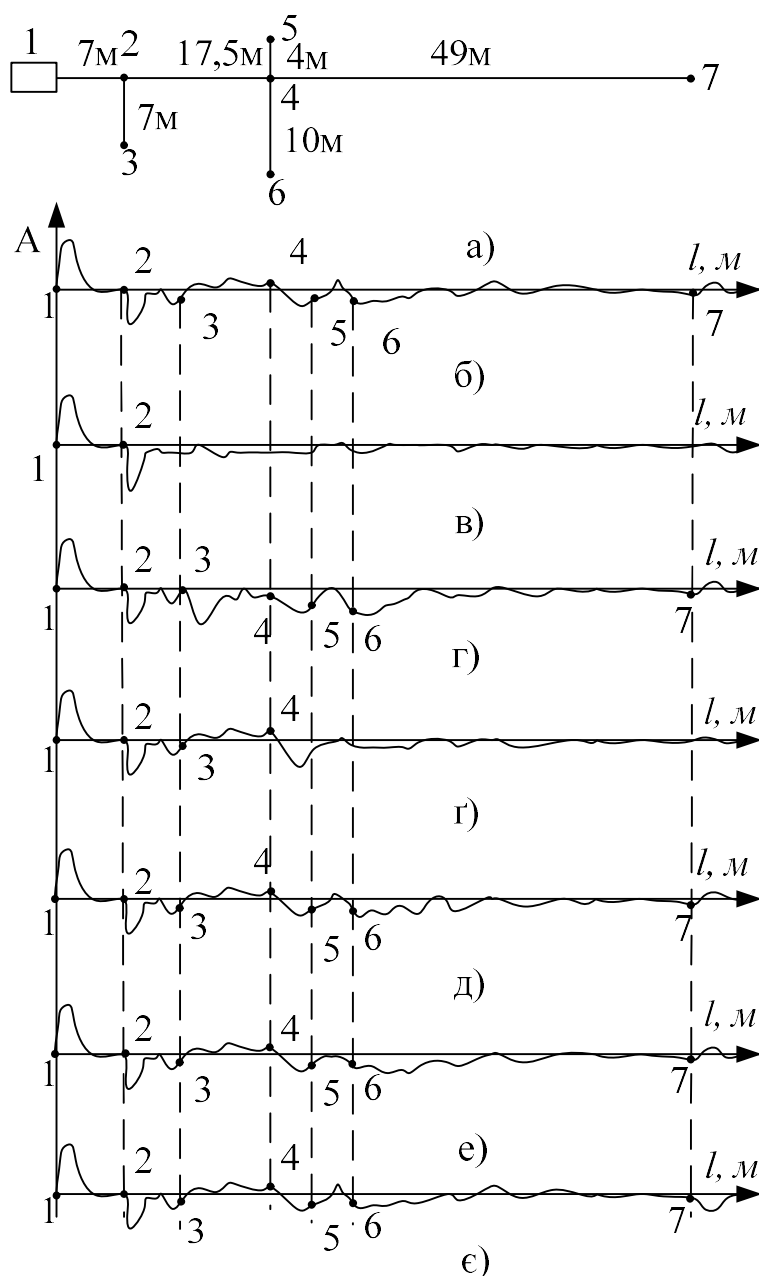


Рисунок 3.7 – Застосування методу розшифрування рефлектограми шляхом створення штучних к.з. чи обривів провода

У випадку із методом створення штучних к.з. та обривів було показано, що зміни у структурі рефлектограми з'являються лише після короткого замикання на лінії. Те саме відбувається і при обриві проводів.

Ця особливість лежить в основі різницевого методу: віднімання еталонної рефлектограми, знятої в нормальних штатних умовах, з рефлектограм, знятих при аварійних ситуаціях. На різницевій рефлектограмі в місці пошкодження або зміни

стану лінії з'являється імпульс, яким можна визначити відстань до цього місця. У цьому випадку не потрібно розшифровувати всю рефлектограму з її численними імпульсами, відбитими одноразово і багаторазово від місць виникнення неоднорідностей лінії. Різницевий метод розпізнавання рефлектограм ефективний тоді, коли зміни у рефлектограмі внаслідок пошкодження лінії дуже важко виявити візуально. Такі ситуації зустрічаються при пошкодженнях у дальній зоні (при цьому відбиті імпульси малі за амплітудою) та за наявності на лінії великої кількості відгалужень.

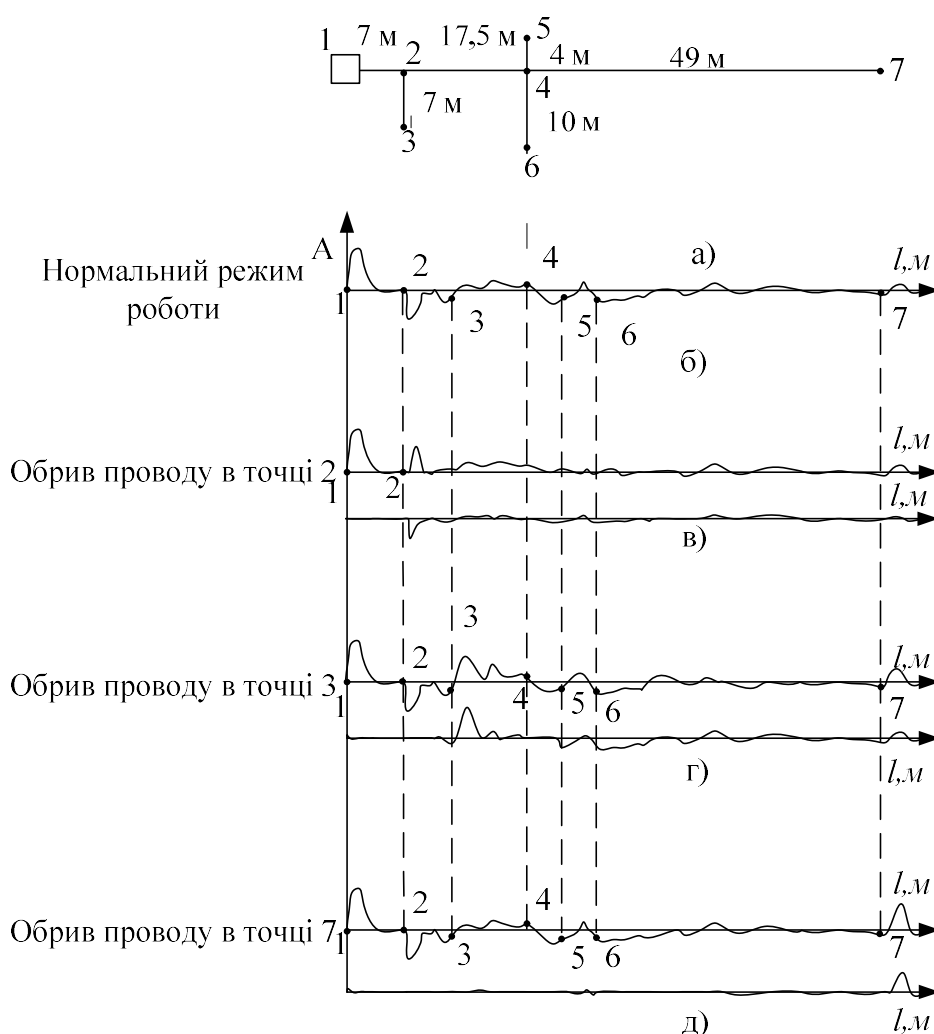


Рисунок 3.8 – Застосування різницевого методу для визначення місця обриву

На рисунку 3.8, а) зображена лінія з відгалуженнями і рефлектограма (рис. 3.8, б) при відсутності пошкодження на лінії. На інших рефлектограмах показано обрив, наприклад, в точці 2, а нижче різницева рефлектограма. (рис. 3.8, в).

Аналіз рефлектограм при обриві провода в точках 2-7 на основній лінії і відгалуженнях показав, що на різницевій рефлектограмі завжди маємо пряму лінію до місця пошкодження (рис. 3.8, в, г, д). При виникненні обриву в кінці лінії (точка 7, рис. 3.8, д), на різницевій рефлектограмі відображається лише імпульс, відбитий від місця пошкодження [14].

3.3 Діагностика кабельних мереж ПрАТ «Вінницький завод «Маяк»

Для діагностики кабельних мереж на підприємстві доцільно використовувати трифазний імпульсний рефлектометр типу InterFlex 140 (Німеччина). Основними перевагами пристрою є: висока точність визначення місця пошкодження, можливість роботи з різними типами кабелів, здатність розпізнавати різні типи пошкоджень, автономність та мобільність.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд рефлектометра типу InterFlex 140

Основні технічні характеристики

Діапазон вимірювання: до 95 км (у стандартному режимі), до 250 км (у транзитному режимі).

Амплітуда імпульсу: до 160 В.

Ширина імпульсу: від 50 нс до 10 мкс.

Швидкість розповсюдження імпульсу ($V/2$): від 10 до 149,9 м/мкс.

Роздільна здатність: 0,2 м.

Сумісний імпеданс: від 25 до 1600 Ом.

Режими вимірювання:

TDR (прямий імпульсний метод);

ART (технологія дугового відбиття);

SCC (метод струмового розряду);

DVC (метод затухаючої напруги).

Живлення: від мережі 85–264 В (50/60 Гц), 10–24 В постійного струму або від акумулятора.

Дисплей: кольоровий TFT 10,4" з яскравістю 450 кд/м².

Інтерфейси: USB для передачі даних.

Ступінь захисту: IP67.

Робоча температура: від -10°C до +55°C.

Вага: 6,9 кг (з акумулятором).

Габарити: 406 × 330 × 174 мм.

Особливості та функціональні можливості

Трифазне вимірювання: дозволяє проводити порівняльний аналіз між фазами для точнішого виявлення пошкоджень.

Інтуїтивно зрозуміле меню: керування здійснюється за допомогою двох елементів управління, що спрощує процес налаштування та вимірювання.

Висока частота оновлення даних: забезпечує швидке відображення результатів вимірювання.

Вбудовані функції архівування: дозволяють зберігати до 200 вимірювальних кривих, налаштувань та параметрів швидкості розповсюдження імпульсу.

Можливість встановлення у стійку: модель InterFlex 140-M призначена для стаціонарного використання, тоді як InterFlex 140-P — портативна версія.

Висновки

Аналіз існуючих методів пошуку місць пошкодження кабельних ліній показав, що імпульсна рефлектометрія є найбільш ефективною для промислових підприємств завдяки високій точності, швидкості аналізу та можливості діагностики без відключення мережі.

За результатами досліджень встановлені діагностичні ознаки неоднорідностей необхідні для розшифрування рефлектограм. На основі цих ознак на рефлектограмах ідентифікуються імпульси, відбиті від наявних у лінії неоднорідностей: місця коротких замикань і обривів, місця приєднання відгалужень, кінці ліній і відгалужень, обмотки під'єднаних трансформаторів, і т.д.

На основі аналізу технічних характеристик та практичного досвіду обрано рефлектометр InterFlex 140 як оптимальний пристрій для кабельних мереж заводу. Його використання дозволить мінімізувати прості обладнання, знизити фінансові втрати підприємства та покращити надійність електропостачання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі експлуатації силового обладнання та системи електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк». Отже, на будівельно-монтажний персонал, що здійснює монтаж системи електропостачання, впливають такі шкідливі виробничі фактори [16, 17]:

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

хімічні фактори: речовини хімічного походження, 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

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення силового обладнання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк» та його системи освітлення здійснюється від чотирьохпроводної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з під-

вищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що реконструюються та будуються, є струмопровідною.

В цехах підприємства встановлена велика кількість технологічного обладнання з електроприводом, що потребує постійного обслуговування оперативно-ремонтним персоналом. Під час роботи, пов'язаної з доторканням до струмопровідних частин електродвигуна або до частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять у рух, необхідно зупинити електродвигун і на його пусковому пристрої або ключі керування вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди» [19, 20].

Електрозварювальне обладнання має відповідати вимогам ПВЕ.

До електрозварювальних робіт допускаються робітники, не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку та перевірку теоретичних знань і практичних навиків, знань інструкцій з охорони праці і мають кваліфікаційне посвідчення з записом про допуск на виконання цих робіт, спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум) та щорічну перевірку знань з одержанням спеціального посвідчення згідно з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні. Електрозварювальники повинні мати II групу з електробезпеки. Електрозварювальники, яким надано право самостійного підключення зварювального обладнання до електромереж повинні мати III групу з електробезпеки. Підготовка електрозварювальників має проводитись у спеціалізованих професійно-технічних училищах, на курсах зі зварювання, на підприємствах чи в учбових комбінатах.

Для електрозварювальних установок та зварювальних постів, призначених для постійних електрозварювальних робіт у будовах поза збірно-зварювальними цехами та ділянками, мають бути передбачені спеціальні вентилязовані приміщення зі стінами із негорючих матеріалів. У приміщенні для електрозварювальних установок слід передбачити достатні за шириною проходи, які забезпечують зручність та безпеку виконання зварювальних робіт та доставки виробів до місця зварювання та назад, але не менше 0,8 м.

Проходи між однопостовими джерелами зварювального струму, перетворювальними установками зварювання (різання, наплавлення) — мають бути шири-

ною не менше 0,8 м, між багатопостовими — не менше 1,5 м, відстань від одного та багатопостових джерел зварювального струму до стіни має бути не менше 0,5 м. Проходи між групами зварювальних трансформаторів повинні мати ширину не менше 1 м. Відстань між зварювальними трансформаторами, які стоять в одній групі, має бути не менше 0,1 м, між зварювальним трансформатором та ацетиленовим генератором — не менше 3 м. Забороняється встановлення зварювального трансформатора над регулятором струму. Регулятор зварювального струму може розміщуватись поряд із зварювальним трансформатором або над ним.

Приєднання зварювальних установок до електричної мережі провадиться тільки через комутаційні апарати. Забороняється безпосереднє живлення зварювальної дуги від силової, освітлювальної та контактної мереж. Схема приєднання декількох джерел зварювального струму під час роботи на одну зварювальну дугу має унеможливити виникнення між виробами та електродом напруги, що перевищує найбільшу напругу холостого ходу одного із джерел зварювального струму.

Напруга холостого ходу джерел струму для дугового зварювання в разі нормальної напруги мережі не повинна перевищувати: 80 В ефективного значення — для джерел змінного струму ручного дугового та напіваавтоматичного зварювання; 140 В ефективного значення — для джерел змінного струму автоматичного зварювання; 100 В середнього значення — для джерел постійного струму.

Одно- та багатопостові зварювальні установки повинні бути захищені запобіжниками чи автоматичними вимикачами з боку живильної мережі. Установки для ручного зварювання повинні бути оснащені покажчиком значення зварювального струму (амперметром або шкалою на регуляторі струму). Багатопостові зварювальні агрегати крім захисту з боку живильної мережі повинні також мати і автоматичний вимикач чи контактор (для підключення джерела струму до розподільчої цехової мережі) у загальному проводі зварювального кола та запобіжника на кожному проводі до зварювального поста.

Для запобігання займанню електропроводів та зварювального обладнання слід правильно добирати переріз кабелів за значенням струму, ізоляція кабелів за

робочою напругою та плавкі вставки запобіжників за гранично допустимим струмом. Приєднання до мережі живлення та відключення від неї зварювальних установок повинні виконувати електротехнічні працівники підприємства, які експлуатують цю електромережу.

Пересувні джерела зварювального струму на час їх пересування мають бути відключені від мережі. Електрозварювальну установку на весь час роботи слід заземлити мідним проводом перерізом не менше 6 кв. мм або сталевим прутом (смужкою) перерізом не менше 12 кв. мм. Заземлення здійснюється через спеціальний болт, що має бути на корпусі установки. Крім заземлення основного електрозварювального обладнання у зварювальних установках слід безпосередньо заземлювати той затискач вторинної обмотки зварювального трансформатора, до якого приєднується провідник, що йде до виробу (зворотний дріт). Забороняється використання нульового робочого чи фазного проводу двожильного живильного кабелю для заземлення зварювального трансформатора. Заземлення електрозварювальних установок слід виконувати до їх підключення до мережі і зберігати до відключення від мережі.

Для живлення однофазного зварювального трансформатора слід застосовувати трижильний гнучкий шланговий кабель, третю жилу якого слід приєднати до заземлювального болта корпусу зварювального трансформатора та до заземлювальної шини пункту живлення. Для живлення трифазного трансформатора слід застосовувати чотирижильний кабель, четверта жила якого використовується для заземлення. Заземлювальну шину пункту живлення слід з'єднати з нульовим захисним проводом живильної лінії в установках з глухозаземленою нейтраллю або заземлювачем в установках з ізольованою нейтраллю.

Перед початком електрозварювальних робіт необхідно зовнішнім оглядом перевірити справність ізоляції зварювальних проводів та електродотримачів, а також надійність з'єднання усіх контактів.

Відстань від зварювальних проводів до гарячих трубопроводів та балонів з киснем має бути не менше 0,5 м, до балонів та трубопроводів з пальними газами — не менше 1 м. Забороняється користування електродотримачами, у яких порушена

ізоляція держаків. Держаки електродотримачів мають бути виготовлені із негорючого діелектричного та теплоізоляційного матеріалу. Забороняється застосування саморобних електродотримачів. Електродотримачі повинні відповідати ГОСТ 14651.

Струмопровідні частини електродотримача мають бути ізольовані, крім того, має бути забезпечений захист від випадкового дотику до них рук зварювальника чи виробу, що зварюється. Різниця температур зовнішньої поверхні руків'я і навколо нього повітря на ділянці, що охоплюється рукою зварювальника за номінального режиму роботи електродотримача має бути не більше 40 °С.

4.1.2 Електробезпека

Згідно із ГОСТ 12.1.030, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх потрібно захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями – 5 см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробою і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів.

Забороняється для освітлення робіт під час розбирання, демонтажу користуватися електричною мережею будівлі, що розбирається. Для освітлення цих робіт повинна бути влаштована спеціальна тимчасова електромережа і встановлені освітлювальні прилади.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99. Мікроклімат приміщення характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Оперативно-ремонтні з обслуговування електрообладнання відносяться до категорії Пб по важкості праці [21]. Енерговитрати за цією категорією становлять – до 140-174Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Пб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [21].

При здійсненні будівельно-монтажних робіт виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні в приміщення може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при оздоблювальних технологічних процесах в будівництві, що знаходяться в повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м^3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ДСН [22] проектом передбачені наступні рішення [22]: застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення; необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності [23].

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують

жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

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

4.2.4 Виробничий шум

Під час виконання будівельно-монтажних робіт виникає виробничий шум з такими характеристиками: за характером спектру – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – механічний і гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 3.3.6.037 [24] і наведені в таблиці 4.4.

Для зменшення рівня шуму до допустимого двигуни будівельних машин і механізмів виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньоггеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

4.2.5 Виробничі вібрації

Допустимі рівні загальної вібрації на постійних місцях у виробничих приміщеннях [25] наведені в таблиці 4.5.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньоггеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях										

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

4.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [26, 27]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [28], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [29].

Приміщення Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк» за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я.

Будівля, 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 хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [30] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття 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, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [30] наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – 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 тамбуру, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). 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 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадсь-

ких, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник) [30].

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк» встановлено 56 вогнегасників ВП-5 [31].

ВИСНОВКИ

В роботі було спроектовано систему електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

В результаті розраховано електричні навантаження механічного цеху та підприємства в цілому.

Здійснено загальний огляд об'єкта дослідження, наведено опис основних технологічних процесів. Визначено типові електроспоживачі підприємства, подано їх характеристику за потужністю, режимами роботи та важливістю у виробничому процесі.

Виконано детальний розрахунок електричних навантажень, що дозволило оцінити сумарну потужність споживачів і встановити відповідність джерел живлення їх потребам.

Обґрунтовано вибір типу, кількості та оптимального розташування трансформаторних підстанцій з урахуванням планування території та вимог до надійності. В результаті було встановлено чотири двотрансформаторних підстанцій потужністю 1600 кВА.

Розроблено й розраховано схему електропостачання підприємства, яка забезпечує ефективну й безпечну доставку електроенергії до всіх споживачів.

Проведено розрахунок внутрішньоцехової мережі, що дозволяє забезпечити якісне живлення технологічного обладнання.

Розглянуто можливість застосування локаційного методу для пошуку місць пошкодження в кабельних мережах. Такий підхід підвищує оперативність виявлення аварій та знижує витрати на ремонт і простої виробництва.

За результатами роботи була розроблена система електропостачання, яка забезпечує надійне та безперебійне живлення підприємства ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» електроенергією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сайт газети «33-й канал». URL: <https://33kanal.com/news/37691.html> (дата звернення: 07.05.2025).
2. Офіційний сайт ПрАТ «Вінницький завод «Маяк». URL: <https://termia.com.ua/about-the-enterprice/> (дата звернення: 07.05.2025).
3. Сайт аналітичної платформи «Clarity Project». URL: <https://clarity-project.info/smida/14307771?year=2020> (дата звернення: 12.05.2025).
4. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
5. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617с.
6. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інфм. та документація).
7. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність СЕП : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
8. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
10. Бурбело, М. Й. Спеціальні питання електропостачання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 89 с.

11. Офіційний сайт ПАТ «Завод Південкабель». URL: <http://www.yuzhcable.info> (дата звернення: 17.11.2024).
12. Трансформатори силові. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 27.05.2025).
13. Силові вимикачі. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 28.05.2025).
14. П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільчій мережі зі складною топологією напругою 6-35 кВ / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна /Монографія – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 152 с.
15. Кутіна М. В. Застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабельних мережах підприємств / М. В. Кутіна, А. О. Барабаш // LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки: тези наукових доповідей. Вінниця, 2025. – 3 с.
16. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
17. 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->.
18. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.
19. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

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

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

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

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

24. 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>.

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

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

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

28. 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>.

29. 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.

30. 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.

31. 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>.

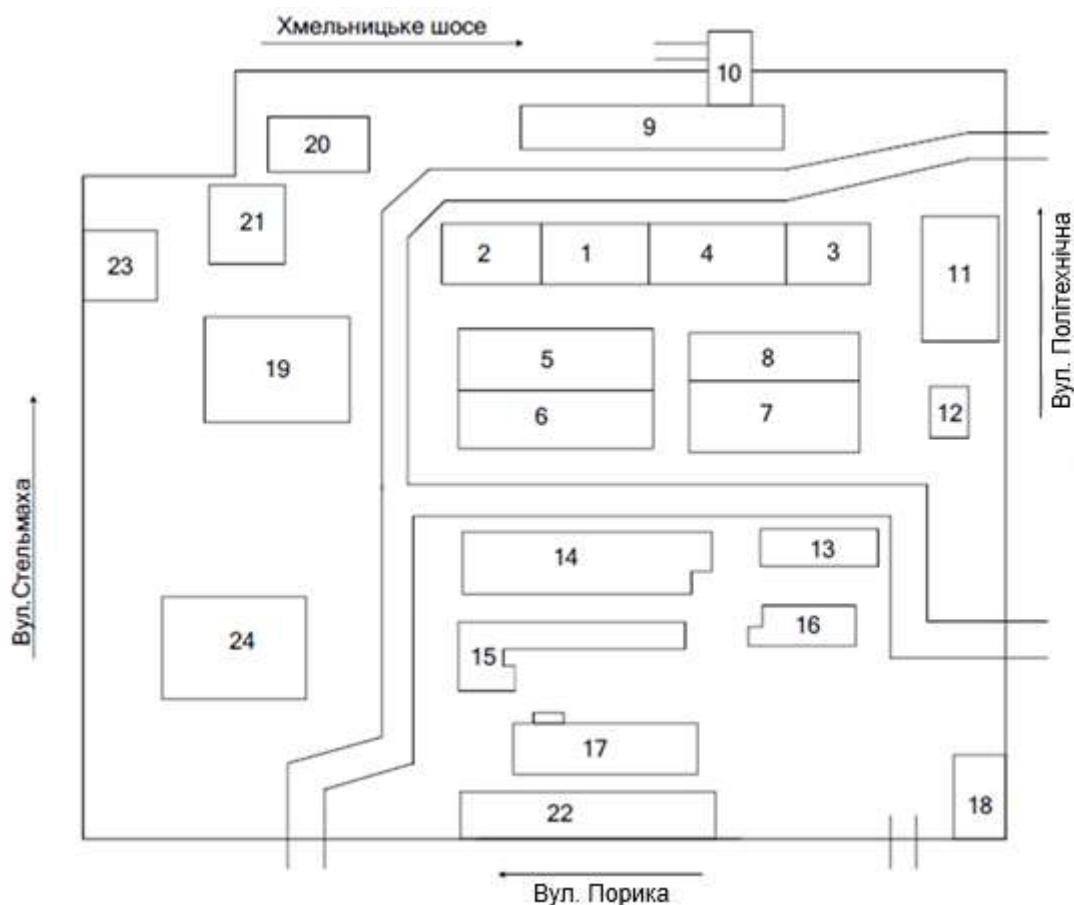
ДОДАТКИ

Додаток А

ВИХІДНІ ДАНІ

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕР-
НОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

Рисунок А.1 – Генплан підприємства

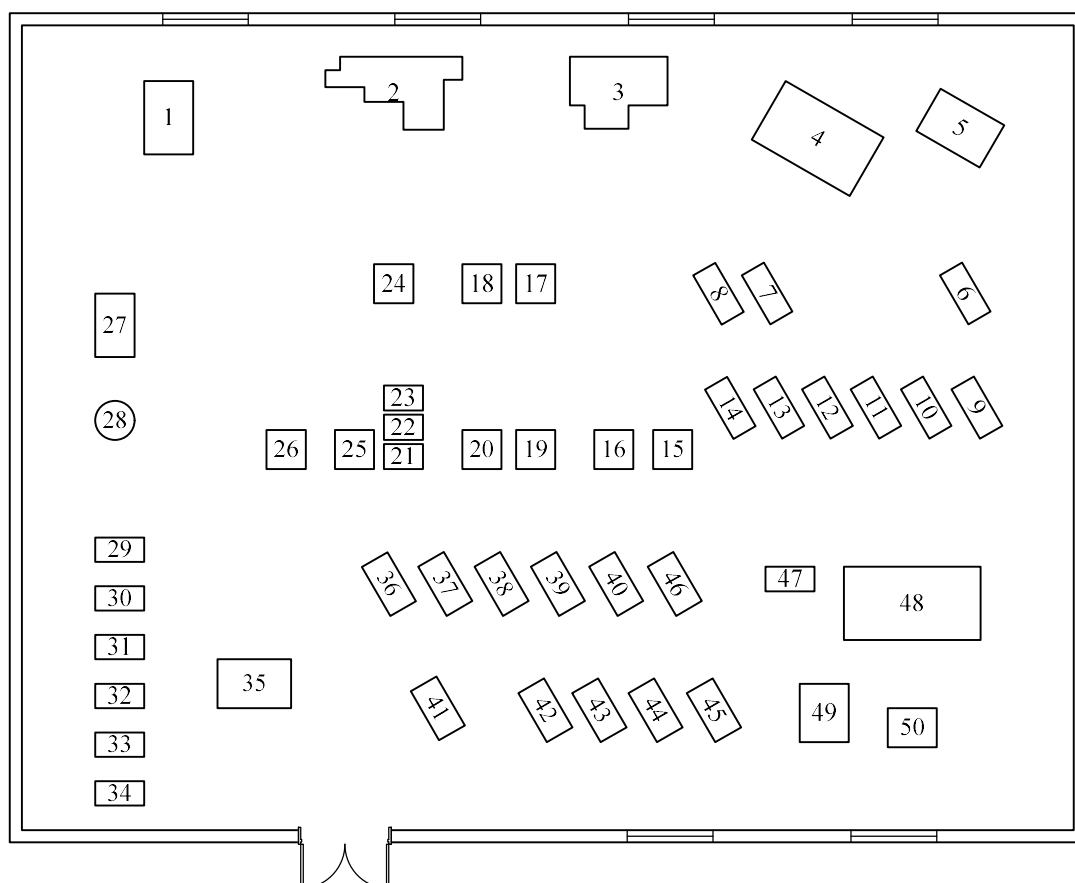


Таблиця А.1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

№	Назва цеху	Р _н , кВт
1	Механічний цех	272,8
2	Заготівельний цех	300
3	Ковально-штамповочний цех	480
4	Зварювальний цех	1080
5	Намоточний цех	1176
6	Цех сталєалюмінієвого лиття	1680
7	Інструментальний цех	576
8	Фарбувальний цех	840
9	Збірно-монтажний цех	432
10	Адміністративний корпус	96
11	Ремонтно-механічний цех	456
12	Очисні споруди	480
13	Енергоблок	1680
14	Цех друкованих плат	408

№	Назва цеху	Рн, кВт
15	Відділ випробувань	288
16	Котельня	1800
17	Цех нестандартного обладнання	360
18	Автотранспортний цех	144
19	Склади ОМТС	96
20	Столова	552
21	Цех термопластавтоматів	1566
22	КСК "МАЯК"	60
23	Типографія	180
24	Корпус порошків і металургії	240

Рисунок А.2 – План механічного цеху



Таблиця А.2 – Відомості про електричні навантаження цеху

№	Назва приймача	Рн, кВт
1, 35	Різьбонарізний станок	16,2
2	Універсально шліфувальний станок	11,4
3	Плоскошліфувальний станок	5,35

№	Назва приймача	Рн, кВт
4, 36	Токарно гвинторізний станок	11,5
5	Токарно гвинторізний станок	5,52
6	Універсально фрезерний станок	9
7	Універсально фрезерний станок	7,44
8	Горизонтально фрезерний станок	6,72
9-13	Вертикально фрезерний станок	6,24
14	Універсально фрезерний станок	4,2
15-17, 24	Свердильний станок	0,84
18-20, 25, 29-34	Різьбонарізний станок	1,92
21-23	Свердильний станок	2,52
26	Вертикально свердильний станок	1,44
27	Універсально заточувальний станок	1,32
28	Вертикально фрезерний станок	0,96
37	Токарно гвинторізний станок	4,8
38, 46	Токарно гвинторізний станок	12
39-45	Токарно гвинторізний станок	3,84
47	Піч нагрівальна	12
48	Торце-розкатний станок	38,4
49-50	Полірувальний станок	4,32

Додаток Б

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

Рисунок Б.1 – Генеральний план підприємства

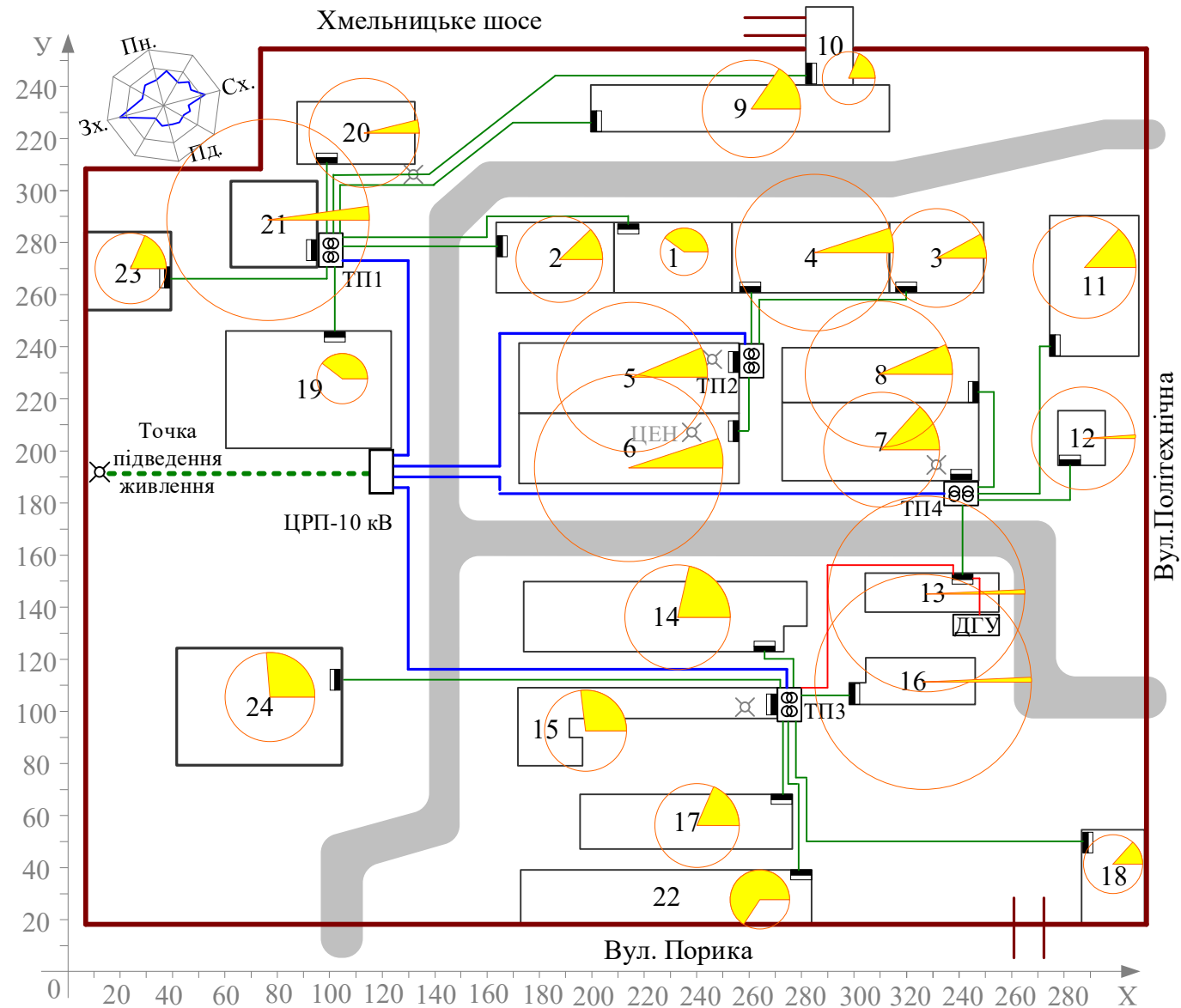


Рисунок Б.2 – Однолінійна схема електропостачання підприємства

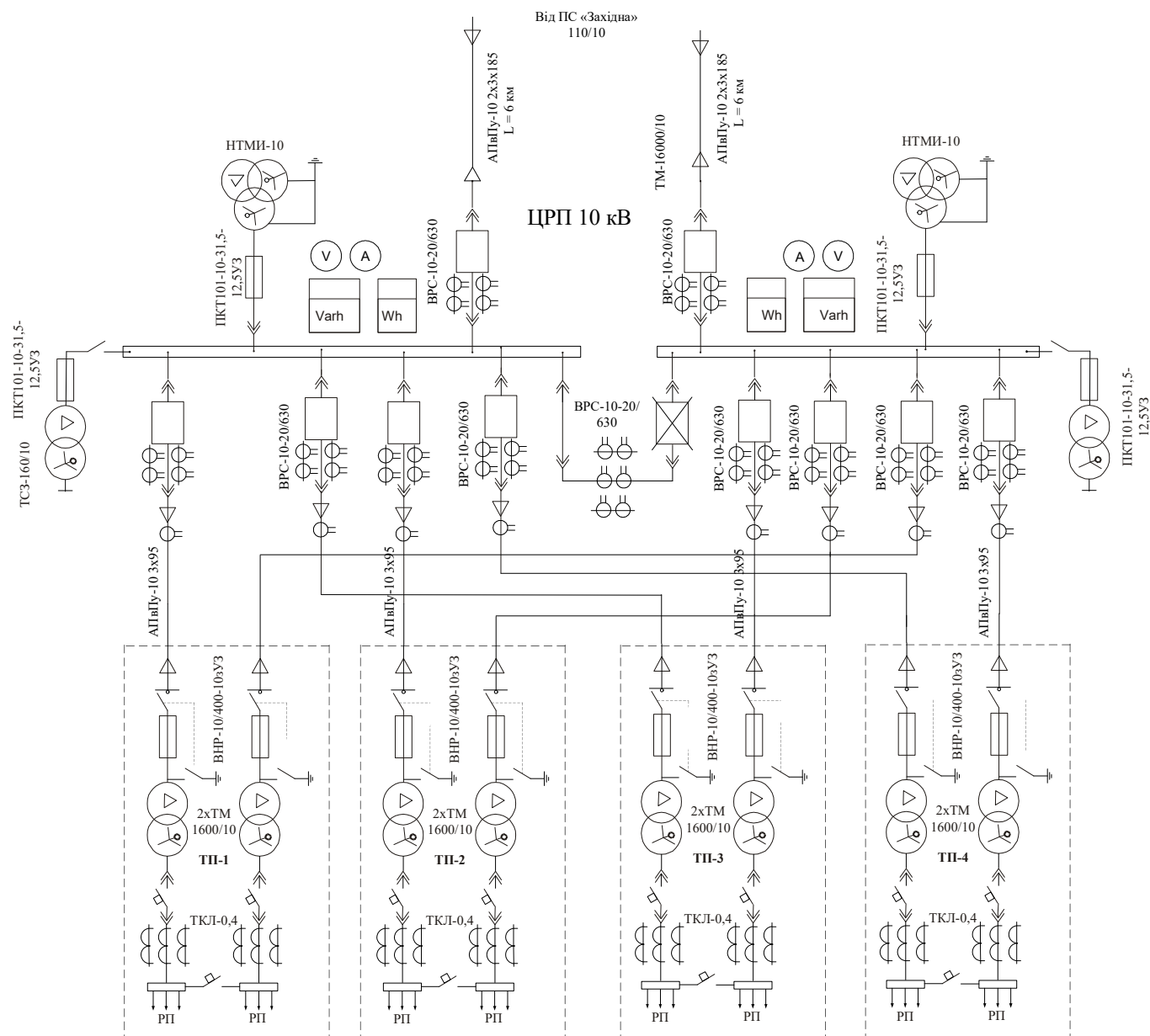


Рисунок Б.3 – План механічного цеху та силової мережі

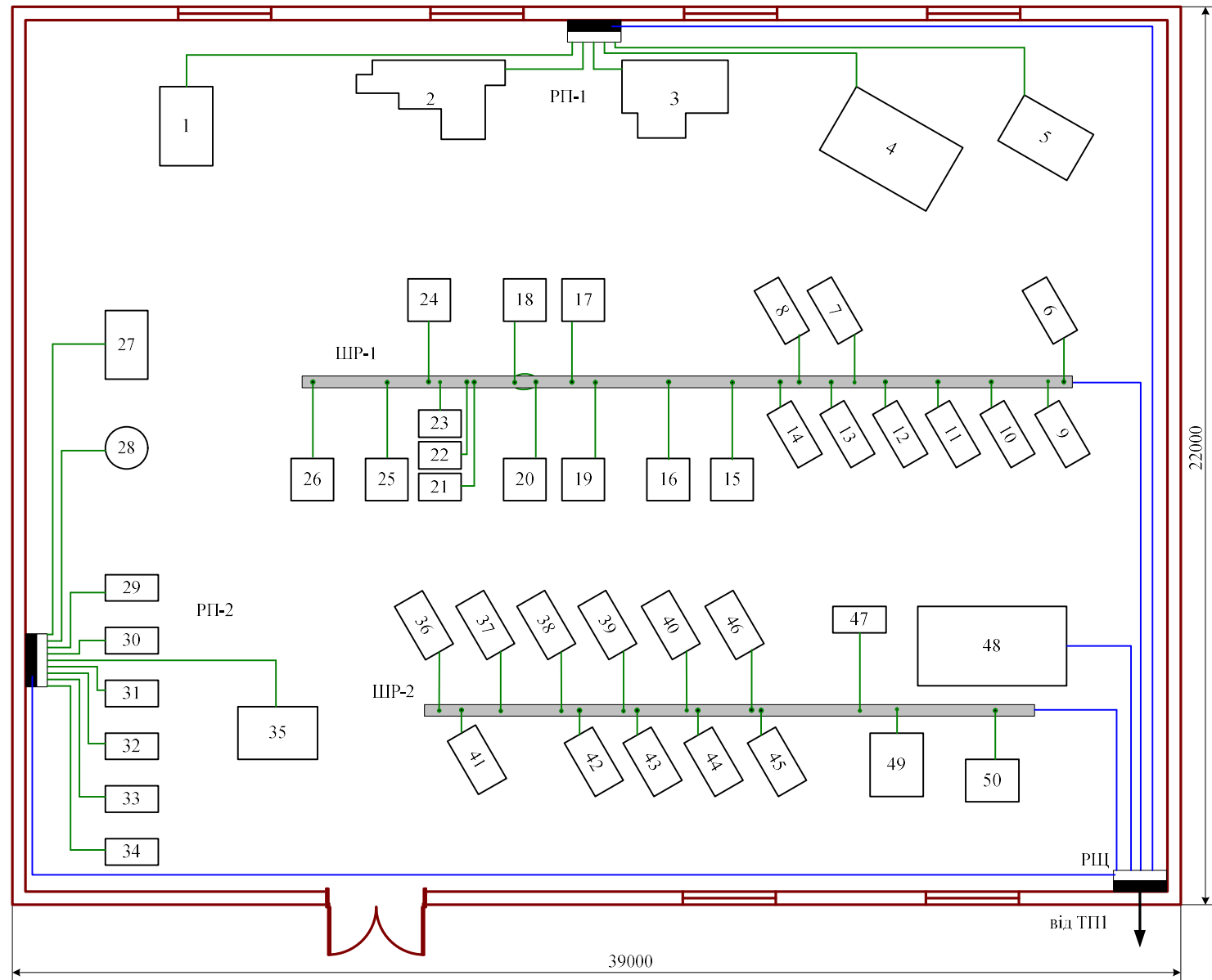


Рисунок Б.4 – Розрахунково-монтажна таблиця

ТП	ЗАХИСТ				ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ				ГРП	п шт	ЗАХИСТ				ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ				СПОЖИВАЧІ				НАЗВА ЕП
	ТИП ВИМІСКАЧА	I ном А	I н.розч. А	I с.в. А	ПРОВІД		Р м кВт	I м А			ТИП ВИМІСКАЧА	I ном А	I н.розч. А	I с.в. кА	МАРКА ПРОВІДУ/ (Спосіб прокладання- шартигів)	I доп А	I м А	Р ном кВт	№ на плані				
					МАРКА ПРОВІДУ/ (Спосіб прокладання- шартигів)	I доп А																	
</																							

Таблиця Б.1 - Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

№	Назва	n	P _{ном} кВт		Кв	tgφ	P _{см}	Q _{см}	n·p _н ²	ne	Км	P _м	Q _м	S _м	I _м
			одн.	заг.								кВт	кВАР	кВА	А
1	Різьбонарізний станок	1	16,2	16,2	0,12	2,30	1,94	4,47	262						65,0
2	Універсально шліфувальний станок	1	11,4	11,4	0,12	1,17	1,37	1,60	130						28,1
3	Плоскошліфувальний станок	1	5,352	5,352	0,2	1,17	1,07	1,25	29						13,2
4	Токарно гвинторізний станок	1	11,52	11,52	0,12	2,30	1,38	3,18	133						46,2
5	Токарно гвинторізний станок	1	5,52	5,52	0,12	2,30	0,66	1,52	30						22,1
	Всього по РП-1	5		49,992	0,13		6,43	12,03	584	4	2,75	17,67	13,23	22,08	33,54
6	Універсально фрезерний станок	1	9	9	0,12	2,30	1,08	2,48	81						36,1
7	Універсально фрезерний станок	1	7,44	7,44	0,12	2,30	0,89	2,05	55						29,8
8	Горизонтально фрезерний станок	1	6,72	6,72	0,12	2,30	0,81	1,85	45						27,0
9-13	Вертикально фрезерний станок	5	6,24	31,2	0,12	2,30	3,74	8,61	195						25,0
14	Універсально фрезерний станок	1	4,2	4,2	0,12	2,30	0,50	1,16	18						16,8
15-1,24	Свердильний станок	4	0,84	3,36	0,12	2,30	0,40	0,93	3						3,4
18-20,25	Різьбонарізний станок	4	1,92	7,68	0,12	2,30	0,92	2,12	15						7,7
21-23	Свердильний станок	3	2,52	7,56	0,12	2,30	0,91	2,09	19						10,1
26	Вертикально свердильний станок	1	1,44	1,44	0,12	2,30	0,17	0,40	2						5,8
	Всього по ШР-1	21		78,6	0,12		9,43	21,69	433	14	0,8	7,55	21,69	22,97	34,90

№	Назва	n	P _{ном} кВт		Кв	tgφ	P _{см}	Q _{см}	n·p _н ²	ne	Км	Pм	Qм	Sм	Iм
27	Універсально заточувальний станок	1	1,32	1,32	0,12	2,30	0,16	0,36	2						5,3
28	Вертикально фрезерний станок	1	0,96	0,96	0,12	2,30	0,12	0,26	1						3,9
29-34	Різьбонарізний станок	6	1,92	11,52	0,12	2,30	1,38	3,18	22						7,7
35	Різьбонарізний станок	1	16,2	16,2	0,12	2,30	1,94	4,47	262						65,0
	Всього по РП-2	9		30	0,12		3,60	8,28	287	3	3,45	12,42	9,11	15,40	23,40
36	Токарно гвинторізний станок	1	11,52	11,52	0,12	13	1,38	3,18	133						
37	Токарно гвинторізний станок	1	4,8	4,8	0,12	2,30	0,58	1,32	23						
38, 46	Токарно гвинторізний станок	1	12	12	0,12	2,30	1,44	3,31	144						
39-45	Токарно гвинторізний станок	7	3,84	26,88	0,12	2,30	3,23	7,42	103						
47	Полірувальний станок	2	4,32	8,64	0,2	2,30	1,73	3,97	37						
49-50	Піч нагрівальна	1	12	12	0,6	0,62	7,20	4,46	144						
	Всього по ШРА-2	13		75,84	0,21		15,55	23,67	584	9	1	15,55	26,04	3,47	5,27
48	Торце-розкатний станок	1	38,4	38,4	0,12	2,30	4,61	10,60	1475						
	Всього цеху	50		272,832	0,15		39,62	76,27	3363	22	0,8	31,70	61,02	68,76	104,47

Таблиця Б.2 – Розрахунок навантаження підприємства

Назва цеху	Силове навантаження					Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження		
	P _н , кВт	K _п	tgj	P _с , кВт	Q _с , квар	F, м ²	Q _{св} , м ²	K _{по}	K _{пра}	P _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Механічний цех	272,8			31,7	61,0	1215	17	0,9	1,2	21,1	52,8	71,1	88,6
Заготівельний цех	300	0,5	0,86	150,0	128,3	1215	17	0,9	1,2	21,1	171,1	138,4	220,0
Ковально-штамповочний цех	480	0,45	0,86	216,0	184,7	972	17	0,9	1,2	16,9	232,9	192,8	302,3
Зварювальний цех	1080	0,5	1,17	540,0	631,3	1620	17	0,9	1,2	28,1	568,1	644,8	859,4
Намоточний цех	1176	0,4	1,02	470,4	479,9	2268	14	0,9	1,2	32,4	502,8	495,4	705,9
Цех сталелюмінієвого лиття	1680	0,45	0,48	756,0	366,1	2268	17	0,9	1,2	39,3	795,3	385,0	883,6
Інструментальний цех	576	0,5	0,62	288,0	178,5	2250	17	0,9	1,2	39,0	327,0	197,2	381,9
Фарбувальний цех	840	0,55	0,75	462,0	346,5	1575	20	0,9	1,2	32,1	494,1	361,9	612,5
Збірно-монтажний цех	432	0,45	0,75	194,4	145,8	2052	17	0,9	1,2	35,6	230,0	162,9	281,8
Адміністративний корпус	96	0,55	0,75	52,8	39,6	540	20	0,9	1,2	11,0	63,8	44,9	78,0
Ремонтно-механічний цех	456	0,5	0,62	228,0	141,3	1836	17	0,9	1,2	31,8	259,8	156,6	303,4
Очисні споруди	480	0,55	0,75	264,0	198,0	216	12	0,6	1,2	1,9	265,9	198,9	332,0
Енергоблок	1680	0,5	0,75	840,0	630,0	765	12	0,6	1,2	6,6	846,6	633,2	1057,2
Цех друкованих плат	408	0,5	1,02	204,0	208,1	2916	20	0,9	1,2	59,5	263,5	236,7	354,2
Відділ випробувань	288	0,4	1,52	115,2	174,9	1980	20	0,9	1,2	40,4	155,6	194,3	248,9
Котельня	1800	0,6	0,86	1080,0	923,6	810	12	0,6	1,2	7,0	1087,0	926,9	1428,6
Цех нестандартного облад-	360	0,4	0,75	144,0	108,0	1701	17	0,9	1,2	29,5	173,5	122,2	212,2
Автотранспортний цех	144	0,55	0,48	79,2	38,4	864	12	0,9	1,2	10,6	89,8	43,4	99,7
Склади ОМТС	96	0,4	0,75	38,4	28,8	2835	12	0,6	1,2	24,5	62,9	40,6	74,8
Столова	552	0,5	0,48	276,0	133,7	1080	15	0,6	1,2	11,7	287,7	139,3	319,6
Цех термопластавтоматів	1566	0,6	0,75	939,6	704,7	1089	17	0,9	1,2	18,9	958,5	713,8	1195,1
КСК "МАЯК"	60	0,4	0,75	24,0	18,0	2331	20	0,9	1,2	47,6	71,6	40,8	82,4
Типографія	180	0,6	0,48	108,0	52,3	990	20	0,9	1,2	20,2	128,2	62,0	142,4
Корпус порошків і металургії	240	0,6	1,02	144,0	146,9	2835	17	0,9	1,2	49,2	193,2	170,5	257,6
Всього	15242,8			7645,7	6068,4	38223				635,7	7899,2	6054,9	9952,8

Таблиця Б.3 – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури та провідників цеху

Лінія	Ір, А	Іп, А	Тип АВ	Іном, А	Ірозч, А	Ісв, А	Тип ЛЖ	S, мм2	спос. прок.	Діаметр труби	Ідоп, А
РП1	60	350,6	EB2 250/3E 125A 3p	125	125	1250	АВВГ	3x150+1x70	відкрито		261
РП2	65	240,4	EB2 250/3E 125A 3p	125	125	1250	АВВГ	3x150+1x70	відкрито		261
ШРА1	36	211,1	EB2 250/3E 125A 3p	125	125	1250	АВВГ	3x150+1x70	відкрито		261
ШРА2	48	143,9	EB2 250/3E 125A 3p	125	125	1250	АВВГ	3x150+1x70	відкрито		261
Різьбонарізний станок (1)	60	300	NBS-TMS 100/3L 80A 3p	80	80	800	АПВ	4(1x35)	в трубі	ТТØ40	88
Універсально шліфувальний станок (2)	28,1	140,5	NBS-TMS 100/3L 32A 3p	32	32	320	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Плоскошліфувальний станок (3)	13,1	65,9	NBS-TMS 100/3L 20A 3p	20	20	200	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ8	14
Токарно гвинторізний станок (4)	46,3	231,2	NBS-TMS 100/3L 63A 3p	63	63	630	АПВ	4(1x25)	в трубі	ТТØ40	70
Токарно гвинторізний станок (5)	22,1	110,7	NBS-TMS 100/3L 25A 3p	25	25	250	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Універсально фрезерний станок (6)	36,2	180,7	NBS-TMS 100/3L 40A 3p	40	40	400	АПВ	4(1x25)	в трубі	ТТØ40	70
Універсально фрезерний станок (7)	29,8	149,3	NBS-TMS 100/3L 32A 3p	32	32	320	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Горизонтально фрезерний станок (8)	26,9	134,9	NBS-TMS 100/3L 32A 3p	32	32	320	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Вертикально фрезерний станок (9-13)	25,0	125,3	NBS-TMS 100/3L 25A 3p	25	25	250	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Універсально фрезерний станок (14)	16,8	84,3	NBS-TMS 100/3L 25A 3p	25	25	250	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Свердлильний станок (15-17,24)	3,4	16,8	NBS-TMS 100/3L 20A 3p	20	20	200	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ8	14
Різьбонарізний станок (18-20,25)	7,7	38,6	NBS-TMS 100/3L 20A 3p	20	20	200	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ8	14
Свердлильний станок (21-23)	10,1	50,6	NBS-TMS 100/3L 20A 3p	20	20	200	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ8	14
Вертикально свердлильний станок (26)	5,8	28,9	EB NBS-TMS 100/3L 20A 3p	20	20	200	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ8	14

Лінія	Ір, А	Іп, А	Тип АВ	Іном, А	Ірозч, А	Ісв, А	Тип ЛЖ	S, мм2	спос. прок.	Діаметр труби	Ідоп, А
Токарно гвинторізний станок (36)	5,8	28,9	NBS-TMS 100/3L 20A 3p	20	20	200	АПВ	4(1x2,5)	в трубі	ТТØ8	14
Токарно гвинторізний станок (37)	19,2	96,3	NBS-TMS 100/3L 25A 3p	25	25	250	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Токарно гвинторізний станок (38,46)	48,2	144,5	NBS-TMS 100/3L 63A 3p	63	63	630	АПВ	4(1x25)	в трубі	ТТØ40	70
Токарно гвинторізний станок (39-45)	15,4	46,3	NBS-TMS 100/3L 25A 3p	25	25	250	АПВ	4(1x6)	в трубі	ТТØ16	30
Торце-розкатний станок (48)	154	462	EB2 250/3E 200A 4p	200	200	2000	АВВГ	3x150+1x70	відкрито		261

Додаток В

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РО-
БОТИ**

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІ-
ОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»**

Додаток Г

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

Виконала: студентка 4-го курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
Барабаш А. О.

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ
Кутіна М. В.

Вінниця – 2025 року

Актуальність теми. Ефективність виробничого процесу значною мірою залежить від системи електропостачання, що забезпечує стабільну роботу підприємства. Система електропостачання підприємства повинна відповідати ряду вимог: бути економічною, безпечною в експлуатації, надійною, забезпечувати можливість подальшого розвитку без значних змін і гарантувати відповідну якість електроенергії згідно з нормативним документам.

Надійне електропостачання є критично важливим для будь-якого промислового підприємства. Воно забезпечує стабільну роботу технологічного обладнання, знижує імовірність виникнення браку на підприємстві та гарантує безпеку праці персоналу.

Кабельні мережі є одними з найбільш вразливих елементів системи електропостачання, тому швидке та точне виявлення місця пошкодження кабелю є ключовим для мінімізації часу простою та відновлення роботи підприємства. Застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження в кабельних мережах дозволяє з високою точністю визначити місце пошкодження, що значно скорочує час пошуку місця пошкодження та запобігає ризику розвитку аварійних ситуацій та підвищує безпеку експлуатації.

Тому проєктування ефективної системи електропостачання та застосування локаційного методу пошуку пошкоджень у КЛ є ключовими чинниками для підвищення надійності та ефективності роботи ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

Мета роботи – підвищення надійності системи електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» шляхом вибору оптимальної структури системи електропостачання підприємства та застосування локаційного методу пошуку місця пошкодження в кабельних мережах підприємства.

Основними задачами при розрахунку системи електропостачання є:

- дослідження технологічного процесу та аналіз електричного навантаження підприємства;
- вибір та розрахунок системи електропостачання підприємства та окремого цеху;
- дослідження питання знаходження місць пошкоджень кабельних мереж за допомогою локаційного методу.

Об'єкт дослідження – процес функціонування системи електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк».

Предмет дослідження – розробка системи електропостачання приватного акціонерного Товариства «Вінницький завод «Маяк».

Апробація результатів бакалаврської кваліфікаційної роботи. Результати дослідження представлено на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки у 2025 році. Тези доповідей опубліковані в матеріалах конференції.

№	Назва приймача	Рн, кВт
1, 35	Різбонарізний станок	16,2
2	Універсально шліфувальний станок	11,4
3	Плоскошліфувальний станок	5,35
4, 36	Токарно гвинторізний станок	11,5
5	Токарно гвинторізний станок	5,52
6	Універсально фрезерний станок	9
7	Універсально фрезерний станок	7,44
8	Горизонтально фрезерний станок	6,72
9-13	Вертикально фрезерний станок	6,24
14	Універсально фрезерний станок	4,2
15-17, 24	Свердлильний станок	0,84
18-20, 25, 29-34	Різбонарізний станок	1,92
21-23	Свердлильний станок	2,52
26	Вертикально свердлильний станок	1,44
27	Універсально заточувальний станок	1,32
28	Вертикально фрезерний станок	0,96
37	Токарно гвинторізний станок	4,8
38, 46	Токарно гвинторізний станок	12
39-45	Токарно гвинторізний станок	3,84
47	Піч нагрівальна	12
48	Торце-розкатний станок	38,4
49-50	Полірувальний станок	4,32

Умовні позначення:

- Кабель типа АПВ 4х(1х2,5/6/25/35) мм²;
- Кабель типа АВВГ 3х150+1х70 мм²

[illegible]

ЗАЛЕЖНІСТЬ ФОРМИ ВІДБИТОГО ІМПУЛЬСУ ВІД ВЕЛИЧИНИ ТА ХАРАКТЕРУ НАВАНТАЖЕННЯ

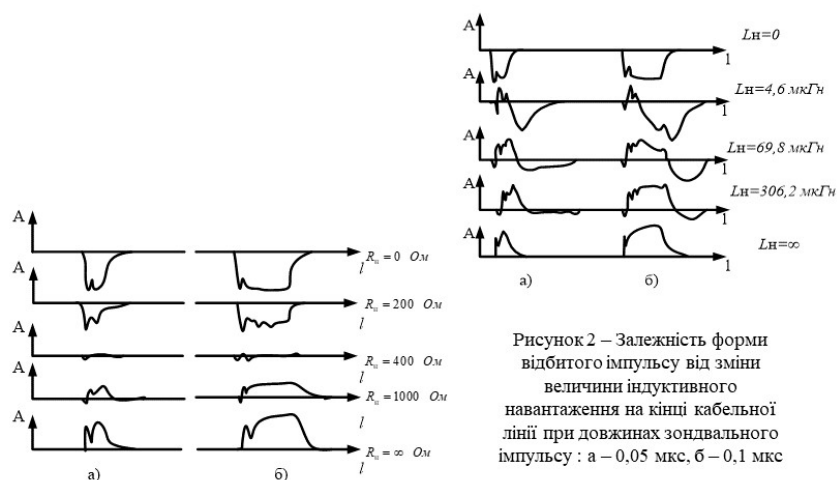


Рисунок 2 – Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини індуктивного навантаження на кінці кабельної лінії при довжинах зондувального імпульсу : а – 0,05 мкс, б – 0,1 мкс

Рисунок 1 – Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини резистивного навантаження R_n на кінці кабельної лінії при різній тривалості зондувального імпульсу τ : а) – 0,05 мкс, б) – 0,1 мкс

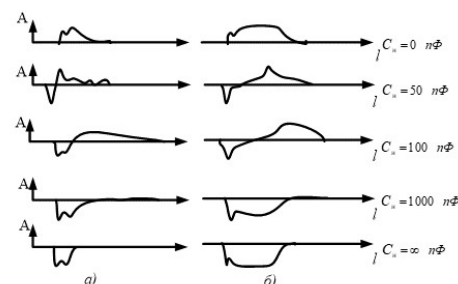
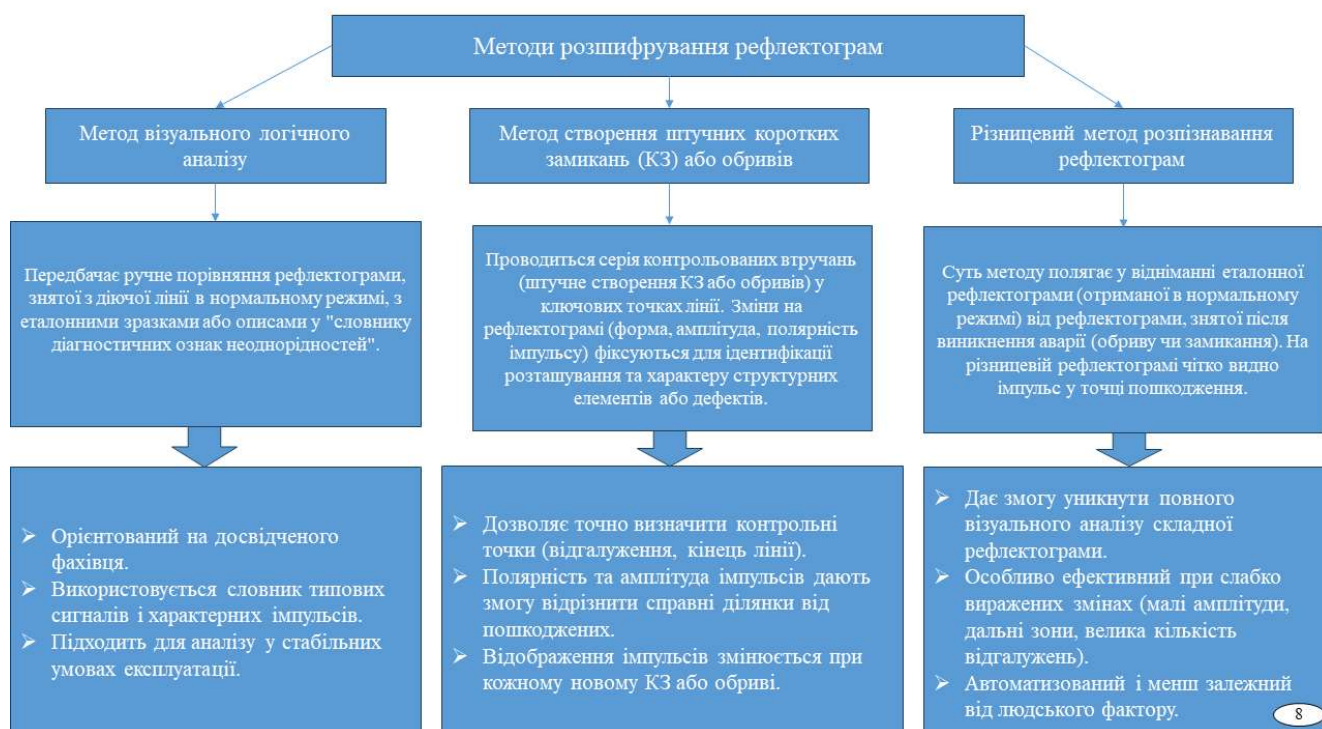


Рисунок 3 – Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини ємнісного навантаження C_n в кінці кабельної лінії при тривалості зондувального імпульсу τ , відповідно, 0,05 мкс, (а); 0,1 мкс, (б)

7



8

ЗАСТОСУВАННЯ РЕФЛЕКТОМЕТРА ТИПУ INTERFLEX 140 ДЛЯ ПОШУКУ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ У КАБЕЛЬНІЙ ЛІНІЇ

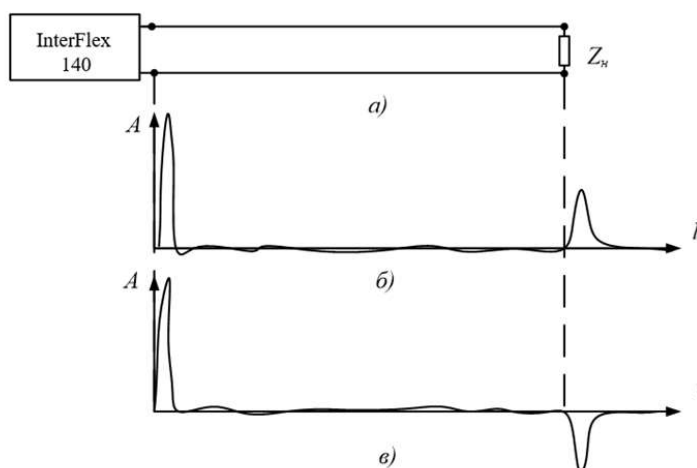


Рисунок – а) - схема під'єднання приладу до лінії; б) - покази рефлектометра при обриві лінії, коли $Z_H = \infty$; в) - покази рефлектометра при короткому замиканні, коли $Z_{\text{кв}} = 0$



Зовнішній вигляд рефлектометра типу InterFlex 140

Суть локаційного методу полягає в тому, що в кабельну лінію подається короткий електричний імпульс, який поширюється вздовж кабелю доки не наткнеться на перешкоду (місце пошкодження, обрив, коротке замикання чи відгалуження). На місці пошкодження частина або весь сигнал відбивається назад у напрямку джерела.

Рефлектометр фіксує час затримки між посиланням та поверненням імпульсу, що дозволяє розрахувати відстань до пошкодження.

Відстань до пошкодження можна визначити за формулою:

$$L = \frac{t_1}{2} v$$

де v – швидкість розповсюдження імпульсу у лінії.

9

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено систему електропостачання ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» та розглянуто можливість застосування локаційного методу пошуку місця пошкодження в кабельних мережах підприємства з метою підвищення рівня надійності електропостачання підприємства.

Виконано розрахунок цехової та внутрішньозаводської мережі та проведено вибір основного обладнання, що відповідає всім вимогам нормативних документів та забезпечує надійне живлення електроприймачів цехів та підприємства в цілому.

Згідно розрахунків було обрано встановлення ЦРП-10 кВ та чотирьох двотрансформаторних ТП із трансформаторами типу ТМ-1600/10, що допоможе забезпечити підприємство надійним електропостачанням.

За допомогою результатів розрахунку коротких замикань можна зробити висновки про правильність вибору вимикачів та кабелів цехової і заводської мереж. Для зовнішнього електропостачання заводу від підстанції 110/10 кВ обрано кабель типу 2хАПвПу-10 перерізом 3х185 мм². Живлення від ЦРП трансформаторних підстанцій виконано кабелем АПвПу-10 перерізом 3х95 мм². На стороні 10 кВ вибрано для встановлення вакуумні вимикачі викатного типу ВРС-10-20/630.

Розглянуто можливість застосування локаційного методу для пошуку місць пошкодження в кабельних мережах. Такий підхід підвищує оперативність виявлення аварій та знижує витрати на ремонт і простої виробництва.

За результатами роботи була розроблена система електропостачання забезпечує надійне та безперебійне живлення підприємства ПрАТ «Вінницький завод «Маяк» електроенергією.

10