

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

Виконав: студент 2 курсу, групи Е-23 м.с. з/в
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»,

Бурика В.В. _____

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ
Кравець О.М. _____

« 16 » 06 2025 р.

Рецензент К.Т.Н. каф. КЕМСК
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Проценко Р.П.
« 17 » 06 2025 р.

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

« 18 » 06 2025 р.

Кравець
Олександр Леонідович

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. М. Й. Бурбело

«20» 03 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ
Бурику Віталію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Аналіз ефективності системи електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк» керівник роботи Кравець Олександр Миколайович к.т.н., доцент каф. ЕСЕМ затверджені наказом по ВНТУ від «19» «березня» 2025 року № 97
2. Термін подання студентом роботи «11» «червня» 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація

Вступ

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.2 Вибір оптимальної напруги живлення

2.3 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.4.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

2.4.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

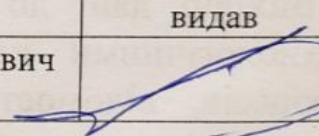
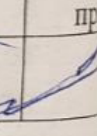
2.4.3 Розрахунок засобів компенсації реактивної потужності

2.5 Розрахунок схеми електропостачання цеху

2.5.1 Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху

2.5.2 Вибір захисних апаратів та провідників цехової електромережі

- 3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ
- 3.1 Головні задачі побудови промислових інтелектуальних систем освітленням
- 3.2 Основні стратегії побудови промислових інтелектуальних систем освітленням
- 3.3 Розробка інтелектуальної системи керування освітленням
- 4 ОХОРОНА ПРАЦІ
- 4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта
- 4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії
- 4.2.1 Мікроклімат
- 4.2.2 Виробниче освітлення
- 4.2.3 Виробничий шум
- 4.2.4 Виробничі вібрації
- 4.3 Пожежна безпека
- Висновки
- Література
- Додаток
- Генплан підприємства із картограмою навантажень і розподільною мережею
 - Однолінійна схема електропостачання підприємства
 - План цеху і силової мережі
 - Розрахунково-монтажна таблиця
 - Креслення із спецпитання
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський Олександр Володимирович завідувач кафедри, професор		

7. Дата видачі завдання «03» «травня» 2025 року.

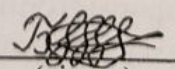
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

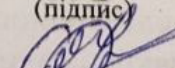
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Підпис
1	Аналіз системи електропостачання підприємства	29.05.25	
2	Дослідження з актуальної для підприємства тематики	07.06.25	
3	Охорона праці	10.06.25	
4	Графічна частина	11.06.25	

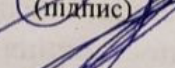
Студент

Керівник бакалаврської
дипломної роботи

Нормоконтроль


(підпис)


(підпис)


(підпис)

Бурик В.В.
(прізвище та ініціали)

Кравець О.М.
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю. П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бурик Віталій Валерійович. Аналіз ефективності системи електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк». Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 106с.

У роботі розглянуто питання проектування системи електропостачання для підприємства та одного з його виробничих цехів. Проведено вибір оптимальної кількості та потужності трансформаторних підстанцій, визначення перерізу ліній живлення для внутрішньозаводської мережі та мережі цеху, а також вибір і перевірка захисних апаратів і автоматики. Розраховано основні техніко-економічні показники системи електропостачання підприємства.

У науково-дослідній частині роботи розроблено інтелектуальну систему управління освітленням, яка забезпечує ефективне комбінування штучного та природного освітлення для зниження енергоспоживання. Проведено техніко-економічний аналіз ефективності роботи цієї системи.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, пов'язаних із впровадженням системи управління освітленням.

Ключові слова: електропостачання, трансформаторні підстанції, енергоефективність, освітлення, інтелектуальна система управління.

ABSTRACT

Buryk Vitaliy Valeriyovych. Analysis of the power supply system of the private joint-stock company "Vinnytsia Plant Mayak". Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 106p.

The paper considers the issue of designing a power supply system for the enterprise and one of its production shops. The optimal number and power of transformer substations are selected, the cross-section of power lines for the intra-factory network and the shop network is determined, as well as the selection and verification of protective devices and automation. The main technical and economic indicators of the enterprise's power supply system are calculated.

In the research part of the paper, an intelligent lighting control system is developed, which provides an effective combination of artificial and natural lighting to reduce energy consumption. A technical and economic analysis of the efficiency of this system is carried out.

The issues of labor protection and safety in emergency situations related to the implementation of a lighting control system are considered.

Keywords: power supply, transformer substations, energy efficiency, lighting, intelligent control system.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	7
1.1 Відомості про технологічні процеси	7
1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання	9
2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	15
2.1 Розрахунок електричних навантажень	15
2.2 Вибір оптимальної напруги живлення	18
2.3 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій	21
2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства	29
2.4.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання	29
2.4.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП	33
2.4.3 Розрахунок засобів компенсації реактивної потужності	35
2.5 Розрахунок схеми електропостачання цеху	38
2.5.1 Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху	38
2.5.2 Вибір захисних апаратів та провідників цехової електромережі	42
3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ	52
3.1 Головні задачі побудови промислових інтелектуальних систем керування освітленням	52
3.2 Основні стратегії побудови промислових інтелектуальних систем освітлення	55
3.3 Розробка інтелектуальної системи керування освітленням	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	72
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	72
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	74
4.2.1 Мікроклімат	74
4.2.2 Виробниче освітлення	75
4.2.3 Виробничий шум	76
4.2.4 Виробничі вібрації	77
4.3 Пожежна безпека	78

ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
ДОДАТКИ	85
Додаток А (обов'язковий). Вихідні дані	90
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина	93
Додаток В (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	99
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина	101

ВСТУП

Актуальність теми. Проектування систем електропостачання промислових підприємств – складне та відповідальне завдання, що вимагає врахування особливостей об'єкта, забезпечення високої надійності живлення, енергоефективності та оптимізації витрат [1]. З огляду на зростаючі вимоги до раціонального використання енергоресурсів та підвищення економічної ефективності виробничих процесів, дедалі більшої актуальності набуває впровадження інтелектуальних систем керування електроспоживанням.

Одним із ефективних напрямків енергозбереження на промислових підприємствах є впровадження інтелектуальних систем керування освітленням (ІСКО) [2], які дозволяють автоматично регулювати рівень освітленості залежно від природного світла, присутності персоналу та робочого графіка.

Стабільне зростання вартості електроенергії та одночасне зниження вартості обладнання робить впровадження інтелектуальних систем економічно доцільним і вигідним [2]. Використання інтелектуальних систем дозволяє значно продовжити термін служби світильників, знизити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт і безпеку умов праці.

Враховуючи ці фактори, впровадження інтелектуальної системи керування освітленням є актуальним рішенням для підприємств, таких як ПрАТ «Маяк» [3].

Мета і задачі дослідження. Метою дипломної роботи є аналіз системи електропостачання ПрАТ «Маяк» із впровадженням інтелектуальної системи керування освітленням на базі технології DALI.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- здійснити розрахунок електричних навантажень зовнішніх та внутрішніх електричних мереж;
- визначити оптимальні місця встановлення трансформаторних підстанцій;
- розробити інтелектуальну систему керування освітленням одного із об'єктів підприємства та провести розрахунок економічного ефекту від впровадження розробленої системи.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ПрАТ «Маяк».

Предмет дослідження – методи та технічні рішення для підвищення енергоефективності системи освітлення ПрАТ «Маяк».

Методи дослідження. У роботі застосовані сучасні методи розрахунку електричних навантажень, методи світлотехнічного проектування, техніко-економічного аналізу [1,4,5].

Наукова новизна. Розроблено інтелектуальну систему керування освітленням складського відділення ремонтно-механічного цеху, яка дозволяє максимально ефективно використовувати природне освітлення та адаптувати штучне освітлення відповідно до реальних потреб, що суттєво знижує споживання електроенергії. Проведено оцінку енергетичної ефективності та економічного ефекту від впровадження системи.

Практична цінність. Запропоновані проектні рішення можуть бути використані для модернізації освітлювальних систем ПрАТ «Маяк» та інших промислових підприємств, що дозволить значно підвищити енергоефективність, знизити експлуатаційні витрати і поліпшити умови праці працівників.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про технологічні процеси

Приватне акціонерне товариство «Маяк» розташоване у місті Вінниця та здійснює свою діяльність у сфері теплопостачання та водопостачання [3]. Основним видом діяльності підприємства є забезпечення тепловою енергією та гарячою водою як для побутових, так і для промислових споживачів. Загальна протяжність тепломережі становить понад 32 км у двотрубному вимірі, що дозволяє охопити значну кількість споживачів. На рисунку 1.1 зображено головний прохід на підприємство.



Рисунок 1.1 – Вхід на підприємство

Постачання води здійснюється із міської водопровідної мережі, а також за допомогою берегової насосної станції, яка забезпечує технічну воду для внутрішніх потреб підприємства. Вся вода, перш ніж потрапити в систему, проходить стадію попереднього очищення на очисних спорудах підприємства через механічні фільтри. Далі вона накопичується у підземних бетонних резервуарах загальним об'ємом до 500 м³, чого достатньо для забезпечення триденного циклу роботи підприємства без перерв.

ПрАТ «Маяк» обслуговує дванадцять центральних теплових пунктів, обладнаних сучасними системами регулювання подачі тепла [3]. Кожен з них функціонує в автоматичному режимі з урахуванням температурних показників і встановлених часових інтервалів. Такий підхід сприяє економному споживанню енергоносіїв і стабільній роботі всієї системи.

Крім основної діяльності, підприємство має виробничі цехи, де здійснюються ливарні роботи, зокрема виготовлення елементів для електронагрівальної техніки. Тут також ведеться обмежене виробництво інтегральних схем для керування термоелектричними системами. Оскільки підприємство широко використовує запатентовані закордонні аналоги, кількість власних розробок обмежена.

На рисунку 1.2 зображено розташування виробничих цехів ПрАТ «Маяк».

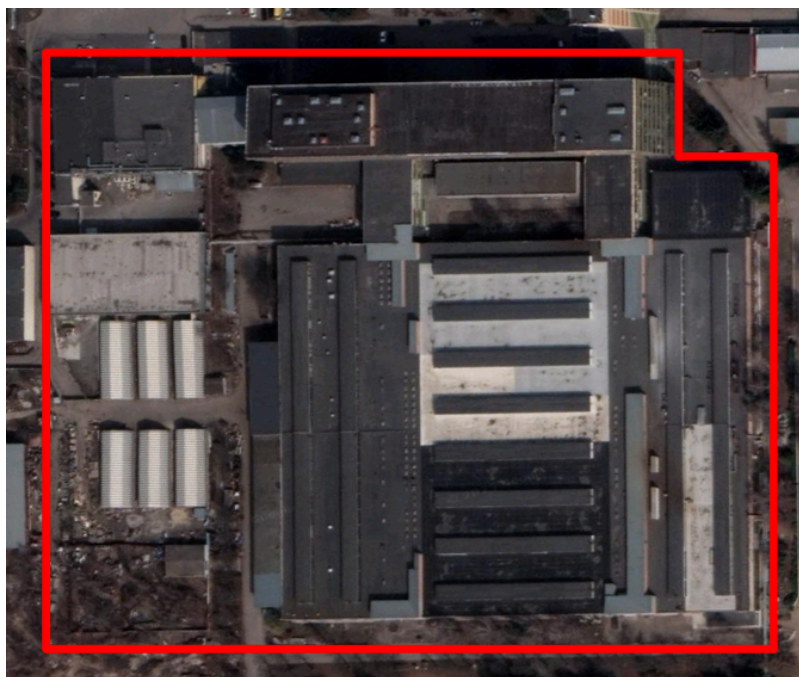


Рисунок 1.2 – Виробничі цехи ПрАТ«Маяк»

Продукція, виготовлена на підприємстві, користується попитом не лише в Україні, а й експортується до інших країн, зокрема Білорусі, Молдови та держав Прибалтики [3]. Виробничий асортимент охоплює понад 600 моделей теплотехнічного обладнання, серед яких електрорадіатори, електроконвектори, інфрачервоні обігрівачі, побутові теплогенератори, а також сталеві конвектори та вентилятори для нагрітого повітря.

Серед основних технологічних задач підприємства – підвищення ефективності систем енергозабезпечення, впровадження більш енергоощадних рішень та удосконалення систем централізованого постачання тепла й води. Враховуючи перспективу розширення виробництва, модернізація інфраструктури є одним із ключових напрямів розвитку.

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

ПрАТ «Маяк» є підприємством, технологічні процеси якого безпосередньо залежать від стабільного та безперервного електроживлення [3]. Основні споживачі електроенергії на підприємстві – це насосні станції, очисні споруди, автоматизовані системи керування тепловими пунктами, а також обладнання, задіяне у виробництві електронагрівальної техніки [3]. Більшість цих пристроїв функціонує у тривалому режимі роботи, що обумовлює підвищені вимоги до надійності системи електропостачання.

Електротехнічна інфраструктура ПрАТ «Маяк» включає систему електропостачання з розподільчими пристроями, силовими трансформаторами, захисним обладнанням, внутрішніми лініями живлення, освітлювальними системами, блискавкозахистом, заземленням, а також комплексами автоматизованого керування електродвигунами. Для забезпечення надійної роботи підприємства також використовуються системи аварійної сигналізації та дистанційної діагностики.

Специфіка діяльності ПрАТ «Маяк» – зокрема подача тепла та води до великої кількості споживачів, серед яких присутні житлові будинки, лікарні, школи, виробничі об'єкти – вимагає наявності резервного живлення. Припинення постачання електроенергії навіть на короткий період може призвести до зупинки насосів, порушення теплопостачання та пошкодження обладнання, що в свою чергу спричиняє значні матеріальні збитки та соціальні наслідки.

З огляду на критичність безперервної подачі ресурсів, усі основні споживачі електроенергії підприємства класифікуються як споживачі II категорії надійності

електропостачання [6]. Згідно з державними стандартами, це означає, що електропостачання таких споживачів має бути забезпечене від двох незалежних джерел живлення, або ж має бути гарантоване автоматичне перемикання на резервне джерело у разі знеструмлення основного.

Таким чином, категорія II [6] є обґрунтованою для ПрАТ «Маяк», оскільки вона враховує як технологічну специфіку підприємства, так і необхідність забезпечення безперервної роботи інфраструктурних об'єктів, критичних для населення та економіки регіону.

На генплані ПрАТ «Маяк» зображено об'єкти проектування (рис. 1.3), а в таблиці 1.1 представлено інформацію про назву та активну потужність цехів та допоміжних споруд підприємства.

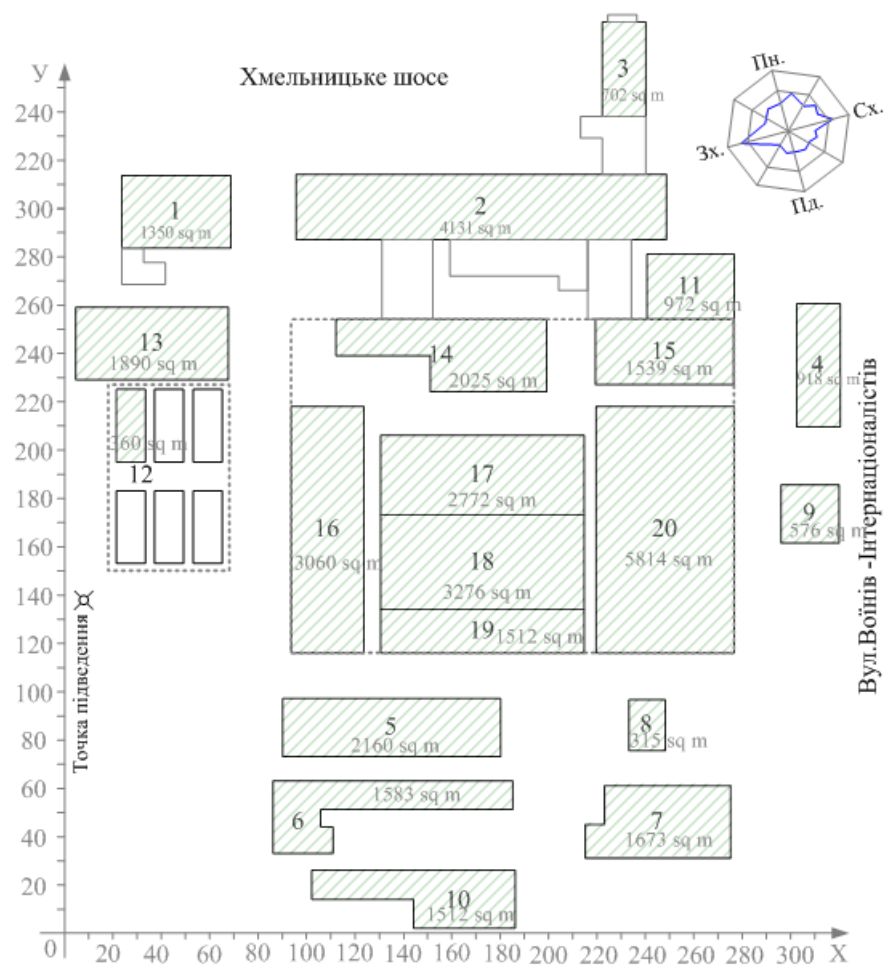


Рисунок 1.3 – Генплан ПрАТ «Маяк»

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ПрАТ «Маяк»

№	Цех	P_H , кВт	cos	tg	K_p	K_v	Площа, м ²
1	Їдальня	20	0,90	0,48	0,40	0,36	1350
2	Збірно-монтажний	220	0,65	1,169	0,36	0,32	4131
3	Адміністративний корпус	70	0,80	0,75	0,34	0,30	702
4	Ремонтно-механічний	260	0,75	0,882	0,33	0,27	918
5	Цех друкованих плат	290	0,60	1,333	0,40	0,33	2160
6	Відділ випробувань	210	0,80	0,75	0,30	0,25	1583
7	Котельня	390	0,75	0,882	0,60	0,50	1673
8	Енергоблок	950	0,85	0,62	0,60	0,45	315
9	Очисні споруди	170	0,80	0,75	0,40	0,35	576
10	Тарно-пакувальний	80	0,70	1,02	0,35	0,30	1512
11	Гальванопокриття	38	0,85	0,62	0,50	0,44	972
12	Склади ОМТС	70	0,80	0,75	0,42	0,36	2160
13	Термопластавтомати	800	0,75	0,882	0,34	0,30	1890
14	Механічний цех №1	450	0,80	0,75	0,50	0,45	2025
15	Гідропрес	230	0,75	0,882	0,45	0,40	1539
16	Штамповка	600	0,8	0,75	0,53	0,46	3060
17	Механічний цех №2	400	0,6	1,333	0,47	0,43	2772
18	Електромонтажний	250	0,8	0,75	0,44	0,39	3276
19	Цех мех.оброб.дет.	211	0,8	0,75	0,53	0,44	1512
20	Фарбувальний	380	0,75	0,882	0,55	0,51	5814

Відстань від підприємства до живлячої підстанції енергосистеми 0,85 км.

Потужність короткого замикання зі сторони 10 кВ живлячої підстанції складає $S_{кз}=138$ МВА.

Вхідна реактивна потужність складає $Q_{вх}=963$ квар.

Час використання максимального навантаження $T_m=5000$ год/рік.

Час максимальних втрат складає $\tau_m=3410,93$ год/рік.

Тариф за активну електроенергію $t=7,8$ грн/кВт*год.

Особливості середовища та прокладки електромереж: піщано-глинистий ґрунт вологістю 12%; температура землі 15°C.

Відстань від підприємства до живлячої підстанції енергосистеми показана на рисунку 1.4:

«Західна» 110/10 кВ – 0,85 км;

«Південна» 110/35/10 кВ – 4 км;

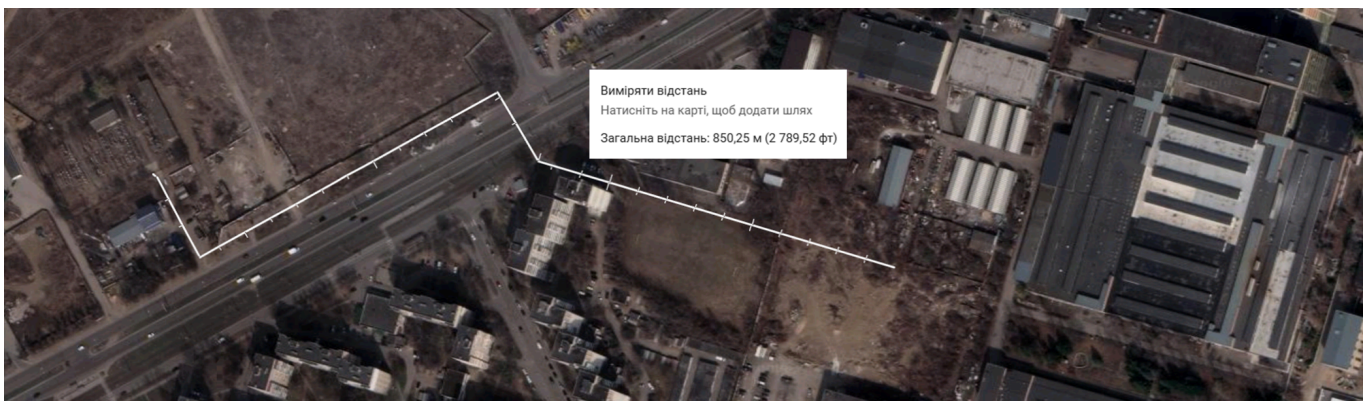
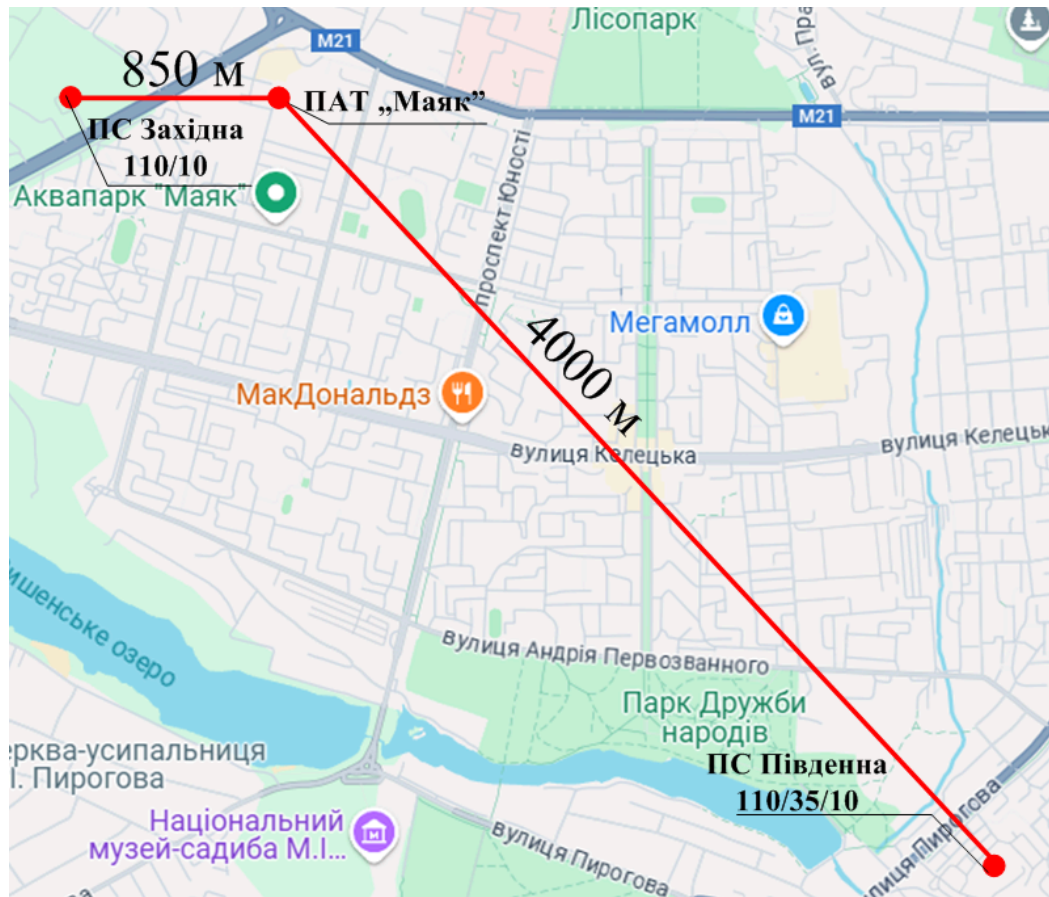


Рисунок 1.4 – Спосіб підведення зовнішньої лінії живлення до підприємства

Електроприймачі, що експлуатуються у ремонтно-механічному цеху, класифікуються як такі, що належать до II [6] категорії надійності електро-постачання. Це обумовлено тим, що раптове припинення електроживлення може не лише поставити під загрозу безпеку працівників, але й призвести до пошкодження обладнання, зниження якості продукції, збільшення її браку, зменшення обсягів виробництва, а також спричинити перебої у технологічних процесах.

Серед ключових споживачів електроенергії на підприємстві можна виділити електродвигуни, які використовуються для роботи верстатів, насосів та іншого обладнання, а також системи освітлення, що забезпечують комфортні та безпечні умови праці.

Потужність електродвигунів визначається продуктивністю технологічного обладнання, особливостями встановлених насосів та загальним технічним станом електромеханічних систем [7].

Освітлення у виробничих зонах відіграє важливу роль в забезпеченні ефективної роботи персоналу. Рационально організоване світлове середовище повинно гарантувати рівномірне та достатнє освітлення робочих місць, сприяти зменшенню втоми працівників та запобігати виробничим травмам. Крім того, у приміщеннях передбачається наявність аварійного освітлення для забезпечення безпеки у разі знеструмлення основної мережі.

Інформація щодо розподілу електричних навантажень у ремонтно-механічному цеху представлена в таблиці 1.2, а схема розміщення обладнання наведено на рисунку 1.4.

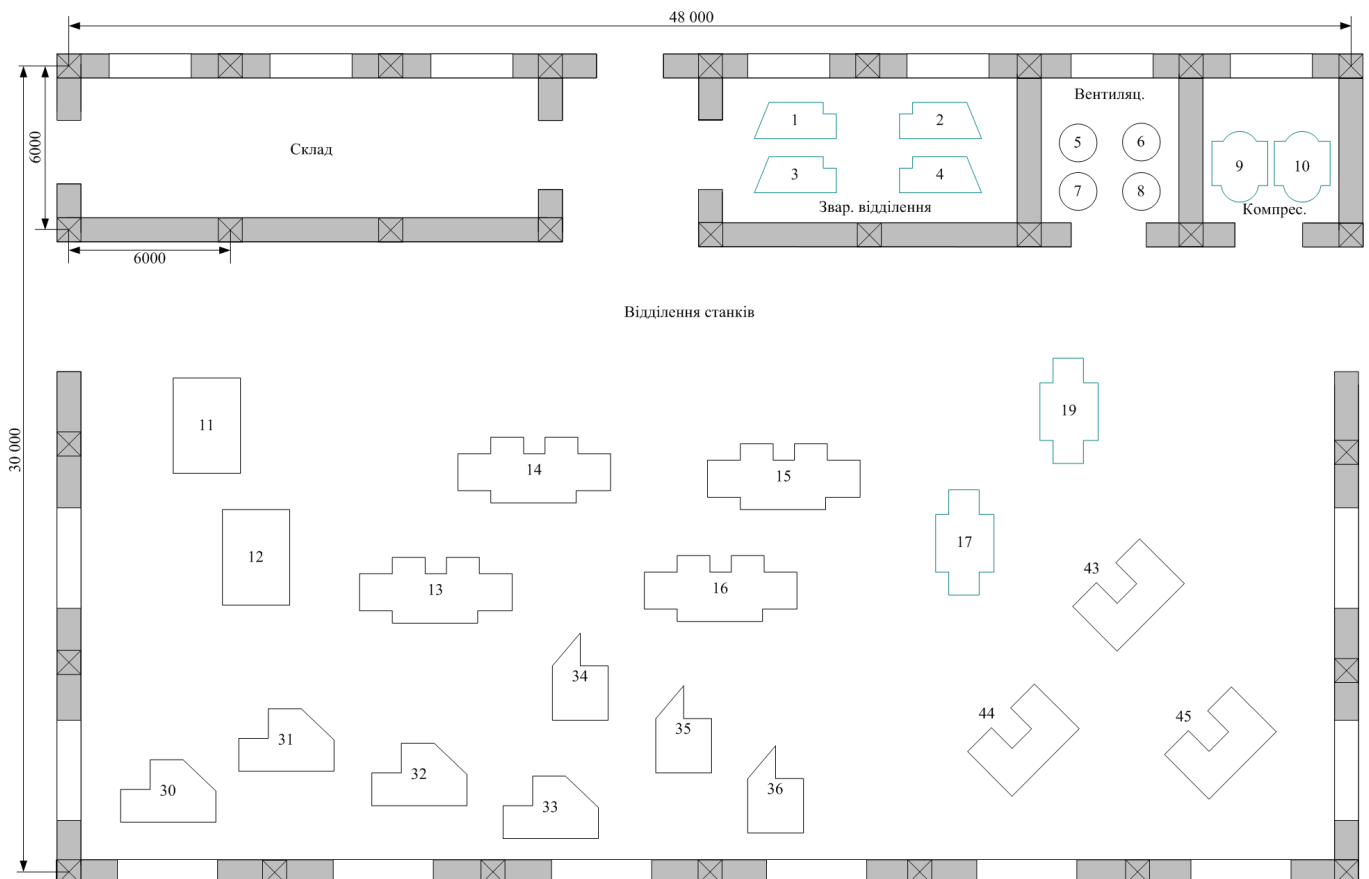


Рисунок 1.2 – План цеху

Таблиця 1.2 – Електричні навантаження цеху

№ на плані	Електроприймач	Рн, кВт
1 – 4	Зварювальні автомати	42
5 – 8	Вентилятори компресори	4,5
9, 10	Алмазно-розточувальні верстати	50
11, 12	Горизонтально-розточувальні верстати	2,8
13 – 16	Поздовжньо-стругальні верстати	18
17, 19	Кран-балка	30
30 – 33	Вертикально-свердлильні верстати	5
34 – 36	Електропечі опору	3
43 – 45	Зварювальні автомати	12,5

З огляду на сучасні вимоги до енергоефективності, актуальним напрямом удосконалення СЕП є впровадження інтелектуальних систем керування освітленням. Використання автоматизованих рішень дозволяє адаптувати рівень освітленості до реальних потреб виробничих зон, враховувати час доби, наявність персоналу та природне освітлення.

Висновки по розділу 1.

У цьому розділі дипломної роботи було здійснено аналіз технологічних процесів, що реалізуються на підприємстві ПрАТ «Маяк». Розглянуто особливості функціонування основних виробничих об'єктів, які споживають електроенергію, зокрема насосних станцій, теплових пунктів, обладнання цехів та систем освітлення. Оцінка електричних навантажень дозволяє закласти надійну основу для розробки ефективної системи електропостачання (СЕП).

Для ПрАТ «Маяк» важливим є забезпечення стабільного, надійного та економічно обґрунтованого електропостачання, оскільки перебої в живленні можуть негативно вплинути на роботу критичних об'єктів інфраструктури, а також зумовити додаткові енергетичні та фінансові витрати.

Таким чином, спроектована система електропостачання повинна не тільки гарантувати надійність живлення, але й сприяти оптимізації витрат шляхом

інтеграції сучасних енергозберігаючих технологій, відповідно до специфіки виробничої діяльності ПрАТ «Маяк».

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Аналіз електропостачання підприємства є ключовим етапом при розробці ефективної та надійної системи електропостачання (СЕП) [1]. Точний розрахунок електричних навантажень дозволяє не лише раціонально розподілити енергоресурси між окремими цехами та об'єктами підприємства, а й гарантує стабільність їх роботи в умовах змінного навантаження. При проектуванні СЕП важливо враховувати як середні, так і пікові навантаження, що особливо актуально для виробництв з безперервним циклом або значною кількістю електрообладнання.

Методика розрахунку електричних навантажень, застосована для ПрАТ «Маяк», базується на використанні коефіцієнтів попиту та використання, що дозволяє отримати більш точні результати, орієнтовані на реальні умови експлуатації обладнання [5]. Коефіцієнт попиту враховує ймовірність одночасного ввімкнення всіх електроприймачів, а коефіцієнт використання – реальний час роботи обладнання в порівнянні з номінальним. Такий підхід дає змогу уникнути перевищення проектної потужності, оптимізувати розміри силових трансформаторів та забезпечити надійність системи електропостачання. Розрахунки виконуються за допомогою електронних таблиць в середовищі Excel, що дозволяє швидко проводити перевірку варіантів і вносити корективи за необхідності. Особливу увагу приділено об'єктам з тривалим режимом роботи, де недооцінка навантаження може призвести до перевантаження мережі або збоїв у технологічних процесах.

Для виконання розрахунку навантажень підприємства використовуємо формули наведені в таблиці 2.1, дані формули реалізують метод коефіцієнта використання k_v та попиту k_n [5].

На рисунку 2.1 представлені розрахунки усіх об'єктів проектування. Даний розрахунок виконаний за допомогою автоматизованого розрахунку на робочому листі електронного процесора Excel.

Таблиця 2.1 – Приклад розрахунку навантажень для Гідропресу

Назва параметра	Формула	Гідропрес (№15 на генплані)
Коефіцієнт реактивної потужності	$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(\varphi))$	$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(0,75)) = 0,88$
Розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po} = F_{пра} \cdot k_{пиф} \cdot P$	$P_{po} = 1539 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot 0,012 = 15,24$
Розрахункова реактивна потужність освітлення, квар	$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_o)$	$Q_{po} = 15,24 \cdot \operatorname{tg}(0,43) = 6,55$
Середня активна потужність, кВт	$P_c = k_b \cdot P_n + P_{po}$	$P_c = 0,4 \cdot 230 + 15,24 = 107,24$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_c = k_b \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_c = 0,4 \cdot 230 \cdot 0,88 + 6,55 = 87,69$
Середня повна потужність, кВА	$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$	$S_c = \sqrt{107,24^2 + 87,69^2} = 138,5$
Розрахункова активна потужність, кВт	$P_p = k_n \cdot P_n + P_{po}$	$P_p = 0,45 \cdot 230 + 15,24 = 118,74$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_p = k_n \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_p = 0,45 \cdot 230 \cdot 0,88 + 6,55 = 97,83$
Розрахункова повна потужність, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{118,7^2 + 97,83^2} = 153,8$
Розрахунковий струм, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U}$	$I_p = \frac{153,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 233,7$
Питома густина навантажень, кВА/м²	$\rho = \frac{S_p}{F}$	$\rho = \frac{153,85}{1539} = 0,1$
Сумарна середня активна потужність, кВт	$P_{c\Sigma} = \sum_1^N P_c$	$P_{c\Sigma} = 2924,68$
Сумарна середня повна потужність, кВА	$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}$	$S_{c\Sigma} = \sqrt{2924^2 + 2272^2} = 3703,7$
Сумарна розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po\Sigma} = \sum_1^N P_{po}$	$P_{po\Sigma} = 493,12$
Сумарна розрахункова активна потужність, кВт	$P_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N k_n \cdot P_n + P_{po\Sigma}$	$P_{p\Sigma} = 3211,58$
Сумарна розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N P_n \cdot K_n \cdot \operatorname{tg} + Q_{po\Sigma}$	$Q_{p\Sigma} = 2496,5$
Сумарна розрахункова повна потужність, кВА	$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}$	$S_{p\Sigma} = \sqrt{3211^2 + 2496^2} = 4067,7$
Сумарна питома густина навантажень, кВА/м²	$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}}$	$\rho_{\Sigma} = \frac{4067,77}{39940} = 0,1$

	A	B	Дані сили			G	H	I	J	K	L	M	N	O	Середні нав-ня			Розрах. нав-ня			U	V
1	№	Цех	Рн, кВт	cos	tg	Кл	Кв	Площа, м ²	Кг0	Рплт, Вт/м ²	Кгпа	tg0	Qm0, квар	Рр0, кВт	Sc, кВА	Рс, кВт	Qс, квар	Sp, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ко=	
2	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
4	1	Ідальня	20	0,90	0,48	0,40	0,36	1350	0,90	0,015	1,1	0,43	8,62	20,05	27,25	12,11	29,82	28,05	12,50	30,70	46,65	
5	2	Збірно-монтажний	220	0,65	1,17	0,36	0,32	4131	0,85	0,012	1,1	0,43	19,93	46,35	116,75	102,24	155,19	125,55	112,53	168,60	256,16	
6	3	Адміністративний корпус	70	0,80	0,75	0,34	0,30	702	0,9	0,015	1,1	0,43	4,48	10,42	31,42	20,23	37,37	34,22	22,33	40,87	62,09	
7	4	Ремонтно-механічний	260	0,75	0,88	0,33	0,27	918	0,70	0,012	1,1	0,43	3,65	8,48	78,68	65,56	102,41	94,28	79,32	123,21	187,19	
8	5	Цех друкованих плат	290	0,60	1,33	0,40	0,33	2160	0,75	0,014	1,1	0,43	10,73	24,95	120,65	138,33	183,55	140,95	165,39	217,31	330,16	
9	6	Відділ випробувань	210	0,80	0,75	0,30	0,25	1583	0,90	0,015	1,1	0,43	10,11	23,51	76,01	49,48	90,70	86,51	57,36	103,80	157,70	
10	7	Котельня	390	0,75	0,88	0,60	0,50	1673	0,80	0,014	1,1	0,43	8,86	20,61	215,61	180,84	281,41	254,61	215,23	333,39	506,54	
11	8	Енергоблок	950	0,85	0,62	0,60	0,45	315	0,80	0,014	1,1	0,43	1,67	3,88	431,38	266,61	507,12	573,88	354,92	674,77	1025,20	
12	9	Очисні споруди	170	0,80	0,75	0,40	0,35	576	0,7	0,011	1,1	0,43	2,10	4,88	64,38	46,72	79,55	72,88	53,10	90,17	137,00	
13	10	Тарно-пакувальний	80	0,70	1,02	0,35	0,30	1512	0,80	0,014	1,1	0,43	8,01	18,63	42,63	32,49	53,60	46,63	36,58	59,26	90,04	
14	11	Гальванопокриття	38	0,85	0,62	0,50	0,44	972	0,90	0,015	1,1	0,43	6,21	14,43	31,15	16,57	35,29	33,43	17,98	37,96	57,68	
15	12	Склади ОМТС	70	0,80	0,75	0,42	0,36	2160	0,7	0,012	1,1	0,43	8,58	19,96	45,16	27,48	52,86	49,36	30,63	58,09	88,26	
16	13	Термопластматоти	800	0,75	0,88	0,34	0,30	1890	0,75	0,014	1,1	0,43	9,39	21,83	261,83	221,05	342,66	293,83	249,27	385,32	585,43	
17	14	Механічний цех №1	450	0,80	0,75	0,50	0,45	2025	0,80	0,014	1,1	0,43	10,73	24,95	227,45	162,60	279,59	249,95	179,48	307,71	467,52	
18	15	Гідропрес	230	0,75	0,88	0,45	0,40	1539	0,75	0,012	1,1	0,43	6,55	15,24	107,24	87,69	138,52	118,74	97,83	153,85	233,75	
19	16	Штамповка	600	0,8	0,75	0,53	0,46	3060	0,80	0,014	1,1	0,43	16,21	37,70	313,70	223,21	385,01	355,70	254,71	437,49	664,70	
20	17	Механічний цех №2	400	0,6	1,33	0,47	0,43	2772	0,80	0,014	1,1	0,43	14,68	34,15	206,15	244,02	319,44	222,15	265,35	346,07	525,79	
21	18	Електромотажний	250	0,8	0,75	0,44	0,39	3276	0,80	0,014	1,1	0,43	17,35	40,36	137,86	90,48	164,90	150,36	99,85	180,50	274,24	
22	19	Цех мех.оброб.дет.	211	0,8	0,75	0,53	0,44	1512	0,85	0,015	1,1	0,43	9,12	21,21	114,05	78,75	138,59	133,04	92,99	162,31	246,61	
23	20	Фарбувальний	380	0,75	0,88	0,55	0,51	5814	0,9	0,015	1,1	0,43	35,06	81,54	275,34	205,98	343,86	290,54	219,38	364,07	553,14	
24	Всього по підприємству		6089					39940					212,04	493,12	2924,68	2272,43	3703,74	3211,58	2496,50	4067,77	6180,33	

Р
ис
у
н
ок
2.
1
-
Р
оз
ра
ху
н
ок
на
ва
нт
а
ж
ен
ня

2.2 Вибір оптимальної напруги живлення

Визначення класу напруги для зовнішньої лінії живлення є важливим етапом техніко-економічного обґрунтування проекту, який тісно пов'язаний із вибором оптимальної схеми системи електропостачання. Такий вибір базується на аналізі та зіставленні кількох можливих варіантів [4] з урахуванням технічних вимог і економічної доцільності. У процесі проектування для визначення доцільного рівня напруги лінії електропередачі може застосовуватись спеціальна формула [4], що враховує параметри навантаження, відстань до джерела живлення та характеристики електрообладнання.

$$U_{\text{ек}} = 4,34\sqrt{L + 16 \cdot P_p} ; \quad (2.1)$$

Застосування цієї формули є доцільним у випадках, коли підприємство розташоване на відстані до 250 км від джерела електропостачання, а загальне навантаження його виробничих потужностей не перевищує 60 МВт. Враховуючи ці умови, для забезпечення ефективного та стабільного живлення об'єкта доцільно обрати відповідний рівень напруги лінії електропередачі:

$$U_{\text{ек}} = 4,34\sqrt{0,85 + 16 \cdot 3,212} = 31,37 \text{ (кВ)}.$$

Під час визначення напруги за розрахунковою формулою може виникнути ситуація, коли отримане значення не відповідає жодному із стандартних рівнів напруги. У такому випадку для подальших розрахунків приймаються два найближчі стандартні значення – більше і менше відносно розрахованого. Надалі виконуються порівняльні розрахунки для обох варіантів. У нашому випадку розглядаються два класи напруги: нижчий – 10 кВ, з підключенням до підстанції «Західна» через повітряну лінію довжиною 0,85 км, та вищий – 35 кВ, від підстанції «Південна» з довжиною лінії 4 км. Для обґрунтування оптимального рішення необхідно врахувати витрати на будівництво, обслуговування, втрати електроенергії та інші супутні витрати для кожного з варіантів.

Розрахунок техніко-економічного порівняння напруги здійснюємо відповідно методиці наведених в [4].

Для проведення порівняння варіантів необхідно виконати вибір перерізу та тип ліній живлення для обох можливих варіантів:

$$I_p = \frac{S_p / 2}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}} \quad (\text{А}); \quad (2.2)$$

$$I_{p35} = \frac{4067,8 / 2}{\sqrt{3} \cdot 35} = 33,65 \quad (\text{А});$$

$$I_{p10} = \frac{4067,8 / 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 117,43 \quad (\text{А}).$$

В якості КЛ 10 кВ приймаємо кабель з ізоляцією з шитого поліетилену (ІЗШП) типу АПвЭгаПу-10 3×120 [8] так як даний переріз зможе задовольнити всі необхідні перевірки для нормального та після аварійного режимів роботи, допустимий струм при прокладанні у землі складає 242 А.

В якості КЛ 35 кВ приймаємо кабель з ІЗШП типу АПвЭгаПу-35 3х50 [8], допустимий струм, якого при прокладанні у землі складає 140 А.

Розрахунок капітальних вкладень доцільно виконати у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість	10 кВ		35 кВ	
		Кількість	Вартість	Кількість	Вартість
		ь	ь	ь	ь
Лінії електропередавання, км	тис.грн. за 1 км КЛ	км	тис.грн.	км	тис.грн.
КЛ 10 кВ АПвЭгаПу 3×50	479,00	1,7	814,30		
КЛ 35 кВ АПвЭгаПу 3×50	592,20			8	4737,58
ВСЬОГО по лініях			814,30		4737,58
Підстанції	тис.грн. за одиницю ПС.	штук	тис.грн.	штук	тис.грн.
Спорудження ПС 35 кВ 2×6,3 МВ*А	48964			1	48964
Розширення РП-10 кВ	12,7	2	25,4		
Спорудження РП-10 кВ	86,4	1	86,4		
ВСЬОГО по ПС			111,8		48964
ВСЬОГО			926,10		53701,58

Також необхідно визначити річні витрати відповідно класу напруги. Дані витрати повинні враховувати амортизаційні відрахування, оплату технічному персоналу а також вартість втрат.

Також необхідно врахувати витрати на планове технічне обслуговування обладнання електроустановок. Окрім цього, слід врахувати потенційні витрати, пов'язані з модернізацією мережі або заміною зношених елементів інфраструктури.

Результат розрахунку показано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Витрати протягом року відповідно класу напруги

Перелік поточних витрат	Варіанти	
	10 кВ	35 кВ
Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, в тому числі:		
КЛ – 35 кВ, 1,2% від К		56,85
КЛ 10 кВ, 3,8% від К	19,54	
ПС 35 кВ, 2,4% від К		1175,14
ПС 10 кВ, 4,3% від К	39,82	
Всього щорічні витрати на обслуговування, ВО тис.грн.	59,37	1231,99
Амортизація, в тому числі:		
КЛ – 35 кВ, 2% від К		94,75
КЛ 10 кВ, 3% від К	16,29	
ПС 35 кВ, 3,6% від К		1933,26
ПС 10 кВ, 3,6% від К	33,34	
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва тис.грн.	49,63	2028,01
Тариф на ЕЕ, грн./кВт*год	6,649	5,195
Вартість втрат електроенергії в ЛЕП, ВДВ тис.грн.	1022,34	306,85
ВСЬОГО щорічні витрати (В) тис.грн.	1131,33	3566,85

Для визначення величини втрат активної енергії необхідно скористатися наступною формулою, яка враховує параметри живлення:

$$\Delta W_a = \Delta P_m \cdot \tau = 3I_m^2 R_e \cdot 10^{-3} \cdot \tau \text{ (кВт·год/рік);} \quad (2.3)$$

Тоді величина втрат в лінях живлення відносно класу напруги становитиме:

$$C_{\Delta W_{10}} = 2 \cdot 3 \cdot 117,43^2 \cdot 0,641 \cdot 0,85 \cdot 10^{-6} \cdot 3411 \cdot 6,649 = 1022,34 \text{ (тис.грн./рік);}$$

$$C_{\Delta W_{35}} = 2 \cdot 3 \cdot 33,55^2 \cdot 0,641 \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} \cdot 3411 \cdot 5,195 = 306,85 \text{ (тис.грн./рік).}$$

Річні витрати будуть складатися з частки величини капіталовкладень та витрат протягом року:

$$З = E_n \cdot K + B, \quad (2.4)$$

де E_n – ефективність капітальних вкладень для даної сфери технологій ($E_n = 0,1$ [15]); K – капітальні вкладення в спорудження елементів СЕП; B – витрати на експлуатацію спроектованої СЕП протягом року.

Також доцільно врахувати різницю в ціні на оплату спожитої активної електроенергії та врахувати отримане значення в річних приведених затратах [10] ($6,649 - 5,195 = 1,454$ грн./кВт·год.) таким чином переплата за спожиту електроенергію буде рівною [9] $1,451 \cdot 3212 \cdot 5000 = 23348,3$ тис.грн./рік, а зведені річні витрати при цьому будуть рівними для обох варіантів:

$$З_{10} = 0,1 \cdot 926,1 + 1131,33 + 23348,33 = 24572,27 \text{ (тис.грн.)};$$

$$З_{35} = 0,1 \cdot 53701,58 + 3566,85 = 8937,1 \text{ (тис.грн.)};$$

Також визначаємо термін окупності додаткових капіталовкладень:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{B_1 - B_2} = \frac{53701,58 - 926,1}{(1131,33 + 23348,33) - 3566,85} = 2,52 \text{ (років)}. \quad (2.5)$$

Порівняльний аналіз двох варіантів підключення свідчить про економічну доцільність використання зовнішньої лінії живлення на напругу 35 кВ [4]. Проте при виборі остаточного рішення слід враховувати міське розташування ПрАТ «Маяк» у межах забудови м. Вінниця. У безпосередній близькості до підприємства вже функціонують трансформаторні підстанції з напругою 10 кВ, які мають достатній резерв потужності для забезпечення споживаного навантаження об'єкта. З огляду на наявну інфраструктуру, а також можливість уникнути додаткових витрат на будівництво нових ліній високої напруги, приймається рішення щодо підключення підприємства до існуючої мережі з номінальною напругою 10 кВ.

2.3 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

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

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}; \quad (2.6)$$

Кількості необхідних двотрансформаторних підстанцій які здатні забезпечити навантаження підприємства визначається за наступною формулою [1]:

$$N_{\text{ек}} \geq \frac{S_{\Sigma}}{2 \cdot S_{\text{ном.т.}} \cdot k_3}; \quad (2.7)$$

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

$k_3 = 0,8 - 0,85$ – для споживачів II, III категорій [1];

Повна розрахункова потужність всіх цехів підприємства:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_p = 4067,8 \quad (\text{кВА}).$$

Сумарна площа всіх цехів підприємства:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 39940 \quad (\text{м}^2).$$

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

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{4067,8}{39940} = 0,1 \quad (\text{кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2).$$

Даній густині відповідають двотрансформаторні підстанції з потужністю апаратів $S_{\text{ном.т.}} = 630$ чи 1000 кВА. Розглянемо та порівняємо між собою два варіанти:

1. При $S_{\text{ном.т.}} = 630$ кВА число ТП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{4067,8}{2 \cdot 630 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 3,8 \div 4,1 \quad (\text{шт.});$$

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

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{4067,8}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 2,4 \div 2,6 \quad (\text{шт.}).$$

Таким чином, для забезпечення електропостачання об'єктів підприємства доцільно передбачити встановлення чотирьох трансформаторних підстанцій з трансформаторами номінальною потужністю по 630 кВА, або, чотирьох трансформаторів по 1000 кВА.

Порівняльні характеристики навантаження для обох варіантів наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

Варіант 1				Варіант 2			
Цех	S _м , кВА	630 кВА		Цех	S _м , кВА	1000 кВА	
		N, шт	k ₃			N, шт	k ₃
1,2,3,12,13,14	988,9	2	0,8	1,2,3,12,13,14	988,9	2	0,55
4,9,11,15,17,20	1108,8	2	0,9	4,9,11,15,17,20	1108,8	2	0,65
5,16,18,19	992,06	2	0,8	5,16,18,19	992,06	2	0,55
6,7,8,10	1168,6	2	0,93	6,7,8,10	1168,6	2	0,7

Здійснюємо техніко-економічне порівняння варіантів спорудженої системи електропостачання підприємства. Паспортні дані трансформаторів наведено в таблиці 2.5 [11].

Таблиця 2.5 - Параметри трансформаторів

S _{н.тд} , кВА	U _{н.тд} , кВ	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _{к2} , кВт	I _{xx} %	U _к %
630	10	1,5	8	2,5	5,5
1000	10	2,1	10,5	1,4	6

Однолінійна схема електропостачання ПрАТ «Маяк» є радіальною на напрузі 10 кВ. Проводимо техніко-економічне порівняння варіантів спорудження підстанцій потужністю 630 кВА і 1000 кВА за допомогою методу річних витрат (рисунок 2.2).

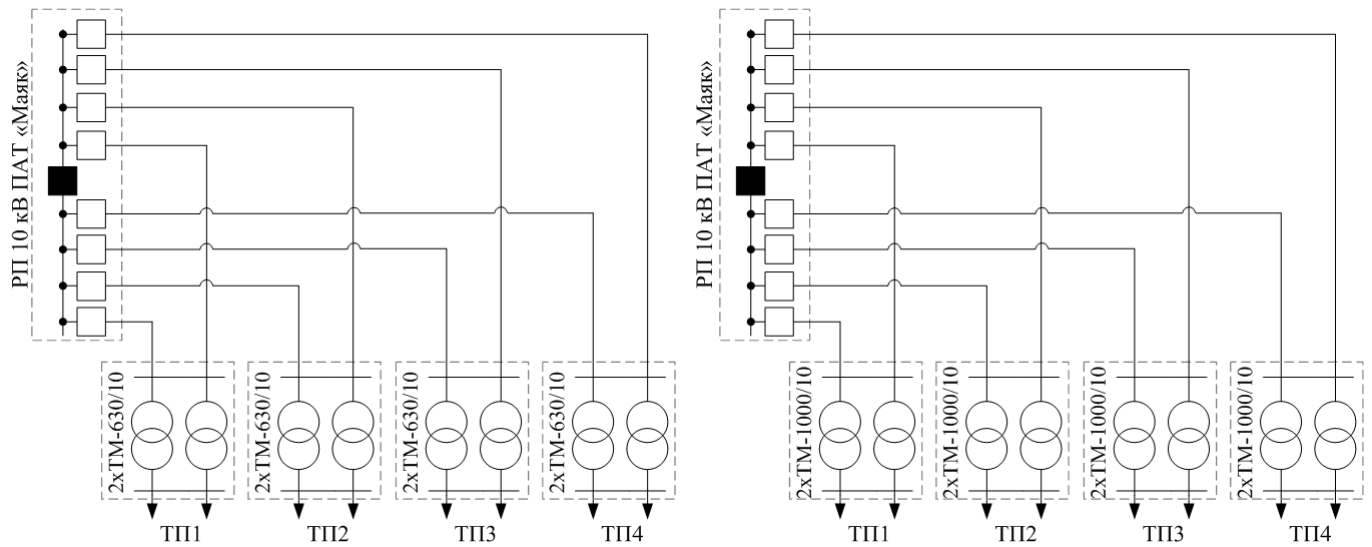


Рисунок 2.2 – Варіанти схем внутрішньозаводського електропостачання

Кращий варіант задіяних ТП буде з меншими приведеними затратами:

$$B_{\text{пр}} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + 3_{\text{пер}} ; \quad (2.8)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт (0,1);

E_a – амортизація ($E_a = 0,063$ [10]);

K – капітальні вкладення в ТП, грн;

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

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{хх}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_M}{S_{\text{ном.т.}}} \right)^2 ; \quad (2.9)$$

Вартість річних втрат потужності розраховуємо за допомогою діючого тарифу:

$$m = t \cdot \tau ; \quad (2.10)$$

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

Приймаємо, що $t = 6,649$ грн/кВт·год. для напруги живлення 10 кВ, а $T_M = 4000$

. Звідси вартість річних витрат активної потужності в трансформаторах:

$$m = 7,8 \cdot \left(0,124 + \frac{5000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 26605,3 \quad (\text{грн/рік}).$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 630 кВА:

$$\Delta P_{630} = 8 \cdot 1,5 + \frac{1}{8} \cdot 8 \cdot \left(\frac{4067,8}{630} \right)^2 = 53,69 \quad (\text{кВт});$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 1000 кВА:

$$\Delta P_{1000} = 8 \cdot 2,1 + \frac{1}{8} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{4067,8}{1000} \right)^2 = 38,52 \quad (\text{кВт}).$$

Вартість спорудження двотрансформаторних ТП [10]:

$$K_{630} = 805120 \quad (\text{грн});$$

$$K_{1000} = 1169600 \quad (\text{грн}).$$

Остаточню розраховуємо, який із запропонованих варіантів буде вигіднішим:

$$B_{\text{пр}630} = 4 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 805120 + 26605,3 \cdot 53,69 = 1953376,79 \quad (\text{грн});$$

$$B_{\text{пр}1000} = 4 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 1169600 + 26605,3 \cdot 38,52 = 1787415,35 \quad (\text{грн}).$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{B_1 - B_2} = \frac{1169600 - 805120}{26605,3(53,69 - 38,52)} = 0,91 \quad (\text{років}).$$

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

Таблиця 2.6 - Номінальні параметри трансформаторів

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Kз, в.о.
ТП1	1	Їдальня	28,05	12,50	30,70			
	2	Збірно-монтажний	125,55	112,53	168,60			
	3	Адміністративний корпус	34,22	22,33	40,87			
	12	Склади ОМТС	49,36	30,63	58,09			

	13	Термопластавтомати	293,83	249,27	385,32	1000	2	0,55
	14	Механічний цех №1	249,95	179,48	307,71			
		Всього по ТП1	780,96	606,73	988,95			
ТП2	4	Ремонтно-механічний	94,28	79,32	123,21	1000	2	0,65
	9	Очисні споруди	72,88	53,10	90,17			
	11	Гальванопокриття	33,43	17,98	37,96			
	15	Гідропрес	118,74	97,83	153,85			
	17	Механічний цех №2	222,15	265,35	346,07			
	20	Фарбувальний	290,54	219,38	364,07			
		Всього по ТП2	832,02	732,96	1108,83			
ТП3	5	Цех друкованих плат	140,95	165,39	217,31	1000	2	0,55
	16	Штамповка	355,70	254,71	437,49			
	18	Електромонтажний	150,36	99,85	180,50			
	19	Цех мех.оброб.дет.	133,04	92,99	162,31			
		Всього по ТП3	780,04	612,95	992,06			
ТП4	6	Відділ випробувань	86,51	57,36	103,80	1000	2	0,7
	7	Котельня	254,61	215,23	333,39			
	8	Енергоблок	573,88	354,92	674,77			
	10	Тарно-пакувальний	46,63	36,58	59,26			
		Всього по ТП4	961,63	664,09	1168,65			

Здійснюємо побудову картограми електричних навантажень підприємства. Розподіл навантаження підприємства між обраними ТП представлено в таблиці 2.9. Розподіл навантаження доцільно здійснювати таким чином, щоб мінімізувати перетоки потужностей.

Картограма електричних навантажень підприємства являє собою графічне відображення загального плану території з позначенням цехів, електротехнічних приміщень та енергетичної інфраструктури [1]. На схемі зображені умовні кружки, розміри яких пропорційно відповідають величинам електричного навантаження кожного споживача. Крім того, на картограмі вказано розміщення трансформаторних підстанцій, а також прокладення трас кабельних ліній у вигляді траншей або підземних каналів.

Місце розташування цехових ТП можна визначити за наступними формулами:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad (2.11)$$

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

Дані для даного розрахунку беремо з таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	Т П	Р _р , кВт	Х, м	У, м	Р _р *Х, кВт*м	Р _р *У, кВт*м
1	Їдальня	1	28,05	46	299	1290,19	8386,20
2	Збірно-монтажний	1	125,55	172	300	21594,57	37664,95
3	Адміністративний корпус	1	34,22	230	358	7871,68	12252,44
2	Ремонтно-механічний	2	94,28	311	234	29321,80	22062,06
5	Цех друкованих плат	3	140,95	137	86	19309,88	12121,53
6	Відділ випробувань	4	86,51	135	48	11678,52	4152,36
7	Котельня	4	254,61	242	38	61615,95	9675,23
8	Енергоблок	4	573,88	240	81	137731,39	46484,34
9	Очисні споруди	2	72,88	307	173	22373,77	12608,02

Продовження таблиці 2.7

10	Гарно-пакувальний	4	46,63	144	14	6714,41	652,79
11	Гальванопокриття	2	33,43	259	268	8659,46	8960,37
12	Склади ОМТС	1	49,36	27	210	1332,68	10365,26
13	Термопластавтомати	1	293,83	36	244	10577,86	71694,40
14	Механічний цех №1	1	249,95	155	240	38741,94	59987,52
15	Гідропрес	2	118,74	250	240	29684,03	28496,66
16	Штамповка	3	355,70	109	167	38771,21	59401,77
17	Механічний цех №2	2	222,15	173	190	38432,13	42208,70
18	Електромонтажний	3	150,36	173	155	26012,34	23305,85
19	Цех мех.оброб.дет.	3	133,04	173	125	23015,19	16629,48
20	Фарбувальний	2	290,54	248	167	72054,25	48520,41
			ΣР _р , кВт	ΣР _р *Х/ΣР _р	ΣР _р *У/ΣР _р	ΣР _р *Х, кВт*м	ΣР _р *У, кВт*м
	Сумарно по ТП1		780,96	104,24	256,54	81408,91	200350,77
	Сумарно по ТП2		832,02	241,01	195,74	200525,44	162856,21
	Сумарно по ТП3		780,04	137,31	142,89	107108,62	111458,62
	Сумарно по ТП4		961,63	226,43	63,40	217740,27	60964,73
	Координати ЦЕН		3354,65	180,88	159,67	606783,24	535630,33

Розташування трансформаторних підстанцій на території підприємства не завжди може відповідати розрахованим ідеальним координатам, оскільки в цих місцях можуть бути вже наявні будівлі, проїзди або інженерні комунікації [5]. Тому при проектуванні враховується генеральний план підприємства, і підстанції розміщуються якнайближче до розрахованих точок з урахуванням реальних обмежень на місцевості. Обрані координати представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Координати оптимального розміщення ТП

	Розраховані		Оптимальні на генплані	
	X, м	Y, м	X, м	Y, м
ТП-1	104,24	256,54	88	248
ТП-2	241,01	195,74	208	211
ТП-3	137,31	142,89	117	111
ТП-4	226,43	63,40	229	76
ЦРП	180,88	159,67	86	145

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

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_P}}; \quad (2.12)$$

Величина сектору, яке характеризує освітлювальне навантаження цеху:

$$\alpha_i = \frac{B60 \cdot O_i}{P_{Pi}}; \quad (2.13)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X, м	Y, м	Pp, кВт	Ro, кВт	r, м	α°	№	Цех	X, м	Y, м	Pp, кВт	Ro, кВт	r, м	α°
1	Їдальня	46	299	28,05	20,05	9,45	257,3	11	Гальванопокриття	259	268	33,43	14,43	10,32	155,4
2	Збірно-монтажний	172	300	125,55	46,35	20,00	132,9	$\frac{1}{2}$	Склади ОМТС	27	210	49,36	19,96	12,54	145,6
3	Адміністративний корпус	230	358	34,22	10,42	10,44	109,7	$\frac{1}{3}$	Термопластавтомати	36	244	293,83	21,83	30,59	26,7
4	Ремонтно-механічний	311	234	94,28	8,48	17,33	32,4	$\frac{1}{4}$	Механічний цех №1	155	240	249,95	24,95	28,21	35,9
5	Цех друкованих плат	137	86	140,95	24,95	21,19	63,7	$\frac{1}{5}$	Гідропрес	250	240	118,74	15,24	19,45	46,2
6	Відділ випробувань	135	48	86,51	23,51	16,60	97,8	$\frac{1}{6}$	Штамповка	109	167	355,70	37,70	33,66	38,2
7	Котельня	242	38	254,61	20,61	28,48	29,1	$\frac{1}{7}$	Механічний цех №2	173	190	222,15	34,15	26,60	55,3
8	Енергоблок	240	81	573,88	3,88	42,75	2,4	$\frac{1}{8}$	Електромонтажний	173	155	150,36	40,36	21,88	96,6

9	Очисні споруди	307	173	72,88	4,88	15,23	24,1	$\frac{1}{9}$	Цех мех.оброб.дет.	173	125	133,04	21,21	20,58	57,4
10	Тарно-пакувальний	144	14	46,63	18,63	12,19	143,8	$\frac{2}{0}$	Фарбувальний	248	167	290,54	81,54	30,42	101,0

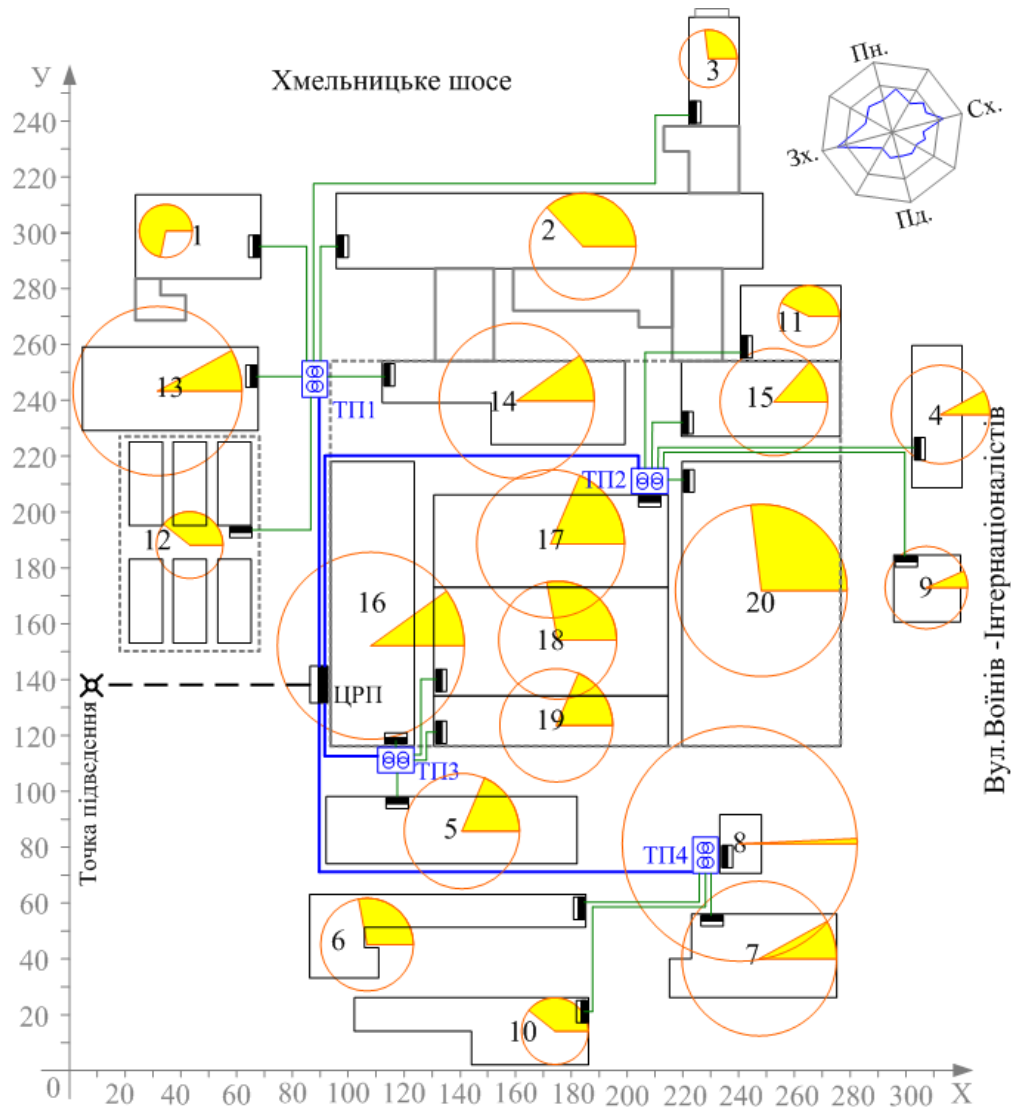


Рисунок 2.3 – Генеральний план підприємства

2.4 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.4.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

Згідно з ПУЕ [6], електрообладнання необхідно підбирати за типом установки, величиною номінального струму і номінальною напругою та перевіряється на термічну і динамічну стійкість при аварійних режимах роботи.

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

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4067,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 117,4 \quad (\text{А});$$

$$I_{\text{р.па}} = \frac{S_p \cdot k_b}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4067,8 \cdot 0,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 187,9 \quad (\text{А});$$

В після аварійному режимі роботи $I_{\text{р.па}} = 187,9 \text{ А}$ при якому підприємство отримує живлення лише від однієї лінії живлення та залишається 80% навантаження тобто 20% навантаження буде відключено.

$$I_{\text{max}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,3 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 75,1 \quad (\text{А}).$$

В якості кабельної лінії 10 кВ обираємо АПвЭгаПу-10 3×120 [16], допустимий струм при прокладанні у землі складає 242 А [8] прокладені в траншеї для живлення ЦРП підприємства від підстанції «Західна» довжиною 850 м.

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

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (2.14)$$

$$I_{\text{р.па}} \leq \alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (2.15)$$

де k_1 - коефіцієнт, що характеризує температуру навколишнього середовища;

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

k_3 - коефіцієнт, що характеризує питомий термічний опір ґрунту;

k_4 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в землі;

k_5 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в повітрі;

k_6 - коефіцієнт, що характеризує вплив перерізу екрана.

$$187,9 (0,9 \leq 1,28 \quad 0,69 \quad 1,0 \quad 0,96 \quad 242 \quad 194,9 = \text{А} \quad . \quad (\quad)$$

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

На рисунку 2.4 показано опис конструкції та технічні характеристики кабелю АПвЭгаПу-10 3×120.

АПвЭгаПу-10 3×120 ТУ У 31.3-00214534-017-2003 Кабелі силові з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:		
Номинальна напруга	кВ	10
Максимальна напруга	кВ	12
Число та номінальний перетин струмопровідних жил	мм ²	3 × 120
Товщина ізоляції	мм	3.4
Мінімальний перетин екрану	мм ²	16
Допустимий струм короткого замикання по екрану мінімального перетину	кА	3.3
Максимально допустимий струм короткого замикання по струмопровідній жилі	кА	11.3
Тривало допустимі струмові навантаження *		
• при прокладанні у повітрі	А	273
• при прокладанні в ґрунті	А	232
Рівень часткових розрядів при номінальній напрузі, не більше	рС	6
Максимально допустима температура жили		
• тривало	° С	+90
• в аварійному режимі	° С	+130
• при короткому замиканні	° С	+250
Діапазон робочих температур	° С	-60 ... +50

Рисунок 2.4 – Конструкція кабелю АПвЭгаПу-10 3×120

Розрахунок струмів КЗ виконується з метою перевірки вибраних вимикачів і кабелів. Тому необхідно визначити такі величини: періодичну складову струму трифазного КЗ в початковий момент часу $I_{п0}$, ударний струм КЗ $i_{уд}$, періодичну та аперіодичну складові в момент початку розходження контактів вимикача $I_{пт}$ та $i_{ат}$, тепловий імпульс B_K .

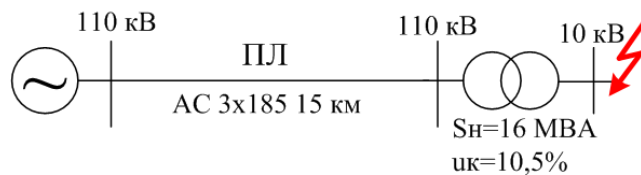


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема визначення струмів КЗ
Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_T = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{110}{10} = 11 ; \quad (2.16)$$

Опір системи на стороні напруги 110 кВ:

$$X_c = \frac{U_{c.n.}}{\sqrt{3} \cdot I_K} \cdot \frac{1}{t_T^2} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 17772} \cdot \frac{1}{11^2} = 0,03 \quad (\text{Ом}). \quad (2.17)$$

Довжина ПЛ АС-185 від «Вінниця-300» до ПС «Західна»:

$$L_1 = 8,7 + 6,3 = 15 \quad (\text{км}).$$

Опір ПЛ:

$$x_{ПЛ} = x_0 \cdot L_1 \cdot \left(\frac{U_B}{U_{c.n.ПЛ}} \right)^2 = 0,4 \cdot 15 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,05 \quad (\text{Ом});$$

Опір трансформатора 16 МВА:

$$x_T = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{(10 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 10^6} = 0,656 \quad (\text{Ом}). \quad (2.18)$$

Сумарний опір від системи до точки К:

$$x_\Sigma = x_c + x_{ПЛ} + x_T = 0,03 + 0,05 + 0,656 = 0,736 \quad (\text{Ом}).$$

Початкове діюче значення струму трифазного КЗ:

$$I_{п0} = \frac{U_{c.n.}}{\sqrt{3} \cdot X_\Sigma} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,736} = 8,24 \quad (\text{кА}). \quad (2.19)$$

Приймаємо час вимкнення силового вимикача 10 кВ рівним $t_{B.B.} = 0,15$ с.
Розрахуємо час початку розмикання:

$$t_{від} = t_{рз.мін} + t_{B.B.};$$

$$t_{від} = 0,01 + 0,15 = 0,151 \quad (\text{с}). \quad (2.20)$$

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

Періодична складова струму від системи не зміниться:

$$I_{пт_c} = I_{no.c} = 8,24 \quad (\text{кА}).$$

Аперіодична складова струму КЗ при $\tau = 0,151$ с:

$$i_{ат_c} = \sqrt{2} \cdot I_{no.c} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}}; \quad (2.21)$$

$$i_{\text{ат}_c} = \sqrt{2} \cdot 8,24 \cdot e^{\frac{0,151}{0,03}} = 0,8 \text{ (кА)}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{\text{уд.с}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{но.с}} \cdot \left(1 + e^{\frac{\tau}{T_{\text{ас}}}} \right); \quad (2.22)$$

$$i_{\text{уд.с}} = \sqrt{2} \cdot 8,24 \cdot \left(1 + e^{\frac{0,01}{0,03}} \right) = 20,0 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_k = I_{\text{но.с}}^2 \cdot (T_{\text{від}} + t_{\text{асх}}); \quad (2.23)$$

$$B_k = 8,24^2 \cdot (0,151 + 0,03) = 42,7 \text{ (с}^2\text{)}$$

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$S \geq S_{\text{min}} = \frac{I_k \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_T} \quad (2.24)$$

$$S_{\text{min}} = \frac{8,24 \sqrt{0,151}}{94} = 34 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

де I_k – струм КЗ в А;

$t_{\text{вим}}$ – сумарний час вимикання струму КЗ, який визначається витримкою часу основного захисту лінії (0,5...2 с), часом спрацювання високовольного вимикача та відношенням струму КЗ в початковий момент виникнення КЗ до його усталеного значення;

C_T – термічний коефіцієнт, $\text{А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$, значення якого становить 90...100 для паперових кабелів і 94 – для кабелів зі зшитого ПЕ.

Умова виконується, отже живлячі кабелі АПвЭгаПу-10 3х120 вибрані вірно.

2.4.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

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

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}} ; \quad (2.25)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{max}} ; \quad (2.26)$$

Комплектація РП 10 кВ ПС передбачає застосування вакуумних вимикачів типу ВРС-10-40/400 УЗ з такими технічними характеристиками: $k_B = 10$; $k_A = 40$; $k_{\text{н.вимк}} = 40$; $k_{\text{дин}} = 100$; $k_{\text{тер}} = 10$; $t_{\text{тер}} = 4\text{с}$ [12]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{\text{ном.в}} = 400\text{ А} > I_{\text{м.ав}} = 187,9\text{ А}$ для всіх приєднань до ЦРП.

Високовольтні вимикачі повинні бути перевірені на комутаційну здатність, на динамічну стійкість, а також на термічну стійкість до дії струмів КЗ. Перевірка комутаційної здатності здійснюється за умовами:

$$I_{\text{н.вимк.}} \geq I_{\text{пт}} ; \quad (2.27)$$

$$\sqrt{2}I_{\text{н.вимк.}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) \geq \sqrt{2}I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}. \quad (2.28)$$

де $I_{\text{н.вимк.}}$ – номінальний струм вимкнення вимикача;

$\beta_{\text{н}}$ – нормований процентний вміст аперіодичної складової струму КЗ (30%...40%);

$I_{\text{пт}}$, $i_{\text{ат}}$ – відповідно періодична та аперіодична складові струму КЗ на момент початку розходження контактів вимикача, тобто на момент початку розмикання; τ – розрахунковий час початку розмикання ($\tau = t_{\text{рз.мін}} + t_{\text{в.в}}$).

Перевірка вимикачів на динамічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюється за умовами:

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{по}}; \quad (2.29)$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}. \quad (2.30)$$

де $I_{\text{дин}}$, $i_{\text{дин}}$ – діюче та максимальне миттєве значення повного струму електродинамічної стійкості, який проходить через вимикач і не пошкоджує його;

$i_{\text{уд}}$ – ударний струм КЗ.

Перевірка вимикачів на термічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюється за умовою:

$$I_T^2 t_T \geq B_K \quad (2.31)$$

де I_T – струм термічної стійкості вимикача протягом часу t_T (3 с);

B_K – розрахункове значення теплового імпульсу.

Результати перевірки вимикачів 10 кВ наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів 10 кВ

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{\text{н.відк}} \geq I_{\text{пт}}$	$I_{\text{н.відк}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{пт}} = I_{\text{пт.с}} = 8,24 \text{ кА}$
$\sqrt{I_{\text{н.відк}}} \geq \sqrt{I_{\text{пт.с}}} + i_{\text{ат.с}}$	$\sqrt{I_{\text{н.відк}}} = \sqrt{40} = 6,32 \text{ кА}$	$\sqrt{I_{\text{пт.с}}} + i_{\text{ат.с}} = 8,24 + 0,8 = 9,04 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = i_{\text{уд.с}} = 20,0 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{по}}$	$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} = I_{\text{по.с}} = 8,24 \text{ кА}$
$B_K = I_{\text{по}}^2 t_{\text{по}}$	$B_K = 8,24^2 \cdot 4 = 271,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 42,7 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

У таблиці 2.11 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі в залежності від типу підключення.

Таблиця 2.11 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП

Лінія	S_p , кВА	I_p , А	I_{pa} , А	Вимикач	$I_{ном}$, А	Провідник	S , мм ²	$I_{доп}$, А
С–ЦРП	4067,8	117,4	187,9	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-1 0	3×120	242
ЦРП–ТП-1	988,95	29	57	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-1 0	3×35	129

ЦРП–ТП-2	1108,83	32	64	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-1 0	3×35	129
ЦРП–ТП-3	992,06	29	57	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-1 0	3×35	129
ЦРП–ТП-4	1168,65	34	67	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-1 0	3×35	129

Ключові елементи однолінійної схеми – джерела живлення, трансформатори, розподільчі пункти та електроприймачі – з'єднані між собою лініями електропередачі, що утворюють єдину систему розподілу електроенергії [4]. Для забезпечення безпеки та надійності роботи електричної мережі в схемі передбачено встановлення комутаційної та захисної апаратури: автоматичних вимикачів, запобіжників, а також елементів релейного захисту, які забезпечують своєчасне виявлення аварійних ситуацій і відключення пошкоджених ділянок мережі.

2.4.3 Розрахунок засобів компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є важливим інструментом для підвищення енергоефективності електропостачальних систем підприємств, оскільки дозволяє зменшити втрати електроенергії та покращити якість електричної енергії.

Для визначення доцільної величини компенсуючих пристроїв розробляється однолінійна схема електропостачання (рисунок 2.6) та відповідна схема заміщення електричної мережі підприємства (рисунок 2.7), які є базою для подальших технічних розрахунків і аналізу режимів роботи системи.

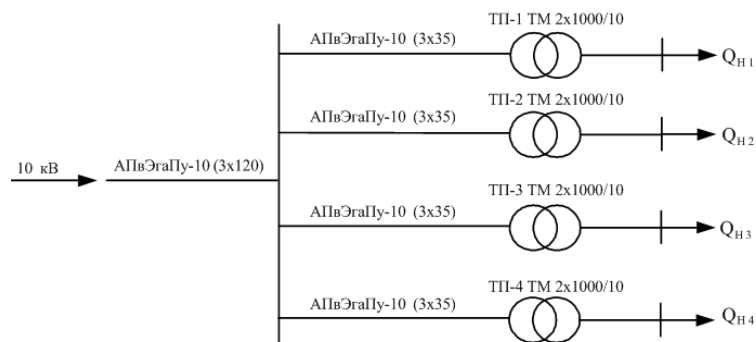


Рисунок 2.6 – Однолінійна схема електропостачання

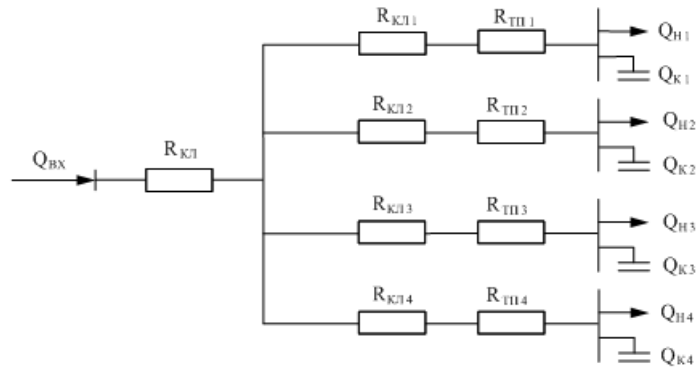


Рисунок 2.7 – Схема заміщення мережі електропостачання підприємства

Математична модель для даного розрахунку має наступний вигляд [5]:

$$\begin{cases} \mathfrak{Z}(Q_K) \leftarrow \frac{B_0}{U^2} Q \sum_{i=1}^n \left[(R_{Hi} + R_{Ki})^2 \left(\frac{Q_{Ni}}{Q_{Ki}} \min_{Ti} \right) \right] \rightarrow Q_K \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2..n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - Q_{VX} \end{cases} \quad (2.32)$$

Для даної математичної моделі керовані змінні – потужність батарей у вузлах навантаження $q_k = (q_{k1}, q_{k2}, \dots, q_{kp})$.

де B_0 – питома вартість втрат активної потужності;

U – номінальна напруга, до якої приведені активні опори схеми заміщення;

n – кількість ЦТП;

Q_{Hi} – реактивне навантаження окремої лінії живлення i -тої ЦТП;

Q_{Ki} – потужність КУ окремої секції шин НН i -тої ЦТП;

$R_{KLi} = r_{oKLi} \cdot L_{KLi}$ – активний опір окремої лінії;

R_{Ti} – активний опір окремого трансформатора i -тої ЦТП;

Q_{VX} – вхідна реактивна потужність.

На листі САПР MathCad проводимо розрахунок згідно моделі (3.1). Створена математична модель представлена на рисунку 2.8.

Результат розрахунку показав що для ТП-1-4 оптимальна потужність пристроїв КРП повинна бути [14]:

ЦТП1: 2 КУ типу ККУ-0,4-200/25 200,0 кВАр 380 В;

ЦТП2: 2 КУ типу ККУ-0,4-300/25 300,0 кВАр 380 В;

ЦТП3: 2 КУ типу ККУ-0,4-200/25 200,0 кВАр 380 В.

ЦТП4: 2 КУ типу ККУ-0,4-250/25 250,0 кВАр 380 В.

Конденсаторні установки найчастіше використовуються для компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах, оскільки мають низку суттєвих переваг порівняно з іншими варіантами.

Вхідні дані для розрахунку

Напруга, кВ:	$U := 10$
Вхідна реактивна потужність, квар:	$q_{ex} := 963$
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	$E_e := 0.1$
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	$E_a := 0.04$
Питома вартість КУ	$B_{k0} := 100$
Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар	$\Delta P_k := 4.5$
Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт	$B_o := 26605.3$
Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км	
$r_{01} := 0.443$ $r_{02} := 0.443$ $r_{03} := 0.443$ $r_{04} := 0.443$	
Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км	
$L_{лн1} := 0.110$ $L_{лн2} := 0.193$ $L_{лн3} := 0.056$ $L_{лн4} := 0.198$	
Опори трансформаторів, Ом	
$r_{t1} := 1.05$ $r_{t2} := r_{t1}$ $r_{t3} := r_{t1}$ $r_{t4} := r_{t1}$	
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:	
$q_{n1} := 664.072$ $q_{n2} := 797.845$ $q_{n3} := 670.476$ $q_{n4} := 733.061$	
Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:	
$q_{k1} := 100$ $q_{k2} := 100$ $q_{k3} := 100$ $q_{k4} := 100$	
Довжина та питомий опір лінії живлення:	
$l_{ж} := 1.8 + 0.08 = 1.88$ $r_{ж0} := 0.206$	
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом	
$r_{ж} := l_{ж} \cdot r_{ж0} = 0.387$	
Опір розподільних ліній живлення, Ом	
$r_{n1} := r_{01} \cdot L_{лн1} = 0.049$ $r_{n3} := r_{03} \cdot L_{лн3} = 0.025$	
$r_{n2} := r_{02} \cdot L_{лн2} = 0.085$ $r_{n4} := r_{04} \cdot L_{лн4} = 0.088$	

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{k1} \cdot q_{k2} \cdot q_{k3} \cdot q_{k4}) := \frac{B_o}{U^2 \cdot 1000} \left[\begin{aligned} & (q_{n1} - q_{k1})^2 \cdot \left(\frac{r_{t1} + r_{n1}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{n2} - q_{k2})^2 \cdot \left(\frac{r_{t2} + r_{n2}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{n3} - q_{k3})^2 \cdot \left(\frac{r_{t3} + r_{n3}}{2} \right) \dots \\ & + (q_{n4} - q_{k4})^2 \cdot \left(\frac{r_{t4} + r_{n4}}{2} \right) \dots \\ & + \left(\frac{q_{n1} + q_{n2} + q_{n3} \dots}{+ q_{n4} - q_{k1} - q_{k2} - q_{k3} - q_{k4}} \right)^2 \cdot \frac{r_{ж}}{2} \end{aligned} \right] + [(E_e + E_a) \cdot B_{k0} + B_o \cdot \Delta P_k] (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4})$$

Given обмеження

$$q_{k1} \geq 0 \quad q_{k2} \geq 0 \quad q_{k3} \geq 0 \quad q_{k4} \geq 0$$

$$(q_{n1} + q_{n2} + q_{n3} + q_{n4}) - (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = q_{ex}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(3 \cdot q_{k1} \cdot q_{k2} \cdot q_{k3} \cdot q_{k4}) = \begin{pmatrix} 420.638 \\ 562.277 \\ 421.593 \\ 497.945 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн

$$3(q_{k1} \cdot q_{k2} \cdot q_{k3} \cdot q_{k4}) = 227877715.538$$

Перевірка, квар

$$(q_{n1} + q_{n2} + q_{n3} + q_{n4}) - (q_{k1} + q_{k2} + q_{k3} + q_{k4}) = 963.001 \quad q_{ex} = 963$$

Визначаємо потужності БК у вузлах навантаження, квар

$$q_{КУ} := \frac{q_k}{2} = \begin{pmatrix} 210.319 \\ 281.139 \\ 210.796 \\ 248.973 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.8 – Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

Схема підприємства показана на рисунку 2.9.

Радіальні мережі - це такі мережі, в яких окремі кабельні чи провідникові лінії живлять електроприймачі. Радіальні системи являються найбільш надійними, але їх реалізація вимагає більш високі витрати на обладнання та монтажні роботи.

Живлення електроприймачів здійснюється від двох розподільчих пунктів – РП1 та РП2, що підключені до трансформаторної підстанції ТП (рис. 2.10). Найпотужніші споживачі (позиції 1–4 та 9,10) підключено безпосередньо до ТП через окремі відгалуження для зменшення навантаження на розподільчі пункти та зниження втрат енергії. При виборі провідників та апаратури для електропостачання враховано відповідність їх характеристик реальним умовам експлуатації у цеху: допустиме теплове навантаження, механічна міцність, стійкість до впливу агресивного середовища, вібрацій та пилу. Відповідно до вимог ПУЕ та ДСТУ, використане обладнання повинне забезпечувати безперебійну роботу системи, відповідати умовам категорії захисту IP, мати сертифікати відповідності та гарантувати селективність та чіткість спрацювання релейного захисту і захисної автоматики при аварійних ситуаціях.

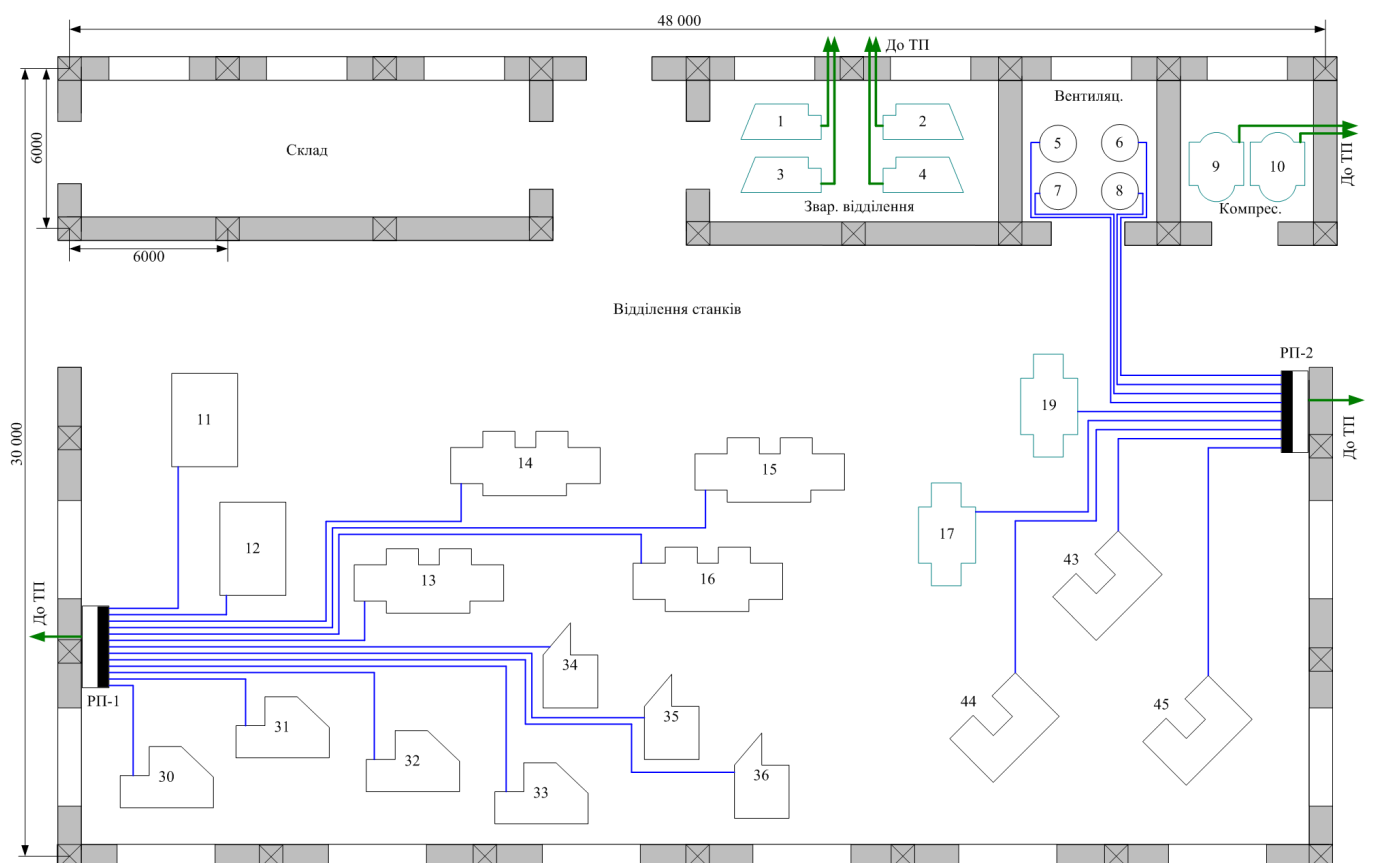


Рисунок 2.10 – План електропостачання цеху

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів приймаються рівними номінальним:

$$P_p = P_H, \quad Q_p = \operatorname{tg} \varphi_H \cdot P_H; \quad (2.33)$$

де P_H - номінальна активна потужність ЕП, кВт;

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

Для ЕП повторно-короткочасного режиму номінальна потужність приводиться до тривалого режиму роботи

$$P_H = P_{\text{пасп.}} \cdot \sqrt{T_{\text{ПВ.пасп.}}}; \quad (2.34)$$

де $P_{\text{пасп.}}$, $T_{\text{ПВ.пасп.}}$ - паспортні номінальна потужність і відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, кВт, с.

Розрахункові навантаження для живлячих мереж напругою до 1 кВ визначають за формулами:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}; \quad (2.35)$$

$$Q_p = \begin{cases} P_p \operatorname{tg} \sum_{i=1}^n k_{Bi} \varphi_{Hi} \leq 10, & \leq \\ P_p \operatorname{tg} \sum_{i=1}^n k_{Bi} \varphi_{Hi} > 10; & > \end{cases} \quad (2.36)$$

Для магістральних шинопроводів:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi};$$

$$Q_p = \operatorname{tg} K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \varphi; \quad (2.37)$$

де K_p - розрахунковий коефіцієнт;

n_e - ефективне число ЕП;

Значення K_P можна визначити із [15, таблиці 1, 2].

Середні величини, активна і реактивна потужності:

$$P_C = K_B \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.38)$$

Груповий коефіцієнт використання та ефективне число ЕП:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Bi} \cdot H_i}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}; \quad (2.39)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}; \quad (2.40)$$

Розрахункове значення n_e округляється до меншого цілого числа.

За [15] таблицею 1.1 визначаємо розрахунковий коефіцієнт $K_P = f(K_B; n_e)$.

Знаходимо значення повної розрахункової потужності:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}; \quad (2.41)$$

Знаходимо розрахунковий струм:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} U_H}. \quad (2.42)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

Розрахунок силового навантаження для РП-1:

$$P_C = 1,4 + 14,4 + 4 + 2,7 = 22,5 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 1,87 + 10,8 + 5,33 + 2,03 = 20,03 \text{ (квар)};$$

$$K_B = \frac{22,5}{106,6} = 0,21;$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{106,6^2}{1439} = 7 \text{ ($$

Із [15, таблиця 1.1] визначаємо $K_P = 1,5$ звідси:

$$P_P = 1,5 \cdot 22,5 = 33,75 \text{ (кВт)};$$

$$Q_P = 1,1 \cdot 20,03 = 22,03 \text{ (квар)};$$

$$S_P = \sqrt{33,75^2 + 22,03^2} = 40,3 \text{ (кВА)};$$

$$I_P = \frac{40,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 61,2 \text{ (А)}.$$

Розрахунок силового навантаження для всього цеху:

$$P_C = 107,63 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 119,02 \text{ (квар)};$$

$$K_B = \frac{107,63}{490,1} = 0,22;$$

$$\frac{490,1^2}{15844} = 15 \text{ ($$

Із [15, таблиця 1.2] визначаємо $K_P = 1,2$ звідси:

$$P_P = 1,2 \cdot 107,63 = 129,15 \text{ (кВт)};$$

$$Q_P = 1,0 \cdot 119,02 = 119,02 \text{ (квар)};$$

$$S_P = \sqrt{129,15^2 + 119,02^2} = 175,63 \text{ (кВА)};$$

$$I_P = \frac{175,63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 266,8 \text{ (А)}.$$

Усі розрахунки електричних навантажень мережі заносимо у таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунки електричних навантажень мережі цеху

Найменування ЕП	n	$P_H, \text{ кВт}$	$n \times P_H, \text{ кВт}$	K_B	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$n \times K_B \times P_H$	Q_H	$n \times P_H^2$	n_e	K_P	$P_{p, \text{ кВт}}$	$Q_{p, \text{ квар}}$	$S_{p, \text{ кВА}}$	$I_{p, \text{ А}}$
-----------------	---	--------------------	-----------------------------	-------	----------------	----------------	---------------------------	-------	------------------	-------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------	--------------------

1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП 1															
11,12 Горизонтально-розточувальні верстати	2	2,8	5,6	0,25	0,6	1,33	1,40	1,87	16						
13-16 Поздовжньо-стругальні верстати	4	18	72	0,2	0,8	0,75	14,40	10,80	1296						
30-33 Вертикально-свердлильні верстати	4	5	20	0,2	0,6	1,33	4,00	5,33	100						
34-36 Електропечі опору	3	3	9	0,3	0,8	0,75	2,70	2,03	27						
Всього РП 1	13		106,6	0,21			22,50	20,03	1439	7	1,5	33,75	22,03	40,30	61,23
РП 2															
5-8 Вентилятори компресори	4	4,5	18	0,35	0,65	1,17	6,30	7,37	81						
17,19 Кран-балка	2	30	60	0,3	0,7	1,02	18,00	18,36	1800						
43-45 Зварювальні автомати	3	12,5	37,5	0,15	0,55	1,52	5,63	8,54	469						
Всього РП 2	9		115,5	0,26			29,93	34,27	2350	5	1,6	47,88	37,70	60,94	92,59
По цеху															
1-4 Зварювальні автомати	4	42	168	0,15	0,55	1,52	25,20	38,27	7056						
9,10 Алмазно-розточувальні верстати	2	50	100	0,3	0,75	0,88	30,00	26,46	5000						
Всього по цеху	28		490,1	0,22			107,63	119,02	15844	15	1,2	129,15	119,02	175,63	266,84

Застосування сучасних захисних апаратів у поєднанні з коректно підібраними кабельними трасами гарантує високу надійність функціонування системи електропостачання та її відповідність вимогам безперебійності, безпеки і довговічності.

2.5.2 Вибір захисних апаратів та провідників цехової електромережі

Для реалізації функцій захисту кабельних ліній у проектованій системі електропостачання передбачено встановлення автоматичних вимикачів серій ЕВ та ЕВ2 виробництва компанії ЕТІ [16], які оснащуються тепловими та електромагнітними або напівпровідниковими розчіплювачами, що забезпечує надійне відключення ліній при перевантаженнях і коротких замиканнях. Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [6], конструктивне виконання і тип кабельних трас обирається з урахуванням умов експлуатації, ступеня механічного захисту, пожежної безпеки, технологічного навантаження та температурного режиму середовища цеху.

Для відкритого монтажу застосовуються кабелі з алюмінієвими жилами типу

АВВГ, прокладені на кабельних лотках або кронштейнах із забезпеченням вільного тепловідведення. Відповідно вимог ПУЕ вибираємо такі способи прокладки кабельних ліній:

– від ТП до РП 1,2 та ЕП 1-4, 9,10 кабелем із алюмінієвими жилами марки АВВГ прокладених відкрито.

– від РП 1,2 до ЕП кабелями АВВГ.

Перетин струмопровідних жил визначається виходячи з допустимого струмового навантаження відповідно до умов прокладання та віддаленості точки приєднання, яка впливає на спад напруги.

При виборі автоматичних вимикачів повинні виконуватись наступні умови:

$$K_{\text{н.розч}} \cdot I_{\text{відс}} \cdot p ; \quad (2.43)$$

$$I_{\text{с.в}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}} . \quad (2.44)$$

$$I_{\text{н.ВІДК}} \geq I_{\text{К.мах}}^{(3)} . \quad (2.45)$$

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

$I_{\text{с.в}}$ - струм спрацювання 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 окремого електроприймача;

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

$I_{\text{п}}$ - піковий (пусковий) струм.

Виберемо автоматичний вимикач для захисту ЕП-1.

Розрахунковий струм ЕП-1:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta}; \quad (2.46)$$

$$I_p = \frac{42}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,55 \cdot 0,95} = 116 \quad (\text{A}).$$

Пусковий струм визначимо наближено, в залежності від типу приводу:

$$I_p = \begin{cases} B \cdot I_p & \text{для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2,5 \cdot I_p & \text{для АД з ФР;} \\ B \cdot I_p & \text{для ДПС та зварювальних Трив;} \end{cases} \quad (2.47)$$

$$I_n = 5 \cdot I_p = 5 \cdot 116 = 580 \quad (\text{A}).$$

Вибираємо для захисту ЕП-1 автоматичний вимикач з напівпровідниковим розчіплювачами. Розрахуємо номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки для ЕП-1:

$$I_{n, \text{розчп}} = 125 \quad (\text{A}) \geq 1 \cdot 116 = 116 \quad (\text{A});$$

$$I_{c, \text{відс}} = 1250 \quad (\text{A}) \geq 2,1 \cdot 580 = 1218 \quad (\text{A}).$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо автоматичний вимикач ЕВ2 250/3L 200А 3р серії економ з номінальним струмом вимикача 125 А, номінальним струмом розчіплювача 125 А та струмом спрацювання відсічки 1250 А.

Аналогічно проводимо вибір автоматичних вимикачів для усіх інших споживачів цеху.

Захисні апарати, що захищають РП-1 встановлюються в розподільчому пристрою низької напруги трансформаторної підстанції.

Від ТП до РП-1 вибираємо переріз проводу з умови:

$$I_{\text{доп}} \geq I_M = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 61,2 \quad (\text{A}).$$

Від ТП до РП1 вибираємо кабель АВВГ 3х50+1х25. Допустимий тривалий струм складає $I_{\text{доп}} = 136$ (А). Перевіряємо даний кабель за наступними умовами:

$$I_{\text{доп}} = 136 \geq I_M = 61,23 \text{ (А)};$$

$$I_{\text{доп}} = 136 \geq I_{\text{н.розчип}} = 125 \text{ (А)}.$$

Аналогічно вибираємо переріз решти кабелів АВВГ результати розрахунків заносимо в таблицю 2.13.

Перевіримо втрати напруги на ЕП-16:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_p \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_n} \cdot l ; \quad (2.48)$$

$$\Delta U_{\text{ТП} - \text{РП1}} = \frac{33,75 \cdot 0,769 + 22,03 \cdot 0,066}{380} 70 = 11,33 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\text{РП1} - \text{ЕП16}} = \frac{14,4 \cdot 0,549 + 10,8 \cdot 0,066}{380} 50 = 3,98 \text{ (В)},$$

$$U_{\text{ТП} - \text{ЕП14}} = 11,933 + 3,98 = 15,31 \text{ (В)}.$$

$$\Delta U_{\text{ТП} - \text{ЕП14}} = \frac{15,31}{380} 100\% = 4,1\% \quad - \text{ дана втрата напруги є допустима.}$$

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

Згідно [1], с. 75 піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\text{п}} = I_p - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} ; \quad (2.49)$$

де $I_{\text{н.макс}}$, $I_{\text{п.макс}}$ - номінальний і піковий струми найбільш потужних електроприймачів, а $K_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_{\text{п}} = I_M - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 61,23 - 0,3 \cdot 34,2 + 170,9 = 225,3 \text{ (А)}.$$

Вибираємо для встановлення на лініях від ТП до РП-2 автоматичні вимикачі. Вибираємо селективний автоматичний вимикач EB2 250/3L 125A 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.

$$I_{\text{н.розч}} = 125 \geq K_{\text{відс}} I_{\text{М}} = 1 \cdot 61,23 = 61,23 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{с.в}} = 1250 \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}} = 2,1 \cdot 225,3 = 473 \text{ (А)}.$$

Таблиця 2.13 – Комутаційно-захисна апаратура та КЛ цеху

Найменування ЕП	$I_{\text{р}}, \text{А}$	$I_{\text{п}}, \text{А}$	Тип АВ	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{розч}}, \text{А}$	$I_{\text{св}}, \text{А}$	Тип ЛЖ	$S, \text{мм}^2$	спос. прок.	$I_{\text{доп}}, \text{А}$
РП1	61,23	225,3	EB2 250/3E 125A 4р	125	125	1250	АВВГ	3x50+1x25	відкрито	136
РП2	92,59	398,6	EB2 250/3E 125A 4р	125	125	1250	АВВГ	3x50+1x25	відкрито	136
11,12 Горизонтально-розточувальні верстати	7,1	35,5	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	3x4+1x2,5	відкрито	37
13-16 Поздовжньо-стругальні верстати	34,2	170,9	ЕВ 100/3L 63А 3р	63	63	1000	АВВГ	3x16+1x10	відкрито	77
30-33 Вертикально-свердильні верстати	12,7	63,3	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	3x4+1x2,5	відкрито	37
34-36 Електропечі опору	5,7	28,5	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	3x4+1x2,5	відкрито	37
5-8 Вентилятори компресори	10,5	52,6	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	3x4+1x2,5	відкрито	37
17,19 Кран-балка	65,1	325,6	ЕВ 100/3L 80А 3р	80	80	1000	АВВГ	3x25+1x16	відкрито	102
43-45 Зварювальні автомати	34,5	172,7	ЕВ 100/3L 63А 3р	63	63	1000	АВВГ	3x16+1x10	відкрито	77
1-4 Зварювальні автомати	116,0	580,1	EB2 250/3E 125A 4р	125	125	1250	АВВГ	3x50+1x25	відкрито	136
9,10 Алмазно-розточувальні верстати	101,3	506,4	EB2 250/3E 125A 4р	125	125	1250	АВВГ	3x50+1x25	відкрито	136

Розрахунок струмів короткого замикання проводиться з метою перевірки захисних апаратів за умовою комутаційної здатності.

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки, що живить ЕП-19. Складемо розрахункову схему рисунок 2.11 [17].

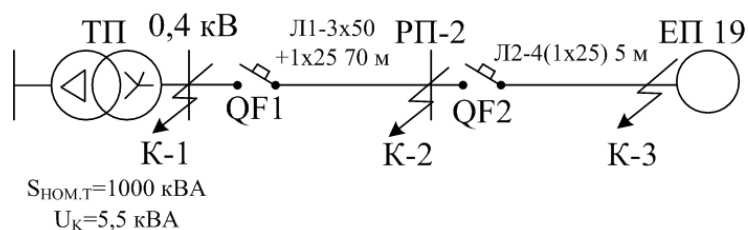


Рисунок 2.11 – Схема електропостачання ЕП-19

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_r = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{10}{0,4} = 25; \quad (2.50)$$

Якщо трансформатор отримує живлення середньою або високою напругою, то енергопостачальна компанія повинна вказувати характеристики підстанції з якої здійснюється живлення, $I_K'' = 10$ кА.

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{ном.Т}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 8,8 \quad (мОм). \quad (2.51)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2, Л3:

$$R_{\text{ліній}} = r_1 \cdot L \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,32 \cdot 2800 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,502 \quad (мОм); \quad (2.52)$$

$$X_{\text{ліній}} = x_1 \cdot L \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,064 \cdot 2800 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,059 \quad (мОм); \quad (2.53)$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{0,769^2 + 0,066^2} \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 7,72 \quad (мОм);$$

$$Z_{Л3} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{3,84^2 + 0,088^2} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 19,2 \quad (мОм).$$

Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості наведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості

Ділянка кола	L, м	R0, мОм/м	X0, мОм/м	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	Zф-0, мОм
ТМ 1000/10/0,4	-	-	-	1,1	5,91	6,01	140
Л1	2800	0,549	0,065	0,502	0,059	0,505	7,42
Л2	70	0,769	0,066			7,72	14,8
Л3	5	3,84	0,088			19,2	37,05

Розрахуємо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

$$I_{K.макс}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (2.54)$$

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

- для точки К3

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (6,01 + 0,505 + 7,72 + 19,2)} = 7,2 \quad (\text{кА}).$$

- для точки К2

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (6,01 + 0,505 + 7,72)} = 16,9 \quad (\text{кА}).$$

- для точки К1

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (6,01 + 0,505)} = 35 \quad (\text{кА}).$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{\text{н.відк}} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} \quad (2.55)$$

QF1: EB2 250/3L 125A 3р з $I_{\text{н.відк}} = 36 \text{ (кА)}$

$$I_{\text{н.відк}} = 36 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 35 \text{ (кА)}$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 100/3L 63A 3р з $I_{\text{н.відк}} = 25 \text{ (кА)}$.

$$I_{\text{н.відк}} = 25 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 16,9 \text{ (кА)}$$

Для точки К2 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

Виконаємо перевірку селективності дії захисту.

Визначимо струм однофазного КЗ в точці короткого замикання з урахуванням перехідного процесу:

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\text{ф-н}}}; \quad (2.56)$$

де $Z_{\Sigma}^{(1)}$ мОм – повний опір силового трансформатора струмам однофазного КЗ;

$Z_{\phi-H}$ - питомий опір петлі фаза-ноль;

1 – відстань до місця КЗ.

Розраховуємо струм однофазного КЗ на кінці лінії ТП-РП1:

$$\begin{aligned} X_{\Sigma}^{(1)} &= \sqrt{(2 \cdot R_T + R_{0T} + 3 \cdot R_{\text{ПЕР}})^2 + (2 \cdot X_T + X_{0T})^2} = \\ &= \sqrt{(2 \cdot 0,7 + 0,7 + 3 \cdot 3,8)^2 + (2 \cdot 3,36 + 3,36)^2} = 16,84 \text{ (мОм);} \\ I_{\text{KR2}}^{(1)} &= \frac{220}{\frac{16,84}{3} + 14,8} = 10,8 \text{ (кА).} \end{aligned} \quad (2.57)$$

Струм однофазного КЗ на затискачах ЕП4:

$$\begin{aligned} X_T^{(1)} &= \sqrt{(2 \cdot R_T + R_{0T})^2 + (2 \cdot X_T + X_{0T})^2} = \\ &= \sqrt{(2 \cdot 0,7 + 0,7)^2 + (2 \cdot 3,36 + 3,36)^2} = 10,29 \text{ (мОм);} \\ I_{\text{K3}}^{(1)} &= \frac{220}{\frac{10,26}{3} + 14,8 + 37,05} = 3,98 \text{ (кА).} \end{aligned} \quad (2.58)$$

Перевіримо чи виконується умова:

$$I_{\text{Н.РОЗЧ}} \leq \frac{I_{\text{K}}^{(1)}}{3}; \quad (2.59)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-РП-1:

$$I_{\text{Н.РОЗЧ}} = 200 \text{ (А)} \leq \frac{I_{\text{KR2}}^{(1)}}{3} = \frac{10800}{3} = 3600 \text{ (А).}$$

Перевіримо чутливість захисту лінії РП1-ЕП4:

$$I_{H.ROЗЧ} = 63 \text{ (A)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{3980}{3} = 1326 \text{ (A)}.$$

Умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів виконуються.

Перевіримо селективність дії захисту. Селективність автоматичних вимикачів перевіряємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1,3..1,5)I_{c.B2}; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.60)$$

Виконаємо перевірку на селективність для вимикачів, що захищають лінії ТП-ГРП(вимикач 1), РП1-ЕП4 (вимикач 2) (дані про вимикачі знаходяться в таблиці 2.13).

$$I_{c.B1} = 1250 \text{ (A)} > (1,3..1,5)800 = 940...1200 \text{ (A)}.$$

Оскільки вимикачі вищого ступеня вибрано селективним $t_{c.B1} = 0,1 \text{ с}$, то умови селективності по часу теж забезпечується.

Карта селективності захисту.

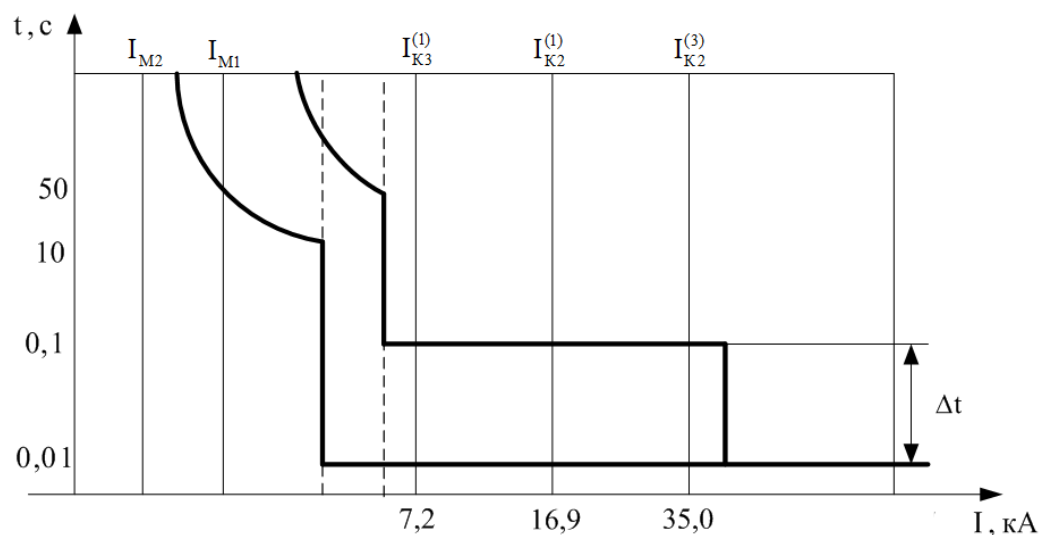


Рисунок 2.12 – Карта селективності захисту

Аналіз діаграми селективності (рисунок 2.8) підтверджує правильність вибору автоматичних вимикачів для захисту електроприймачів ремонтно-механічного цеху, оскільки забезпечується чітке розмежування зон спрацювання захисних апаратів, що

виключає одночасне відключення декількох ділянок мережі при виникненні короткого замикання або перевантаження. Такий підхід гарантує надійну локалізацію аварійних режимів, збереження безперервності роботи інших споживачів та відповідність вимогам ПУЕ щодо вибору апаратури за умовами селективності.

Висновки по розділу 2.

У даному розділі бакалаврської дипломної роботи проведено техніко-економічне обґрунтування та розрахунки системи електропостачання для виробничих потужностей ПрАТ «Маяк». В результаті виконаних інженерних завдань були сформовані ключові проектні рішення, які визначають загальну концепцію енергозабезпечення об'єкта:

- виконано детальний розрахунок електричних навантажень окремого цеху та всього підприємства, що дозволило визначити необхідні параметри живлення;
- проведено порівняльний аналіз варіантів підключення до мережі з використанням різних класів напруги, за результатами якого обґрунтовано доцільність застосування класу напруги 10 кВ для зовнішнього живлення;
- переріз зовнішньої кабельної лінії повинен бути $3 \times 120 \text{ мм}^2$, а сама кабельна лінія виконана алюмінієвим кабелем з ізоляцією із зшитого поліетилену типу АПвЭгаПу-10 на напрузі 10 кВ довжиною 850 м від ПС «Західна»;
- вибрано тип, кількість і номінальну потужність трансформаторних підстанцій, а також їхнє розташування з урахуванням особливостей генерального плану підприємства та мінімізації втрат потужності. Для СЕП підприємства доцільно встановити чотири двотрансформаторні підстанції з трансформаторами ТМ-1000/10;
- аналіз типу засобів захисту електрообладнання в аварійних режимах роботи показав що на стороні 10 кВ доцільно використати вакуумні вимикачі ВРС-10;
- розраховано силові електричні навантаження ремонтно-механічного цеху та обрано усю необхідну захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію для живлення ЕП цеху. Проведено розрахунок струм КЗ та здійснено перевірку обраного обладнання.

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

3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1 Головні задачі побудови промислових інтелектуальних систем керування освітленням

У сучасному світі ефективне керування електричним освітленням є важливою складовою енергозбереження, екологічної безпеки та підвищення продуктивності праці [19]. Особливо актуальною ця проблема є в промисловій сфері, де освітлення займає значну частину витрат на електроенергію [2]. Інтелектуальні системи керування освітленням, зокрема з використанням технологій Інтернету речей (IoT), дозволяють досягти гнучкості, енергоефективності в керуванні освітленням.

Інтелектуальні системи керування освітленням – це автоматизовані системи, які використовують датчики, таймери, програмовану логіку або штучний інтелект для оптимального регулювання освітлення в приміщеннях або на вулиці [20]. Вони аналізують зовнішні та внутрішні умови, зокрема рівень природного освітлення, присутність людей чи час доби, і відповідно до цього вмикають, вимикають або змінюють яскравість світильників, що дозволяє зменшити енергоспоживання, підвищити комфорт та подовжити термін служби освітлювальних приладів [21].

На рисунку 3.1 схематично наведено можливі варіанти керування мережами освітлення.



Рисунок 3.1 – Можливі варіанти керування мережами освітлення

Головні задачі побудови промислових інтелектуальних систем керування освітленням полягають у створенні ефективного, надійного та адаптивного механізму керування світловими приладами на промислових об'єктах з урахуванням специфіки виробничого процесу, енергоефективності та умов безпеки [21].

До головних задач побудови таких систем належать:

1. Оптимізація енергоспоживання. Система освітлення повинна забезпечувати раціональне використання електроенергії шляхом автоматичного вмикання та вимикання освітлення залежно від природного світла, часу доби, присутності персоналу або виробничої активності. Вирішення даної задачі досягається використання сучасних енергоефективних джерел світла. Порівняльний аналіз найбільш розповсюджених джерел світла [22] представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз найбільш розповсюджених джерел світла при рівному значенні світлового потоку

Параметр	Люмінесцентні лампи	Світлодіодні лампи (LED)	Натрієві лампи високого тиску (HPS)	Металогалогенні лампи (MHL)
Світловий потік	3000–4000 лм	3000–4000 лм	3000–4000 лм	3000–4000 лм
Потужність	36–58 Вт	25–35 Вт	70–100 Вт	70–100 Вт
Коефіцієнт корисної дії (лм/Вт)	70–90	100–140	90–120	80–100
Термін служби	8 000–15 000 годин	30 000–50 000 годин	16 000–24 000 годин	12 000–20 000 годин
Частота обслуговування	Висока (потребують заміни)	Дуже низька	Середня	Висока
Вартість одиниці	Дешева (5–10 \$)	Дорожча (15–30 \$)	Середня (10–20 \$)	Середня (15–25 \$)
Колірна температура	2700–6500 К	2700–6500 К	~2000 К (жовте світло)	3000–4500 К
Передача кольору (CRI)	70–85	80–95	Низька (~25–40)	Висока (~65–85)
Стійкість до частих вмикань/вимикань	Низька	Висока	Низька	Середня
Вплив температури довкілля	Погіршення при низьких температурах	Стабільна робота	Стабільна при високих температурах	Погіршення при дуже низьких t°C

2. Забезпечення належного рівня освітленості в різних зонах підприємства відповідно до санітарних норм, стандартів безпеки та технологічних вимог.

3. Адаптивність і масштабованість. Система освітлення має легко адаптуватися

до змін у виробничому середовищі, наприклад, при реконструкції цехів або зміні розташування обладнання.

4. Інтеграція з іншими системами автоматизації, такими як системи контролю доступу, охоронна сигналізація, система "розумного підприємства" тощо, для створення єдиного інтелектуального середовища.

5. Моніторинг і аналітика: система повинна надавати дані про споживання енергії, ефективність роботи освітлення, виявлення несправностей тощо, що дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення.

6. Забезпечення безперервної та надійної роботи освітлення в умовах можливих аварій, пікових навантажень або складних умов експлуатації (волога, пил, високі температури), що потребує використання якісного обладнання та продуманої логіки керування [21].

Вирішення даних задач досягається використанням протоколу DALI [2], який забезпечує гнучке адресне керування освітленням, оптимізацію енергоспоживання, адаптивність до змін середовища, інтеграцію з іншими системами автоматизації, моніторинг роботи обладнання та підтримку надійності в умовах промислової експлуатації. Принцип реалізації протоколу DALI за допомогою апартного забезпечення показано на рисунку 3.2.

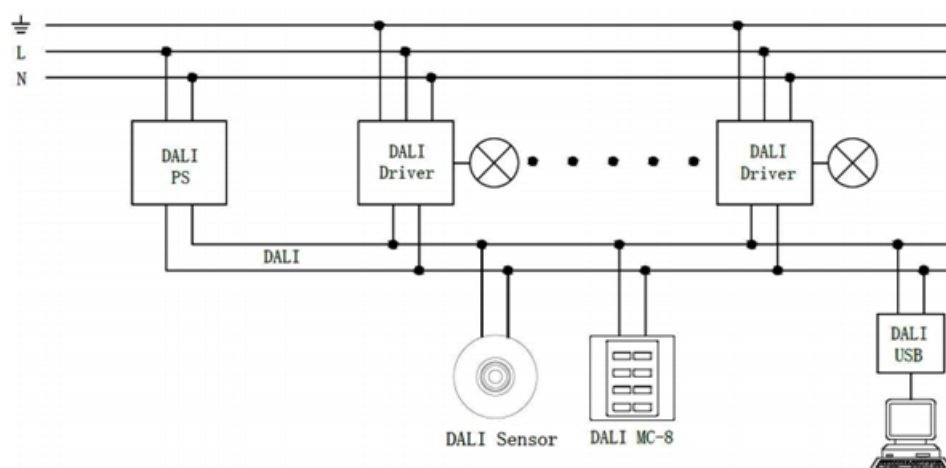


Рисунок 3.2 – Принцип реалізації протоколу DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – це цифровий протокол керування освітленням, спеціально розроблений для організації автоматизованих

систем освітлення в будівлях: складах, офісах, торгових центрах, виробничих приміщеннях тощо [20].

Інтелектуальна система освітлення працює таким чином (рисунок 3.2): на світильники встановлюються драйвери з підтримкою протоколу DALI, які об'єднуються у спільну двожильну шину без полярності, через яку контролер або шлюз DALI Gateway надсилає команди для вмикання, вимикання, регулювання яскравості або активації аварійного режиму освітлення; кожен драйвер має унікальну адресу (від 0 до 63), що дозволяє керувати як усіма світильниками одночасно, так і окремими групами або кожним світильником індивідуально.

Інтелектуальні системи керування електричним освітленням стають невід'ємною частиною сучасного промислового середовища. Їх впровадження дозволяє досягти високої енергоефективності, автоматизації процесів, підвищити рівень безпеки та комфорту для працівників.

3.2 Основні стратегії побудови промислових інтелектуальних систем освітлення

Процес побудови промислових інтелектуальних систем освітлення базується на послідовній реалізації кількох послідовних етапів [23], що забезпечують точне проектування, ефективність та відповідність системи заданим вимогам об'єкта. Схема виконання етапів світлотехнічного проекту зображена на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Схема виконання етапів світлотехнічного проекту

Побудова промислових інтелектуальних систем освітлення є поетапним процесом (рисунок 3.2), що базується на точному зборі вихідних даних, використанні сучасного програмного забезпечення для розрахунків та моделювання, створенні варіативних рішень, оптимізації за допомогою візуалізації і оформленні якісної проектної документації для подальшої реалізації й інтеграції в загальну цифрову інфраструктуру підприємства [24].

1. Визначення вихідних даних;

На початковому етапі збираються вихідні дані – креслення об'єкта, планування приміщень, характеристики виробничих процесів, вимоги до освітленості відповідно до нормативних актів (ДСТУ, СНіП, ISO). Це дозволяє правильно сформулювати технічне завдання для системи керування освітленням.

На рисунку 3.4 представлено реалізацію промислової інтелектуальної системи освітлення на базі датчиків руху, освітленості та температури.

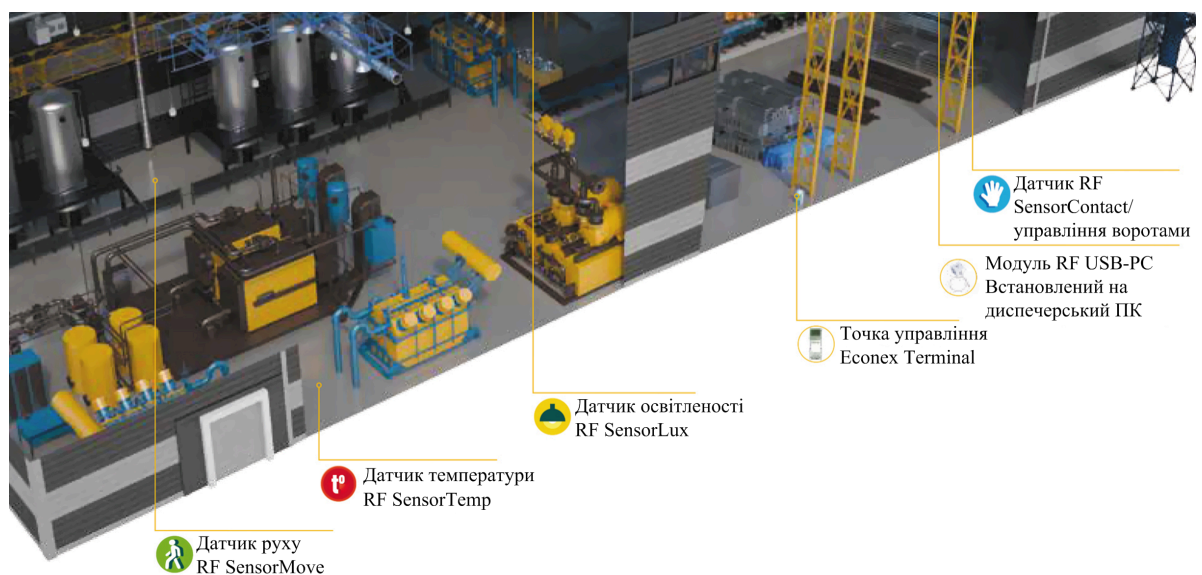


Рисунок 3.4 – Реалізація промислової інтелектуальної системи освітлення

2. Використання комп'ютерних програм для моделювання;

Інтелектуальні системи освітлення проектується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє створити точну віртуальну модель об'єкта [23].

3. Проведення світлотехнічних розрахунків;

Розрахунок освітленості на кожній ділянці проводиться з урахуванням потужності світильників, висоти монтажу, коефіцієнтів відбиття поверхонь тощо. Ці

розрахунки є основою для побудови системи, що зможе автоматично регулювати освітлення, підтримуючи оптимальні параметри незалежно від зовнішніх умов.

4. Аналіз та підбір варіантів;

На основі результатів розрахунків формується кілька варіантів освітлення – із різними типами світильників, схемами керування (наприклад, по групах або індивідуально) [25], варіантами інтеграції сенсорів руху, освітленості, присутності тощо. Вибираються варіанти, що найбільше відповідають вимогам енергоефективності, надійності та зручності керування.

На рисунку 3.5 представлено однолінійну схему реалізацію промислової інтелектуальної системи освітлення за допомогою сенсорів, які допомагають оптимально регулювати наявність та рівень освітленості.

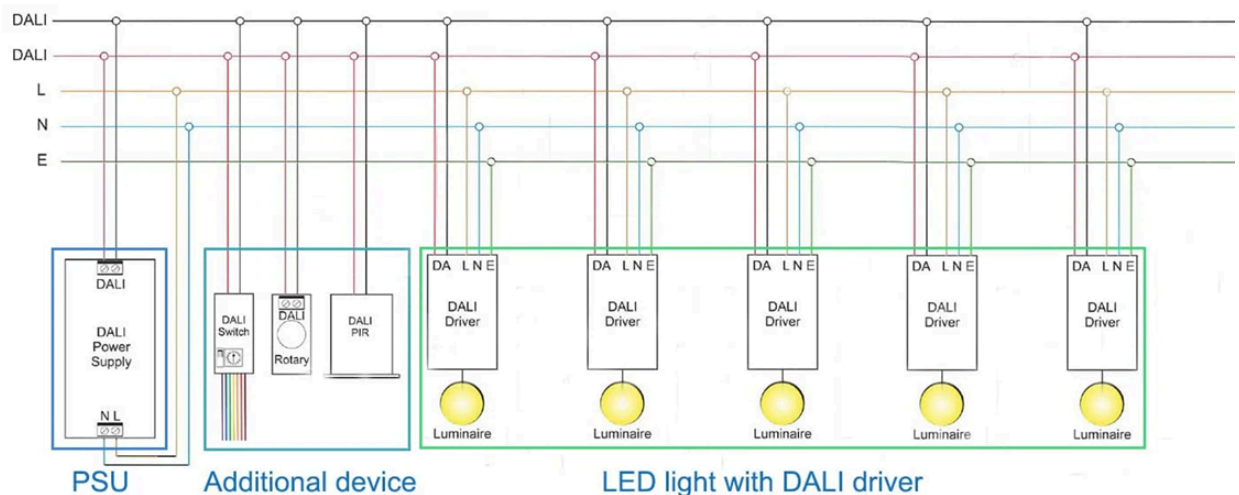


Рисунок 3.5 – Однолінійна схема промислової інтелектуальної СО

5. Тривимірне моделювання і фотореалістичне відображення;

Застосування 3D-моделей дозволяє візуально оцінити розподіл світла, наявність темних зон або пересвітів.

6. Формування вихідної документації;

Розробляється повний комплект проектної документації, що включає схеми підключення, специфікації обладнання, інструкції з налаштування системи керування, алгоритми роботи за різними сценаріями.

7. Створення світлотехнічного проекту;

На завершальному етапі формується комплексний світлотехнічний проект, який є основою для монтажу та подальшого налаштування інтелектуальної СО.

Контролер має вбудовані функції тестування, резервне копіювання даних, підтримує різні режими керування освітленням (димування, групування, сцени) і може інтегруватися в більші системи автоматизації будівель через мережу Dynet. Пристрій оснащено світлодіодною індикацією стану, має можливість ручного керування через локальні кнопки та підтримує живлення шини DALI [2].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики контролера

Параметр	Значення
Тип пристрою	Контролер для керування DALI-пристроями
Кількість каналів	12 каналів
Підтримка DALI	Так, повна підтримка DALI-інтерфейсу
Кількість адрес DALI	До 64 DALI-пристроїв на одну шину
Напруга живлення	230 В AC, 50/60 Гц
Максимальне навантаження DALI	250 мА на кожному DALI-шині
Типи керованих пристроїв	Світильники з DALI-драйверами, датчики DALI
Спосіб адресації	Індивідуальна адресація, групове і ширококомовне керування
Інтерфейси зв'язку	DyNet, DALI
Захист	Захист від перевантаження і короткого замикання на DALI-шині
Монтаж	На DIN-рейку
Робоча температура	0...+45 °C
Корпус	Пластиковий, ступінь захисту IP40

На рисунку 3.7 представлена однолінійна схема під'єднання шин DALI до контролера та світильників.

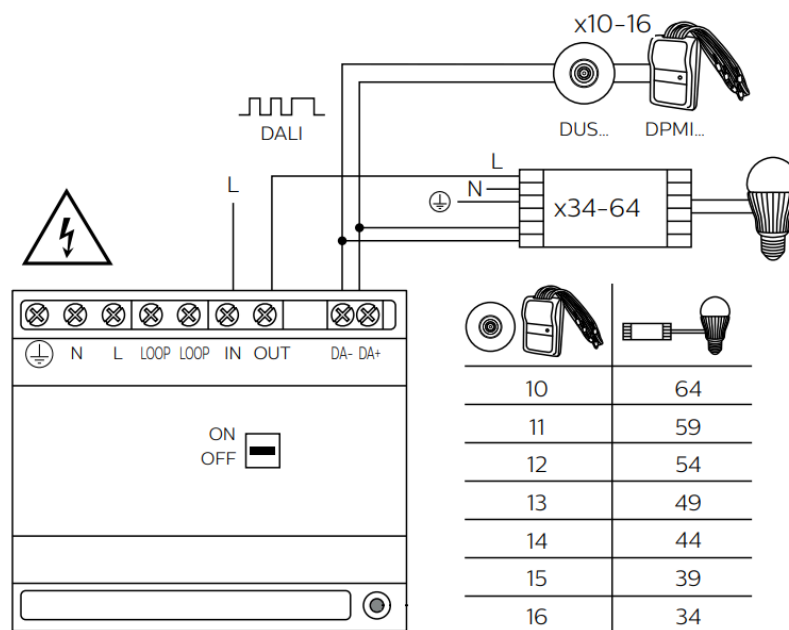


Рисунок 3.7 – Однолінійна схема під'єднання контролера до світильників

2. Драйвер Xitanium 72W 0.9-1.4A 51V TD DS 230V DALI – це електронний драйвер для живлення світлодіодних модулів. Пристрій забезпечує стабільне регулювання струму в діапазоні від 100 до 500 мА при вихідній напрузі від 24 до 54 В. Потужність драйвера становить 72 Вт що дає можливість заживити від нього гірлянду з 4 світлодіодних світильників потужністю 18 Вт кожен, а живлення здійснюється від стандартної мережі змінного струму 230 В. Завдяки підтримці протоколу DALI (Digital Addressable Lighting Interface), драйвер дозволяє інтегрувати світильники в інтелектуальні системи освітлення: змінювати яскравість, керувати групами світильників, автоматизувати сценарії освітлення [26].

Вся необхідна інформація драйвера Philips Xitanium представлена на рисунку 3.7 та у таблиці 3.3.

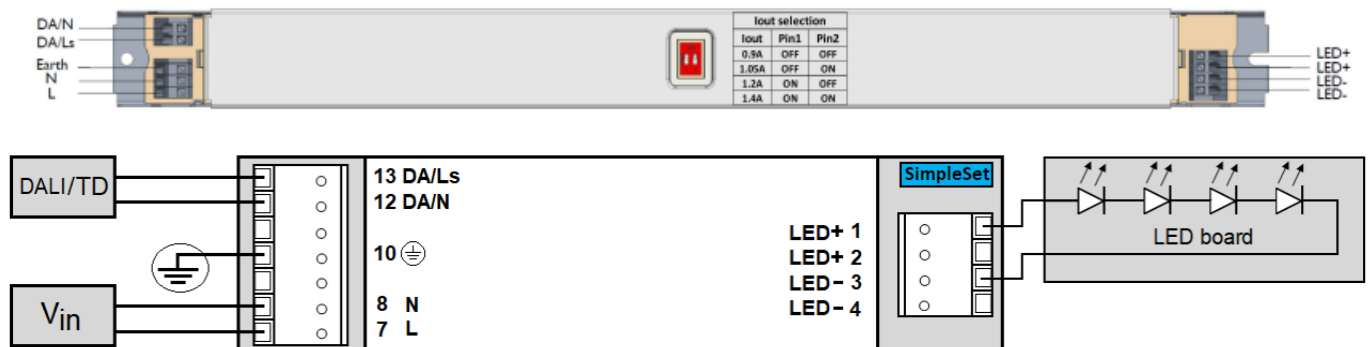


Рисунок 3.8 – Однолінійна схема під'єднання драйвера до світильників

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики драйвера

Характеристика	Значення
Походження товару	China
Світлові рішення сервіс	Дизайн освітлення та схеми
Вага виробу (кг)	0.235
Найменування	PHILIPS
Моделі	Xitanium 72W 0.9-1.4A 51V TD DS 230V
Потужність на виході	20.7–71.4 W
Вхідна напруга	230 V
Rated input voltage range	220–240 V
Rated input current	0.35 A
Rated input power	79.3 W
Power factor	0.9
Output voltage	23–51 V
Output current	0.9 / 1.05 / 1.2 / 1.4 A
Output power	20.7–71.4 W

3. Багатофункціональний датчик DALI-MSensor 02 5DPI 41f – це інтелектуальний сенсор для виявлення руху, присутності людей та вимірювання рівня освітленості у приміщенні, який працює через протокол DALI. Пристрій інтегрується в системи керування освітленням для автоматичного вмикання, вимикання або регулювання яскравості світильників залежно від активності персоналу та природного освітлення. Датчик може працювати в автономному режимі або в складі великої DALI-мережі. Його компактний дизайн дозволяє встановлювати пристрій у стелі (підвісній або суцільній) для непомітного монтажу..

Вся необхідна інформація датчика DALI-MSensor 02 представлена на рисунку 3.9 та у таблиці 3.4.

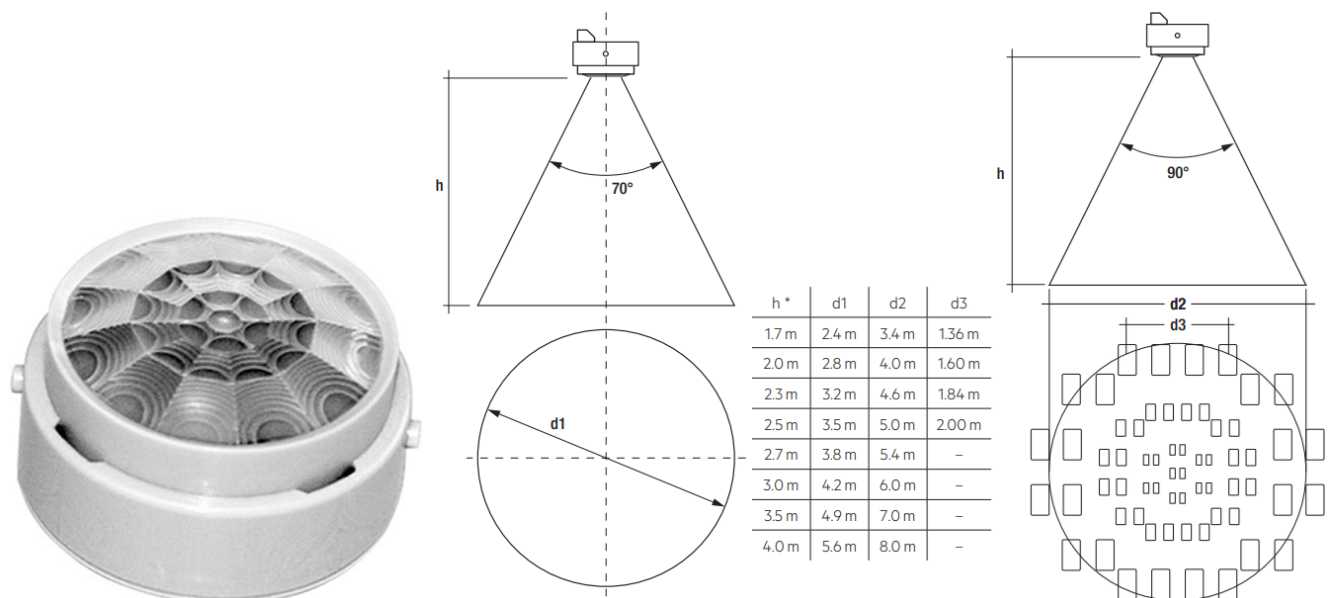


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд та діапазон дії датчика

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики багатофункціонального датчика

Параметр	Значення
Тип	Датчик руху, присутності та освітленості (DALI)
Інтерфейс керування	DALI 2
Зона виявлення	До 10 м в діаметрі (монтаж 2,5 м висотою)
Тип виявлення	Пасивний інфрачервоний (PIR)
Чутливість	Налаштовується
Діапазон вимірювання освітленості	Від 1 до 2000 лк
Живлення	Через DALI-шину
Монтаж	Вбудований у стелю
Робоча температура	-20...+50 °C
Споживана потужність	<10 мА через DALI
Додаткові функції	Автоматичне налаштування таймера затримки та яскравості

На рисунку 3.10 зображено діапазон реагування трьох датчиків в складському приміщенні. ІСО налаштована таким чином, що кожен окремий діапазон реагування датчика відповідає за включення окремої гірлянди модулів світло діодів освітлюючи ту ділянку в якій зараз знаходиться персонал.

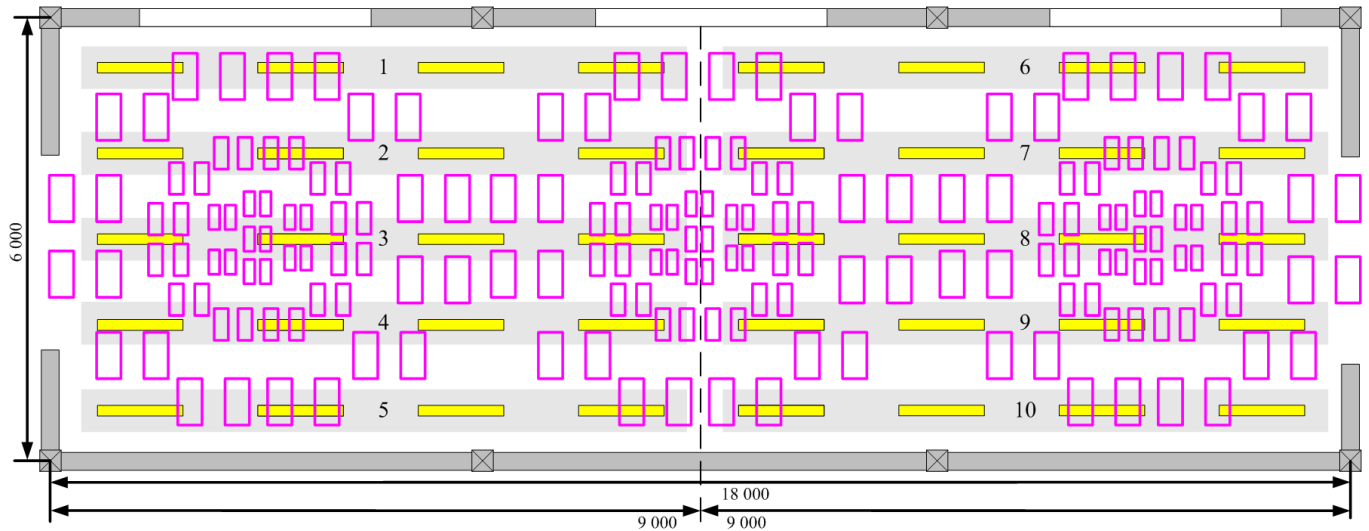


Рисунок 3.1 – Діапазон реагування трьох датчиків в складському приміщенні

В якості джерела світла обрано світлодіодні модулі Philips Fortimo LED Line 2 ft 2000 Lm 830 1R HV1. Паспортні дані ламп наведені на рисунку 3.10 [22].



Характеристика	Значення
Тип освітлення	Лінійне освітлення
Світловий потік	2065 лм
Споживана потужність	18 Вт
Ефективність модуля	115 лм/Вт
Індекс передачі кольору	80 Ra
Однорідність кольору	3.5 SDCM
Тривалість служби	50000 годин

Рисунок 3.10 – Характеристики Philips Fortimo LED Line 2 ft 2000 Lm 830 1R HV1

В якості світильників доцільно обрати Philips Maxos universal, довжина світильника $L_{\text{св}} = 1,2$ м. Паспортні дані світильника наведені на рисунку 3.4 [22].

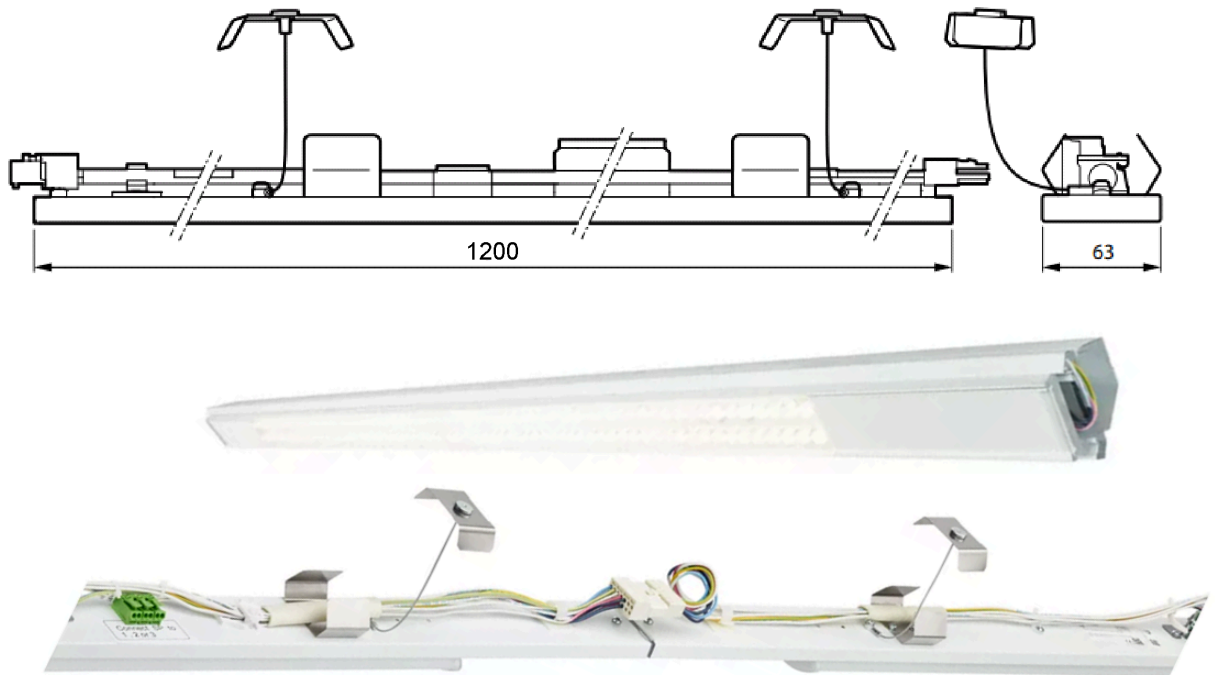


Рисунок 3.11 – Характеристики світильників Philips Maxos universal

Складське відділення ремонтно-механічного цеху має виробничу площу у 108 м^2 . Висота приміщення – $2,8$ м, розміри – 6×18 м. Тривалість зміни – 8 годин. Розряд зорових робіт – II. Системи електропостачання виконана кабельними лініями та проводами в кабельних каналах.

Число світильників у приміщенні визначають з умови найвигіднішої відносної відстані між ними по відомих параметрах приміщення: довжині, ширині і розрахунковій висоті [6].

Розрахункову висоту визначають за формулою:

$$H_p = h \left(+h_{\text{pn}} \quad c \right); \quad (3.1)$$

де H – висота даного приміщення, м;

h_c – висота звісу світильника, м;

h_{pn} – висота робочої поверхні від підлоги, м.

$$h_p = 2,5 - (0,8 + 0) = 1,7 (\quad)$$

За таблицею 5-1 [6] приймаємо коефіцієнти відбивання поверхонь:

$$\rho_{\text{п}} = 70 \% ; \rho_{\text{с}} = 50 \% ; \rho_{\text{р}} = 30 \% ;$$

де $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{р}}$ – коефіцієнти відбивання стелі, стін і робочої поверхні відповідно.

За розмірами приміщення визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{р}} \cdot (A + B)} ; \quad (3.2)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м.

$$i = \frac{6 \cdot 9}{1,7 \cdot (6 + 9)} \approx 2,12.$$

За знайденим індексом приміщення коефіцієнт використання: 57 %.

Враховуючи тип світильників, задається коефіцієнт запасу: $k_3 = 1,3$ і коефіцієнт нерівномірності освітлення для світлодіодних ламп $z = 1,1$. Визначаємо необхідну кількість світильників при розрахунковому світловому потоці ламп Philips Fortimo LED Line 2 ft 2000 Lm 830 1R HV1 $\Phi_{\text{л}} = 2000$ лм:

$$N_{\text{світ}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta} ; \quad (3.3)$$

$E_{\text{н}}$ – нормована освітленість, для робіт високої точності II розряду зорової роботи та при комбінованому освітленні, $E_{\text{н}} = 300$ лк

S – площа приміщення, м^2 ;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік люмінесцентних ламп;

n – кількість ламп.

$$N_{\text{світ}} = \frac{300 \cdot 6 \cdot 18 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{2000 \cdot 1 \cdot 0,57} = 40 (\quad)$$

Для підвищення енергоефективності та забезпечення гнучкого керування системою освітлення, світильники складського приміщення доцільно об'єднати у

окремі електрично незалежні групи (гірлянди), кожна з яких відповідає за освітлення певної робочої зони.

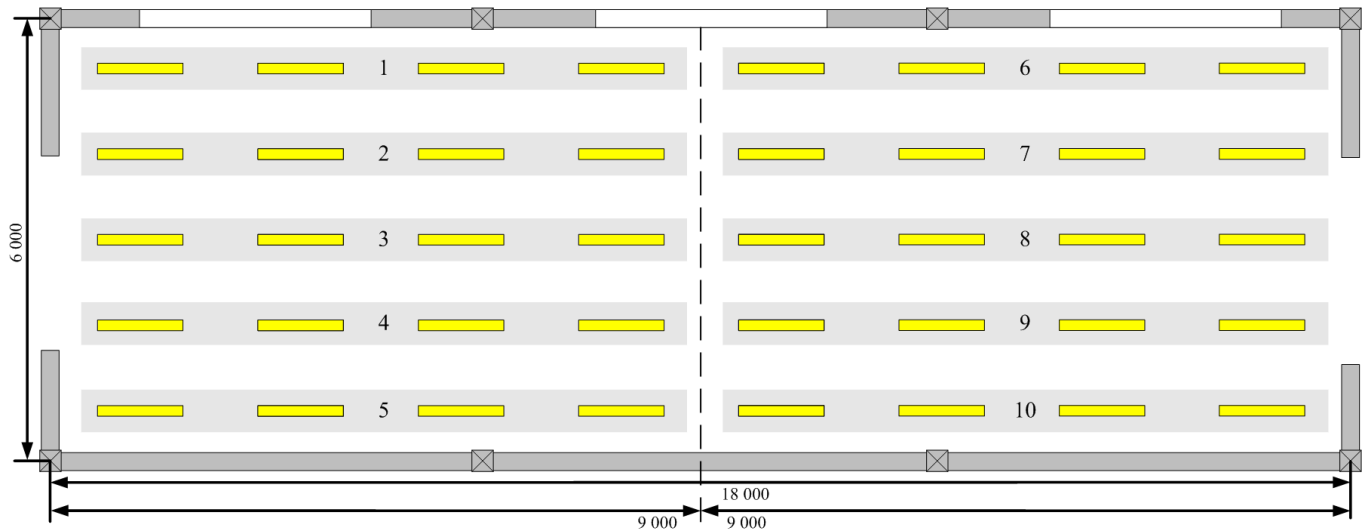


Рисунок 3.12 – Розміщення об'єднаних груп світильників на складі

У приміщенні розміром 6×18 м передбачено встановлення 40 світильників, рівномірно розташованих у п'яти рядах по 8 світильників у кожному (рисунок 3.12). Для ефективного керування кожен ряд поділено на дві окремі гірлянди по 4 світильники. Таким чином, уздовж приміщення утворюються десять електрично незалежних гірлянд, що дозволяє здійснювати автономне керування освітленням на окремих ділянках цеху залежно від реальної потреби.

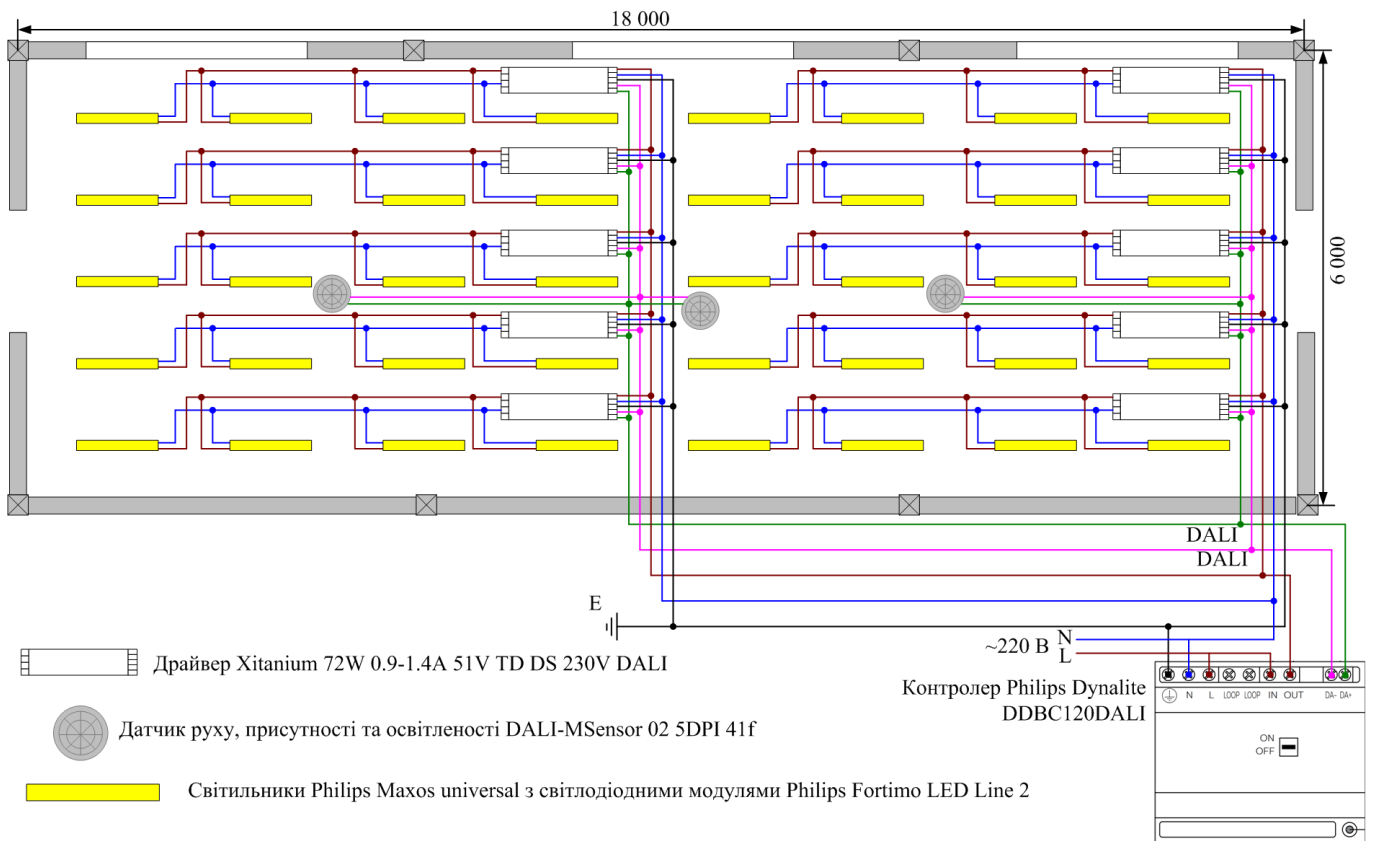


Рисунок 3.13 – Система керування освітленням

Рисунок 3.13 ілюструє побудову системи керування освітленням на базі шини DALI. На схемі зображено основні елементи системи: контролер DALI, драйвери світильників, універсальний датчик руху та освітленості, а також двожильну шину DALI, яка з'єднує всі пристрої. Кожен зі 40 світильників підключено до власного драйвера, який забезпечує індивідуальне керування яскравістю та станом світильника. Всі драйвери разом із датчиком руху об'єднані в єдину DALI-мережу, що дозволяє здійснювати централізоване або зональне керування освітленням залежно від сценаріїв роботи, присутності людей чи рівня природного освітлення. Система забезпечує гнучкість налаштування, енергоефективність і можливість інтеграції в загальну автоматизовану інфраструктуру підприємства.

На рисунку 3.14 показана деталізована схема підключення одного світильника до інтелектуальної системи керування [26].

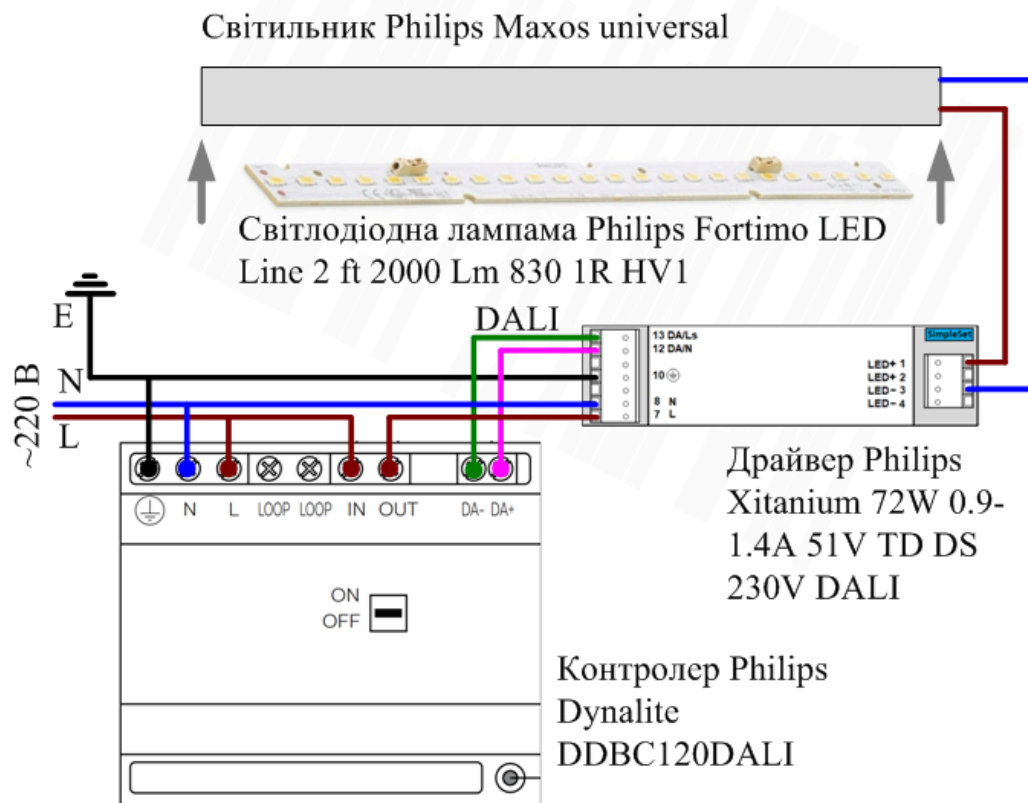


Рисунок 3.14 – Деталізована схема підключення одного світильника

Визначаємо окремо вартість системи освітлення та вартість інтелектуальної системи керування освітленням. Дані значення дозволять оцінити ефективність використання ІСКО. Всі значення заносимо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Капіталовкладення в реалізацію ІСКО

Найменування	кількість	ціна	вартість
Вартість системи освітлення	шт./м	грн.	грн.
Світлодіодний модуль Philips Fortimo LED Line 2 ft 2000 Lm 830 1R HV1	40	226,5	9060
Універсальний світильник Philips Maxos universal	40	492	19680
Кабель ВВГнг-LS 3x1 мм ²	128	25,16	3220,48
Ціна системи освітлення			31960,48
Вартість системи керування	шт./м	грн.	грн.
Контролер Philips Dynalite DDBC120DALI	1	7486	7486
Драйвер Xitanium 72W 0.9-1.4A 51V TD DS 230V DALI	10	1368	13680

Датчик DALI-MSensor 02 5DPI 41f	3	4675, 5	14026,5
Шина DALI DYkS 2x0.8	86	18,44	1585,84
Ціна системи керування			36778,34
Ціна інтелектуальної системи освітлення			68738,82

Для визначення економії коштів від впровадження інтелектуальної системи освітлення враховується принцип її роботи, який передбачає автоматичне регулювання освітлення залежно від присутності персоналу в окремих зонах приміщення, а також нерівномірний характер споживання електроенергії протягом робочого часу (рисунок 3.15), що дозволяє об'єктивно оцінити фактичне зниження енергоспоживання.

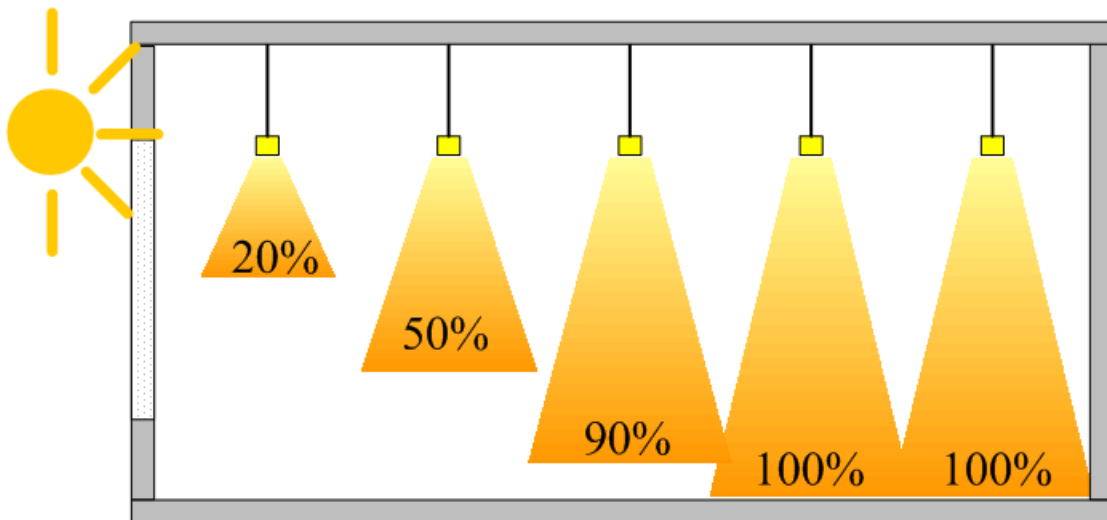


Рисунок 3.15 – Характер роботи світильників

Визначаємо величину економії електричної енергії а також плати за неї до та після впровадження інтелектуальної системи керування освітленням. Даний розрахунок доцільно виконати окремо для кожної зони роботи світильників спільними групами по чотири світильника (рисунок 3.12).

Визначаємо річну плату за освітлення до встановлення ІСКО:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{до}} &= t \cdot (P_{\text{н}} \cdot \eta) \cdot 8 \cdot 250 + t \cdot (P_{\text{н}} \cdot \eta) \cdot 3 \cdot 115 = \\
 &= 7,8 \cdot (40 \cdot 0,018 \cdot 1,2) \cdot 8 \cdot 250 + 7,8 \cdot (40 \cdot 0,018 \cdot 1,2) \cdot 3 \cdot 115 = 15803,4 \text{ грн./рік ; }
 \end{aligned}$$

Визначаємо річну плату за освітлення після встановлення ІСКО. Для цього

враховуємо що система освітлення не працює весь робочий час, не працює одразу усіма світильниками та не працює на повну потужність. Після встановлення ІСКО кожен світильник в середньому буде працювати 30% робочого часу:

$$C_{\text{після}} = 7,8 \cdot \left(\begin{array}{l} 8 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \cdot 0,5 + \\ + 8 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \cdot 0,9 + 16 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \end{array} \right) \cdot 8 \cdot 250 \cdot 0,3 + \\ + 7,8 \cdot \left(\begin{array}{l} 8 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \cdot 0,5 + \\ + 8 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \cdot 0,9 + 16 \cdot 0,018 \cdot 1,2 \end{array} \right) \cdot 3 \cdot 115 \cdot 0,3 = 3413,54 \text{ (рік)}$$

Також визначаємо термін окупності додаткових капіталовкладень:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{B_1 - B_2} = \frac{36778,34}{15803,4 - 3413,54} = 2,97 \text{ (років)}.$$

Термін окупності впровадження інтелектуальної системи освітлення склав 2,97 року, що є меншим за нормовані показники окупності інвестицій у сфері енергозбереження [10]. Водночас, у розрахунку не враховано додаткову перевагу, а саме – зниження навантаження на світильники, оскільки світлодіодні лампи працюють лише близько 30% робочого часу. Це суттєво зменшує їх знос і, відповідно, продовжує фактичний термін експлуатації обладнання, що додатково підвищує економічну ефективність проекту. Окрім економії енергії та збільшення ресурсу світильників, впровадження інтелектуальної системи також забезпечує підвищення рівня комфорту та безпеки для персоналу, знижує витрати на технічне обслуговування, сприяє оптимізації експлуатаційних процесів і підвищує загальну енергоефективність підприємства.

Висновки по розділу 3.

У даному розділі бакалаврської дипломної роботи було проведено дослідження особливостей побудови промислових інтелектуальних систем керування електричним освітленням.

У результаті дослідження було встановлено, що головними задачами побудови промислових ІСКО є оптимізація енергоспоживання, забезпечення належного рівня освітленості відповідно до нормативних вимог, адаптивність і масштабованість

системи, інтеграція з іншими системами автоматизації, можливість моніторингу та аналітики, а також забезпечення надійної роботи в складних умовах експлуатації. Встановлено, що вирішення головних задач побудови ІСКО можна досягти використанням протоколу DALI дозволяє досягти високої гнучкості керування, енергоефективності, оперативного виявлення несправностей та створення безпечного й комфортного виробничого середовища.

Показано, що процес побудови промислових інтелектуальних систем керування освітленням є поетапним і включає визначення вихідних даних, використання спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання, проведення світлотехнічних розрахунків, аналіз і підбір оптимальних варіантів освітлення. Такий підхід забезпечує створення ефективної, енергоефективної та надійної системи освітлення, інтегрованої у загальну цифрову інфраструктуру підприємства, з урахуванням особливостей виробничих процесів і вимог нормативної бази.

Основним результатом науково-дослідної частини роботи являється розроблена інтелектуальна система керування освітленням складського відділення ремонтно-механічного цеху на базі технології DALI, що забезпечує автоматизоване регулювання освітлення залежно від присутності персоналу, рівня природного освітлення та робочого часу. Розроблена система реалізована із використанням сучасного обладнання: контролера Philips Dynalite DDBC120DALI, драйверів Philips Xitanium LED Driver та багатофункціональних датчиків руху та освітленості DALI-MSensor 02. В рамках проекту була побудована зональна структура освітлення, що передбачає поділ приміщення на окремі групи (гірлянди) світильників, кожна з яких може управлятися автономно, що дозволяє зменшити споживання електроенергії у неробочі періоди та за відсутності працівників у певних зонах. Визначені капіталовкладення у реалізацію ІСКО, що склали 36778,34 грн. Аналіз енергоефективності показав значне зниження енергоспоживання після впровадження системи: середній час роботи світильників зменшено до 30% від загального робочого часу. Проведений економічний розрахунок вказує на термін окупності проекту 2,97 року, що відповідає сучасним вимогам інвестиційної

привабливості у сфері енергозбереження. Додатковою перевагою впровадженої системи є збільшення строку служби світлодіодних ламп за рахунок зменшення навантаження, підвищення комфорту і безпеки праці персоналу.

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». На будівельно-монтажний персонал, що здійснює монтаж системи електропостачання, впливають такі шкідливі виробничі фактори [27, 28]:

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 чотирьохпровідної 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 підвищеною 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, 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» [30, 31].

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 шириною 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 прутком (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 ізолюваною 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 пробію 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 [32]. 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/м³ [32].

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 нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ДСН [33] проектом передбачені наступні рішення [33]: застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях 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 [34].

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

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		Природн є 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

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.

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 [35] 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 середньгеометричними 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 [36] 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 середньгеометричними 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 [37,38]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [39], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [40].

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 хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [41] наведено в таблиці 4.6.

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

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинали) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	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 [15] 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 хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, 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, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник) [41].

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 [42].

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської дипломної роботи аналізу системи електропостачання ПрАТ «Маяк» було обґрунтовано такі проектні рішення:

Проведено аналіз варіантів приєднання до електричних мереж із використанням різних класів напруги. За результатами досліджень оптимальним рішенням визначено застосування зовнішнього живлення напругою 10 кВ;

Для живлення підприємства від ПС «Західна» запропоновано кабельну лінію типу АПвЭгаПу-10 перерізом $3 \times 120 \text{ мм}^2$ та довжиною 850 м;

Розроблено план розміщення чотирьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами ТМ-1000/10 для мінімізації втрат електроенергії та врахування особливостей генерального плану підприємства;

Обґрунтовано застосування вакуумних вимикачів ВРС-10 для захисту обладнання на стороні 10 кВ;

Розраховано електричні навантаження ремонтно-механічного цеху, на основі чого обрано відповідне електротехнічне обладнання. Для живлення електроприймачів цеху були підібрані кабелі типу АВВГ з відповідним перерізом залежно від навантаження, встановлено автоматичні вимикачі для захисту силових і освітлювальних кіл, використано контактори для дистанційного керування електродвигунами, а також реле контролю напруги для захисту обладнання від аварійних режимів. Проведено розрахунок струмів короткого замикання, після чого здійснено перевірку вибраної апаратури на відповідність вимогам селективного відключення. Вибір обладнання забезпечує надійність електропостачання, мінімізує втрати потужності та відповідає вимогам безпеки.

Проектні рішення забезпечують надійність, енергоефективність та безпеку експлуатації системи електропостачання ПрАТ «Маяк» відповідно до чинних нормативних документів та стандартів.

У науково-дослідній частині роботи було розроблено інтелектуальну систему керування освітленням складського відділення ремонтно-механічного цеху на основі технології DALI. Система забезпечує автоматизоване регулювання освітлення залежно від природного освітлення, присутності персоналу та робочого графіка. Для

реалізації системи використано контролер Philips Dynalite DDBC120DALI, драйвери Philips Xitanium LED Driver та датчики руху й освітленості DALI-MSensor 02.

Впровадження інтелектуальної системи освітлення дозволило знизити середній час роботи світильників до 30% від загального робочого часу, що значно підвищило енергоефективність. Розрахований термін окупності проекту склав 2,97 років, що підтверджує економічну доцільність реалізації даного рішення. Додаткові переваги включають продовження строку служби світильників, підвищення комфорту і безпеки праці, зниження витрат на обслуговування та інтеграцію в загальну автоматизовану інфраструктуру підприємства.

Розроблені технічні рішення сприяють підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат та покращенню надійності електропостачання ПрАТ «Маяк», що повністю відповідає сучасним вимогам у сфері енергозбереження та сталого розвитку промислових підприємств.

У четвертому розділі проаналізовано стандарти охорони праці та електробезпеки на даному підприємстві.

Виконані розрахунки дозволять забезпечити максимально економічне електропостачання даного підприємства.

Дипломний проект розроблявся з виконанням вимог ПУЕ та інших нормативних документів по надійності і якості електропостачання наведених в списку використаних джерел.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
2. Білан Т.І., Білан І.О. Інтелектуальні системи освітлення будівель та споруд: монографія. – Київ: Логос, 2019. – 216 с.
3. ПрАТ “МАЯК” : веб-сайт. URL: <https://energyline.com.ua/uk/tarif-elektroenerg/mozhlivi-sposobi-ekonomi-elektroenergi-n-a-pidprimstvi/> (дата звернення: 15.05.2025).
4. Бурбело, М. Й. Спеціальні питання електропостачання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 89 с.
5. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
6. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
7. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
8. Офіційний сайт ПАТ «Завод Південкабель». URL: <http://www.yuzhcable.info> (дата звернення: 17.05.2025).
9. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" : веб-сайт. URL: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees> (дата звернення: 15.05.2025).
10. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2006. 95 с.
11. Трансформатори силові. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity-.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 17.05.2025).

12. Вимикачі навантаження. URL:
<http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazheniya-c756> (дата звернення: 17.05.2025).
13. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інформація та документація).
14. Каталог конденсаторних установок. Eaton. – Офіційний сайт Eaton Electric. URL:
<https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/low-voltage-power-distribution-and-control-systems/capacitor-banks.html> (дата звернення: 16.05.2025).
15. РТМ 36.18.32.4-92: 1993. Методика розрахунку електричного навантаження. 9с.
16. Промислові автоматичні вимикачі ЕВ та ЕВ2. URL:
<https://www.eti.ua/produksiya-ua/etibreak/eb2/> (дата звернення: 16.05.2025).
17. 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).
18. Кабельно-провідникова продукція. URL:
<http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produksiya-1189/> (дата звернення: 17.05.2024).
19. Способи економії електроенергії на підприємстві. URL:
<http://vinmayak.pat.ua/> (дата звернення: 16.05.2024).
20. Кравченко О.В. Енергоефективні технології управління освітленням в промисловості: навчальний посібник. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – 110 с.
21. Smart Lighting Systems for Industry 4.0 / Edited by D. Reusch. – Springer, 2021. – 328 p.
22. Каталог ламп та світильників. URL:
<http://avtonom.com.ua/osveshchenie/diodnye-lampy> (дата звернення: 17.10.2024).
23. Сидоренко В.П. Автоматизовані системи управління освітленням в промисловості: навчальний посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – 134 с.

24. Глобальна стратегія Smart Lighting. URL: <https://www.smartlighting.org/strategy> (дата звернення: 15.05.2025).
25. Ягуп В. Г., Ягуп К. В. Моделювання та оптимізація режимів систем енергопостачання та електроспоживання : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 183 с.
26. Кирилинко О. В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Інститут електродинаміки НАН України.– Київ, 2016. – 400 с.
27. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
28. 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-viznachen-na-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
29. 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.
30. 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.
31. 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>.
32. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
33. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

34. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
35. 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>.
36. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
37. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
38. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
39. 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>.
40. 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.
41. 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.
42. 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 ДАННІ

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

Таблиця А.1 – Електричні навантаження виробничих потужностей

№	Цех	Р _н , кВт	cos	К _п	К _в	№	Цех	Р _н , кВт	cos	К _п	К _в
1	Їдальня	20	0,9 0	0,4 0	0,3 6	11	Гальванопокриття	38	0,8 5	0,5 0	0,4 4
2	Збірно-монтажний	220	0,6 5	0,3 6	0,3 2	12	Склади ОМТС	70	0,8 0	0,4 2	0,3 6
3	Адміністративний корпус	70	0,8 0	0,3 4	0,3 0	13	Термопластавтомати	800	0,7 5	0,3 4	0,3 0
4	Ремонтно-механічний	260	0,7 5	0,3 3	0,2 7	14	Механічний цех №1	450	0,8 0	0,5 0	0,4 5
5	Цех друкованих плат	290	0,6 0	0,4 0	0,3 3	15	Гідропрес	230	0,7 5	0,4 5	0,4 0
6	Відділ випробувань	210	0,8 0	0,3 0	0,2 5	16	Штамповка	600	0,8	0,5 3	0,4 6
7	Котельня	390	0,7 5	0,6 0	0,5 0	17	Механічний цех №2	400	0,6	0,4 7	0,4 3
8	Енергоблок	950	0,8 5	0,6 0	0,4 5	18	Електромонтажний	250	0,8	0,4 4	0,3 9
9	Очисні споруди	170	0,8 0	0,4 0	0,3 5	19	Цех мех.оброб.дет.	211	0,8	0,5 3	0,4 4
10	Тарно-пакувальний	80	0,7 0	0,3 5	0,3 0	20	Фарбувальний	380	0,7 5	0,5 5	0,5 1

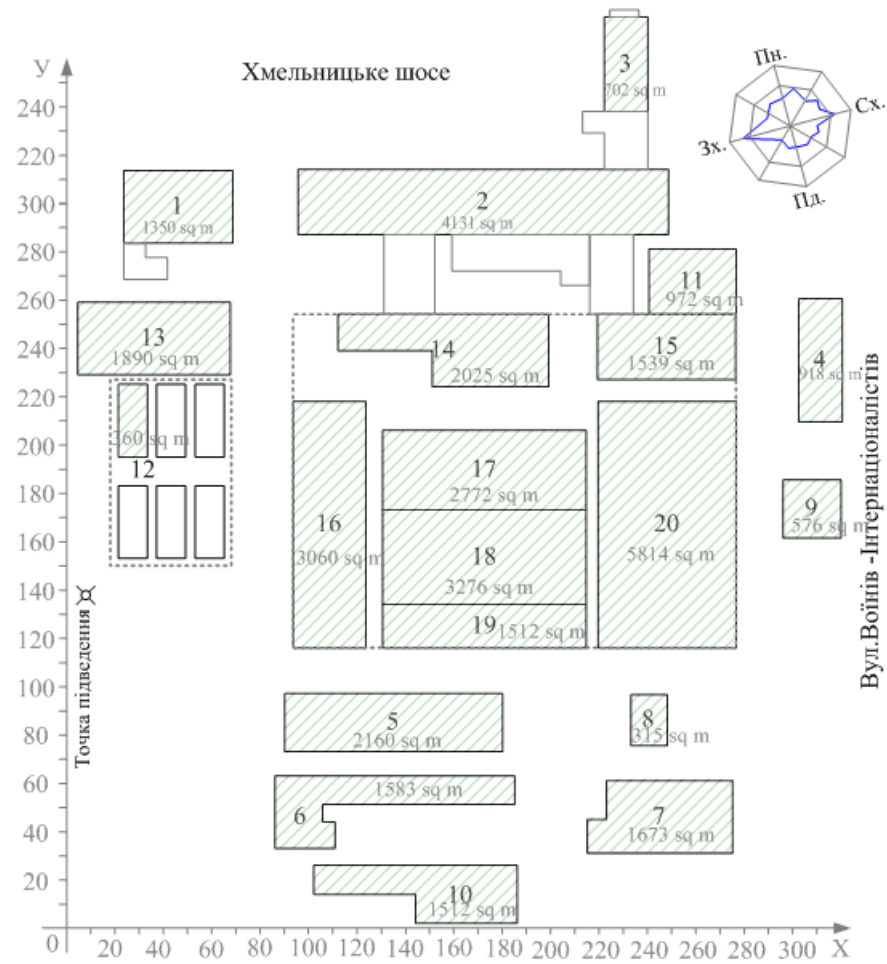


Рисунок А.1 – Генплан ПрАТ «Маяк»

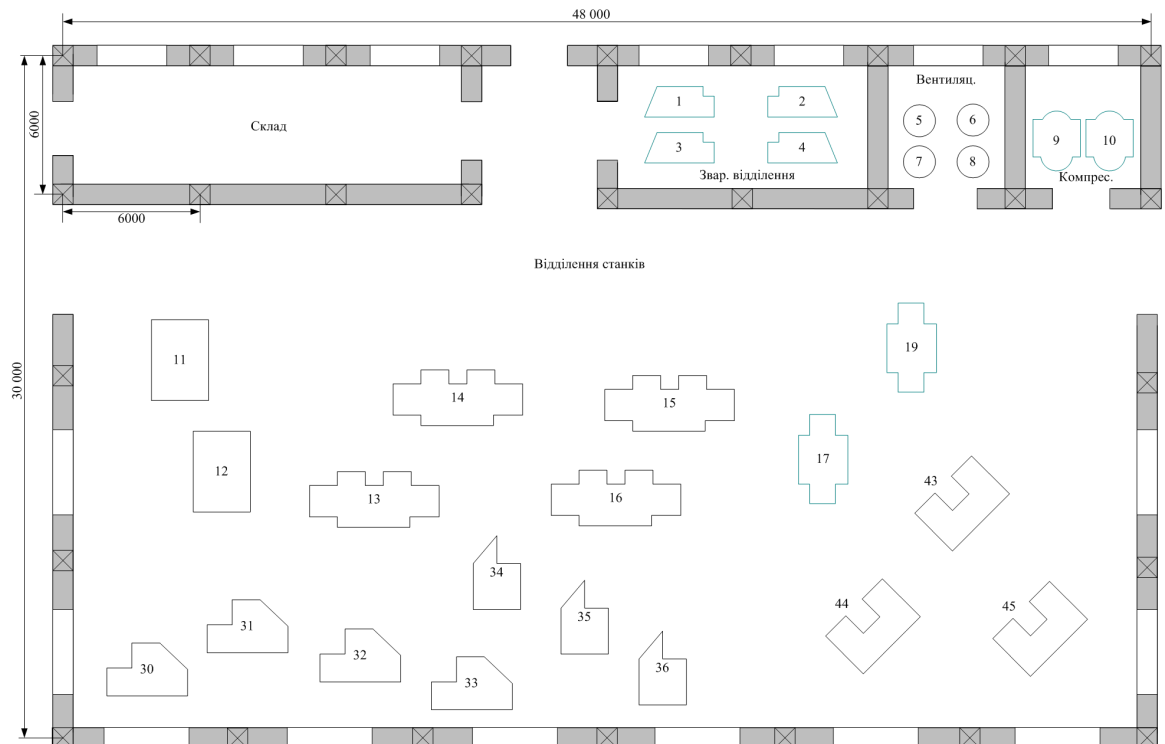


Рисунок А.2 – План Виробничого цеху (№5 на генплані)

Таблиця А.2 – Електричні навантаження Виробничого цеху

№ на плані	Електроприймач	P_н, кВт
1 – 4	Зварювальні автомати	42
5 – 8	Вентилятори компресори	4,5
9, 10	Алмазно-розточувальні верстати	50
11, 12	Горизонтально-розточувальні верстати	2,8
13 – 16	Поздовжньо-стругальні верстати	18
17, 19	Кран-балка	30
30 – 33	Вертикально-свердлильні верстати	5
34 – 36	Електропечі опору	3
43 – 45	Зварювальні автомати	12,5

Додаток Б ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»

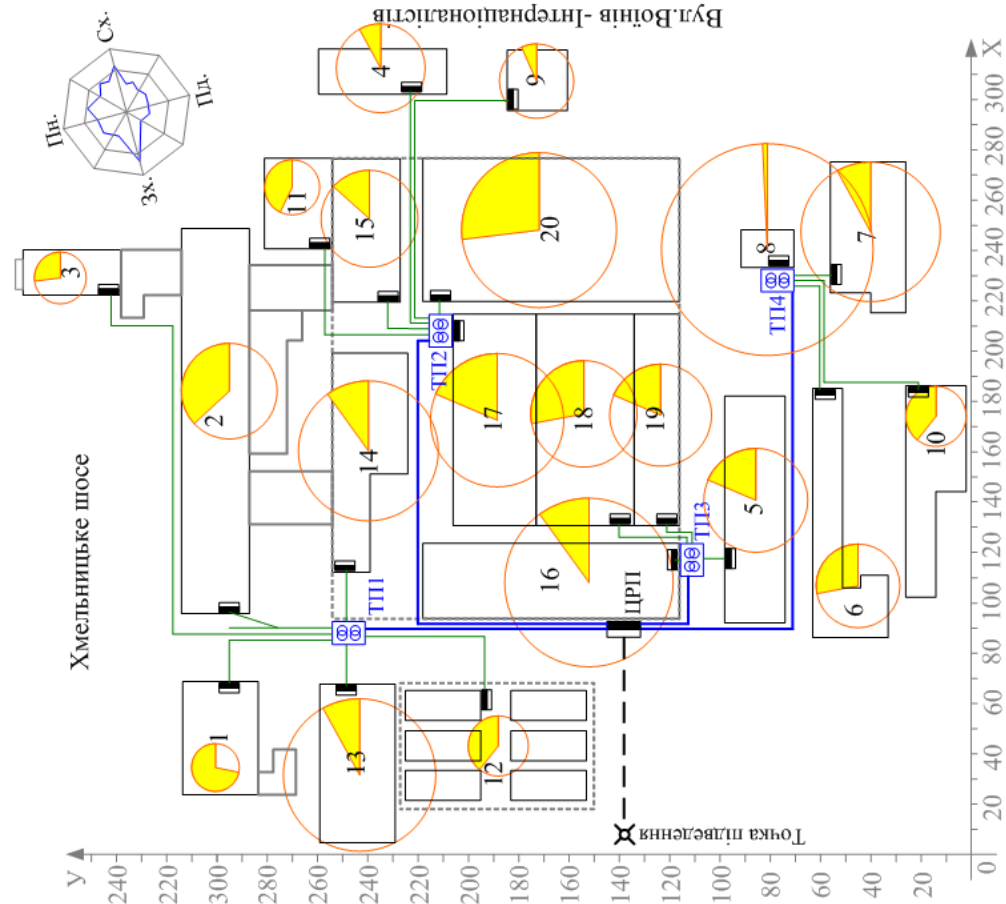
План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами

Експлікація будівель та споруд

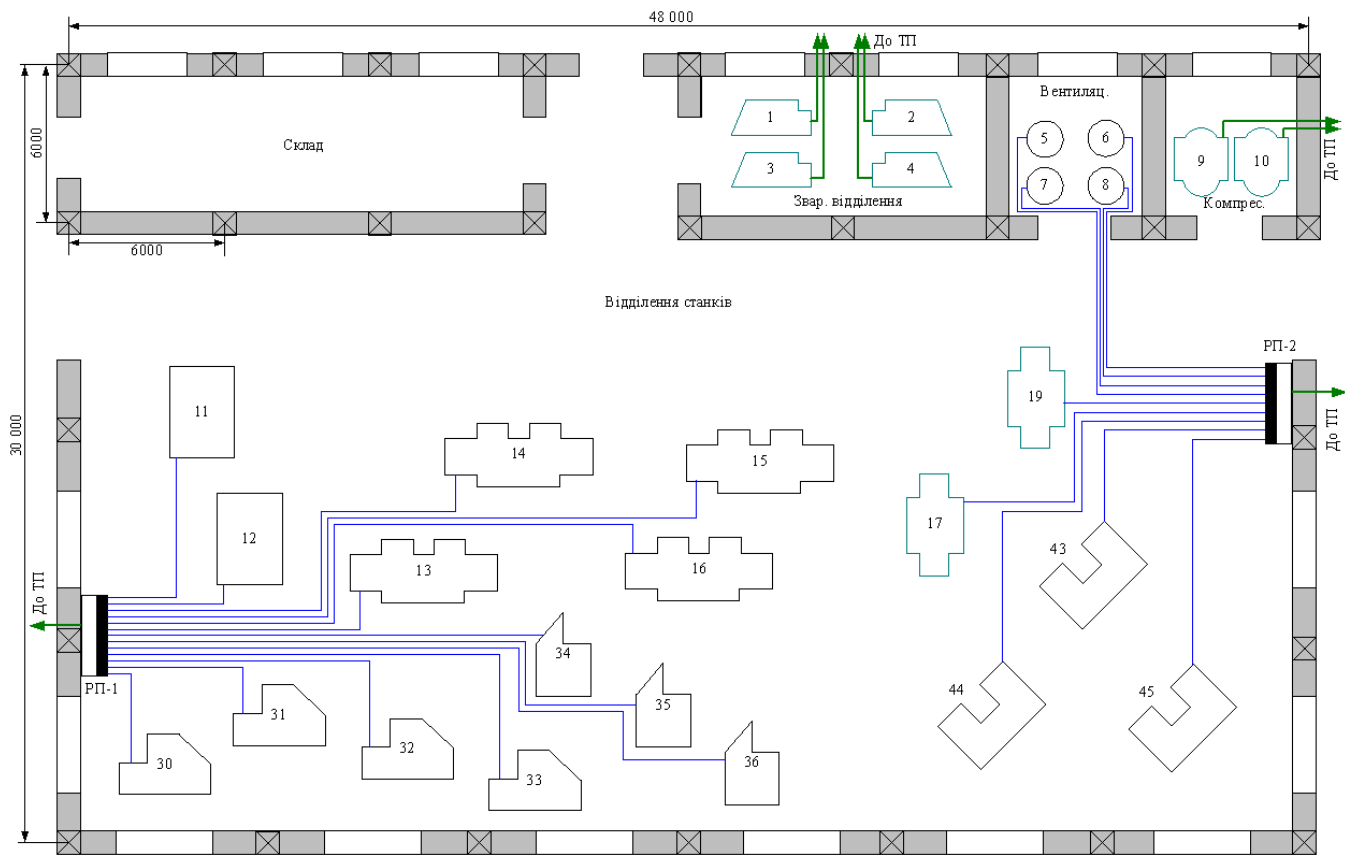
№ по генплану	Найменування	Рн, кВт
1	Ідальня	20
2	Збірно-монтажний	220
3	Адміністративний корпус	70
4	Ремонтно-механічний	260
5	Цех друкованих плат	290
6	Відділ випробувань	210
7	Котельня	390
8	Енергоблок	950
9	Очисні споруди	170
10	Тарно-пакувальний	80
11	Гальванопокриття	38
12	Склади ОМТС	70
13	Термопластавтомати	800
14	Механічний цех №1	450
15	Гідропрес	230
16	Штамповка	600
17	Механічний цех №2	400
18	Електроmontажний	250
19	Цех мех.оброб.дет.	211
20	Фарбувальний	380

Умовні позначення

- ⊗ Точка підведення зовнішньої КЛ — — ЖКЛ 10 кВ
- ▬ ЦРП 10 кВ
- ⊗⊗ Двотрансформаторна ТП
- КЛ 10 кВ



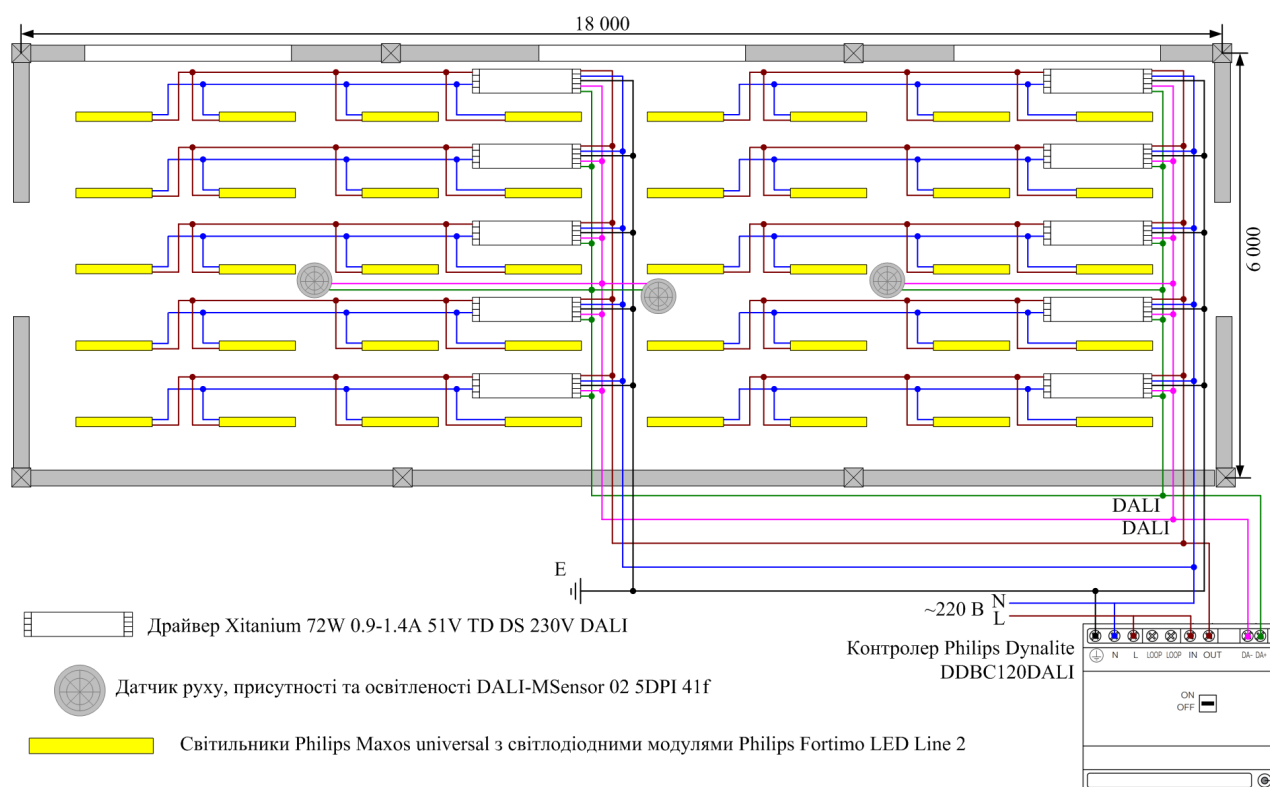
План електропостачання цеху



Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

рп	ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ					№ ШРА ЕП	ЗАХИСТ					ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ			СПОЖИВАЧІ				назва ЕП		
	тип вимикача	I ном А	I пром А	I с.в. А	провід назва провідник Склад провідник-напрямок		I доп А	P кВт	I доп А	I ном А	I пром А	I с.в. А	назва провідник Склад провідник-напрямок	I доп А	P кВт	I доп А	I ном А	I пром А		I с.в. А	
	ЕВ2.2003Е1.25А	125	125	1250	АВВГ 3-50х1х25	136	33,75	61,23	136	33,75	61,23	136	33,75	61,23	136	33,75	61,23	136	33,75	61,23	Горизонтально-розточувальні верстати
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Поздовжньо-стругальні верстати
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Верткально-свердлильні верстати
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Електропечі опору
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Зварювальні автомати
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Кран-балка
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Вентилятори компресори
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Зварювальні автомати
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	Алмазно-розточувальні верстати
	ЕВ1003Л1.6А	16	16	160	АПВ 4(1х4)	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	37	7,1	2,8	

Інтелектуальне керування системою освітлення



Система керування освітленням

Капіталовкладення в реалізацію ІСКО

Найменування	кількість	ціна	вартість
Вартість системи освітлення	шт./м	грн.	грн.
Світлодіодний модуль Philips Fortimo LED Line 2 ft 2000	40	226,5	9060
Універсальний світильник Philips Maxos universal	40	492	19680
Кабель ВВГнг-LS 3x1 мм ²	128	25,16	3220,48
Ціна системи освітлення			31960,48
Вартість системи керування	шт./м	грн.	грн.
Контролер Philips Dynalite DDBC120DALI	1	7486	7486
Драйвер Xitanium 72W 0.9-1.4A 51V TD DS 230V DALI	10	1368	13680
Датчик DALI-MSensor 02 5DPI 41f	3	4675,5	14026,5
Шина DALI DYkS 2x0.8	86	18,44	1585,84
Ціна системи керування			36778,34
Ціна інтелектуальної системи освітлення			68738,82

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

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Аналіз ефективності системи електропостачання Приватного акціонерного товариства «Вінницький завод «Маяк»

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 21,90 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бурбело М. Й., завідувач кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____

Лобода Ю. В.
(підпис)

(прізвище,

ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

Кравець О.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____

Бурик В.В.

Додаток Г ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«ВІННИЦЬКИЙ ЗАВОД «МАЯК»**

Аналіз ефективності системи електропостачання
Приватного акціонерного товариства
«Вінницький завод «Маяк»

Бурик Віталій Валерійович

Спеціальність 141 -“Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”

Науковий керівник:

Кравець Олександр Михайлович ,
кандидат технічних наук, доцент

Актуальність мета та задачі дипломної роботи

Актуальність теми. Проектування систем електропостачання промислових підприємств - складне та відповідальне завдання. Кожен споживач електроенергії має свої особливості, які визначають певні вимоги до електропостачання, такі як надійність, якість електроенергії, резервування та захист окремих елементів.

Мета та задачі дослідження. Метою дипломної роботи є розробити проект системи електропостачання ПАТ «Маяк». Провести розрахунки зовнішньої та внутрішньої електричної мережі, електричних навантажень окремих робочих місць та всього підприємства, вибір електрообладнання, розташування трансформаторних підстанцій, а також обирати та випробовувати засоби захисту.

Об'єктом дипломної роботи є ПАТ «Маяк», обґрунтування використання обраного обладнання та проекту СЕП в цілому.

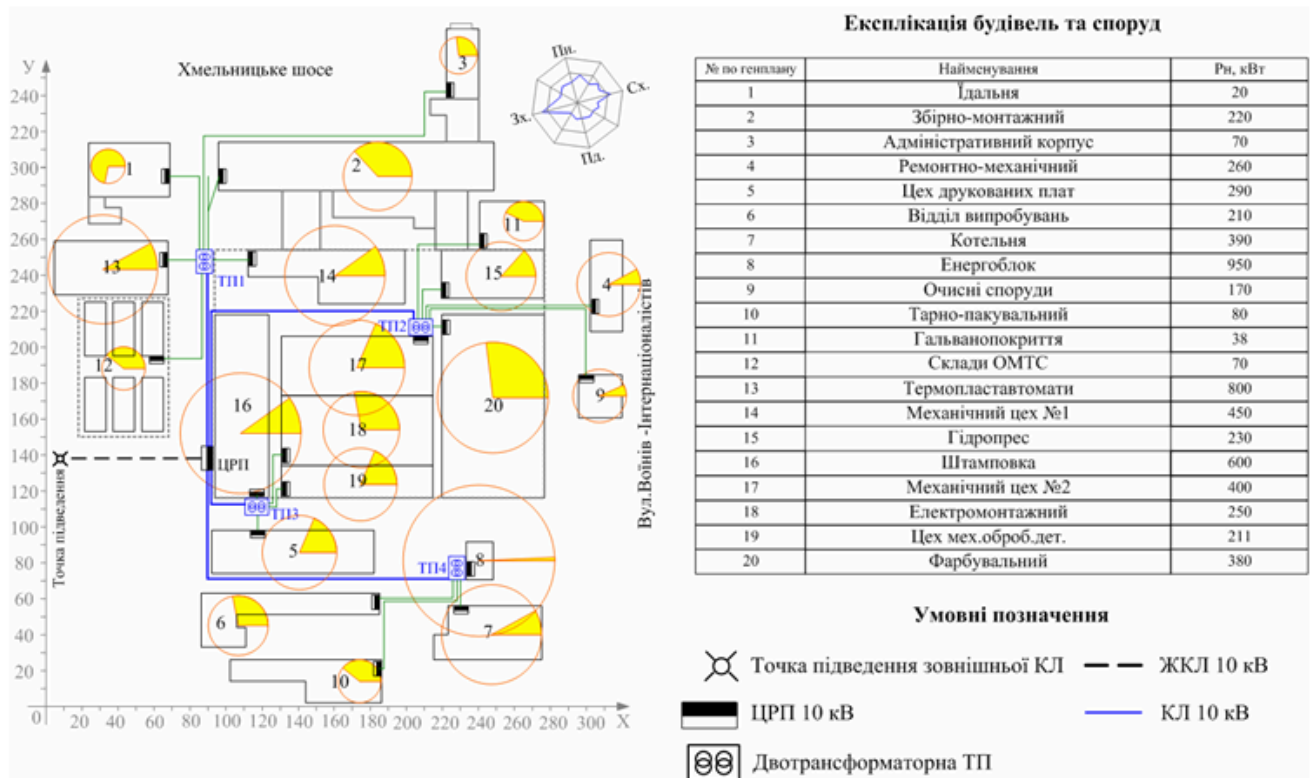
Предмет дослідження – система електропостачання ПАТ «Маяк».

Методи досліджень. У дипломній роботі використано загально прийняті методи розрахунку для електричних мереж.

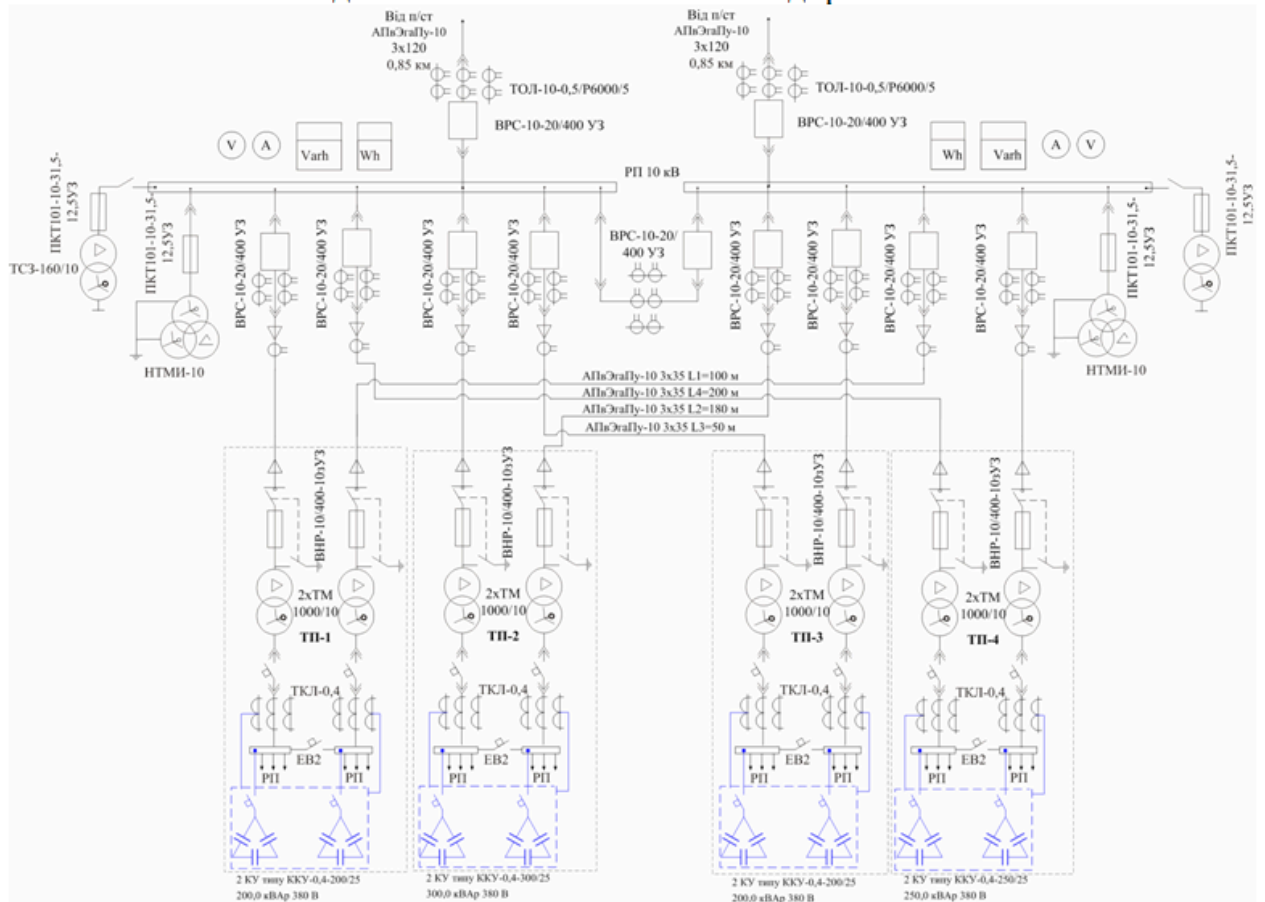
Наукова новизна. Розроблено інтелектуальну систему керування освітленням складського відділення ремонтно-механічного цеху, яка дозволяє максимально ефективно використовувати природне освітлення та адаптувати штучне освітлення відповідно до реальних потреб, що суттєво знижує споживання електроенергії. Проведено оцінку енергетичної ефективності та економічного ефекту від впровадження системи.

Практична цінність. Запропоновані проектні рішення можуть бути використані для модернізації освітлювальних систем ПАТ «Маяк» та інших промислових підприємств, що дозволить значно підвищити енергоефективність, знизити експлуатаційні витрати і поліпшити умови праці працівників.

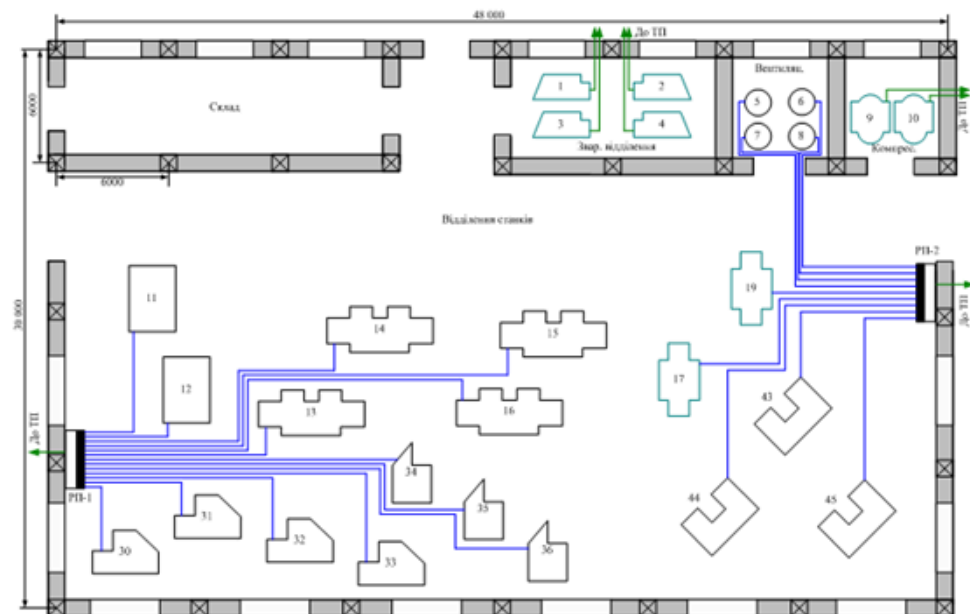
План підприємства із силовими розподільчими, та живильними мережами



Однолінійна схема живлення підприємства



План електропостачання цеху



Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху

№	ЗАХИСТ				ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ				№	Lp	ЗАХИСТ				ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ				СПОЖИВАЧІ				навантаж.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип			тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип	тип																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
PVL	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	2	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10-1425	136	33.75	61.25	PVL 1	4	E82 250/30 125A	125	125	1250	ABB 3-10

