

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування факультету)

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного

(повна назва кафедри)

менеджменту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

На тему: «Підвищення ефективності та надійності системи
електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю
«Кондитерський дім «Вацак»»

08-22.БДР.019.01 ПЗ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Шимко О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ

Степура О.В.

(прізвище та ініціали)

« 13 » верня

2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. Бурбело М.Й.

Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2025 р.

Рецензент доц., доц. каф. ЕСС, к.т.н.

Винищевський С.Д.
(прізвище та ініціали)

« 12 »

06

2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 року

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 14 Електрична інженерія

Освітній ступінь – бакалавр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма - Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф., Бурбело М.Й.

« 20 » 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шимку Олександр Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності та надійності системи електропостачання

Товариства з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак»

Керівник роботи Степура Олександр Васильович, к.т.н., доцент

Затверджені наказом по ВНТУ від « » 2025 року, №

2. Термін подання студентом роботи « » 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: генплан підприємства; план цеху із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень; основні техніко-економічні показники (Додаток А).

4. Зміст текстової частини

Анотація

Вступ

1. Загальні відомості про підприємство

1.1 Короткий опис технологічних процесів

1.2 Відомості про електроспоживачів та їх характеристика

2. Аналіз системи електропостачання підприємства

2.1. Розрахунок електричних навантажень

2.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

2.2.1 Розрахунок навантажень підприємства

2.2.2 Вибір і розміщення цехових ТП

2.2.3 Вибір схеми і основних елементів заводської мережі

2.3 Розрахунок струмів КЗ і перевірка прийнятих рішень

2.3.1 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі

- 2.3.2 Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1000 В
 2.3.3 Перевірка чутливості і селективності дії захисту цехових мереж
 3. Когенерація і відновлювальні енергетичні технології: перспективи продаж

електроенергії

- 3.1 Когенерація – комбіноване виробництво тепла та електроенергії
 3.2 Встановлення когенераційних установок на ТОВ «КД ВАЦАК»
 3.3 Встановлення сонячних електростанцій на ТОВ «КД ВАЦАК»

4. Охорона праці

- 4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту
 4.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць
 4.3 Пожежна безпека

ВИСНОВКИ

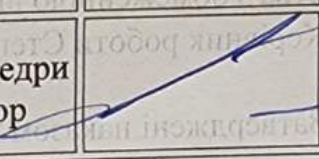
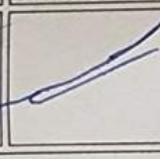
Список літератури

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

- Генплан підприємства із картограмою навантажень і розподільною мережею
- План цеху і силової мережі
- Розрахунково-монтажна таблиця
- Однолінійна схема електропостачання підприємства

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання «__» «__» 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примі
		початок	закінчення	
1	Аналіз системи електропостачання підприємства	10.03.2025	28.03.2025	
2	Аналіз енергоспоживання та формування СЕМ на підприємстві	22.04.2025	16.05.2025	
3	Охорона праці	17.05.2025	19.05.2025	
4	Графічна частина роботи	20.05.2025	30.05.2025	

Студент

(підпис)

Шимко О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської
дипломної роботи

(підпис)

Степура О.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шимко Олександр Володимирович. Підвищення ефективності та надійності системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак» Бакалаврська дипломна робота. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 82 с.

Бакалаврська робота присвячена дослідженню та впровадженню заходів, спрямованих на підвищення ефективності та надійності системи електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак». У роботі проаналізовано існуючий стан електропостачання підприємства, виявлено основні проблеми та чинники, що впливають на стабільність енергозабезпечення. Запропоновано комплекс технічних рішень для оптимізації роботи системи, зокрема модернізацію електрообладнання, впровадження енергоефективних технологій та резервних джерел живлення. Результати дослідження підтверджують доцільність запропонованих заходів, що дозволяє зменшити втрати електроенергії, підвищити надійність роботи виробництва та знизити експлуатаційні витрати. Робота має практичну цінність і може бути використана при модернізації електропостачальних систем на аналогічних підприємствах.

Рисунків – 13 Таблиць – 25 Бібліографій – 22

UDC 621.311

ABSTRACT

Shymko Oleksandr Volodymyrovych. Improving the Efficiency and Reliability of the Power Supply System of Limited Liability Company "Confectionery House Vatsak". Bachelor's Thesis. Specialty 141 – Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. – Department of ESEEM – Vinnytsia: VNTU, FEEEEEM, 2025 – 82 p.

This bachelor's thesis is devoted to the research and implementation of measures aimed at improving the efficiency and reliability of the power supply system of LLC "Confectionery House Vatsak". The current state of the enterprise's power supply system is analyzed, and the main problems and factors affecting the stability of power supply are identified. A set of technical solutions is proposed to optimize the system's performance, including the modernization of electrical equipment, the introduction of energy-efficient technologies, and the use of backup power sources. The research results confirm the feasibility of the proposed measures, which reduce energy losses, enhance the reliability of production processes, and lower operational costs. The work has practical value and can be applied in the modernization of power supply systems at similar enterprises.

Figures – 13 Tables – 25 References – 22

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Загальні відомості про підприємство	9
1.1 Короткий опис технологічного процесу	9
1.2 Відомості про споживання електричної енергії споживачів та їх характеристика	10
2. Аналіз системи електропостачання	13
2.1 Розрахунок електричних навантажень	13
2.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі	19
2.2.1 Розрахунок навантажень підприємства	22
2.2.2 Вибір і розміщення цехових ТП	23
2.2.3 Вибір схеми і основних елементів заводської мережі	23
2.3 Розрахунок струмів КЗ і перевірка прийнятих рішень.....	27
2.3.1 Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі	36
2.3.2 Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1000 В	38
2.3.3 Перевірка чутливості і селективності дії захисту цехових мереж.....	38
3. Когенерація і відновлювальні енергетичні технології: перспективи продажу електроенергії	42
3.1 Когенерація – комбіноване виробництво тепла та електроенергії.....	42
3.2 Встановлення когенераційних установок на ТОВ «КД ВАЦАК».....	43
3.3 Встановлення сонячних електростанцій на ТОВ «КД ВАЦАК».....	45
4. Охорона праці	51
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації і обслуговування електрообладнання	52
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	54
4.1.2 Електробезпека	54
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	56
4.2.1 Мікроклімат	56
4.2.2 Склад повітря робочої зони	58
4.2.3 Виробниче освітлення	58
4.2.4 Виробничий шум	58
4.3 Пожежна безпека	59
Висновок	60
Література	61
Додатки	65

ВСТУП

Актуальність роботи. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності проєктування та експлуатації систем електропостачання підприємств, особливо з урахуванням вибору електротехнічного обладнання, оптимального розташування трансформаторних підстанцій, побудови електричних мереж і забезпечення їх надійної роботи. Якісне та безперебійне електропостачання є ключовою умовою стабільного функціонування виробництва. Важливу роль у цьому процесі відіграє правильний вибір трансформаторів, ліній електропередач, автоматичних вимикачів та іншого комутаційно-захисного обладнання. У сучасних умовах особливої актуальності набуває інтеграція відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, а також застосування технологій когенерації, що дозволяють максимально ефективно використовувати енергетичні ресурси та підвищити енергонезалежність підприємства.

Мета роботи: Метою роботи є проєктування ефективної системи електропостачання для ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» з урахуванням вибору відповідного електротехнічного обладнання, схеми живлення, трас прокладання електромереж, розміщення трансформаторних підстанцій, а також розробка автономної сонячної електростанції для живлення окремого виробничого цеху.

Задачі роботи: У ході роботи було виконано основні завдання, зокрема визначено оптимальні схеми електропостачання, підбрано відповідну комутаційно-захисну апаратуру та провідники, а також розглянуто питання охорони праці та електробезпеки. Для досягнення поставлених цілей використовувалися методи загальної електротехніки та електроенергетики.

Об'єкт дослідження: Система електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак».

Предмет аналізу: Технічні рішення та процеси, що забезпечують надійну та ефективну роботу системи електропостачання підприємства з урахуванням використання відновлюваних джерел енергії та когенераційних технологій.

Короткий зміст: У роботі подано детальний аналіз навантаження виробничого цеху підприємства. На основі розрахунків визначено необхідну потужність, обґрунтовано вибір електротехнічного обладнання та оптимальні схеми електропостачання. Визначено місце розташування трансформаторної підстанції та розподільчих пристроїв. Окрему увагу приділено розробці автономної сонячної електростанції, яка дозволяє забезпечити часткову енергонезалежність цеху. Оцінено ефективність застосування гібридних джерел енергії для зменшення експлуатаційних витрат.

Наукова складова: Наукова новизна роботи полягає у застосуванні гібридної системи енергопостачання, що поєднує традиційні джерела електроенергії з відновлюваними – зокрема, сонячною електростанцією та генераторами, що працюють у режимі когенерації. Такий підхід дозволяє підвищити загальний коефіцієнт корисної дії енергосистеми підприємства, зменшити витрати на енергію та створити передумови для отримання економічного ефекту.

Практична цінність: Результати дослідження мають прикладне значення та можуть бути використані при розробці систем електропостачання для інших виробничих об'єктів. Запропоновані технічні рішення сприяють підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат та адаптації підприємств до сучасних вимог енергетичної безпеки та сталого розвитку.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

Товариство з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак» є одним із провідних підприємств вітчизняної харчової промисловості, що спеціалізується на виробництві кондитерських виробів. Засноване у 2001 році у місті Могилів-Подільський Вінницької області, підприємство за роки діяльності перетворилося на одного з лідерів українського ринку солодощів.

Основу продукційного асортименту складають торти, тістечка, рулети, печиво, зефір та інші вироби, виготовлені з натуральної сировини. Асортимент нараховує понад 200 найменувань продукції, включаючи як класичні, так і пісні вироби. Частина технологічного обладнання, яке використовується на виробництві, є власною розробкою підприємства, що забезпечує високу якість продукції та ефективність виробничого процесу.

Загальна площа виробничих потужностей перевищує 40 000 м². У 2021 році підприємство запустило в роботу нову сучасну фабрику, що стала черговим етапом розширення виробництва. Цехи оснащені сучасними лініями, які забезпечують автоматизоване виробництво на всіх етапах – від підготовки сировини до пакування готової продукції.

Завдяки активному розвитку роздрібної мережі, продукція під торговою маркою «Вацак» реалізується через широку мережу фірмових магазинів, яких на початок 2024 року налічувалося майже 1000 у різних регіонах України, а також за її межами – у Польщі, Словаччині, Молдові та Румунії. Система дистрибуції включає власний автопарк, що складається зі спеціалізованих транспортних засобів, завдяки чому забезпечується оперативне постачання продукції до торговельних точок.

Фінансові показники компанії демонструють динамічне зростання. За підсумками 2023 року дохід підприємства перевищив 790 мільйонів гривень, що свідчить про стійку позицію на ринку та ефективність управлінських рішень.

Окрему увагу компанія приділяє міжнародному співробітництву: продукція експортується до низки європейських країн, а також до США. Якість продукції підтверджена міжнародними сертифікатами відповідності, що відкриває нові можливості для експансії на іноземні ринки.

Також «Кондитерський дім «Вацак» активно реалізує соціальні та благодійні ініціативи, бере участь у проєктах підтримки місцевих громад і системно впроваджує екологічно орієнтовані підходи до виробництва.

1.1. Відомості про споживання електричної енергії споживачів та їх характеристика

На території ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» розташовано чотири основні виробничі цехи, кожен з яких виконує окрему технологічну функцію в процесі виготовлення кондитерської продукції, а також ряд допоміжних приміщень: прохідна, яка забезпечує контроль доступу на територію підприємства; фірмовий магазин для реалізації готової продукції, два серверні приміщення, що обслуговують IT-інфраструктуру та автомобільна стоянка, призначена для розміщення транспорту працівників і вантажного автопарку. Вся інфраструктура підприємства об'єднана в єдину систему електропостачання, яка розробляється з урахуванням специфіки та рівня енергоспоживання кожного об'єкта.

План підприємства наведено на рисунку 1. Варто відзначити, що ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» постійно розширюється та будує нові виробничі приміщення, тому наведений план відповідає актуальному стану станом на травень 2025 року.

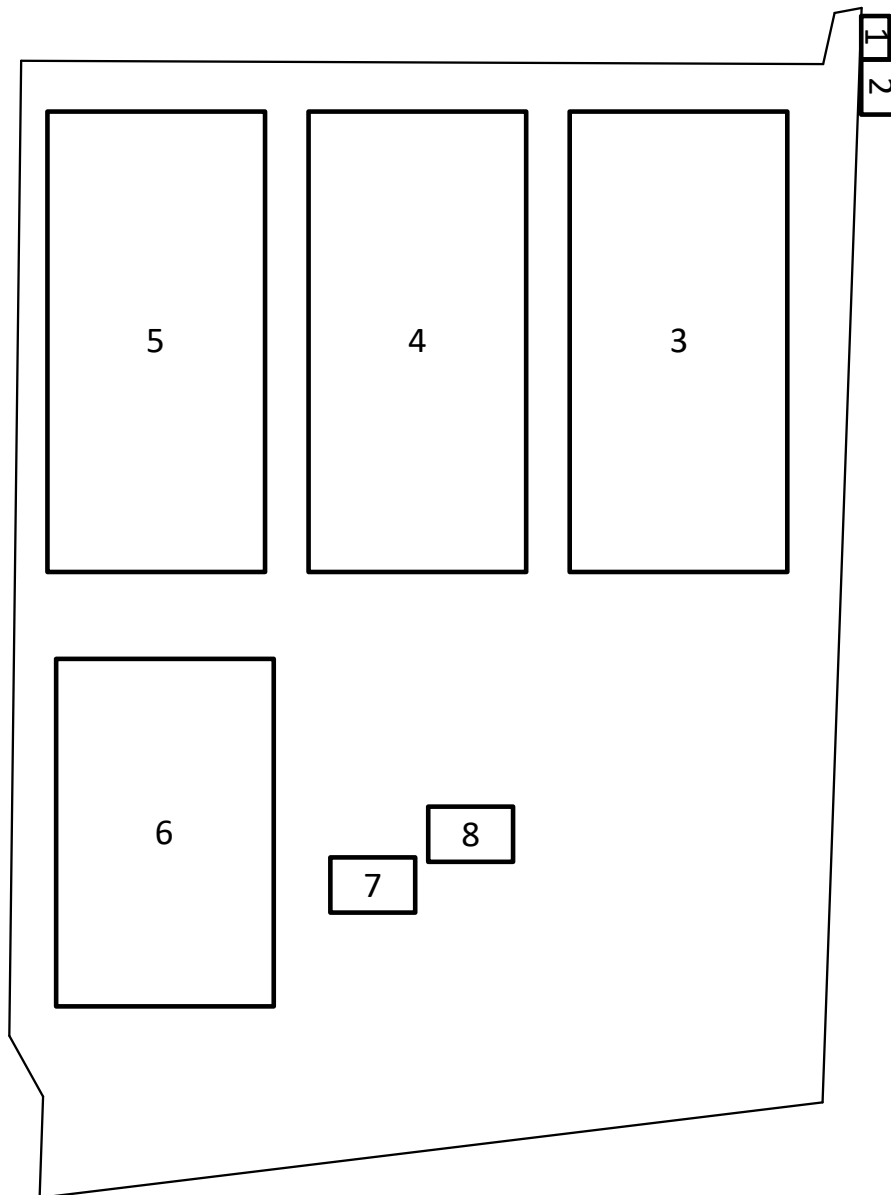


Рисунок. 1 – Генеральний план заводу «Кондитерський дім «Вацак»

Таблиця 1.1 – Склад цехів підприємства, кількість змін та потужність їх ЕП

Номер та назва приміщення	Кількість змін	Навантаження по кожному споживачу, кВт
1. Прохідна	3	5
2. Магазин		6
3. СТО		300
4. Виробничий цех №2		536,43
5. Виробничий цех №3		800
6. Виробничий цех №4		800
7. Серверне приміщення №1		600
8. Серверне приміщення №2		600
Всього: 3647,43 кВт		

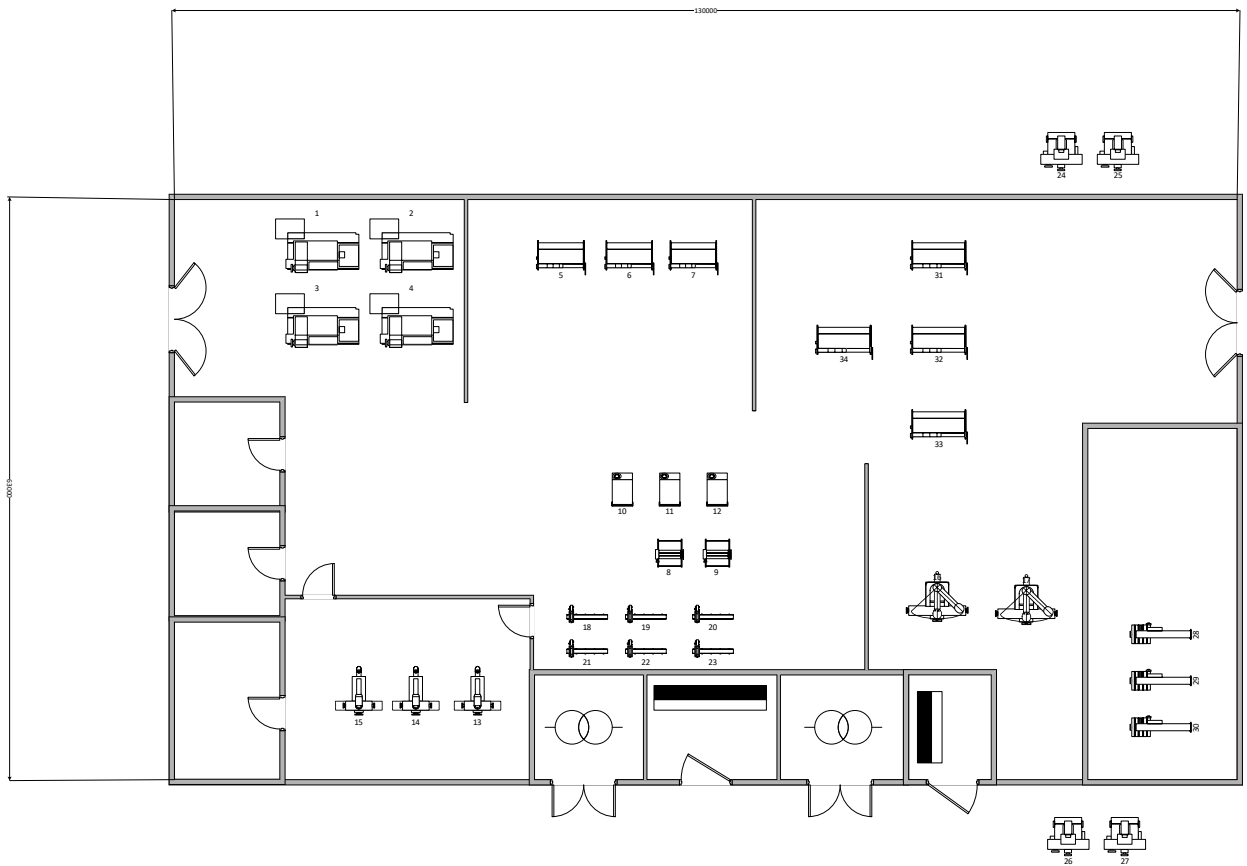


Рисунок 1.1 – План виробничого цеху № 4

Таблиця 1.2 – Відомості про електричне навантаження цеху споживання

№ на плані	ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ №4	Потужність споживачів цеху
		кВт
1-4	Тістомісильні машини	28,8
5-7	Тісторозкатувальні машини	14,4
8-9	Лінії для виробництва печива	48
9-12	Дозувальні машини	9,6
13-15	Печі електричні	144
16-17	Охолоджувальний тунель	28,8
18-23	Конвеєри стрічкові	9,6
24-27	Системи кондиціювання повітря	14,4
28-30	Електричні водонагрівачі	14,4
31-34	Формувальні автомати	15
-		

На рисунку 1.1 представлено структурно-планувальне рішення виробничого цеху, а в таблиці 1.2 систематизовано дані щодо встановленої потужності основних електроприймачів, що забезпечують технологічний процес.

2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Розрахунок електричних навантажень

Під час проєктування систем електропостачання проєктувальник спирається на ключові вихідні дані — активні та реактивні навантаження. Величина електричних навантажень безпосередньо впливає на вибір елементів системи електропостачання, налаштування захистів, необхідність компенсації реактивної потужності, способи регулювання напруги, а також на рівень витрат і втрат електроенергії.

Точність розрахунку навантажень є надзвичайно важливою: завищене навантаження призводить до необґрунтованого зростання капітальних витрат, а занижене — до зниження надійності роботи електропостачальної системи. Обидві ситуації спричиняють перевищення оптимального рівня витрат на систему електропостачання підприємства.

Усі електроприймачі поділяються на групи залежно від характеру їх роботи. У межах дипломної роботи виконується розрахунок навантаження для окремих груп електроприймачів, а також визначення сумарного навантаження на шинах 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції.

Алгоритм визначення розрахункового навантаження цеху включає вибір схеми цехової електромережі, враховуючи близькість трансформаторної підстанції або розподільчого пункту до споживачів, зокрема до тих, чия потужність перевищує 55 кВт і які підключаються безпосередньо до трансформаторної підстанції. У головному корпусі встановлено три розподільчі пункти, до яких електричне навантаження розподілено приблизно рівномірно.

Враховуючи компактне розташування електроприймачів у двох ділянках цеху, їх доцільно підключити до двох розподільчих пунктів.

ЕП: 1-4, 15-13, 18-23, 8-12, 26-27 живляться від РП-1;

ЕП: 5-7, 31-34, 16-17, 28-30, 24-25 живляться від РП-2;

Розподільчі пункти РП-1 та РП-2 отримують електроживлення від головного розподільчого пункту (ГРП), який розміщено безпосередньо в межах цього цеху.

На рисунку 3 представлено план електропостачання цеху. Постачання електроенергії до електроприймачів (ЕП) здійснюється через два розподільчі пристрої — РП-1 і РП-2, які приєднані до головного розподільчого пункту (ГРП).

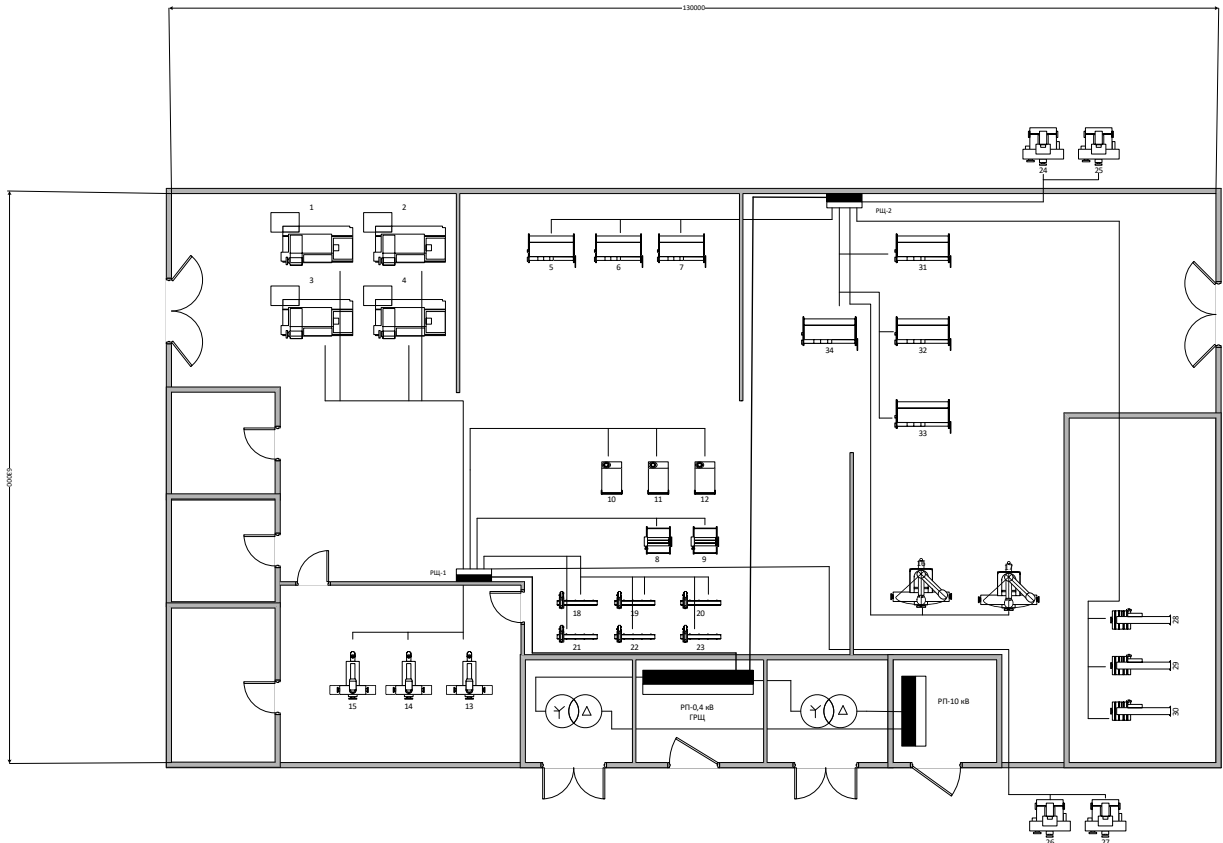


Рисунок 1.2 – План електропостачання виробничого цеху №2

Для виконання розрахунків застосовується таблична форма Ф636-92 відповідно до вимог РТМ 36.18.32.4-92. У випадках, коли електроприймачі (ЕП) або лінії живляться від двох чи трьох електроприймачів (рівень І), розрахункове навантаження приймається рівним їх номінальній потужності:

$$P_p = P_n, Q_p = P_n \cdot \tan(\varphi)_n; \quad (1.1)$$

Де P_n – номінальна активна потужність електроприймачів;

$\tan(\varphi)_n$ – коефіцієнт реактивної потужності номінальний;

Номінальні значення визначаються на основі паспортних характеристик електроприймачів. Якщо такі дані відсутні, для розрахунків приймаються орієнтовні значення: $\tan(\varphi)_H = 0,75$ для електроприймачів, що працюють у тривалому режимі, та $\tan(\varphi)_H = 0,87$ для електроприймачів із повторно-короткочасним режимом роботи.

Отже:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{T_{\text{пв.пасп}}} \quad (1.2)$$

Де $P_{\text{пасп}}$, $T_{\text{пв.пасп}}$ – це паспортні значення номінальної потужності та відносної тривалості повторного включення.

Визначимо навантаження в мережах з напругою до 1 кВ за допомогою відповідних формул:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} ; \quad (1.3)$$

$$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \tan(\varphi)_{Ci}, & \text{при } n_e \leq 10; \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \tan(\varphi)_{Ci}, & \text{при } n_e > 10; \end{cases} \quad (1.4)$$

Середні значення активної та реактивної потужностей:

$$P_c = K_B \cdot P_H ; \quad Q_c = P_c \cdot \tan(\varphi), \quad (1.5)$$

Обчислення групового коефіцієнта використання та ефективної кількості електроприймачів проводиться за такими формулами:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} ; \quad (1.6)$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} ; \quad (1.7)$$

Значення n_e округлюється до найближчого меншого цілого числа. Далі визначаємо коефіцієнт максимуму за таблицею 1: $K_p = f(K_B; n_e)$.

Значення повної розрахункової потужності визначається за формулою:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (1.8)$$

Значення розрахункового струму визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (1.9)$$

Де U_H – номінальна напруга, кВ.

Приклад розрахунку навантаження для тістомісів 1-4, що живиться від РП-1:

$$P_c = n \cdot K_B \cdot P_H = 4 \cdot 0,25 \cdot 28,4 = 28,4 \text{ [кВт]};$$

$$Q_c = P_c \cdot \tan(\varphi) = 28,4 \cdot 0,88 = 25,04 \text{ [кВАр]};$$

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = \frac{255,3}{742,4} = 0,34;$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} = \frac{70974,36}{742,4} = 7,76 \approx 7 \text{ [шт]};$$

Відповідно таблиці 2.1 [2, с.10] визначаємо коефіцієнт $K_p = 1,182$ і обчислюємо P_p для електроприймачів РП-1:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} = 255,34 \cdot 1,182 = 301,81 \text{ [кВт]};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \tan(\varphi)_{Ci} = 1,1 \cdot 199,94 = 219,94 \text{ [кВАр]};$$

Розрахуємо повну розрахункову потужність РП-1:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{301,81^2 + 219,94^2} = 373,45 \text{ [кВА]};$$

Розрахуємо розрахунковий струм РП-1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{373,45}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 568,07 \text{ [А]};$$

Аналогічним чином виконуємо розрахунок для всіх інших РП, результати заносимо в таблицю - 2.1.

Приведемо розрахунок по виробничому цеху:

$$P_H = \sum P_{Hi} = 960,8 \text{ [кВт]};$$

Груповий K_B та ефективне число ЕП:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = \frac{404,74}{960,8} = 0,42;$$

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} = \frac{960,8^2}{74882,08} = 12,3 \approx 12 \text{ [шт]};$$

Значення коефіцієнта розрахункового максимуму навантаження (K_M) для групи А головного корпусу згідно 1. [1] буде розраховано за формулою 1. Тепер ми визначаємо розрахункові значення активної, реактивної та повної потужностей для головного розподільного пункту (ГРП) протягом 10 хвилин.

$$P_M = K_M \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} = 1,04 \cdot 404,744 = 420,93 \text{ [кВт]};$$

$$Q_M = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \tan(\varphi)_{Ci} = 1,1 \cdot 302,29 = 332,52 \text{ [кВАр]};$$

Визначаємо повну розрахункову потужність корпусу:

$$S_M = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{420,93^2 + 332,52^2} = 536,43 \text{ [кВА]};$$

Визначаємо розрахунковий струм корпусу:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{536,43}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 815,99 \text{ [А]};$$

Аналогічно проводмо подальші розрахунки. Отримані результати розрахунків заносяться до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Визначення електричних навантажень у цеховій мережі

ЕП	Вихідні дані							Розрахункові величини			n _е	K _р	Розрахункові навантаження			
	Завдання технологів				Довідкові дані			n×K _В ×P _Н	n×K _В ×Q _Н	n×P _Н ²			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А
	Найменування ЕП	п	P _Н , кВт	п×P _Н , кВт	K _В	cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1-4	Тістомісильні машини	4	28,4	113,6	0,25	0,75	0,881917104	28,4	25,04644574	3226,24						
8-9	Лінії для виробництва печива	2	48	96	0,72	0,85	0,619744338	69,12	42,83672867	4608						
9-12	Дозувальні машини	3	9,6	28,8	0,25	0,75	0,881917104	7,2	6,349803147	276,48						
15-13	Печі електричні	3	144	432	0,25	0,75	0,881917104	108	95,2470472	62208						
18-23	Конвеєри стрічкові	6	9,6	57,6	0,54	0,8	0,75	31,104	23,328	552,96						
26-27	Системи кондиціювання повітря	2	7,2	14,4	0,8	0,85	0,619744338	11,52	7,139454778	103,68	7,765480302					
	Всього РП1 10 хв	20		742,4	0,343943966			255,344	199,9474795	70975,36	7	1,182	301,8166	219,9422275	373,453944	568,0771889
5-7	Тісторозкатувальні машини	3	14,4	43,2	0,75	0,85	0,619744338	32,4	20,07971656	622,08						
16-17	Охолоджувальний тунель	2	28,8	57,6	0,6	0,75	0,881917104	34,56	30,4790551	1658,88						
24-25	Системи кондиціювання повітря	2	7,2	14,4	0,8	0,85	0,619744338	11,52	7,139454778	103,68						
28-30	Електричні водонагрівачі	3	14,4	43,2	0,6	0,75	0,881917104	25,92	22,85929133	622,08						
31-34	Формувальні автомати	4	15	60	0,75	0,9	0,484322105	45	21,79449472	900	12,20936233					
	Всього РП2 10 хв	14		218,4	0,684065934			149,4	102,3520125	3906,72	12	1	149,4	102,3520125	181,0974723	275,4753153
	Всього ГРП 10 хв	34		960,8	0,421257286			404,744	302,299492	74882,08	12	1,04	420,9338	332,5294412	536,4336488	815,9927728
	Всього ГРП 2,5 год												0,9	364,2696	332,5294412	493,2222326
										ДЛЯ ГРП	12,32787123					

2.2. Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників

Під час вибору автоматичних вимикачів є ряд умов які повинні виконуватись, наприклад:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_M \quad (1.10)$$

$$I_{с.в} = K_H \cdot I_{\Pi} \quad (1.11)$$

Де $I_{н.розч}$ – номінальний струм розчіплювача;

$I_{с.в}$ – струм спрацювання відсічки;

$K_{відс}$ – коефіцієнт відстроювання встановлюється з урахуванням вимог до надійності селективної дії захисту від перевантажень, а також забезпечення його коректної роботи (спрацювання чи не спрацювання) під час пуску або автоматичного повторного ввімкнення.

I_M – розрахунковий струм;

K_H – коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

I_{Π} – пусковий струм.

Оберемо автомат для лінії від ГРП до РП-1.

Розрахунок розрахункового струму лінії виконується за наступною формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{373,45}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 568,07 \text{ [A];}$$

Пусковий струм орієнтовно визначається з урахуванням типу приводу:

$$I_{\Pi} = I_M - K_B \cdot I_{н.макс} + I_{п.макс} \quad (1.12)$$

Де $I_{н.макс}$, $I_{п.макс}$ – Номінальний та пусковий струми визначаються для електроприймачів із найбільшою потужністю, а коефіцієнт використання K_B характеризує ефективність їх використання.

$$I_{\Pi} = I_M - K_B \cdot I_{н.макс} + I_{п.макс} = 568,07 - 292,05 + 584,11 = 860,13 \text{ [A];}$$

Для захисту лінії від ГРП до РП-1 передбачається встановлення автоматичного вимикача серії Enext, оснащеного тепловим та електромагнітним

розчіплювачами. Після цього виконується розрахунок номінального струму розчіплювача та струму спрацювання захисту.

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_M = I_{н.розч} \geq 1,1 \cdot 630 = 693 \text{ [A]};$$

$$I_{с.в} = K_H \cdot I_{\Pi} = I_{с.в} \geq 9 \cdot 693 = 6237 \text{ [A]};$$

Виходячи з розрахованих струмів, обрано автоматичний вимикач e.industrial.ukm.630S.630 з такими параметрами: номінальний струм — 630 А, номінальний струм розчіплювача — 630 А (кратність 1), струм спрацювання відсічки — 693 А (кратність 3).

Аналогічно здійснюється підбір автоматичних вимикачів серії ЕВ із напівпровідниковим розчіплювачем для захисту ліній від трансформаторної підстанції (ТП) до РП-1 і РП-2. Для ліній, що з'єднують РП-1 з електроприймачами ЕП-1, ЕП-2 та ЕП-3, також обираються відповідні автоматичні вимикачі.

Розрахунковий струм для цієї лінії:

$$I_M = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos(\varphi)} = \frac{28,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75} = 57,6 \text{ [A]};$$

$$I_{\Pi} = 2 \cdot I_M = 2 \cdot 57,6 = 115,2 \text{ [A]};$$

Згідно з критеріями вибору автоматичних вимикачів, ми проведемо розрахунок струму розчіплювача та струму відсічки:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_M = I_{н.розч} \geq 1 \cdot 115,2 = 115,2 \text{ [A]};$$

$$I_{с.в} = K_H \cdot I_{\Pi} = I_{с.в} \geq 1,5 \cdot 115,2 = 172,8 \text{ [A]};$$

Для захисту ЕП-1 (тістоміси 1–4) обрано автоматичний вимикач серії e.industrial.ukm.100S.63 з такими характеристиками: номінальний струм вимикача — 63 А, номінальний струм розчіплювача — 115,2 А, струм спрацювання відсічки — 172,8 А.

Аналогічно здійснюється вибір автоматичних вимикачів для решти споживачів. Результати проведених розрахунків наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вибір комутаційно-захисної апаратури

Номер ЕП	Найменування ЕП	P _н , кВт	cosφ	I _м	I _п	№ РП	Тип	I _{ном} , А	I _{н.розч} , А	I _{св} , А
1-4	Тістомісильні машини	28,4	0,75	57,60065	115,2013	РП1	e.industrial.ukm.100S.63	63	69,3	1039,5
8-9	Лінії для виробництва печива	48	0,85	85,89989	171,7998	РП1	e.industrial.ukm.100S.100	100	110	1650
9-12	Дозувальні машини	9,6	0,75	19,47064	38,94128	РП1	e.mcb.stand.60.3.C20	20	22	330
15-13	Печі електричні	144	0,75	292,0596	584,1193	РП1	e.industrial.ukm.400S.300	300	330	4950
18-23	Конвектори стрічкові	9,6	0,8	18,25373	36,50745	РП1	e.mcb.stand.60.3.C20	20	22	198
24-27	Системи кондиціювання повітря	14,4	0,85	25,76997	51,53993	РП1	e.mcb.stand.60.3.C32	32	35,2	528
5-7	Тісторозкатувальні машини	14,4	0,85	25,76997	51,53993	РП1	e.mcb.stand.60.3.C32	32	35,2	528
16-17	Охолоджувальний тунель	28,8	0,75	58,41193	116,8239	РП2	e.industrial.ukm.100S.63	63	69,3	1039,5
28-30	Електричні водонагрівачі	14,4	0,75	29,20596	58,41193	РП2	e.mcb.stand.60.3.C32	32	35,2	528
31-34	Формувальні автомати	15	0,9	25,3524	50,7048	РП3	e.mcb.stand.60.3.C32	32	35,2	528
	РП1			568,0772	860,1368		e.industrial.ukm.630S.630	630	693	6237
	РП2			275,4753	333,8872		e.industrial.ukm.400S.300	300	330	2970
	ГРП			815,9928	1108,052		e.industrial.ukm.1000S.1000.3p	1000	1100	9900

В мережах з напругою до 1 кВ вибір перерізу провідників здійснюється з урахуванням допустимого рівня нагрівання.

$$I_{\text{доп}} \geq \begin{cases} I_m & \text{для нормальних приміщень;} \\ 1,25 \cdot I_m & \text{для побутових приміщень.} \end{cases} \quad (1.13)$$

Відповідно до вимог правил влаштування електроустановок, ми вибираємо такі методи прокладки ліній:

Для прокладки від ГПП до РП-1 - РП-3 використовується провід ВВГнг.

Для прокладки від РП-1 до ЕП-1 – 11 всі електроприймачі використовуються проводи ВВГнг.

При виборі перерізу проводу для прокладки від ГРП до РП-1, ми керуємося такою умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq I_m = 568,07 \text{ [A]};$$

Підбираємо переріз кабелю марки ВВГнг, прокладеного в трубі, таким чином, щоб допустимий тривалий струм перевищував 568,07 А, що відповідає перерізу 2×150 мм².

Аналогічним чином здійснюється вибір перерізів для інших провідників у мережі цеху. Після цього виконується перевірка втрати напруги в лінії, яка подає живлення до РП-1.

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{пит}} + Q_p \cdot X_{\text{пит}}}{U_H} \cdot 1 = 6,35 \text{ [В]};$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100\% = 1,67 \text{ [\%]};$$

Згідно з вимогами ГОСТ 13109-37, допустиме відхилення напруги не повинно перевищувати 5%. Враховуючи це, для живлення РП-1 обираємо кабель ВВГнг перерізом 2×150 мм². Для інших споживачів проводимо аналогічні розрахунки та визначаємо відповідний живильний кабель. Усі отримані результати розрахунків заносяться до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Вибір провідників

Номер ЕП	Найменування ЕП	P _н , кВт	cosφ	I _м	I _{н.розч} , А	№ РП	Тип	Переріз	I _{доп}
1-4	Тістомісильні машини	28,4	0,75	57,60065	69,3	РП1	ВВГнг	25	88,35
8-9	Лінії для виробництва печива	48	0,85	85,89989	110	РП1	ВВГнг	35	111,6
9-12	Дозувальні машини	9,6	0,75	19,47064	22	РП1	ВВГнг	6	39,06
15-13	Печі електричні	144	0,75	292,0596	330	РП1	ВВГнг	150	358,05
18-23	Конвесери стрічкові	9,6	0,8	18,25373	22	РП1	ВВГнг	4	32,55
24-27	Системи кондиціонування повітря	14,4	0,85	25,76997	35,2	РП1-РП2	ВВГнг	4	32,55
5-7	Тісторозкатувальні машини	14,4	0,85	25,76997	35,2	РП1	ВВГнг	4	32,55
16-17	Охолоджувальний тунель	28,8	0,75	58,41193	69,3	РП2	ВВГнг	16	69,75
28-30	Електричні водонагрівачі	14,4	0,75	29,20596	35,2	РП2	ВВГнг	6	39,06
31-34	Формувальні автомати	15	0,9	25,3524	35,2	РП2	ВВГнг	6	39,06
	РП1			568,0772	400		ВВГнг	2х150	716,1
	РП2			275,4753	80		ВВГнг	150	358,05
	ГРП			815,9928	630		ВВГнг	2х240	930

Таблиця 1.4 – Втрати напруги:

Номер ЕП	Найменування ЕП	P _н , кВт	cosφ	I _м	Тип	Переріз	G _{пит} Ом/км	L, м	dU, В	dU, %
1-4	Тістомісильні машини	28,4	0,75	57,60065	ВВГнг	25	0,727	32	8,6767879	2,283365
8-9	Лінії для виробництва печива	48	0,85	85,89989	ВВГнг	35	0,524	24	8,2274299	2,165113
9-12	Дозувальні машини	9,6	0,75	19,47064	ВВГнг	6	3,06	21	8,523098	2,242921
15-13	Печі електричні	144	0,75	292,0596	ВВГнг	150	0,124	22,5	7,7682349	2,044272
18-23	Конвесери стрічкові	9,6	0,8	18,25373	ВВГнг	4	4,65	18	9,0017086	2,368871
24-27	Системи кондиціонування повітря	14,4	0,85	25,76997	ВВГнг	4	4,65	16	9,6754547	2,546172
5-7	Тісторозкатувальні машини	14,4	0,85	25,76997	ВВГнг	4	4,65	12	8,8462287	2,327955
16-17	Охолоджувальний тунель	28,8	0,75	58,41193	ВВГнг	16	1,15	14	1,6269474	0,428144
28-30	Електричні водонагрівачі	14,4	0,75	29,20596	ВВГнг	6	3,06	24	10,69353	2,814087
31-34	Формувальні автомати	15	0,9	25,3524	ВВГнг	6	3,06	42	12,619719	3,320979
	РП1			568,0772	ВВГнг	2х150	0,062	14	6,3585507	1,673303
	РП2			275,4753	ВВГнг	150	0,124	25	6,9828774	1,837599
	ГРП			815,9928	ВВГнг	2х240	0,0375	104	5,5055032	1,448817

Відсоткове значення втрат напруги знаходиться в межах допустимих норм, тому необхідність у зміні перерізу провідників відсутня.

2.3. Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

2.3.1. Розрахунок навантажень підприємства

Зобразимо генплан ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» на рисунку 2.1.

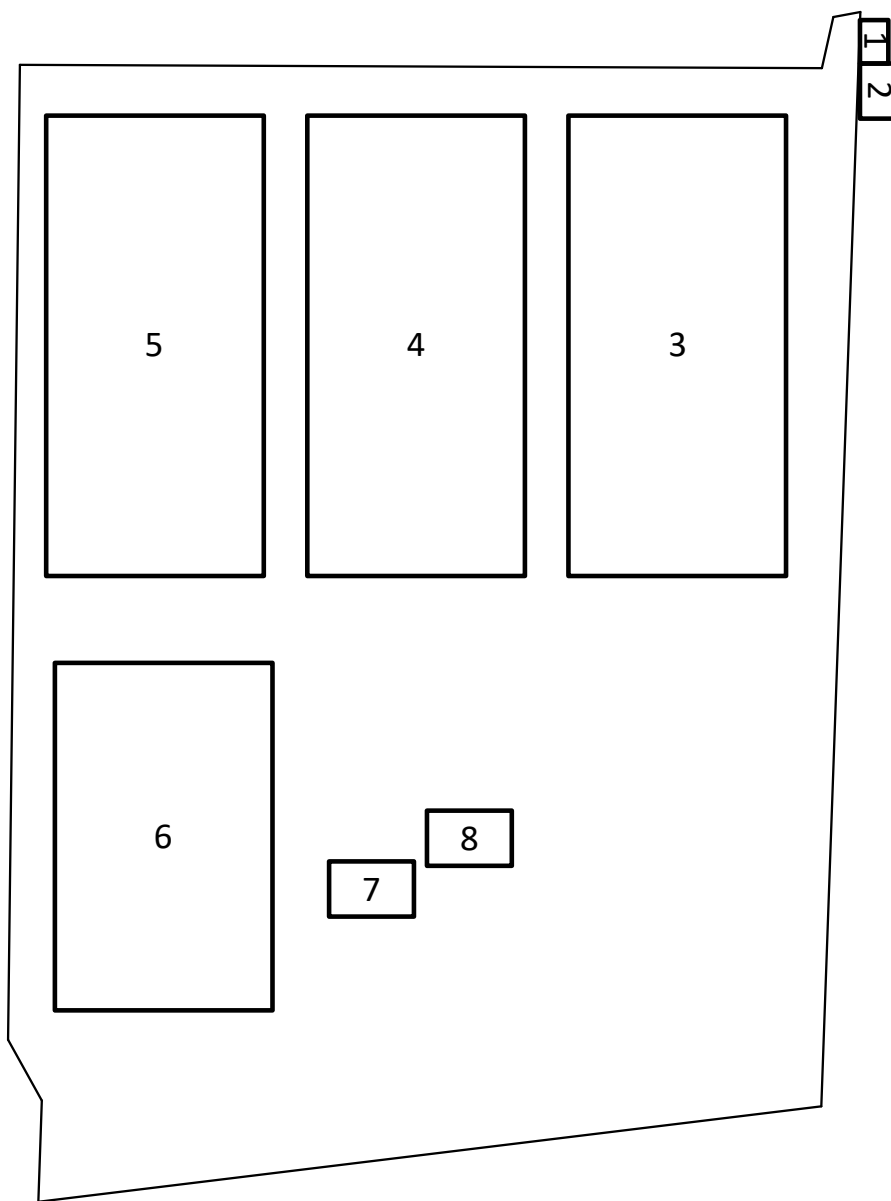


Рисунок. 2.1 - ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»

Виконаємо розрахунок силового навантаження головного корпусу ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»

$$P_c = K_{\Pi} \cdot P_n ; Q_c = P_c \cdot \tan(\varphi) \quad (2.1)$$

Де K_{Π} – коефіцієнт попиту;

$P_{уст}$ – загальна встановлена потужність корпусу, кВт.

Розрахунок потужності електричного освітлення здійснюється з урахуванням питомої густини освітлювального навантаження на 1 м² корисної площі виробничих приміщень. Вибір типу освітлювальних приладів залежить від характеристик приміщення, виду виконуваних робіт та висоти стелі. Для цього можуть застосовуватися люмінесцентні лампи, джерела розсіяного світла (ДРЛ) або лампи розжарювання.

Для освітлення магазину обрано люмінесцентні лампи, оскільки висота стелі в даному корпусі не перевищує 3 метрів.

$$P_O = P_{\text{пит.о}} \cdot K_{\text{п.о}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot F \quad (2.2)$$

І відповідно:

$$Q_O = P_O \cdot \tan(\varphi) \quad (2.3)$$

Де P_p^o – потужність освітлення, визначена для ділянки, виражається в кіловатах (кВт).

Q_p^o – реактивна потужність, необхідна для освітлення ділянки, вимірюється в кіловольт-амперах реактивних (кВАр).

$P_{\text{пит}}^o$ – питомий показник освітлювального навантаження, кВт/м²

$K_{\text{п.о}}$ – коефіцієнт використання освітлювального навантаження [1];

$K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі [1];

F – площа цеху, м².

Розрахуємо освітлювальне навантаження:

$$P_O = P_{\text{пит.о}} \cdot K_{\text{п.о}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot F = 0,015 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 20 = 0,24$$

$$Q_O = P_O \cdot \tan(\varphi) = 0,24 \cdot 0,48 = 0,10$$

Результуюча потужність складатиме:

$$P_p = P_c + P_o = 2,5 + 0,24 = 2,74 \text{ [кВт]};$$

$$Q_p = Q_c + Q_o = 1,21 + 0,1 = 1,31 \text{ [кВАр]};$$

Повна розрахункова потужність визначається по формулі:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.4)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2,74^2 + 1,31^2} = 3,03 \text{ [кВА]};$$

Для інших цехів розрахунки виконуємо аналогічно і заносимо результати в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 Сумарне навантаження підприємства

Номер цеху	Назва цеху	кількість змін	Силове навантаження							Освітлювальне навантаження							Сумарне навантаження			
			P _н , кВт	K _п	cos	tg	P _с , кВт	Q _с , кВАр	F, м ²	P _{пит.о} Вт/м2		K _{по}	K _{пра}	P _о , кВт	Q _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	S _{пит.} , кВт/м ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Прохідна	3	5	0,5	0,9	0,484322	2,5	1,210805	20	0,015		0,8	1	0,24	0,1032	2,74	1,314005	3,038784268		
2	Магазин		6	0,4	0,8	0,75	2,4	1,8	20	0,02		0,8	1	0,32	0,1376	2,72	1,9376	3,339564906		
3	СТО		300	0,25	0,75	0,881917	75	66,14378	1400	0,01		0,6	1,1	9,24	3,9732	84,24	70,11698	109,6027777		
4	Виробничий цех №2		800	0,6	0,8	0,75	480	360	1400	0,02		0,95	1	26,6	11,438	506,6	371,438	628,1797098		
5	Виробничий цех №3		800	0,5	0,85	0,619744	400	247,8977	1400	0,01		0,8	1,1	12,32	5,2976	412,32	253,1953	483,8549992		
6	Виробничий цех №4		327	0,65	0,7	1,020204	212,55	216,8444	1000	0,02		0,95	1	19	8,17	231,55	225,0144	322,8728398		
7	Серверне приміщення №1		600	0,45	0,85	0,619744	270	167,331	200	0,01		0,95	1,1	2,09	0,8987	272,09	168,2297	319,897156		
8	Серверне приміщення №2		600	0,33	0,65	1,16913	198	231,4877	200	0,02		0,8	1	3,2	1,376	201,2	232,8637	307,7448942		
	Всього 0,4 кВ		3438						5640							1713,46	1324,11	2165,458717	0,38394658	
	Всього по підприємству		3433						5640							1713,46	1324,11	2165,458717		
														К.о.	0,95					

2.3.2. Вибір і розміщення цехових ТП

Виконаємо розрахунок сумарної розрахункової потужності всіх цехів, електрообладнання яких працює при напрузі 0,4 кВ.

$$S_{\Sigma i} = \sum_{i=1}^n \sqrt{P_{\Sigma i}^2 + Q_{\Sigma i}^2}; \quad (2.5)$$

Де S_i – розрахункова потужність цеху у кіловольт-амперах (кВА)

$$S_{\Sigma} = 2165,45 \text{ [кВА]};$$

Визначаємо площу кожного окремого цеху та обчислюємо загальну площу всіх цехів:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i; \quad (2.6)$$

Де F_i – площа і-того цеха, в м^2 .

$$F_{\Sigma} = 5640 \text{ м}^2;$$

Розрахуємо коефіцієнт економічної потужності трансформаторів, який визначається на основі питомої густини електричного навантаження:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{2165,45}{5640} = 0,38 \text{ [кВА]};$$

Оскільки ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» належить до споживачів третьої категорії надійності електропостачання, однак перерва в живленні може призвести до втрат готової продукції, доцільно розглянути два варіанти будівництва трансформаторних підстанцій із такими номінальними потужностями: – $2 \times 2 \times 630$ кВА, – $2 \times 1 \times 1000$ кВА та $2 \times 1 \times 1600$ кВА.

Варіант 1: Підстанція, обладнана двома трансформаторами номінальною потужністю по 630 кВА.

Визначаємо економічне число підстанцій:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ном.тр}} \cdot k_3} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт завантаження трансформаторів двотрансформаторної підстанції при переважанні споживачів II та III категорії надійності електропостачання позначається як k_3 і має значення в діапазоні 0,7 - 0,8.

$$N_{ek} = \frac{2165,45}{2 \cdot 630 \cdot (0,7 \div 0,8)} = 2,45 \div 2,14 \text{ [шт]}.$$

Варіант 2: $S_{ek} = S_{ном. TP} = 630 \text{ кВА}.$

Отже, доцільно встановити дві двотрансформаторні підстанції.

Виконаємо розподіл трансформаторних підстанцій між цехами та визначимо їх фактичні коефіцієнти завантаження. Результати розрахунків подано в таблицях 2.2 та 2.2.1.

Таблиця 2.2 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

ПС-1 2х630					
Варіант 1					
ЦТП1 2х630	№ Цеху	Назва цеху	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
	1	Прохідна	2,74	1,314005262	3,03878427
	2	Магазин	2,72	1,9376	3,33956491
	3	СТО	84,24	70,11698278	109,602778
	4	Виробничий цех №2	506,6	371,438	628,17971
Всього			596,3	444,806588	743,926469
Коефіцієнт завантаження					0,59041783
ПС-2 2х630					
ЦТП2 2х630	№ Цеху	Назва цеху	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
	5	Виробничий цех №3	412,32	253,1953354	483,854999
	6	Виробничий цех №4	231,55	225,0143732	322,87284
	7	Серверне приміщення №1	272,09	168,2296714	319,897156
	8	Серверне приміщення №2	201,2	232,863651	307,744894
Всього			643,87	478,2097086	802,030612
Коефіцієнт завантаження					0,63653223

Виконаємо розподіл трансформаторних підстанцій між цехами та визначимо їх фактичний коефіцієнт завантаження для варіанту моделі №2.

Таблиця 2.2.1 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

ПС 1х(2х630) + 1х(1х1000)					
Варіант 2					
ЦТП1 1х1000	№ Цеху	Назва цеху	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
	1	Прохідна	2,74	1,314005262	3,03878427
	2	Магазин	2,72	1,9376	3,33956491
	7	Серверне приміщення №1	272,09	168,2296714	319,897156
	8	Серверне приміщення №2	201,2	232,863651	307,744894
Всього			478,75	404,3449276	626,654915
Коефіцієнт завантаження					0,62665492

Варіант 2(2)					
ЦТП2 1х1600	№ Цеху	Назва цеху	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
	3	СТО	84,24	70,11698278	109,602778
	4	Виробничий цех №2	506,6	371,438	628,17971
	5	Виробничий цех №3	412,32	253,1953354	483,854999
	6	Виробничий цех №4	231,55	225,0143732	322,87284
Всього			1234,71	919,7646914	1539,63498
Коефіцієнт завантаження					0,96227186

У цьому випадку, проаналізувавши обидва варіанти, надаємо перевагу варіанту 1, оскільки він забезпечує більш оптимальний коефіцієнт завантаження трансформаторів з урахуванням потенційного зростання енергоспоживання підприємства, а також характеризується нижчими втратами потужності в трансформаторних підстанціях. Далі виконаємо техніко-економічне порівняння обох варіантів розподілу трансформаторних підстанцій між цехами..

$$Z = (E_n + E_a) \cdot K + m \cdot \Delta P_p + Z_{\text{пер}} \quad (2.8)$$

Де E_n – типовий (базовий) показник рентабельності інвестицій, $E_n = 0,1$;

E_a – частка відрахувань на амортизацію для трансформаторних підстанцій напругою 10–750 кВ становить 0,036, що відповідає 3,6% від загальної суми коштів, призначених для покриття амортизаційних витрат. K – капітальні затрати на спорудження ТП;

m – щорічні втрати на кожен кіловат потужності.

ΔP_p – частка максимальних втрат потужності в трансформаторах трансформаторної підстанції.

$Z_{\text{пер}}$ – частка втрат, спричинених перервою електропостачання заводу.

Параметри трансформаторів буде узагальнено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри трансформаторів які порівнюються

Характеристики трансформаторів	uk, %	P _k , кВт	P _{хх} , кВт	Ціна ПС на 2г. тис грн.
TM630	5,5	8,5	1,01	1000
TM1000	5,5	10,6	1,4	1200
TM1600	6	16	2,05	1400

Розрахуємо втрати активної потужності в трансформаторах та оцінемо їх вартість:

$$\Delta P_{\text{ТП}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}}(k_3)^2 \quad (2.9)$$

Де n – кількість т-рів

k_3 – показник навантаження трансформаторів

ΔP_{xx} – втрати холостого ходу, кВт;

$\Delta P_{\text{к}}$ – втрати короткого замикання, кВт.

Варіант 1:

Табл 2.4 – Розрахунок втрат відповідно вибраних варіантів:

Варіант 1						
№ ЦПТ	кт	S _{ном}	S _р , кВА	dP, кВт	dW, кВт*год	Суммарні
ЦПТ1	2	630	743,9264687	11,97069106	34799,12345	77285,9232
ЦПТ2	2	630	802,0306118	13,9136505	42486,79971	

Варіант 2:

Табл 2.4.1 – Розрахунок втрат відповідно вибраних варіантів:

Варіант 2						
№ ЦПТ	кт	S _{ном}	S _р , кВА	dP, кВт	dW, кВт*год	Суммарні
ЦПТ1	1	1000	626,6549154	2,913807162	36542,08381	115218,65
ЦПТ2	1	1600	1539,63498	3,974713937	78676,56623	

Для системи з резервуванням, що має два незалежні джерела електроенергії, плановий та аварійний недовідпуск електроенергії дорівнює нулю. Це свідчить про те, що система гарантує безперебійне електропостачання в усіх умовах, як при планових роботах, так і в аварійних ситуаціях, без жодних перерв у подачі електроенергії.

$$Z_{\text{ПЕР}} = Z_{\text{ПЕР.А}} \cdot W_{\text{А}} + Z_{\text{ПЕР.П}} \cdot W_{\text{П}} = 0 \quad (2.10)$$

де, $Z_{\text{ПЕР.А}}$, $Z_{\text{ПЕР.П}}$ – Питомі складові збитків від аварійного та планового недовідпусків електроенергії відображають відносний розмір втрат, що виникають унаслідок таких перерв у постачанні електроенергії.

$W_{\text{А}}$, $W_{\text{П}}$ – середньорічні показники аварійного та планового недовідпусків електроенергії відображають їх середнє значення за рік. Для обох варіантів розраховано капітальні та загальні витрати, які наведені у відповідній таблиці.

Табл 2.5 – Розрахунок капіталовкладень відповідно вибраних варіантів:

Розрахуємо вигідність						
Варіант 1				Варіант 2		
Капіталовкладення	2000	Тис грн		Капіталовкладення	2600	Тис грн
Втрати	77285,92	кВт*год		Втрати	115218,65	кВт*год
Затрати:						
Затрати	386,43	тис грн		Затрати	576,093729	тис грн

Для подальших розрахунків обираємо варіант 1, оскільки він передбачає значно нижчі витрати на спорудження трансформаторної підстанції з трансформаторами ТМ-630/10. Щоб визначити оптимальне розташування ТП та ЦРП, проведемо побудову картограми навантажень, яка дозволить визначити центр електричних навантажень на підприємстві. Картограма будується на основі генерального плану підприємства, де кожен цех відображається у вигляді кола, площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності.

$$P_p = m_p \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2.11)$$

Обираємо масштаб для побудови картограми навантажень із урахуванням кратності 1, 2 та 5. Для цього визначаємо радіус кола навантаження головного корпусу як 50 м. Використовуючи це значення, встановлюємо масштаб побудови, що забезпечує правильну пропорційність відображення навантажень.

$$m_p = \frac{P_p}{\pi \cdot r^2} \quad (2.12)$$

Де P_p – розрахункова активна потужність цеха, кВт;

r – радіус круга навантаження, м.

Визначимо масштаб побудови для головного корпусу, спираючись на заданий радіус круга навантаження в 50 метрів. Це дозволить встановити адекватний масштаб, який забезпечить пропорційне відображення головного корпусу на картограмі навантажень:

$$m_p = \frac{384,061}{\pi \cdot 50^2} = 0,048 \approx 0,05 \left[\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right].$$

Приймаємо $m_p = 0,05 \text{ кВт/м}^2$. Обчислимо радіус круга відповідно до обраного масштабу:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{384,061}{\pi \cdot 0,05}} = 49,45 \text{ [м]}.$$

Сектор освітлювального навантаження для цеху №4 включає такі складові:

$$\alpha_1 = \frac{360 \cdot P_{mo}}{P_p} = \frac{360 \cdot 3,52}{384,061} = 3,48^\circ$$

Аналогічні розрахунки по інших цехах зводимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.6 – Дані для побудови картограми навантажень

№пп	Цех	Координати цехів		$P_{M,k}$	$P_{M.O,k}$	r_k	α
		$X_k, \text{м}$	$Y_k, \text{м}$	кВт	кВт	м	град
1	Прохідна	18,48	114,2	2,74	0,24	4,177587	31,53285
2	Магазин	38,6	114,2	2,72	0,32	4,162312	42,35294
3	Виробничий цех №1	29,4	100,3	84,24	9,24	23,16378	39,48718
4	Виробничий цех №2	79,2	102,96	506,6	26,6	56,8045	18,90249
5	Виробничий цех №3	93,25	76,56	412,32	12,32	51,24687	10,75669
6	Виробничий цех №4	119,9	102,96	231,55	19	38,40366	29,54006
7	Серверне приміщення №1	144,3	102,96	272,09	2,09	41,63001	2,765261
8	Серверне приміщення №2	118,8	130,7	201,2	3,2	35,79844	5,725646
				1713,46	73,01		

Визначаємо положення центру навантажень (координати центру):

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{15} P_p \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{12} P_p} = \frac{172131,8}{1713,46} = 100,45 \text{ [м]}.$$

Де $P_{p,i}$ – розрахункова активна потужність цеха, кВт;

X_i – координата по осі абсцис цеху, м.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{15} P_p \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{12} P_p} = \frac{170951,2}{1713,46} = 99,76 \text{ [м]}.$$

Де Y_i – координата по осі ординат цеха, м.

Відповідно до розрахованих координат розміщуємо центр електричних навантажень (ЦЕН) та виконуємо побудову картограми навантажень. Схематичне зображення картограми представлено на рисунку 2.2.

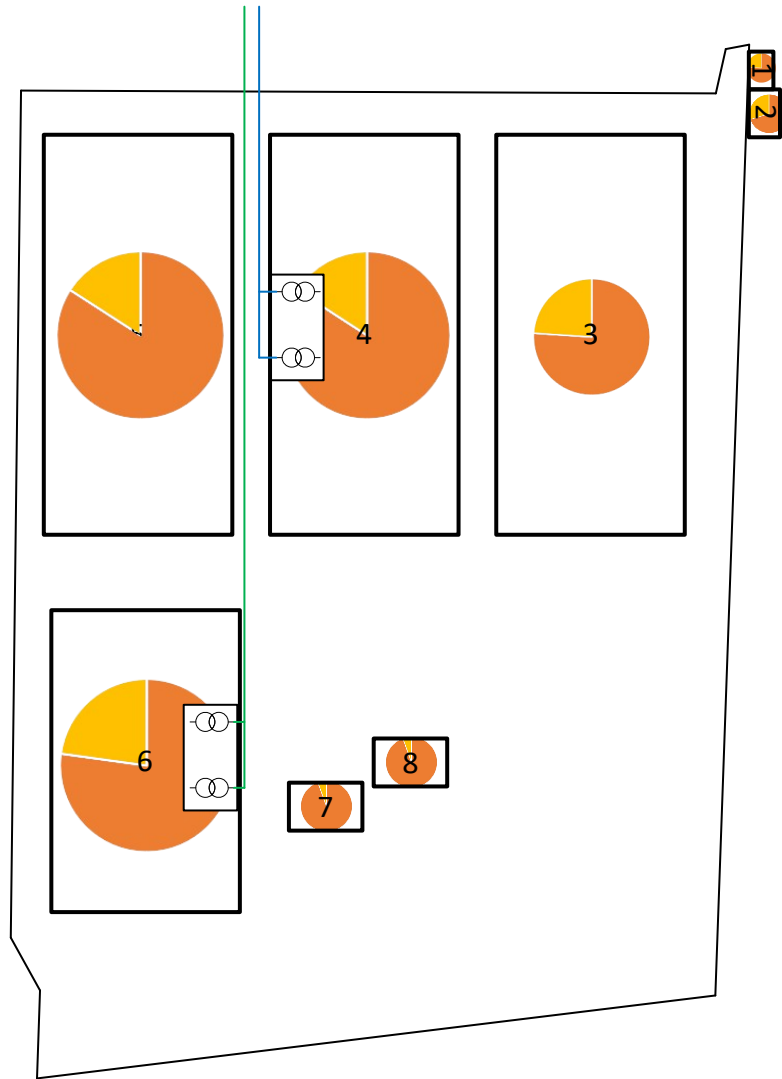


Рисунок. 2.2 – Картограма навантажень заводу

2.3.3. Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Обираємо радіальну схему електропостачання з напругою 10 кВ. Для високовольтних вимикачів вибираємо їх номінальну напругу та розрахунковий струм, враховуючи можливість післяаварійних режимів та нерівномірного розподілу струмів між лініями та секціями шин.

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}, \quad (2.13)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{м.ав}} \quad (2.14)$$

Розрахуємо струм для живлячої лінії:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1677,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 96,6 \text{ [A]}.$$

Для електричних мереж з напругою 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі типу ВРС-10/630 для встановлення на відповідній стороні. Їхній номінальний струм, $I_{ном.в}$, становить 630 А, що відповідає встановленим вимогам. Час власного відключення вимикача — 0,015 с.

Оскільки існує можливість живлення підприємства на рівні 10 кВ, для забезпечення електропостачання використовуємо кабелі типу АСБЛ, прокладені в траншеях. Підбір перерізу жил кабелів здійснюємо відповідно до економічної густини струму. Наприклад, для живлення ділянки С –ТП2 обираємо кабель АСБЛ-10 з перерізом $3 \times 35 \text{ мм}^2$, при цьому допустимий струм становить $I_{доп} = 132 \text{ А}$ [2]. За аналогією, підбираємо кабелі для інших приєднань, керуючись тим же принципом, і фіксуємо отримані дані в таблиці 2.7. Номінальний струм вимикача $I_{ном.в}$ становить 630 А, що задовольняє умову $I_{ном.в} \geq I_{м.ав}$.

$$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{доп_{пасп}} = 140,24 ; \quad (2.15)$$

Розрахуємо I_{max} для всіх режимів роботи (нормального і післяаварійного) режиму.

Визначимо струми нормального та післяаварійного режимів для лінії ТП2-ТП-1:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{743,92}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 21,50 [\text{А}];$$

$$I_{п.а.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{802,03}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 23,18 [\text{А}];$$

Таблиця 2.7 – Вибір вимикачів та кабелів 10 кВ:

Ділянка	$I_{р_н}$, А	$I_{р_па}$, А	Вимикач	$I_{н.в}$, А	Лінія Живлення		$I_{доп}$, А
					Тип	Переріз	
С-ТП-1	21,500765	43,00153	ВРС-10/630	630	АСБЛ-10	3х16	74
С-ТП-1	23,1800755	46,360151	ВРС-10/630	630	АСБЛ-10	3х16	74

Зобразимо одколійну схему електропостачання заводу.

Схема однолинейна
10 кВ

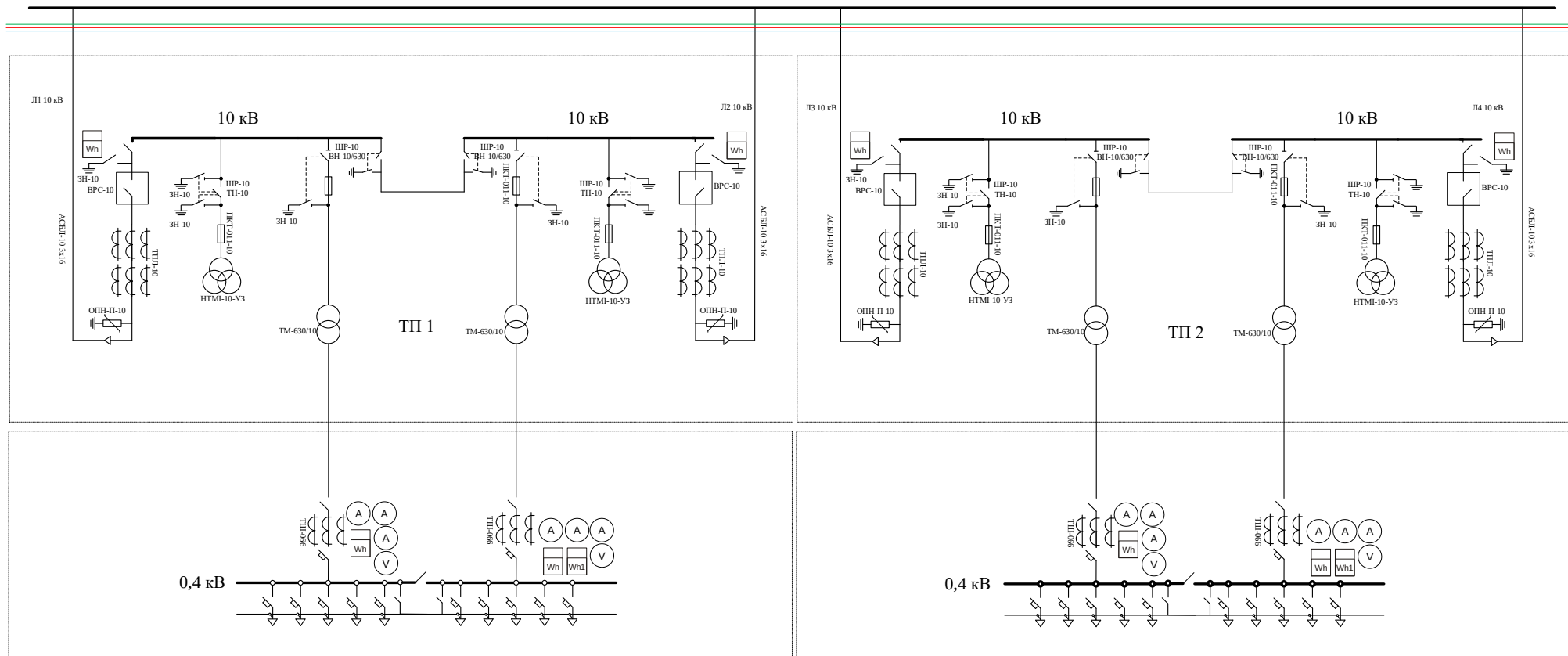


Рис. 2.2.1 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

2.3.4. Розрахунок струмів кз і перевірка отриманих рішень

2.3.4.1. Розрахунок струмів КЗ загальнозаводської мережі

Для підтвердження правильності вибору вимикачів і провідників виконуємо розрахунок струмів короткого замикання. Зокрема, розрахуємо струм короткого замикання в контрольній точці К1 з метою перевірки параметрів живильної лінії.

Розрахункова схема та схема заміщення системи електропостачання представляють собою спрощене графічне відображення електричної мережі, яке дозволяє виконати аналіз режимів роботи, зокрема розрахунок струмів навантаження та короткого замикання, а також перевірку вибору обладнання та захисту.

Складаємо схему заміщення, яка наведена на рисунку 2.2.2.

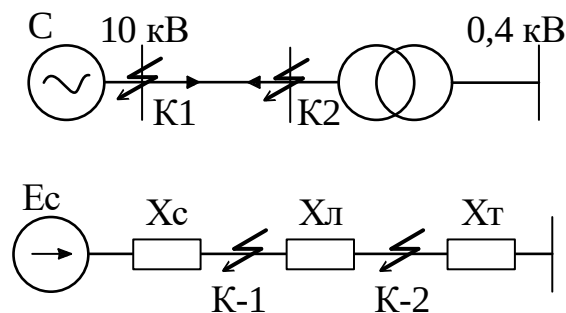


Рис. 2.2.2 – Схема заміщення та розрахункова схема електропостачання

$$S_{\text{б}} = 1000 ; S_{\text{кз}} = 200$$

Базисний струм за напруги 10 кВ:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 \text{ [A]}; \quad (2.16)$$

Визначаємо значення опорів усіх елементів електричної мережі, приведених до базисних умов, з урахуванням обраної базисної потужності та напруги:

$$X_{\text{с}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{к}}} = \frac{1000}{200} = 5,0 \text{ [в.о]}; \quad (2.18)$$

$$X_{\text{л}} = X_{\text{пит}} \cdot 1 \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{сер}}^2} = 0,068 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,08 \quad (2.17)$$

Розрахуємо результуючі опори:

$$X_{\Sigma c} = X_C + X_L = 5 + 3,08 = 8,08 \quad (2.18)$$

У точці К1 початкове значення струму короткого замикання становить:

$$I_{п0.c} = \frac{E''_C}{X_{\Sigma c}} \cdot I_6 = \frac{1}{8,08} \cdot 55,0 = 6,8 \text{ [кА]}; \quad (2.19)$$

Періодична складова струму, яка надходить від системи, залишатиметься постійною (незмінною) протягом розрахункового періоду:

$$I_{пт.c} = I_{по.c} = 6,8 \text{ [кА]}. \quad (2.20)$$

Визначимо момент часу, з якого починається процес розмикання контактів вимикача. Для цього розрахуємо час спрацьовування захисного апарата з урахуванням його характеристик часу-струму:

$$\begin{aligned} \tau_{від} &= t_{рз.мін} + t_{в.в}; \\ \tau_{від} &= 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ [с]}; \end{aligned} \quad (2.21)$$

Часова константа аперіодичної складової:

$$T_{ac} = \frac{X_{\Sigma}}{2\pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}} = 0,032 \text{ [с]}; \quad (2.22)$$

Аперіодична складова струму короткого замикання при $\tau = 0,05$ с:

$$\begin{aligned} i_{атс} &= \sqrt{2} \cdot I_{п0.c} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}} \\ i_{атс} &= \sqrt{2} \cdot 6,8 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,065}{0,032}} \right) = 10,87 \text{ [кА]}; \end{aligned} \quad (2.23)$$

Тепловий імпульс визначимо з формули:

$$\begin{aligned} B_K &= I_{п0.c}^2 \cdot (\tau_{від} \cdot T_{ac}); \\ B_K &= 6,8^2 \cdot (0,065 + 0,032) = 4,5 \text{ [кА}^2 \cdot \text{с]}; \end{aligned} \quad (2.24)$$

Відповідно до вимог стандарту ДСТУ 687-78 виконаємо перевірку вибраних високовольтних вимикачів на їхню комутаційну здатність та стійкість до впливу струмів короткого замикання.

Таблиця 2.8 – Порівняльні дані вимикачів

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{п\tau}$	$I_{н.відк} = 20 \text{ кА}$	$I_{п\tau} = I_{п\tau.c} = 11,0 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{н.відкл} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{п\tau} + i_{a\tau}$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{21}{100}\right) = 34 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 11 + 1,26 = 13,6$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.c} = 10,87 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.c} = 6,8 \text{ (кА)}$
$I^2 t \geq e$	$I^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k = 4,5 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

Обраний вимикач відповідає всім вимогам перевірки.

Виконаємо перевірку обраних кабелів від КТП до ТП на термічну стійкість:

$$S_{ек} \geq S_{мін.} = \frac{\sqrt{B_k} \cdot 10^3}{C_m}; \quad (2.25)$$

Де $C_m = 92 \text{ А} \cdot \frac{\text{с}^{0,5}}{\text{мм}^2}$ – для кабелів з паперовою ізоляцією.

$$S_{мін} = \frac{\sqrt{4,5} \cdot 10^3}{92} = 23,1 [\text{мм}^2];$$

$$23,1 \text{ мм}^2 \leq 70 \text{ мм}^2$$

Отже переріз вибрано вірно.

2.3.4.2. Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В.

Складемо розрахункову схему для визначення струмів короткого замикання на ділянці живлення ЕП-1, щоб перевірити відповідність вибраних захисних пристроїв за параметром комутаційної здатності.

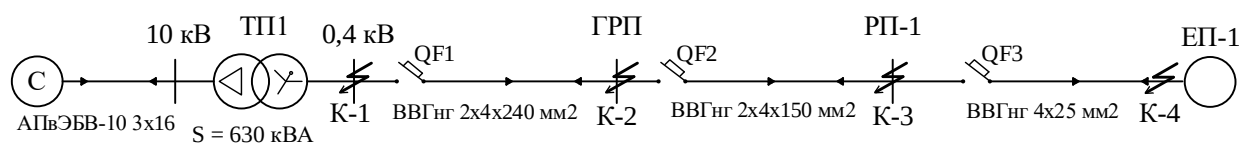


Рис. 2.3.1 – Схема електропостачання ЕП-1

Опір трансформатора знаходиться за формулою:

$$Z_T = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{380^2}{1600 \cdot 10^3} = 5 \text{ [мОм]}; \quad (2.26)$$

Опір ліній Л1, Л2, Л3:

$$Z_{Л1} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{(2 \cdot 0,124)^2 + (2 \cdot 0,063)^2} \cdot 104 = 28,9 \text{ [мОм]};$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{0,1^2 + 0,0596^2} \cdot 14 = 1,63 \text{ [мОм]};$$

$$Z_{Л3} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{0,74^2 + 0,0662^2} \cdot 32 = 23,77 \text{ [мОм]};$$

У таблиці 3.2 представлені вихідні дані, необхідні для розрахунку струмів короткого замикання та визначення коефіцієнта чутливості.

Таблиця 2.9 - Початкові параметри для обчислення струмів короткого замикання та коефіцієнта чутливості

Ділянка кола	L, м	R0, Ом/км	X0, Ом/км	Z, мОм
ТМ 630/10/0,4	-	0,016	0,05	63,5
Л1	104	0,248	0,12	28,9
Л2	14	0,1	0,06	1,63
Л3	32	0,74	0,0662	23,77

Обчислимо величину струму при трифазному короткому замиканні за формулою:

$$I_{\text{к.макс}} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}; \quad (2.27)$$

Де, Z_{Σ} – загальний повний опір елементів цехової мережі, приведений до точки короткого замикання

– для точки К1

$$I_{\text{к.макс}} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 63,5} = 3,62 \text{ [кА]};$$

– для точки К2

$$I_{\text{к.макс}} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (63,5 + 28,9)} = 2,5 \text{ [кА]};$$

– для точки К3

$$I_{\text{к.макс}} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (63,5 + 28,9 + 1,63)} = 2,45 \text{ [кА]};$$

– для точки К4

$$I_{\text{к.макс}} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (63,5 + 28,9 + 1,63 + 23,77)} = 1,95 \text{ [кА]};$$

2.3.4.3. Перевірка чутливості і селективності захисту цехових мереж

Для оцінки чутливості захисту необхідно визначити струми однофазних коротких замикань для точок, які зображені на рисунку 3.2.

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\text{м}}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot L}; \quad (2.29)$$

– К2

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\text{м}}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot L} = \frac{220}{42 + (2 \cdot 0,82) \cdot 104} = 1,035 \text{ [кА]};$$

– К3

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\text{м}}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot L} = \frac{220}{42 + (2 \cdot 0,82) \cdot 104 + 0,73 \cdot 14} = 0,98 \text{ [кА]};$$

– К4

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\text{м}}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot L} = \frac{220}{42 + (2 \cdot 0,82) \cdot 104 + 0,73 \cdot 14 + 3,7 \cdot 32} = 0,64 \text{ [кА]};$$

Перевіримо виконання умови чутливості захисту для відповідних точок мережі:

$$I_{\text{н.розч}} \leq \frac{I_{\text{к.мін}}}{3}; \quad (2.30)$$

– К2

$$I_{н.розч} = 504 \text{ [A]} > \frac{I_{к.мін}}{3} = \frac{1035}{3} = 345 \text{ [A]};$$

– К3

$$I_{н.розч} = 400 \text{ [A]} > \frac{I_{к.мін}}{3} = \frac{980}{3} = 326,7 \text{ [A]};$$

– К4

$$I_{н.розч} = 504 \text{ [A]} > \frac{I_{к.мін}}{3} = \frac{640}{3} = 213,3 \text{ [A]};$$

Вимоги щодо чутливості автоматичних вимикачів не задовольняються, тому слід розглянути можливість вибору інших пристроїв. Втім, оскільки обрані вимикачі мають найнижчі значення струму розчіплювання, їх залишено для подальшого використання. Наступним кроком буде перевірка цих автоматичних вимикачів на селективність.

Перевіримо селективність автоматичних вимикачів відповідно до таких умов:

$$\begin{cases} I_{с.В1} > (1,3..1,5) \cdot I_{с.В2}; \\ t_{с.В1} > t_{с.В2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.31)$$

Проведемо перевірку селективності для вимикачів, які відповідають за захист ліній ТП1 – ГРП, ГРП – РП1 та РП1 – ЕП1. Відомості про ці вимикачі наведені в таблиці 1.2.

$$\begin{cases} I_{с.В1} = 504 \text{ [A]} > (1,3..1,5) \cdot 240 = 312 \div 360 \text{ [A]} \\ t_{с.В1} > t_{с.В2} + \Delta t = 0,015 + 0,1 = 0,115 \text{ [с]} \end{cases} \quad (2.32)$$

Умови селективності виконуються.

3. КОГЕНЕРАЦІЯ І ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1. Когенерація – комбіноване виробництво тепла та електроенергії

Когенерація — це технологія, яка активно застосовується у розподіленій енергетиці, зокрема на міні-ТЕЦ, розташованих безпосередньо на підприємствах, в інфраструктурних та житлових об'єктах. На відміну від великих централізованих електростанцій, де тепло, що утворюється під час виробництва електроенергії, часто втрачається в атмосфері через значні втрати при транспортуванні, когенераційні установки дозволяють мінімізувати ці втрати, оскільки вони розміщені безпосередньо на місці споживання.

Таким чином, тепло, яке утворюється при генерації електроенергії, використовується ефективно — для опалення приміщень або технологічних процесів. Це забезпечує суттєве підвищення загальної ефективності використання паливних ресурсів. У порівнянні з окремим виробництвом електроенергії та тепла, когенераційні системи дозволяють зекономити близько 40% первинної енергії, що робить їх економічно вигідними та екологічно доцільними рішеннями.

Переваги когенерації: Вища ефективність використання палива (до 80-90% проти 30-40% у традиційних електростанцій), зниження витрат на енергоносії, можливість незалежності від зовнішніх постачальників електроенергії, зменшення шкідливих викидів.

В Україні (як і в багатьох інших країнах) підприємства, які виробляють електроенергію, можуть продавати її державі або державним компаніям — зазвичай через «зелені» тарифи або спеціальні угоди. Якщо у вас є власна когенераційна установка (наприклад, газова турбіна, яка виробляє електроенергію і тепло), ви можете реалізовувати надлишкову електроенергію в мережу.

Для цього необхідно укласти договір з місцевим енергопостачальником або оператором системи розподілу (ОСР). Також потрібно пройти технічне

приєднання та отримати дозвіл на продаж. В Україні діють «зелений тариф» і інші стимули для виробників «чистої» енергії, що дає вигідні умови для продажу. Продаж електроенергії може бути вигідним додатковим джерелом доходу, особливо якщо ваша когенераційна установка виробляє більше, ніж потрібно для власних потреб.

3.2. Встановлення когенераційних установок на ТОВ «КД ВАЦАК»

З метою підвищення енергоефективності виробництва, зниження витрат на енергоресурси та забезпечення стабільного енергопостачання на підприємстві ТОВ «КД ВАЦАК» було впроваджено комплексний енергетичний проєкт із встановлення чотирьох когенераційних установок.

Кожна з когенераційних установок оснащена синхронним генератором номінальною електричною потужністю 1 МВт. Загальна встановлена потужність електрогенераторів становить 4 МВт. Отримана електрична енергія повністю покриває власні потреби підприємства, а надлишки надсилаються до зовнішньої електромережі, що дозволяє реалізовувати електроенергію за зеленим тарифом або умовами двосторонніх договорів.

Паралельно з виробництвом електроенергії когенераційні установки виробляють теплову енергію, яка ефективно використовується для потреб підприємства. Зокрема, теплова енергія подається на електроприймачі цехів, де застосовується для опалення, технологічного підігріву та інших виробничих процесів.

Для забезпечення надійного підключення та передачі виробленої електроенергії була передбачена установка двотрансформаторної підстанції з параметрами 10/0,4 кВ. Трансформатори знижують напругу до рівня, придатного для підключення до внутрішньої мережі підприємства та зовнішньої мережі.

Виводи з боку низької напруги (0,4 кВ) трансформаторів з'єднуються з розподільчими шафами когенераційних генераторів. Кожна шафа складається з:

вводного рубильника; Системи мідних шин; Автоматичних повітряних вимикачів номіналом 2000 А.

Уся ошиновка виконується мідними проводами марки ПВЗ перерізом $1 \times 240 \text{ мм}^2$ у чотири жили на кожную фазу. Для підключення до силових трансформаторів використовуються кабелі ВВГ $4 \times 240 \text{ мм}^2$, що забезпечують надійну та безпечну передачу електроенергії з мінімальними втратами.

Запровадження даної системи дозволило ТОВ «КД ВАЦАК» досягти енергетичної автономності, оптимізувати витрати на енергоносії, а також підвищити рівень екологічної відповідальності завдяки ефективному використанню палива в процесі когенерації.

На рисунку 3.1 зображено схему цеху, з влаштованими генераторними установками та трансформаторами встановленими на відкритій площадці біля цехової мережі

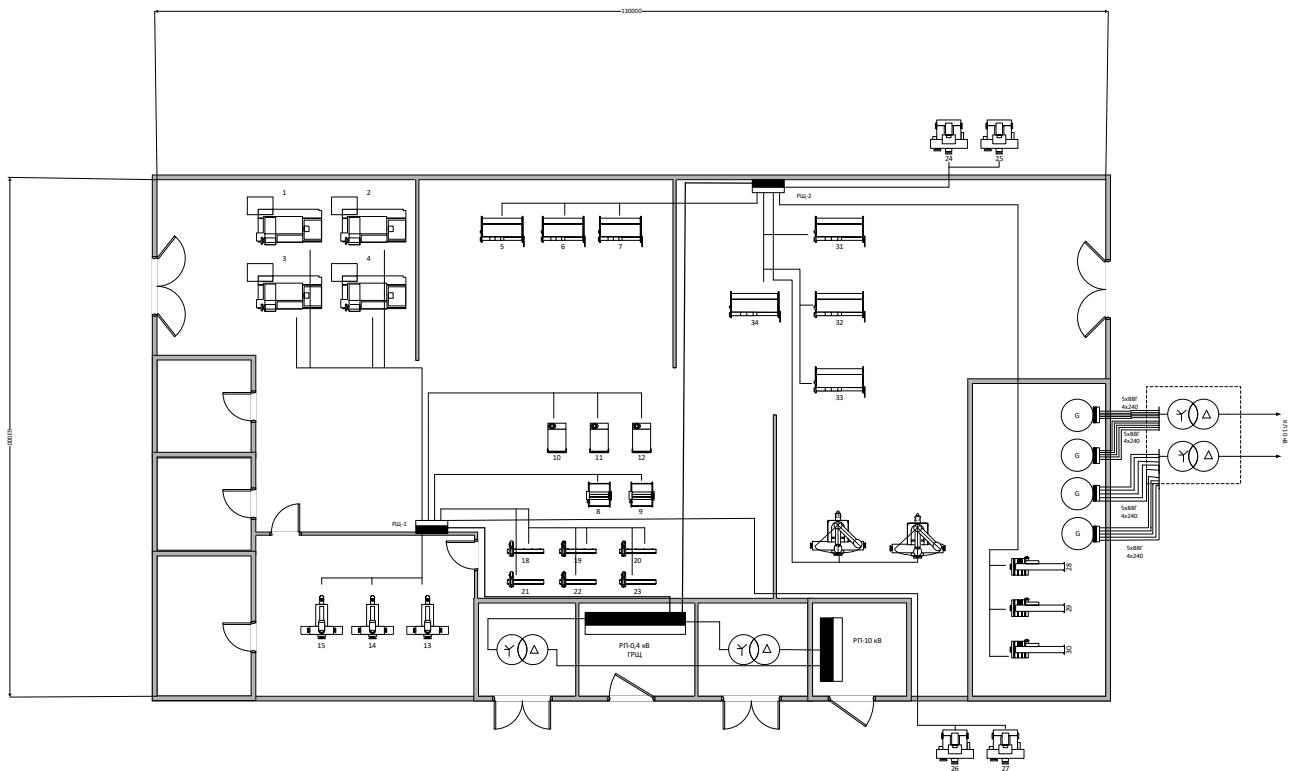


Рисунок 3.1 Схема підключення генераційного обладнання в виробничому цеху
№2

Таким чином, впровадження когенераційних установок на ТОВ «КД ВАЦАК» дозволило забезпечити енергетичну гнучкість та резервування живлення виробничих споживачів. Завдяки автономному джерелу електричної енергії потужністю 4 МВт, підприємство отримало можливість підтримувати безперервне електроживлення технологічних процесів навіть у випадку виводу з

експлуатації трансформаторної підстанції або розподільчих установок напругою 0,4 кВ з метою їх реконструкції, ремонту чи модернізації.

Крім того, надлишкова електроенергія, не спожита підприємством, може бути реалізована в енергосистему. Це створює додатковий фінансовий ефект у вигляді прибутку від продажу залишкової електроенергії на ринку, відповідно до чинного законодавства та регуляторних актів. Такий підхід не лише сприяє зниженню енергозалежності, але й дозволяє ефективно монетизувати інвестиції у власну генерацію, підвищуючи загальну економічну ефективність підприємства.

3.3. Встановлення сонячних електростанцій на ТОВ «КД ВАЦАК»

Встановлення сонячної електростанції (СЕС) на території промислового підприємства, зокрема ТОВ «КД ВАЦАК», є стратегічно обґрунтованим техніко-економічним рішенням, що має ряд вагомих переваг:

1. Зниження витрат на електроенергію

СЕС забезпечує генерацію електроенергії без залучення традиційних енергоносіїв, що дозволяє суттєво зменшити витрати на купівлю електроенергії з мережі. У разі високого власного споживання електроенергії в денний час підприємство може досягти значного рівня енергетичної незалежності.

2. Можливість продажу надлишків електроенергії

При генерації надлишкової енергії у денний період підприємство може реалізовувати її в об'єднану енергосистему України згідно з умовами ринку, що формує додаткове джерело доходу.

3. Покращення енергетичної безпеки

Наявність власного джерела електроенергії забезпечує стабільність електропостачання технологічних процесів у разі аварійних або планових відключень зовнішнього живлення. Це знижує ризики простоїв виробництва.

4. Зменшення вуглецевого сліду та екологічне навантаження

СЕС є екологічно чистим джерелом енергії, що не продукує шкідливих викидів під час експлуатації. Використання СЕС сприяє зниженню загального вуглецевого сліду підприємства та відповідає сучасним вимогам ESG-політик (Environmental, Social and Governance).

5. Довгострокова стабільність витрат

Вартість електроенергії, виробленої СЕС, є прогнозованою та не залежить від коливань тарифів чи вартості енергоносіїв, що забезпечує довгострокове фінансове планування.

6. Можливість використання неефективних площ

СЕС можуть бути встановлені на дахах цехів, адміністративних будівель або на неефективно використовуваних земельних ділянках, не зменшуючи корисну площу виробництва. Це дозволяє максимально раціоналізувати використання території заводу.

На рисунку 3.2. зображено план підприємства з встановленими на виробничих цехах 1-3 фотоелектричними модулями

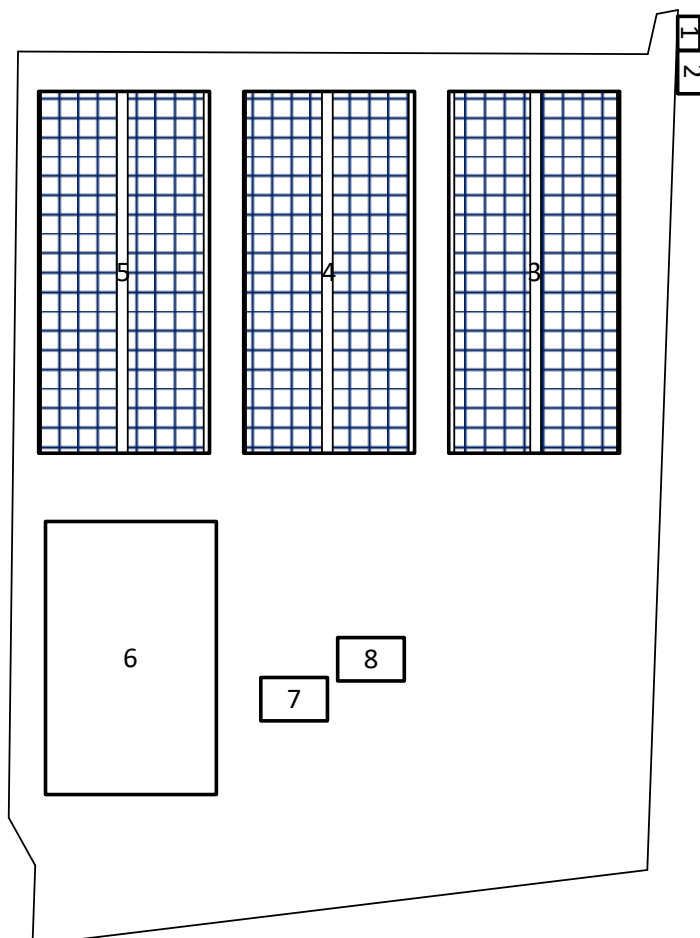


Рисунок 3.2 – Встановлення фотоелектричних модулів на даху виробничих цехів

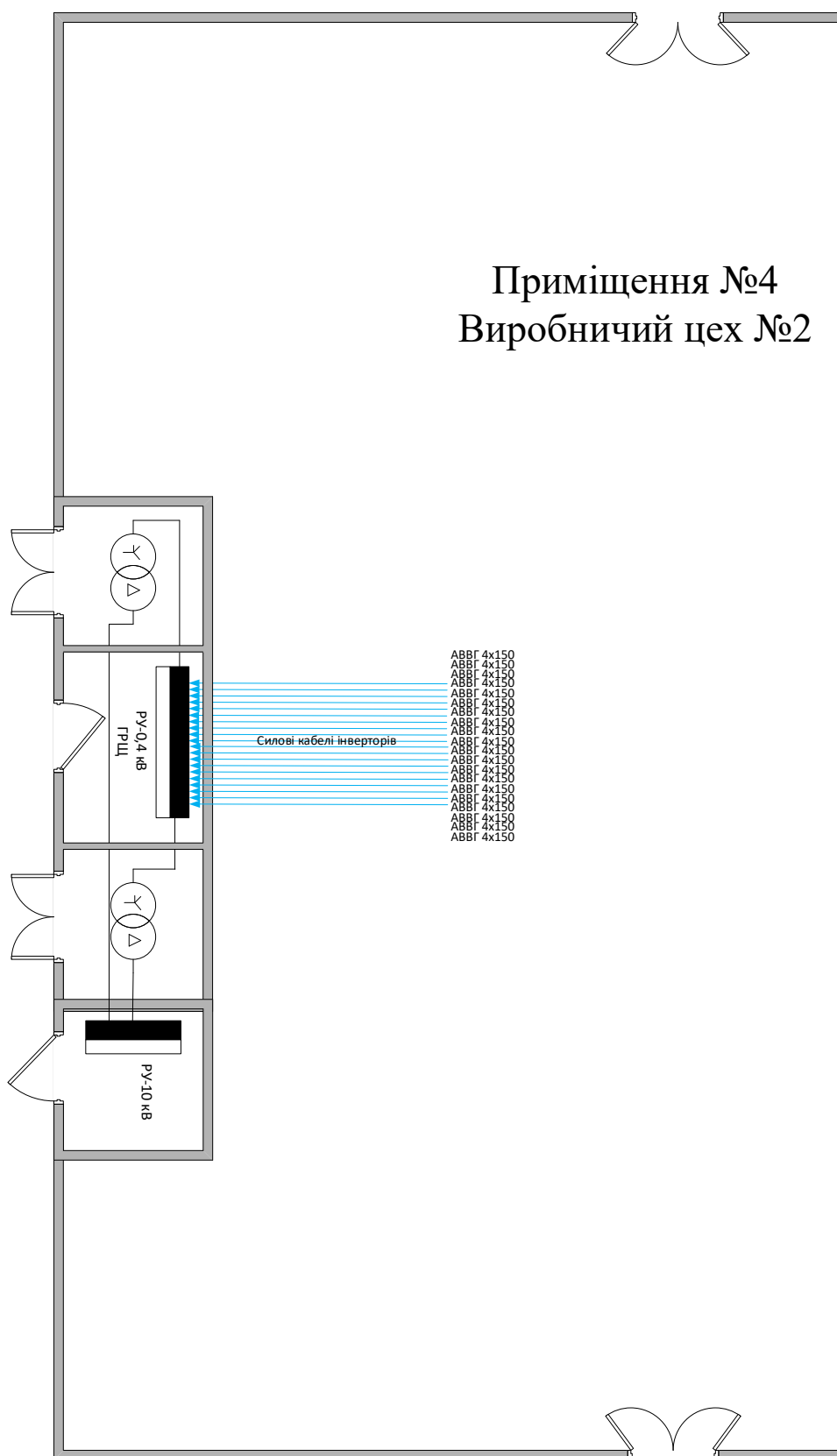


Рисунок 3.3 – Проектована трансформаторна підстанція

На рисунку 3.4. зобразимо однолінійну схему електропостачання з врахуванням проєктованих інверторів.

Схема однолінійна

ЛЗ 10 кВ

10 кВ

Л4 10 кВ

АСБЛ-10 3х16

АСБЛ-10 3х16

ТП 3
CEC

ТМ-2500/10

ТМ-2500/10

0,4 кВ

ЛЗ 10 кВ

Рисунок 3.4. Однолінійна схема проектованої ТПЗ для інверторного обладнання

Таким чином, на території ТОВ «КД ВАЦАК» було реалізовано масштабний енергетичний проєкт, який включає встановлення чотирьох когенераційних установок загальною електричною потужністю 4 МВт та фотоелектричної станції з потужністю фотомодулів 4 МВт і сумарною потужністю інверторів 3 МВт. Ці технічні рішення дозволяють повністю покрити внутрішнє електроспоживання підприємства, а також здійснювати продаж надлишкової електроенергії до мережі, що створює додатковий фінансовий ефект.

Вироблена теплова енергія від когенерацій використовується для потреб електроприймачів виробничих цехів, що підвищує загальну енергоефективність підприємства. Для забезпечення надійного приєднання до мережі передбачено встановлення двотрансформаторної підстанції 10/0,4 кВ з відповідним силовим та захисним обладнанням, що дозволяє здійснювати стабільне живлення навіть під час реконструкції основних мереж або трансформаторних підстанцій.

Інтеграція сонячної електростанції та когенераційних установок сприяє підвищенню енергетичної незалежності, зниженню експлуатаційних витрат, зменшенню викидів CO₂ і впровадженню сучасних принципів сталого розвитку. Реалізований підхід демонструє ефективну стратегію модернізації промислової енергетичної інфраструктури з одночасною економічною та екологічною вигодою.

Крім того, завдяки встановленню комбінованої системи генерації електроенергії — когенераційних установок та сонячної електростанції — підприємство ТОВ «КД ВАЦАК» досягло високого рівня енергетичної автономності. Це дозволяє забезпечити безперервне живлення основних технологічних процесів навіть у випадку аварійного або планового відключення зовнішніх мереж електропостачання.

Використання двотрансформаторної підстанції з дублюванням вихідних ліній, резервування потужності між когенераційними установками та фотоелектричним масивом, а також можливість оперативного перемикавання навантаження — гарантує стабільну роботу підприємства в умовах енергетичних

ризиків. Таким чином, ТОВ «КД ВАЦАК» не лише зменшило залежність від зовнішнього енергопостачання, а й сформувало надійну інфраструктуру для безперебійної діяльності в умовах будь-яких зовнішніх викликів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської дипломної роботи розглядаються питання дотримання вимог охорони праці під час монтажу та обслуговування електричного обладнання системи електропостачання на підприємстві ТОВ «КД ВАЦАК». Монтажні роботи виконуються будівельно-монтажним персоналом, який піддається впливу різноманітних небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До них належать фізичні фактори, такі як умови мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання), виробничий шум, ультразвук, інфразвук, а також локальна і загальна вібрація. Крім того, на робітників впливає недостатнє природне та штучне освітлення, яке може бути неякісним через низьку яскравість або сліпучі відблиски. Серед хімічних факторів слід відзначити наявність речовин хімічного походження та аерозолів фіброгенної дії, зокрема пилу. Фактори трудового процесу включають важкість праці, що визначається загальними енергетичними витратами організму, фізичним динамічним навантаженням, вагою піднімаємих і переміщуваних вантажів, кількістю стереотипних робочих рухів, статичним навантаженням, робочою позою та переміщеннями в просторі. Напруженість праці характеризується інтелектуальними, сенсорними та емоційними навантаженнями, монотонністю робочого процесу та режимом роботи. Живлення силового обладнання підприємства та систем освітлення здійснюється від чотирипровідної трифазної мережі 380/220 В (фазна напруга "фаза – нуль" – 220 В, міжфазна – 380 В), яка під'єднана до силового трансформатора. Категорія умов за небезпекою електротравматизму відноситься до підвищеної через наявність струмопровідної підлоги на будівельних та реконструйованих об'єктах.

Для забезпечення безпеки під час роботи з колами вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідно постійно заземлювати всі вторинні обмотки трансформаторів струму і напруги. У разі потреби розриву кола струму вимірювальних приладів і реле вторинна обмотка трансформатора струму має бути заздалегідь закорочена спеціальними затискачами, призначеними для цього [4, 5]. Розривати кола, підключені до вторинних обмоток трансформаторів

струму, категорично заборонено. Якщо все ж таки потрібно розірвати ці кола, вони повинні бути попередньо з'єднані перемичкою, встановленою безпосередньо перед передбачуваним місцем розриву з боку трансформатора струму. Під час монтажу перемички слід користуватися інструментом з ізольованими рукоятками. При виконанні робіт на трансформаторах струму або в колах, що підключені до їх вторинних обмоток, потрібно дотримуватись таких заходів безпеки: зажими вторинних обмоток мають залишатися замкненими накоротко до повного завершення монтажу відповідних кіл. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід перемістити на найближчу збірку затискачів і знімати лише після повної перевірки правильності підключення і завершення монтажу. Під час перевірки полярності прилади слід підключати до затискачів вторинної обмотки перед подачею імпульсів струму на первинну обмотку. Використання шин первинних обмоток як струмопровідних під час монтажних або зварювальних робіт забороняється. Роботи в колах релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводяться за виконавчими схемами, при цьому необхідно застосовувати слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими рукоятками. Якщо під час перевірки кіл вимірювання, сигналізації, керування та захисту у приміщеннях з напругою понад 1000 В залишатися одному члену бригади дозволяється за певних умов (наприклад, при регулюванні вимикачів або перевірці ізоляції), цей працівник повинен мати групу III з електробезпеки. Під час робіт у колах трансформаторів напруги, якщо подається напруга від стороннього джерела, необхідно зняти запобіжники з боку вищої та нижчої напруги, а також відключити автомати від вторинних обмоток. У випадку виконання робіт на колах або апаратурі РЗАіТ при ввімкненому основному обладнанні слід вжити додаткових заходів для запобігання випадковому відключенню обладнання. Також забороняється виконувати роботи на панелях або поруч із релейною апаратурою, що можуть викликати сильні вібрації, здатні спричинити хибні спрацювання реле.

Перемикання, включення та вимкнення вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, а також пуск і зупинка агрегатів і регулювання їхнього режиму роботи, необхідні для налаштування або перевірки пристроїв РЗАіТ,

повинні виконуватися виключно оперативними працівниками. Записувати покази електролічильників та інших вимірювальних приладів, розташованих на щитах керування і в розподільних установках, дозволяється: одноособово працівникам із групою II при наявності місцевих оперативних працівників (чергування двох осіб) та з групою III без місцевих оперативних працівників; працівникам інших організацій із групою III лише у супроводі місцевого оперативного працівника. Встановлення і зняття електролічильників та інших вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, проводяться двома працівниками за нарядом із зняттям напруги, один з яких має групу IV, а інший — групу III. Якщо в колах електролічильників є контакти (блоки), що дозволяють працювати без розмикання кіл, підключених до вторинних обмоток трансформатора струму, ці роботи можна виконувати за розпорядженням без зняття напруги з електролічильника. У разі відсутності таких контактів необхідно відключати напругу і струм у колах електролічильника.

Приєднання вимірювальних приладів, а також встановлення і зняття електролічильників за наявності випробувальних блоків або спеціальних затискачів, що забезпечують безпечне закорочування кіл струму, виконуються без зняття навантаження та напруги. Встановлення і зняття електролічильників прямого включення дозволяється виконувати одному працівнику з групою III за розпорядженням. Водночас встановлення і зняття електролічильників та приєднання вимірювальних приладів, які вимагають зняття напруги, повинні виконуватись із відповідним відключенням. Роботи з електролічильниками, розташованими на різних приєднаннях у одному приміщенні, можна виконувати за одним нарядом або розпорядженням, при цьому не потрібно оформлювати перехід з одного робочого місця на інше.

4.1.2 Електробезпека

Для запобігання електротравмам при контакті з струмопровідними елементами електрообладнання необхідно вживати низку технічних заходів. Зокрема, неізольовані струмопровідні частини слід розміщувати в окремих

приміщеннях з обмеженим доступом або захищати металевими шафами. Важливо використовувати засоби орієнтації, такі як написи, таблички та попереджувальні знаки, а також прокладати кабелі до споживачів у закритих конструкціях підлоги. При живленні однофазних споживачів від трипровідної мережі з напругою до 1000 В застосовується нульовий захисний провідник, який у разі пробією на корпус спричиняє коротке замикання та автоматичне відключення пошкодженого обладнання. Відповідно до нормативних вимог, необхідно забезпечити належну кратність струму короткого замикання залежно від типу запобіжного пристрою, а також цілісність нульового захисного провідника. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений відповідними засобами захисту, які перед використанням підлягають обов'язковій перевірці на справність, відсутність пошкоджень, а також очищенню від пилу; крім того, потрібно контролювати термін їхньої придатності за штампом, при цьому забороняється користуватися засобами з простроченим строком експлуатації.

До основних електрозахисних засобів належать ті, ізоляція яких здатна тривалий час витримувати робочу напругу, що дозволяє безпечно торкатися струмопровідних частин під напругою до 1000 В; це ізолювальні штанги, ізолювальні та струмовимірювальні кліщі, показчики напруги, діелектричні рукавиці та слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками. Додаткові електрозахисні засоби забезпечують захист персоналу від дотику до напруги, напруги кроку, а також служать для попередження про можливі помилкові дії. До них належать діелектричні калоші, килимки, переносні заземлення, ізолювальні накладки і підставки, захисні пристрої, а також плакати та знаки безпеки, призначені для напруги до 1000 В.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

У виробничих приміщеннях встановлюються норми параметрів мікроклімату та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Тяжкість праці класифікується за категоріями відповідно до

загальних енерговитрат організму, вимірюваних у ккал/с (Вт) [6]. Значення параметрів мікроклімату для приміщення наведені в таблиці 4.1. Для забезпечення нормативних умов мікроклімату на робочому місці оператора крана передбачаються такі заходи [7]:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву,
- провітрювання приміщень.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

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

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) у мг/м³. Під час роботи в умовах максимально допустимих концентрацій основними забруднювачами повітря можуть бути пил та шкідливі гази, значення їх ГДК наведені в таблиці 4.2 [6].

Для підтримання належного складу повітря робочої зони передбачено такі заходи [7]: регулярне провітрювання приміщень та встановлення пиловловлювальних пристроїв.

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

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

4.2.3 Виробниче освітлення

Для створення оптимальних умов зорової праці регламентується освітлення на робочому місці працівника. Характеристика зорових робіт відповідає середній точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8], робота відноситься до IV розряду зорової праці, підрозряду «в».

Норми освітлення при природному, штучному та комбінованому освітленні наведені в таблиці 5.3. Для забезпечення належного рівня освітлення проводиться регулярне очищення скла та світильників від пилу не рідше двох разів на рік, а також застосовуються жалюзі. У випадку недостатності природного світла використовується загальне штучне освітлення, яке створюється світлодіодними лампами E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею становить 2,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення виробничих приміщень

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 загально го		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Під час експлуатації проводиться контроль рівня напруги в освітлювальній мережі, своєчасно замінюються перегорілі лампи, а також підтримується чистота повітря в приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульового рівня вибрані показники, що відповідають мінімальному порогу сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує допустимі рівні шуму для різних категорій робочих місць та службових приміщень, є «ССБТ. Шум».

Загальні вимоги безпеки» [9]. Норми звукового тиску для постійних робочих місць у виробничих приміщеннях наведені в таблиці 4.4. Засоби

боротьби з шумом поділяються залежно від кількості осіб, для яких вони призначені, на засоби індивідуального захисту та колективного захисту, що регламентується нормативами «ССБТ».

Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» та «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

Безпосередньо біля джерел шуму рекомендується використовувати звукопоглинаючі матеріали для обробки стель та стін, а також застосовувати підвісні звукопоглиначі — ширми, екрани та інші подібні конструкції. Для зменшення вентиляційного шуму слід використовувати малошумні вентилятори.

5.3 Пожежна безпека

Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12] регламентують порядок забезпечення пожежної безпеки промислових та інших об'єктів. Пожежо- та вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається згідно з ДСТУ 8829:2019 [13], який також встановлює категорії приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Виробничі приміщення ТОВ «КД Вацак», який є гілкою харчової промисловості, належать до категорії Д — це речовини і матеріали, які відповідають вимогам для категорії В (окрім горючих газів, горючого пилу та волокон), а також негорючі речовини чи матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища). При цьому приміщення, в яких зберігаються, переробляються або транспортуються такі речовини чи матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, але мають зони П-ІІІ — це зони, де у

повітрі присутній горючий пи́л або волокна з нижньою концентраційною межею спалахування (НКТ) понад 65 г/м³, а також зони з твердими горючими речовинами, такими як цукор або тара для його фасування.

Будівлі ТОВ «КД ВАЦАК», в яких розташовані ці приміщення, характеризуються II-IV ступенем вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.5.

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

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття між поверхами (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120	REI 60	E 15	E1 15	R 120	R 60	REI 45	RE 15	R 30
	M0	M0	M0	M0	M0	M0	M0	M0	M0
III	REI 120	REI 60	E 15	E1 15	R 120	R 60	REI 45	Не нормуються	
	M0	M0	M0, E 30, M1	M1	M0	M0	M1		
IV	REI 30	REI 15	E 15	E1 15	R 30	R 15	REI 15	Не нормуються	
	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1		

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховують при розрахунках жорсткості та стійкості будівлі, приймаються такими ж, як і для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за показниками вогнестійкості та здатності до поширення вогню. Основним критерієм вогнестійкості є межа вогнестійкості — час (в хвилинах) від початку стандартного вогневого випробування до досягнення одного з граничних станів конструкції: втрати несучої здатності (R), втрати цілісності (E) або втрати теплоізолювальної здатності (I).

Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

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

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будівлями промислових підприємств, а також гаражами рекомендується приймати згідно з чисельниками в таблиці 4.7. У вже сформованих забудовах відстані між житловими будинками та від житлових будівель до інших будівель і споруд визначаються відповідно до протипожежних вимог, викладених у таблиці 4.7. Водночас протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будівель промислових підприємств і гаражів до виробничих, складських та сільськогосподарських будівель і споруд слід брати за знаменниками таблиці 4.7.

Таблиця 5.7 – 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	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
II	6/9	8/9	10/12
III	8/9	8/12	10/15
IV	10/12	10/15	15/18

На території підприємства на кожному з об'єктів потрібно встановити від 2 до 5 вогнегасників ВП-5, ВВП-5 або аналогічних ємністю 6 або 9 л [16].

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломної роботи було проведено комплексний аналіз електропостачання підприємства ТОВ «КД ВАЦАК» з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, надійності живлення та безпеки експлуатації електроустановок.

На першому етапі розглянуто загальні відомості про підприємство, технологічний процес та характеристики основних електроспоживачів. Далі виконано розрахунок електричних навантажень підприємства, проведено вибір комутаційно-захисної апаратури та силових кабельних ліній цехової мережі. Розроблено схему електропостачання із урахуванням розміщення цехових трансформаторних підстанцій, проведено перевірку надійності та селективності захисту, а також розраховано струми короткого замикання.

Особливу увагу приділено впровадженню відновлюваних та вискоелективних джерел енергії. Зокрема, на території підприємства встановлено чотири когенераційні установки електричною потужністю по 1 МВт кожна. Вони забезпечують як виробництво електроенергії для внутрішніх потреб та продажу в мережу, так і утилізацію теплової енергії для потреб цехів. Крім того, було реалізовано проєкт зі встановлення сонячної електростанції загальною потужністю фотомодулів 4 МВт (потужність інверторів — 3 МВт), що дозволяє покривати частину добового споживання енергії підприємства з відновлюваних джерел.

В рамках розділу з охорони праці розглянуто технічні рішення для безпечної експлуатації електрообладнання, питання електробезпеки, мікроклімату, шуму, освітлення та пожежної безпеки. Враховано вимоги нормативної документації щодо санітарно-гігієнічних умов на робочих місцях.

Таким чином, проведена робота дозволила запропонувати комплексне техніко-економічне рішення для підвищення енергоефективності, надійності та безпеки електропостачання ТОВ «КД ВАЦАК». Впровадження когенераційних установок і сонячної електростанції забезпечило підприємству енергетичну незалежність, можливість комерційного продажу надлишкової електроенергії та стабільне електроживлення навіть у разі аварійних відключень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурбело М. Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2012. 148 с.
2. Силові трансформатори. Веб-сайт URL: <http://www.lvmarket.com.ua/silovi-transformatori> (дата звернення: 06.06.2022).
3. Показники якості електроенергії. Веб-сайт URL: <https://ltke.com.ua/ua/dovidnik-spozhivacha/osnovni-pokazniki-yakosti-elektroenergi%D1%97-ta-nadijnist-elektropostachannya/> (дата звернення: 01.06.2022).
4. Показники якості електроенергії. Веб-сайт URL: <https://kiroe.com.ua/pokazniki-yakosti-elektroenergi> (дата звернення: 01.06.2022).
5. Вимикачі навантаження Веб-сайт URL: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-c756> (дата звернення: 01.06.2022).
6. Вибір перерізу провідників та кабелів для СЕС за економічною густиною струму. Формула розрахунку: Веб-сайт URL: https://www.youtube.com/watch?v=XUV-OVqOGlw&t=141s&ab_channel=%E2%9A%A1IGORKVACHUN%E2%9A%A1 Дата звернення 04.06.23.
7. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
8. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
9. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL:

https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.

10. 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.
11. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
12. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
13. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
14. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
15. 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>.
16. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
17. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
18. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
19. 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>.
20. 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.
21. 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.

22. 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
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Затверджую
Керівник, асистент
_____Ю. В. Лобода
(підпис)
” ____ ” _____ 202 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На бакалаврську роботу «Розробка системи електростачання підприємства»:

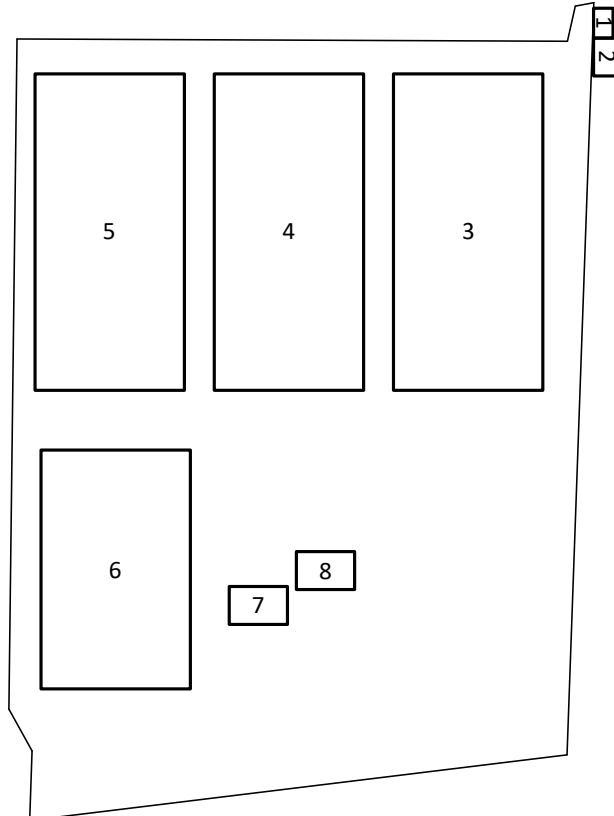


Рис. 1 Генеральний план заводу

Таблиця 1 – Склад цехів підприємства, кількість змін та потужність їх ЕП

Таблиця 1.1 – Склад цехів підприємства, кількість змін та потужність їх ЕП

Номер та назва приміщення	Кількість змін	Навантаження по кожному споживачу, кВт
9. Прохідна	3	5
10.Магазин		6
11.СТО		300
12.Виробничий цех №2		536,43
13.Виробничий цех №3		800
14.Виробничий цех №4		800
15.Серверне приміщення №1		600
16.Серверне приміщення №2		600
Всього 3647,43 кВт		

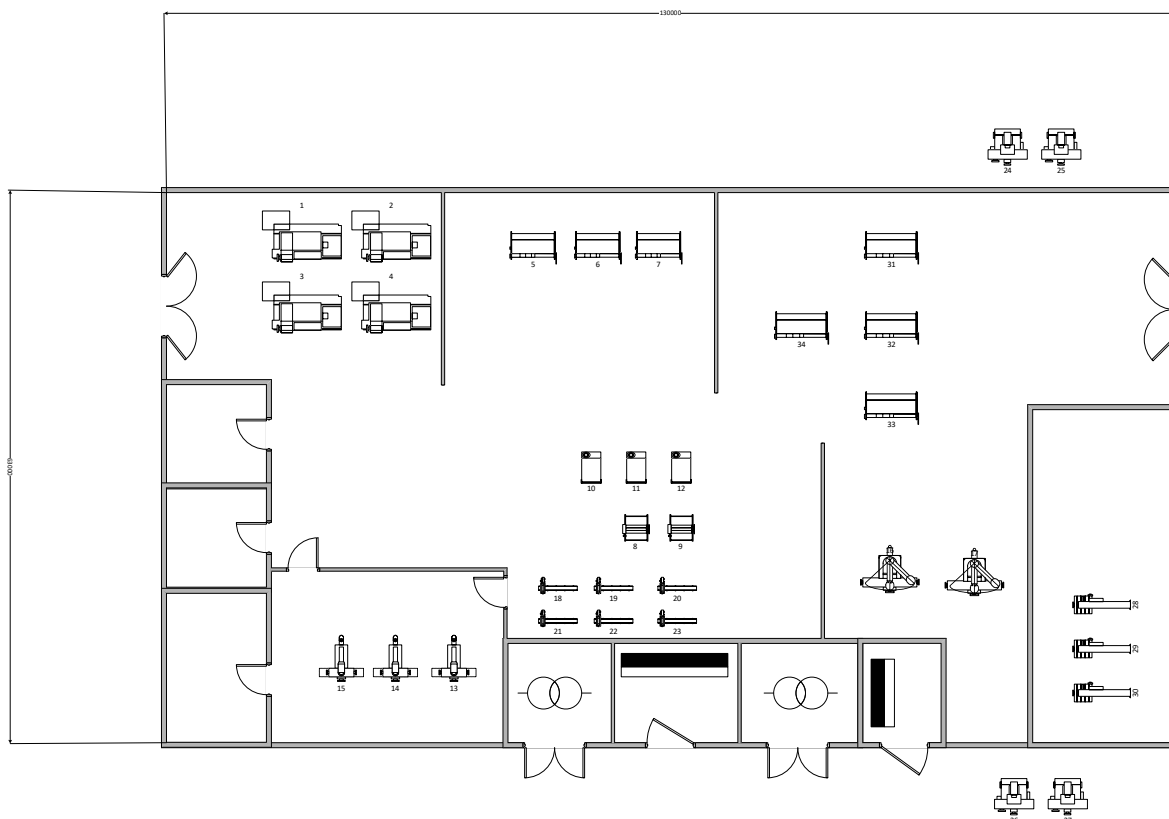


Рис. 1 План виробничого цеху №4

Таблиця 2 – Відомості про електричне навантаження цеху споживання

№ на плані	ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ №4	Потужність споживачів цеху
		кВт
1-4	Тістомісильні машини	28,8
5-7	Тісторозкатувальні машини	14,4
8-9	Лінії для виробництва печива	48
9-12	Дозувальні машини	9,6
13-15	Печі електричні	144
16-17	Охолоджувальний тунель	28,8
18-23	Конвеєри стрічкові	9,6
24-27	Системи кондиціювання повітря	14,4
28-30	Електричні водонагрівачі	14,4
31-34	Формувальні автомати	15
		Всього 327 кВт

Крайні терміни виконання КП

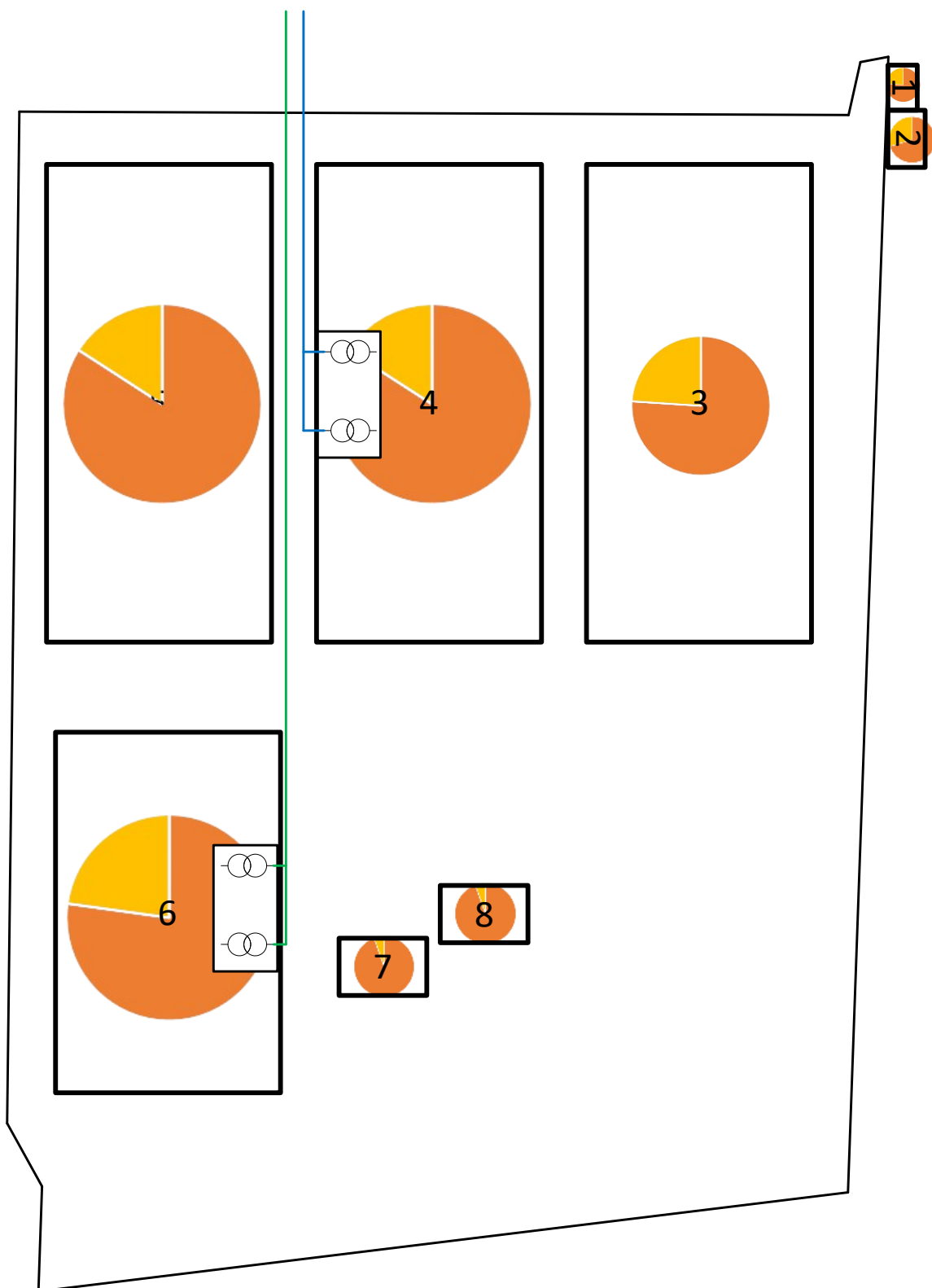
Початок розробки "___" _____ 202 р.

Розробив студент групи _____ ШИМКО О.В.

(підпис, прізвище та ініціали)

Додаток Б

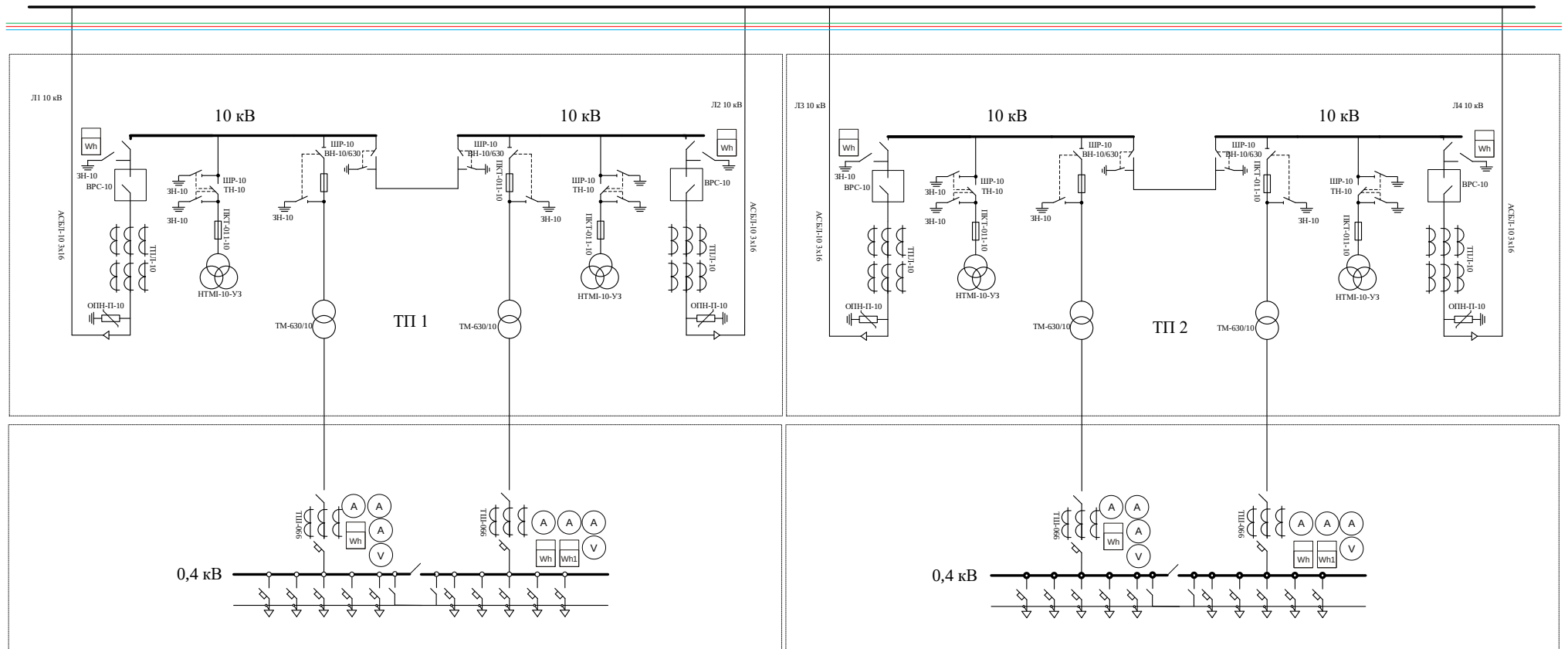
Картограма навантажень підприємства



Додаток В

Схема електропостачання підприємства

Схема однолінійна
10 кВ



ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Автор роботи		Шимко О.В.
	(підпис)	(прізвище, ініціали)
Керівник роботи		Степура О.В.
	(підпис)	(прізвище, ініціали)

Додаток Є

Доповідна частина роботи

ВІННІЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування факультету)
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри)
менеджменту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до бакалаврської дипломної роботи
Бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

На тему: «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОНДИТЕРСЬКИЙ ДІМ «ВАЦАК»

08-25.БДР.019.01.025 ПЗ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Шимко О.В.
(прізвище та ініціали)
Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ
Степура О.В.
(прізвище та ініціали)
«_____» 2025 р.
Рецензент
(прізвище та ініціали)
«_____» 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 року

ВСТУП

Актуальність роботи зумовлена потребою підвищення ефективності проектування та надійності систем електропостачання підприємств в умовах зростаючих вимог до енергетичної безпеки та енергоефективності. Особлива увага приділяється правильному вибору електротехнічного обладнання, оптимальному розташуванню трансформаторних підстанцій та впровадженню відновлюваних джерел енергії.

Мета роботи — розробка ефективної системи електропостачання для ТОВ «Кондитерський дім «Вацак», включаючи встановлення автономної сонячної електростанції та когенераційних установок.

Основні задачі: аналіз навантажень, вибір електрообладнання, побудова схеми живлення, визначення трас електромереж, розробка заходів з охорони праці та електробезпеки.

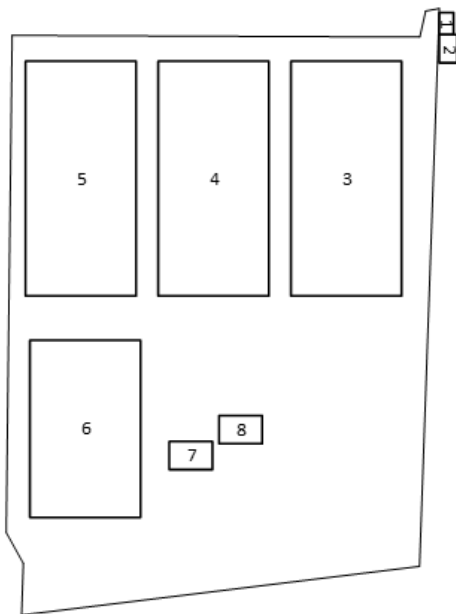
Об'єкт дослідження — система електропостачання підприємства.

Предмет дослідження — технічні рішення для забезпечення її ефективності та енергонезалежності.

Наукова новизна полягає у використанні гібридної енергосистеми (сонячна електростанція + когенерація), що підвищує ККД, знижує витрати на енергію та дозволяє реалізовувати надлишкову електроенергію в мережу.

Практична цінність полягає у можливості застосування розроблених рішень для модернізації електропостачання інших підприємств.

Загальні відомості про завод



Таблиця 1.1 – Склад цехів підприємства, кількість змін та потужність їх ЕП

Номер та <u>назва приміщення</u>	<u>Кількість змін</u>	Навантаження по кожному споживачу, кВт
1. Прохідна	3	5
2. Магазин		6
3. СТО		300
4. Виробничий цех №2		536,43
5. Виробничий цех №3		800
6. Виробничий цех №4		800
7. Серверне приміщення №1		600
8. Серверне приміщення №2		600
		<i>Всього: 3647,43 кВт</i>

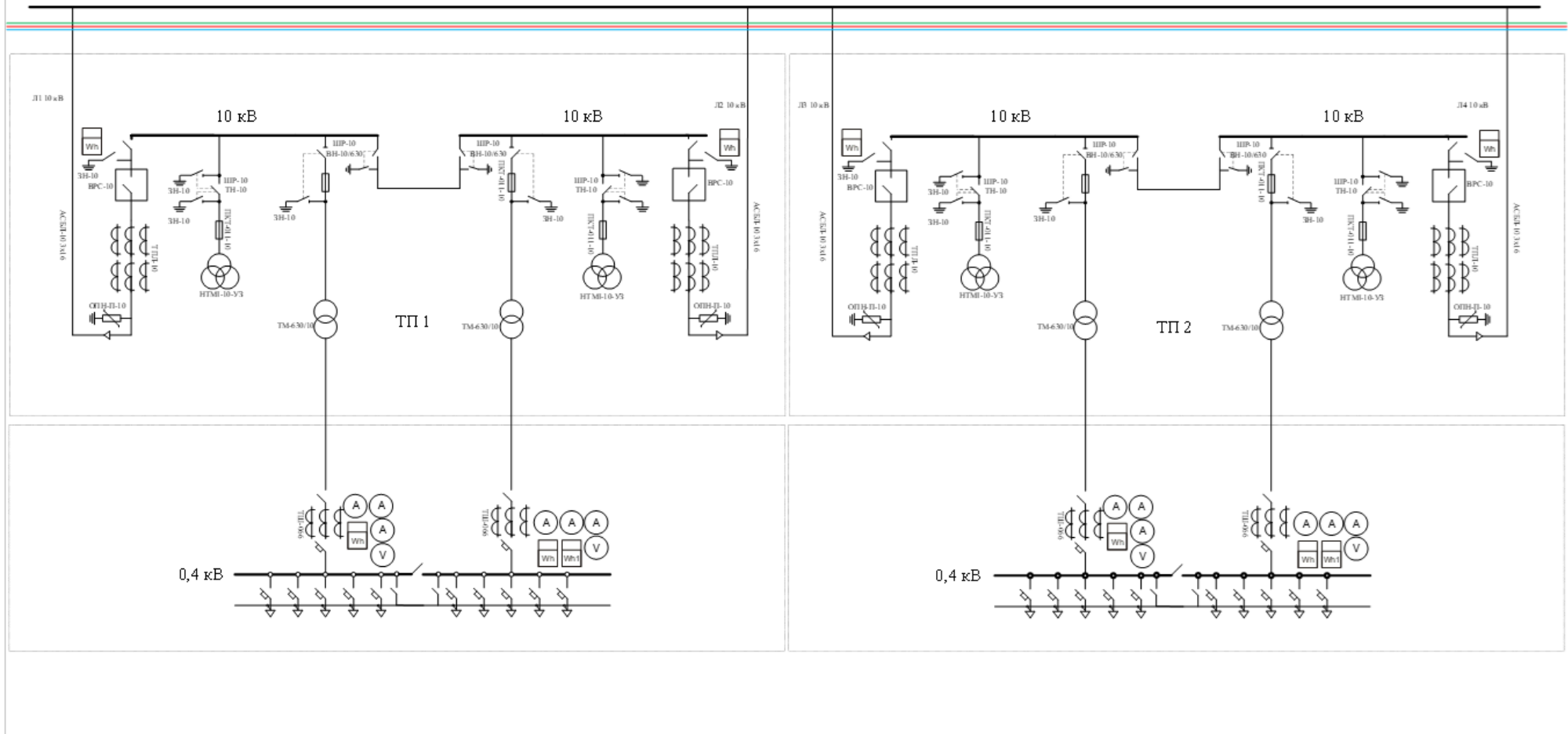
ТОВ «Кондитерський дім «Вапак» — сучасне підприємство, що спеціалізується на виробництві кондитерських виробів, зокрема тортів, тістечок, рулетів та іншої продукції. Підприємство має потужну виробничу базу, оснащену сучасним обладнанням, та здійснює діяльність на території Вінницької області. Завдяки високим стандартам якості, широкому асортименту продукції та впровадженню енергоефективних технологій, компанія успішно конкурує на українському ринку.

Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

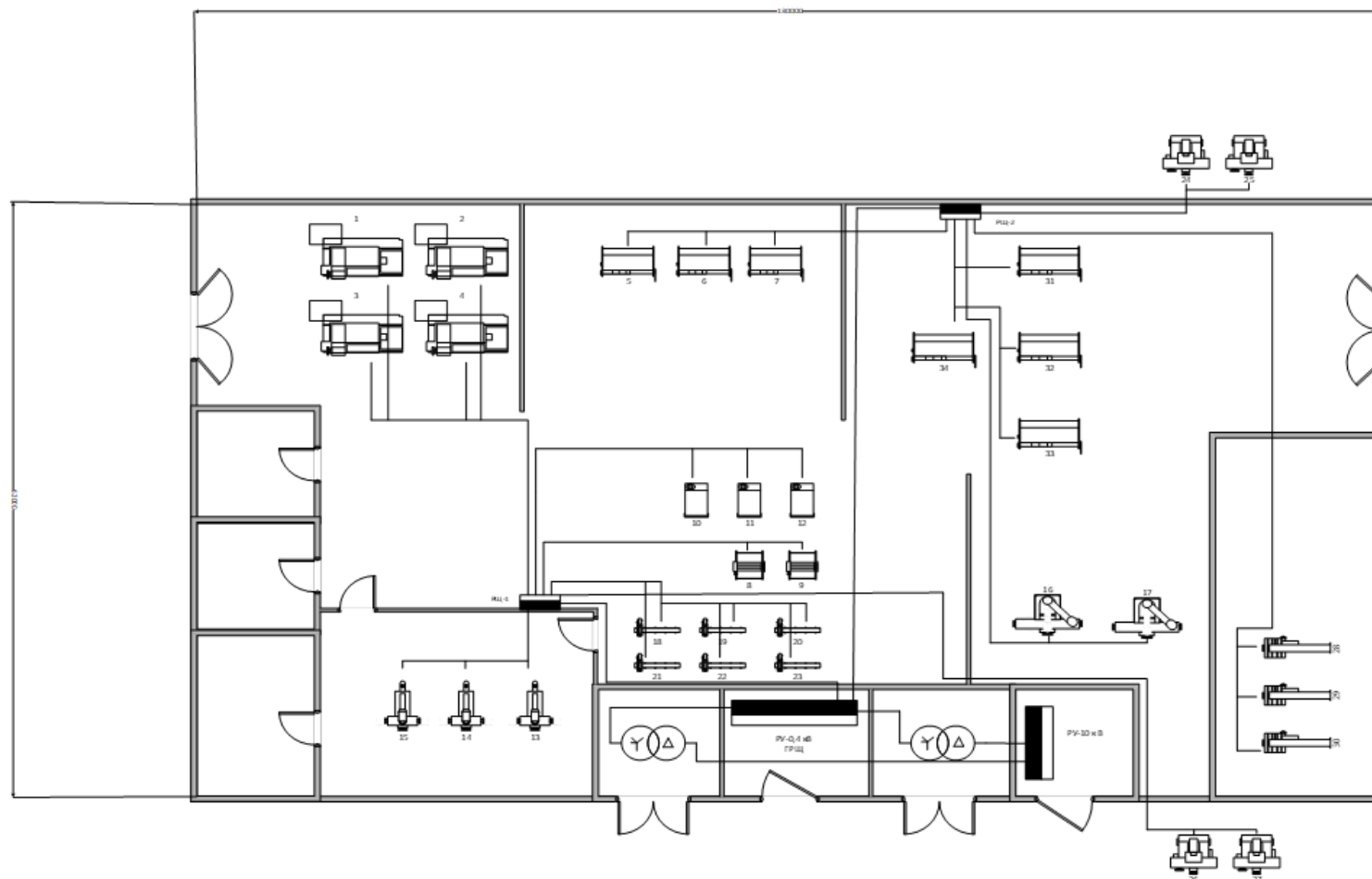
ЕП	Вихідні дані						Розрахункові величини			n _е	K _р	Розрахункові навантаження				
	Завдання технологів			Довідкові дані			n×K _Б ×P _Н	n×K _В ×Q _Н	n×P ² _Н			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А	
	Найменування ЕП	n	P _Н , кВт	n×P _Н , кВт	K _Б	cosφ										tgφ
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1-4	Тістомісильні машини	4	28,4	113,6	0,25	0,75	0,881917104	28,4	25,04644574	3226,24						
8-9	Ліній для виробництва печива	2	48	96	0,72	0,85	0,619744338	69,12	42,83672867	4608						
9-12	Дозувальні машини	3	9,6	28,8	0,25	0,75	0,881917104	7,2	6,349803147	276,48						
15-13	Печі електричні	3	144	432	0,25	0,75	0,881917104	108	95,2470472	62208						
18-23	Конвеєри стрічкові	6	9,6	57,6	0,54	0,8	0,75	31,104	23,328	552,96						
26-27	Системи кондиціювання повітря	2	7,2	14,4	0,8	0,85	0,619744338	11,52	7,139454778	103,68	7,765480302					
	Всього РП1 10 хв	20		742,4	0,343943966			255,344	199,9474795	70975,36	7	1,182	301,8166	219,9422275	373,453944	568,0771889
5-7	Тісторозкатувальні машини	3	14,4	43,2	0,75	0,85	0,619744338	32,4	20,07971656	622,08						
16-17	Охолоджувальний тунель	2	28,8	57,6	0,6	0,75	0,881917104	34,56	30,4790551	1658,88						
24-25	Системи кондиціювання повітря	2	7,2	14,4	0,8	0,85	0,619744338	11,52	7,139454778	103,68						
28-30	Електричні водонагрівачі	3	14,4	43,2	0,6	0,75	0,881917104	25,92	22,85929133	622,08						
31-34	Формувальні автомати	4	15	60	0,75	0,9	0,484322105	45	21,79449472	900	12,20936233					
	Всього РП2 10 хв	14		218,4	0,684065934			149,4	102,3520125	3906,72	12	1	149,4	102,3520125	181,0974723	275,4753153
	Всього ГРП 10 хв	34		960,8	0,421257286			404,744	302,299492	74882,08	12	1,04	420,9338	332,5294412	536,4336488	815,9927728
	Всього ГРП 2,5 год											0,9	364,2696	332,5294412	493,2222326	750,2619906
										ДЛЯ ГРП	12,32787123					

Схема внутрішньозаводського електропостачання

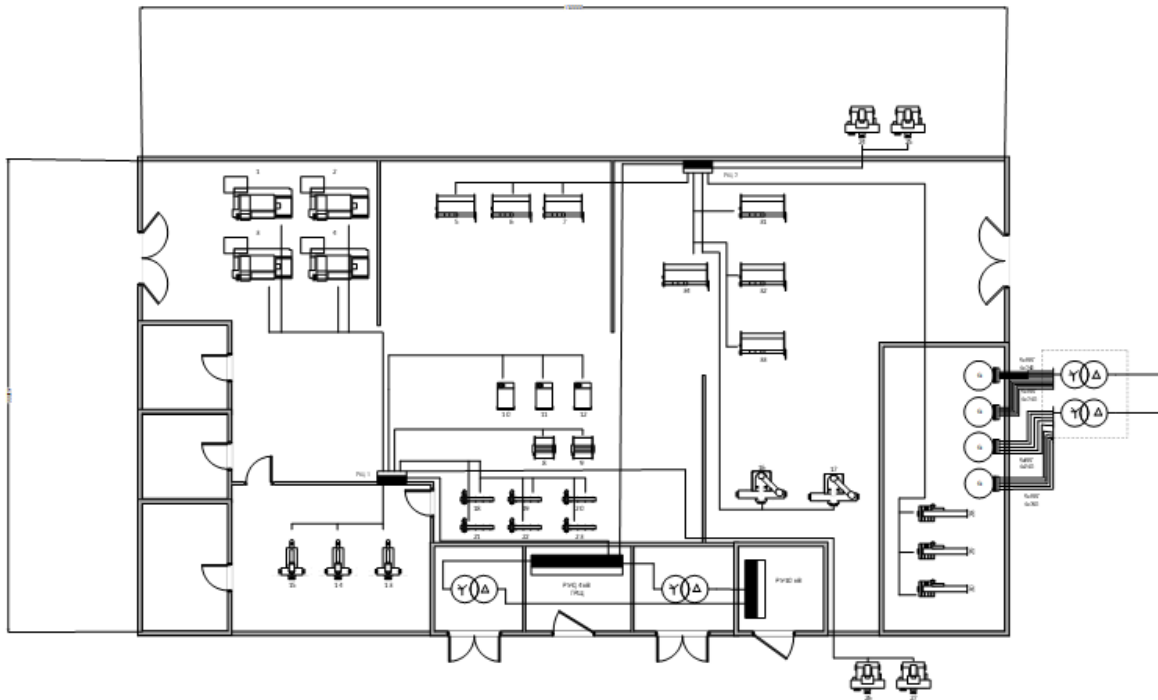
Схема однолінійна
10 кВ



План електропостачання цеху

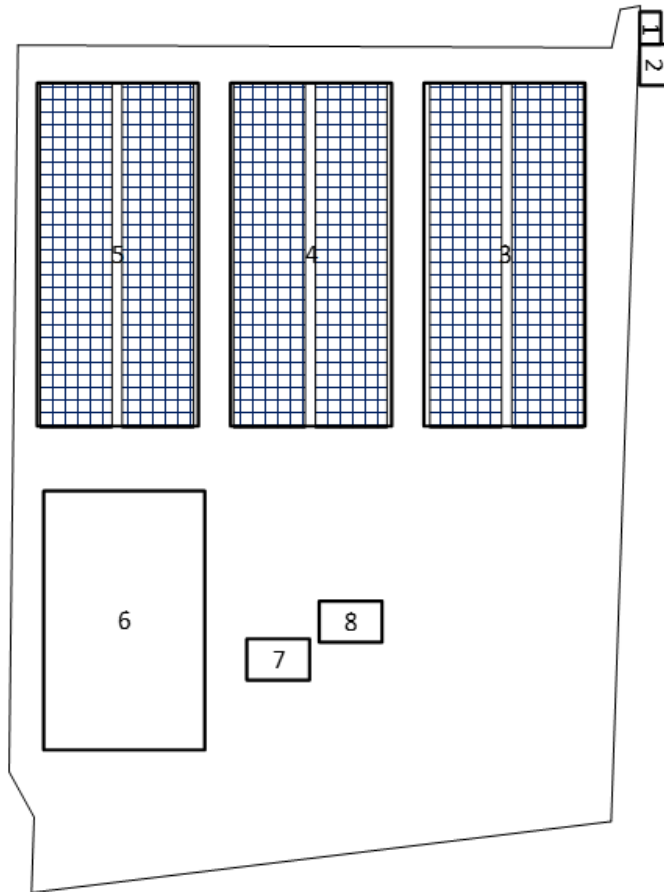


1. КОГЕНЕРАЦІЯ І ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

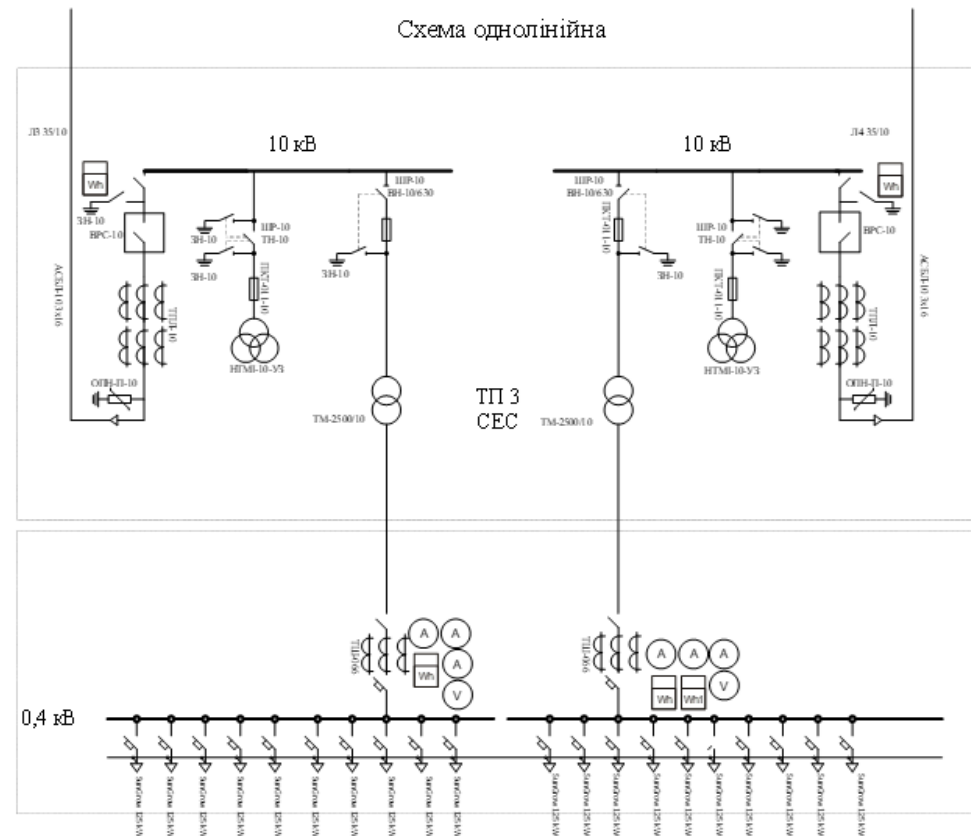
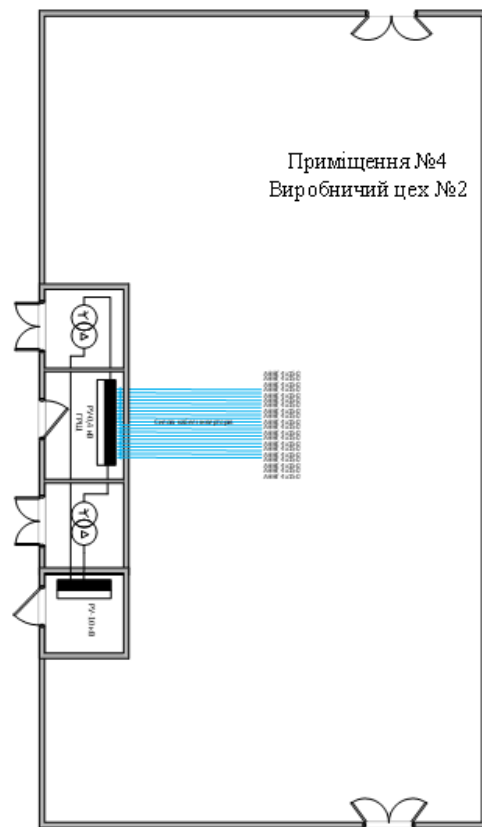


- Когенерація — це технологія одночасного виробництва електричної та теплової енергії, що дозволяє підвищити загальну ефективність енергоспоживання. На ТОВ «КД Вапак» було встановлено чотири когенераційні установки з генераторами потужністю по 1 МВт кожна. Електроенергія покриває потреби підприємства та частково реалізується в мережу, а тепла енергія використовується для технологічних потреб цехів.
- Ці установки дозволили значно зменшити залежність від зовнішніх джерел електропостачання та стабілізувати енергопостачання в умовах можливих відключень. Крім того, когенераційна система сприяє зниженню витрат на енергоносії та підвищує загальну енергоефективність виробництва.

Впровадження СЕС на підприємстві



- На території ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» було впроваджено сонячну електростанцію загальною потужністю фотомодулів 4 МВт з інверторами сумарною потужністю 3 МВт. Це рішення дозволило частково покривати власні потреби підприємства в електроенергії та реалізовувати надлишкову енергію в мережу, підвищуючи енергонезалежність і економічну ефективність виробництва.



- Також було передбачено будівництво двотрансформаторної підстанції та розподільчого пункту для підключення сонячної електростанції до внутрішніх мереж підприємства. Це забезпечило ефективну інтеграцію генерованої енергії в енергосистему заводу та надійність її розподілу.

Висновок

- У ході виконання дипломної роботи було проведено комплексний аналіз електропостачання підприємства ТОВ «КД ВАЦАК» з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, надійності живлення та безпеки експлуатації електроустановок.
- На першому етапі розглянуто загальні відомості про підприємство, технологічний процес та характеристики основних електроспоживачів. Далі виконано розрахунок електричних навантажень підприємства, проведено вибір комутаційно-захисної апаратури та силових кабельних ліній цехової мережі. Розроблено схему електропостачання із урахуванням розміщення цехових трансформаторних підстанцій, проведено перевірку надійності та селективності захисту, а також розраховано струми короткого замикання.
- Особливу увагу приділено впровадженню відновлюваних та високоефективних джерел енергії. Зокрема, на території підприємства встановлено чотири когенераційні установки електричною потужністю по 1 МВт кожна. Вони забезпечують як виробництво електроенергії для внутрішніх потреб та продажу в мережу, так і утилізацію теплової енергії для потреб цехів. Крім того, було реалізовано проєкт зі встановлення сонячної електростанції загальною потужністю фотомодулів 4 МВт (потужність інверторів — 3 МВт), що дозволяє покривати частину добового споживання енергії підприємства з відновлюваних джерел.
- В рамках розділу з охорони праці розглянуто технічні рішення для безпечної експлуатації електрообладнання, питання електробезпеки, мікроклімату, шуму, освітлення та пожежної безпеки. Враховано вимоги нормативної документації щодо санітарно-гігієнічних умов на робочих місцях.
- Таким чином, проведена робота дозволила запропонувати комплексне техніко-економічне рішення для підвищення енергоефективності, надійності та безпеки електропостачання ТОВ «КД ВАЦАК». Впровадження когенераційних установок і сонячної електростанції забезпечило підприємству енергетичну незалежність, можливість комерційного продажу надлишкової електроенергії та стабільне електроживлення навіть у разі аварійних відключень.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ