

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА на тему:

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

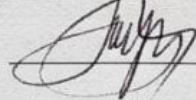
«КОНДИТЕРСЬКИЙ ДІМ «ВАЦАК»», МІСТО МОГИЛІВ-ПОДІЛЬСЬКИЙ

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

Освітня програма: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Будза О.С. 

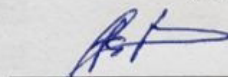
Керівник: к.т.н., проф. каф. ЕСЕЕМ



Терешкевич Л.Б.

«___» _____ 2025 р.

Рецензент проф. каф. ЕЕС, п/проф. каф.
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)



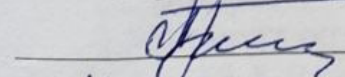
Рубаненко О.С.

«___» _____ 2025 р.

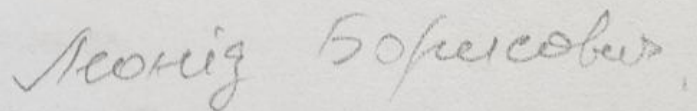
Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

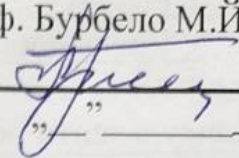


« 16 » 06 2025 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ
проф. Бурбело М.Й..

 2025 р

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
Будза Олег Сергійович

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак»», місто Могилів-Подільський керівник роботи Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор, затверджені наказом по ВНТУ від «20» 03 2025 року, № 97.

2. Строк подання студентом дипломної роботи «10» 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів; відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення; відомості про перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

1. Загальні відомості про підприємство

1.1 Відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

2. Аналіз системи електропостачання підприємства.

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.2 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.3.1. Розрахунок зовнішнього електропостачання

2.3.2. Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху

2.4.1. Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху

2.4.2. Вибір комутаційних та захисних апаратів цехової електромережі

3. Регулювання напруги в мережах підприємства

3.1 Вибір підключення напруги на техніко-економічні показники

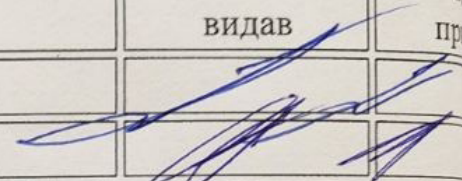
- 3.2 Аналіз режиму напруги в розподільчих мережах
 3.3 Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП
 4. Охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу.

1. Генплан підприємства із картограмою навантажень і розподільною мережею
2. Однолінійна схема електропостачання підприємства
3. План цеху і силової мережі
4. Розрахунково-монтажна таблиця
5. Креслення із спецпитання

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	зав. пр.
Охорона праці	Кобилянський О.В., к.п.н., професор		
Нормоконтр	Войтюк Ю.П., к.т.н., ст.викладач		

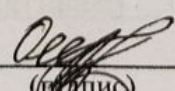
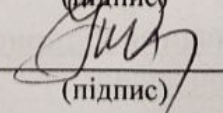
7. Дата видачі завдання «__»__2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1	Загальні відомості про підприємство.	10.05.2025	век
2	Аналіз системи електропостачання підприємства.	15.05.2025	век
3	Розрахунок схеми електропостачання цеху	20.05.2025	век
4	Охорона праці	31.05.2025	век
5	Графічна частина роботи	05.06.2025	век
6	Написання розрахунково-пояснювальної записки	10.06.2025	век

Студент

Керівник дипломної роботи


(підпис)

(підпис)

Будза О.С.
(прізвище та ініціали)

Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Будза Олег Сергійович. Розробка системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак»», м. Могилів-Подільський. Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕМ, 2025 – 84с.

У роботі розроблено систему електропостачання ТОВ «Вацак», з урахуванням сучасних вимог до надійності, енергоефективності та безперервності технологічного процесу. Визначено електричні навантаження підприємства та окремого цеху, обґрунтовано вибір напруги живлення та джерел електропостачання. Розроблено схему зовнішнього та внутрішнього електропостачання, виконано вибір та розміщення трансформаторних підстанцій, проведено підбір кабельних ліній, захисної апаратури, а також розраховано струми короткого замикання з перевіркою стійкості обладнання.

У науково-дослідній частині проаналізовано вплив відхилень напруги на техніко-економічні показники системи електропостачання. Виконано оцінку режимів напруги на різних ділянках мережі при змінному навантаженні. Запропоновано спосіб регулювання напруги шляхом вибору положення ПБЗ трансформатора, що дозволяє підтримувати напругу в допустимих межах.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки під час експлуатації системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, трансформаторна підстанція, напруга, ПБЗ, надійність, енергоефективність.

ABSTRACT

Budza Oleh Serhiiiovych. Development of the Power Supply System for the Limited Liability Company “Vatsak Confectionery House”. Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 84p.

This thesis presents the development of a power supply system for LLC “Vatsak” in accordance with modern requirements for reliability, energy efficiency, and continuity of the technological process. The electrical loads of the enterprise and a specific workshop were determined, the supply voltage level and power sources were substantiated. The external and internal power supply schemes were developed, the number and placement of transformer substations were selected, cable lines and protective equipment were chosen, and short-circuit currents were calculated with verification of equipment withstand capability.

The research section analyzes the impact of voltage deviations on the technical and economic performance of the power supply system. An assessment of voltage conditions at various sections of the network under variable load was carried out. A method of voltage regulation is proposed by selecting the appropriate position of the transformer's off-load tap changer (OLTC), which allows maintaining the voltage within acceptable limits.

Issues of occupational health and safety during the operation of the power supply system are also considered.

Keywords: power supply system, transformer substation, voltage, OLTC, reliability, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	7
1.1 Відомості про технологічні процеси.....	7
1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання.....	10
2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	15
2.1 Розрахунок електричних навантажень	16
2.1.1 Визначення освітлювальних, середніх та розрахункових навантажень	16
2.1.2 Вибір оптимальної напруги живлення	17
2.2 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій	20
2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства	28
2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання.....	28
2.3.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП.....	31
2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху	35
2.4.1. Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху	35
2.4.2. Вибір комутаційних та захисних апаратів цехової електромережі	38
3 РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА	47
3.1 Вплив відхилень напруги на техніко–економічні показники СЕП	47
3.2 Аналіз режиму напруги в розподільчих мережах	49
3.3 Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП.....	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	59
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	59
4.1.2 Електробезпека.....	62
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	63
4.2.1 Мікроклімат.....	63
4.2.2 Склад повітря робочої зони	64
4.2.3 Виробниче освітлення	65
4.2.4 Виробничий шум.....	66

4.2.5 Виробнича вібрація.....	67
4.3 Пожежна безпека	68
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ	76
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	77
Додаток ВБ (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	84

ВСТУП

Актуальність теми. Енергоефективне функціонування виробничого підприємства може бути досягнуто правильним вибором сучасних методів та засобів для реалізації системи електропостачання. Тому важливо підбирати раціональні системи електропостачання, сучасне електрообладнання, кабельно-провідникову продукцію, підвищувати надійність електропостачання, покращувати використання існуючих мереж, знижувати втрати активної енергії, уніфікувати та індустріалізувати будівництво нових об'єктів [1].

Під час етапу проектування СЕП слід дотримуватися нормативних документів та використовувати найбільш сучасні методи розрахунку та технічні апарати, які здатні забезпечити якісну та надійну роботу усієї СЕП в цілому [1]. Аварійні відключення живлення можуть призвести до зменшень об'ємів виробництва, матеріальним втратам а також нести загрозу здоров'ю та життю персоналу. Якість електричної енергії в свою чергу тісно зв'язана з величиною втрат, тому підвищення якості електроенергії підвищує показники надійності і економічності [5].

Мета і задачі дослідження. Метою дипломної роботи є розробка системи електропостачання ТОВ «Вацак».

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- вибір класу напруги, розрахунок електричного навантаження з дотриманням вимог до надійності системи електропостачання;
- вибір кількості та потужності трансформаторів і компенсаторів реактивної потужності з оптимальними параметрами;
- проведення усіх необхідних розрахунків для вибору пристрою регулювання напруги в мережі підприємства.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вацак».

Предмет дослідження – методи та технічні рішення для розробки СЕП ТОВ «Вацак».

Методи досліджень. Для виконання поставлених у роботі задач було використано загальноприйняті методики, технічні рішення та засоби розрахунку, що дозволило отримати результати відповідно нормам і стандартам.

Наукова новизна. Розроблено систему електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»» на підставі техніко-економічного порівняння можливих варіантів реалізації СЕП. Спроектowana СЕП забезпечує живлення підприємства від двох незалежних джерел напругою 10 кВ, відповідає чинним нормативам і є оптимальною з точки зору надійності, ефективності та енергетичних втрат. В науково-дослідній частині роботи проведено аналіз впливу відхилень напруги на техніко-економічні показники СЕП. Для вирішення проблеми відхилень напруги досліджено ефективність використання перемикача без збудження (ПБЗ) трансформатора для регулювання напруги в системі електропостачання підприємства шляхом визначення його оптимального положення. Запропонований підхід базується на реальних розрахунках втрат напруги, враховує змінність навантаження, довжини кабельних ліній, паралельну роботу трансформаторів та дозволяє підтримувати напругу в допустимих межах.

Практичне використання отриманих проектних рішень дозволить спроектувати систему електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»» яка за своїми технічними та економічними показниками буде оптимальною як в процесі проектування так і на стадії експлуатації.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про технологічні процеси

Товариство з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак» розташоване в місті Могилів-Подільський Вінницької області. Підприємство спеціалізується на виробництві широкого асортименту кондитерських виробів: тортів, тістечок, печива, рулетів, цукерок та інших продуктів масового та індивідуального споживання. Продукція компанії реалізується як на території України, так і за її межами.

Кондитерський дім «Вацак» включає в себе виробничі корпуси та допоміжні цехи загальною площею понад 5200 м², що дозволяє організувати повноцінний цикл виготовлення продукції – від підготовки сировини до пакування готових виробів. На рисунку 1.1 представлено центральний вхід до адміністративної частини підприємства.



Рисунок 1.1 – Вхід до ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»

Основними структурними підрозділами підприємства є цехи з випічки та виробництва тортів, дільниця пакування та складування, допоміжні та адміністративні приміщення. Виробниче обладнання включає сучасні ротаційні печі, тістомісильні машини, кремозбивальні установки, автоматизовані лінії

глазурування, охолодження та пакування продукції. Сировинна база складається переважно з натуральних інгредієнтів, що відповідають вимогам безпеки харчових продуктів.

Підприємство також має систему централізованого вентиляційного обслуговування. Очищення повітря в приміщеннях здійснюється через систему фільтрації, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам.

ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» активно впроваджує новітні технології виробництва, зокрема цифрове керування лініями, автоматичний облік сировини та інтегровану систему контролю якості. На рисунку 1.2 показано зону виробничих цехів підприємства.



Рисунок 1.2 –ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»

В основі будь-якого виробництва харчової продукції, зокрема кондитерських виробів, лежить чітко організований технологічний процес, що охоплює послідовність операцій – від підготовки сировини до пакування готової продукції. Ефективність цього процесу визначає якість, смакові властивості, терміни зберігання та конкурентоспроможність виробів на ринку.

Основні технологічні процеси на підприємстві:

- Підготовка сировини. На початковому етапі здійснюється приймання, контроль якості та попередня обробка сировини (борошно, цукор, яйця, олія, молочні продукти, какао тощо). Особлива увага приділяється санітарній обробці інгредієнтів і дотриманню умов їх зберігання.

- Тісто змішування та формування. У спеціалізованих міксерах та тістомісах готуються різні види тіста відповідно до рецептур. Далі тісто подається на формувальні машини або вручну викладається у форми, залежно від виду продукції.

- Випікання. У ротаційних або конвекційних печах відбувається термічна обробка за контрольованими параметрами температури та вологості. Цей етап є критичним для формування текстури та смаку виробів.

- Охолодження та нанесення кремів. Готова випічка проходить охолодження, після чого здійснюється нанесення кремів, глазури, джемів, збірка багатошарових тортів та інших складних виробів. Для цього застосовуються кремозбивальні машини, дозатори та розливальні установки.

- Прикрашання та упаковка. Продукція декорується вручну або за допомогою автоматичних систем, після чого фасується в індивідуальну чи групову упаковку відповідно до вимог зберігання та транспортування.

- Зберігання та логістика. Упакована продукція надходить до холодильних та сухих складів. Завдяки ефективно організованій логістиці, товари оперативно постачаються в мережу фірмових магазинів, партнерські торгові точки та експортні напрямки.

Кожен етап виробництва супроводжується внутрішнім контролем якості, дотриманням санітарно-гігієнічних норм і вимог НАССР. Значна частина процесів автоматизована, що дозволяє підвищити продуктивність і забезпечити стабільність якості продукції.

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» є підприємством харчової промисловості, де виробничі процеси безпосередньо залежать від стабільного електропостачання. Основні споживачі електроенергії на підприємстві – це електропечі, тістомісильне та збивальне обладнання, холодильні камери, системи вентиляції, охолодження та кондиціонування, а також освітлення, автоматизовані лінії пакування і допоміжні електросистеми.

Більшість технологічного обладнання функціонує у безперервному або змінному режимі, що потребує високої надійності живлення. Навіть короткочасне знеструмлення може призвести до псування продуктів, зриву виробничого циклу або пошкодження обладнання, що тягне за собою значні фінансові втрати.

Система електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» включає трансформаторну підстанцію, головний розподільний щит, внутрішні лінії живлення, щити освітлення, силові шафи управління, системи блискавкозахисту, заземлення, а також аварійне резервне живлення у вигляді дизель-генераторної установки.

З урахуванням характеру діяльності підприємства – а саме виробництва харчової продукції з обмеженими термінами зберігання, що потребує безперервного температурного контролю – основні споживачі електроенергії класифікуються як споживачі II категорії надійності електропостачання. Це передбачає живлення від двох незалежних джерел або автоматичне перемикавання на резервне джерело у випадку аварії основного.

Наявність холодильних установок, які забезпечують зберігання сировини та готової продукції, а також безперервна робота тістозмішувального і пекарського обладнання вимагають підвищеної надійності системи живлення. Резервування живлення забезпечується або з альтернативної підстанції, або за допомогою АВР (автоматичного введення резерву) з дизель-генератором, що дозволяє підтримати критичні виробничі процеси у разі аварійної ситуації.

Відповідно до державних будівельних норм та стандартів (ДБН В.2.5-23:2010, ПУЕ), категорія надійності II [2] є оптимальною для підприємств харчової промисловості з безперервними технологічними процесами, такими як ТОВ «Вацак».

На рисунку 1.3 подано умовне позначення території підприємства та основних енергоспоживаючих зон.

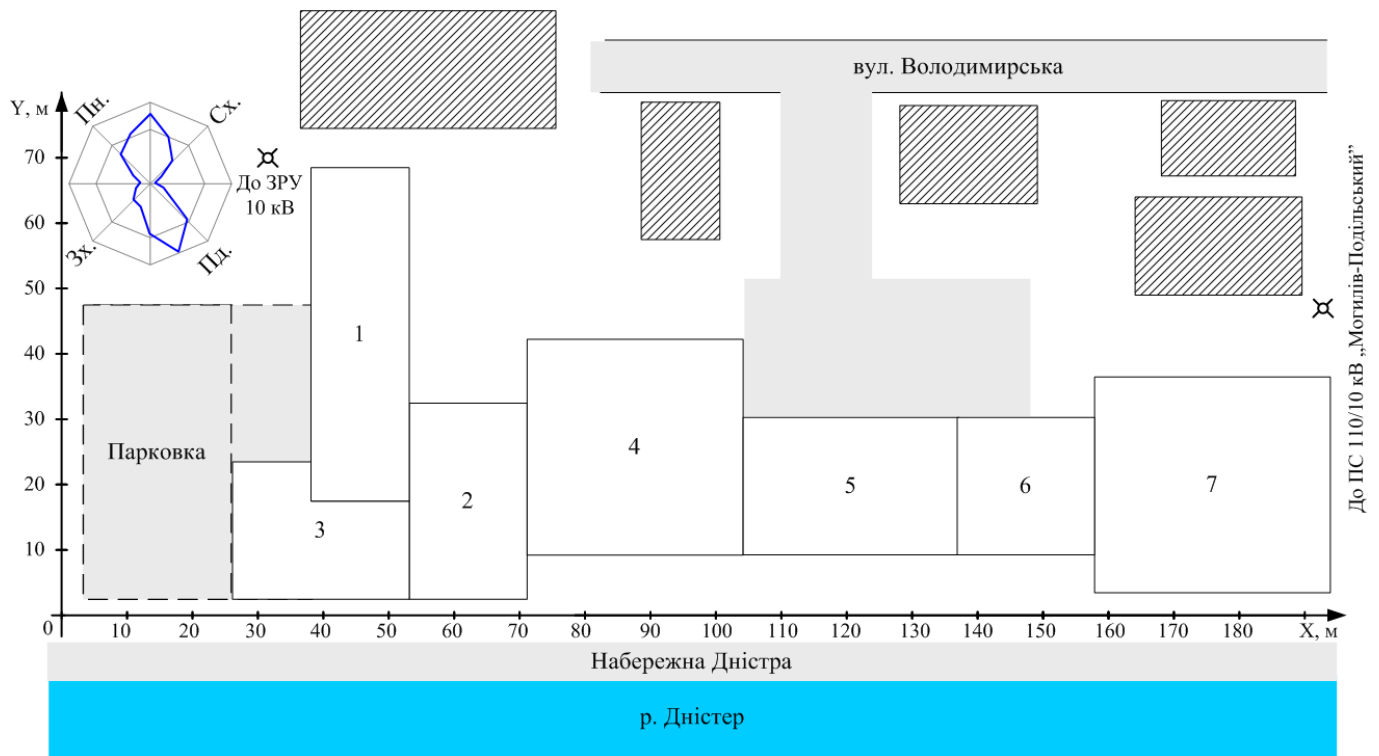


Рисунок 1.3 – Генплан ТОВ «Вацак»

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ТОВ «Вацак»

№	Назва цеху	P_n , кВт	K_p	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	F, m^2
1	Адміністративна будівля	68,5	0,6	0,85	0,62	765
2	Склад готової продукції	54,4	0,7	0,8	0,75	540
3	Гараж	24,8	0,45	0,7	1,02	567
4	Відділ випічки №1	120,4	0,75	0,8	0,75	1089
5	Пакувальний відділ	36,8	0,75	0,7	1,02	693
6	Відвантажувальний відділ					441
7	Відділ випічки №2	133,8	0,75	0,8	0,75	1188

Додаткові дані про систему електропостачання підприємства:

Відстань від підприємства до живлячої ПС енергосистеми:

Від ПС «Могилів-Подільський» 110/10 кВ – 2,5 км;

Від ЗРУ 10 кВ – 0,46 км.

Потужність трифазного КЗ $S_k = 75$ МВА;

Час використання максимального навантаження $T_m = 3000$ год/рік;

Час максимальних втрат складає $\tau_m = 1574,8$ год/рік;

Тариф за активну електроенергію [6] на напрузі 10 кВ, $t = 6,649$ грн/кВт·год.

В даній роботі буде проведено проектування системи електропостачання у відвантажувальному відділі (№6 на генплані підприємства).

Основне навантаження у відвантажувальному відділі створюють холодильні камери, які забезпечують короткочасне зберігання продукції перед її відвантаженням, мостовий кран, що виконує операції з переміщення палет, вентиляційні витяжки, які підтримують необхідні санітарно-гігієнічні умови, конвеєрна система та вага, що використовується для точного обліку маси продукції. Більшість цього обладнання працює в тривалому або циклічному режимі, забезпечуючи ритмічну роботу логістичного етапу.

Знеструмлення таких електроприймачів може спричинити необхідність призупинення відвантаження, додаткові втрати електроенергії, часу, а також негативно вплинути на якість готової продукції внаслідок порушення умов зберігання.

Інформація щодо розподілу електричних навантажень у відвантажувальному відділі наведена в таблиці 1.2, а схема розміщення обладнання представлена на рисунку 1.4.

Таблиця 1.2 – Електричні відвантажувального відділу

№	Найменування	n	Рном, кВт
1-8	Холодильна камера	8	0,8
9-16	Холодильна камера	8	0,55
17	Мостовий кран	1	4
18,19	Витяжка	2	2,2
20	Конвеєр	1	3,6
21	Вага	1	0,5

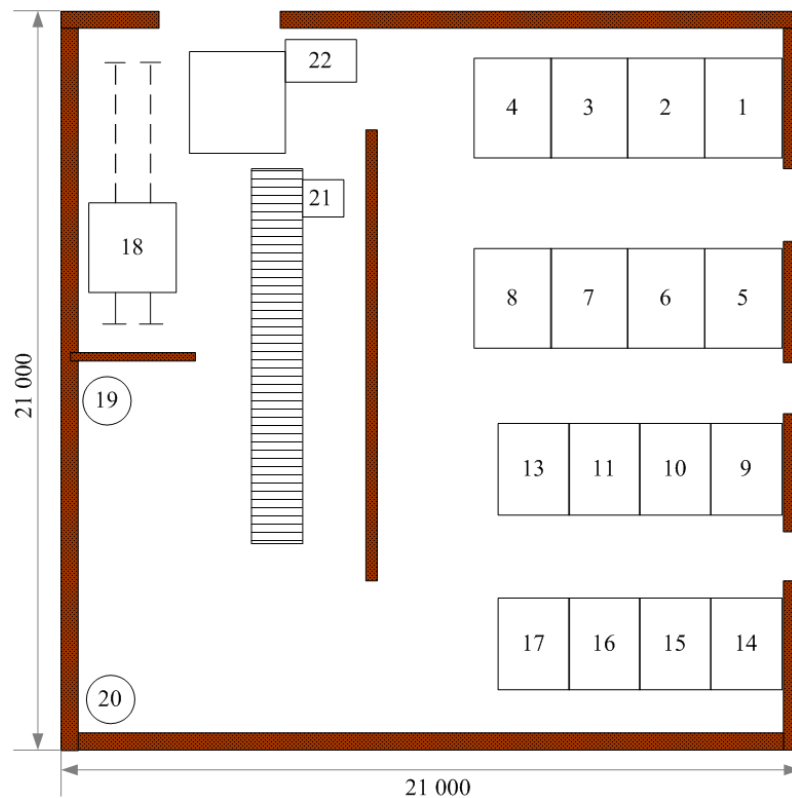


Рисунок 1.4 – План відвантажувального відділу (№6 на генплані)

Висновки по розділу 1.

У першому розділі бакалаврської дипломної роботи було розглянуто загальну структуру та особливості технологічних процесів ТОВ «Кондитерський дім “Вацак”», що розташоване у м. Могилів-Подільський Вінницької області.

1. Проаналізовано етапи технологічного процесу, які включають підготовку сировини, тістозмішування, випікання, охолодження, декорування, пакування та зберігання готової продукції. Встановлено, що більшість основного технологічного обладнання (печі, холодильні камери, тістоміси, витяжки, пакувальні лінії) працює в тривалому або безперервному режимі, що обумовлює підвищені вимоги до надійності електропостачання.

2. Визначено, що основні виробничі підрозділи, включаючи відділи випічки, пакування, охолодження та відвантаження, належать до II категорії надійності електропостачання, що підтверджується вимогами ПУЕ та ДБН В.2.5-23:2010. Це вимагає наявності двох незалежних джерел живлення або автоматичного перемикачання на резерв, що повинно бути реалізовано в спроектованій СЕП.

3. Окрему увагу приділено відвантажувальному відділу, для якого проектується система електропостачання. У ньому зосереджено холодильне обладнання, підйомно-транспортні механізми, конвеєри та вагові пристрої, критично важливі для безперервного логістичного процесу.

4. Під час аналізу системи електропостачання підприємства встановлено ряд важливих аспектів, що мають враховуватись під час подальшого проектування:

- наявність значної кількості електроприймачів із різними режимами роботи;
- потреба в забезпеченні стабільної напруги в умовах змінного добового навантаження;
- віддаленість від основної підстанції 110/10 кВ (2,5 км), що впливає на падіння напруги на вводі.

5. Окремо слід підкреслити актуальність теми регулювання напруги для умов роботи ТОВ «Кондитерський дім “Вацак”». Враховуючи, що основне навантаження підприємства формують електротермічні установки (печі), а також холодильне, пакувальне та допоміжне обладнання, яке працює в режимі змінної активності протягом доби, рівень напруги в мережах може суттєво змінюватися залежно від часу та характеру навантаження. Особливо це проявляється у вечірні та ранкові години, коли виникають локальні просадки або перекося напруги.

Отже, виконаний аналіз створює технічну основу для подальшого проектування удосконаленої системи електропостачання підприємства та відвантажувального відділу, яка відповідатиме сучасним вимогам надійності та енергоефективності.

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

У сучасних умовах ефективна та безперебійна робота підприємств харчової промисловості, таких як ТОВ «Кондитерський дім Вацак», тісно пов'язана з якістю системи електропостачання. З огляду на підвищені вимоги до стабільності технологічних процесів, температурного контролю, автоматизації ліній та санітарних умов, електропостачання відіграє критичну роль у забезпеченні конкурентоспроможності продукції та енергетичної безпеки виробництва.

Розрахунок та раціональна побудова системи електропостачання є ключовими при впровадженні нових технологій і модернізації існуючої інфраструктури. На цьому етапі визначаються:

- фактичні та перспективні електричні навантаження виробничих і допоміжних дільниць;
- вибір джерел живлення, їхня кількість та потужність;
- оптимальні варіанти резервування критичних споживачів;
- структура внутрішньої мережі підприємства;
- рівень напруги та показники її стабільності в основних точках живлення.

Актуальність даного питання для ТОВ «Вацак» зумовлена наявністю розгалуженої структури споживання – від потужного пекарського та охолоджувального обладнання до автоматизованих пакувальних та відвантажувальних ліній, робота яких залежить від безперебійного живлення. Недостатньо точне проектування або відсутність належної уваги до регулювання напруги у внутрішній мережі може призводити до критичних збоїв у роботі обладнання, втрат продукції, підвищеного енергоспоживання та виходу з ладу електроприймачів.

У зв'язку з цим, проектування системи електропостачання із врахуванням специфіки технологічного процесу та режимів навантаження підприємства «Вацак» є актуальним та технічно обґрунтованим завданням, що спрямоване на підвищення надійності, енергоефективності та якості живлення ключових виробничих вузлів.

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.1 Визначення освітлювальних, середніх та розрахункових навантажень підприємства

Формули для розрахунку навантаження цехів та підприємства [9] в цілому представлені в таблиці 2.1. А результат розрахунку наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Послідовність формул для розрахунку навантажень

Назва параметра	Формула	Приклад розрахунку для цеху №1 (Амін. Буд.)
Середня активна потужність силового обладнання підприємства, кВт	$P_C = K_{\Pi} \cdot P_H$	$P_C = 0,6 \cdot 68,5 = 41,1$
Середня реактивна потужність силового обладнання підприємства, квар	$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi$	$Q_C = 41,1 \cdot 0,62 = 25,5$
Розрахункова активна потужність електричного освітлення, кВт	$P_O = P_{\text{Пит.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F$	$P_O = 0,02 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 765 = 16,5$
Розрахункова реактивна потужність електричного освітлення, квар	$Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg} \phi_O$	$Q_O = 16,05 \cdot 0,43 = 7,1$
Питома густина освітлювального навантаження	$P_{\text{Пит.О}} = 0,011 \div 0,022$	$P_{\text{Пит.О}} = 0,02$
Коефіцієнт попиту освітлювального навантаження	$K_{\text{ПО}} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення;} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення;} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції;} \\ 1,0 - \text{аварійне освітлення.} \end{cases}$	
Коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі	$K_{\text{ПРА}} = \begin{cases} 1,1 - \text{ДРЛ;} \\ 1,2 - \text{люмінесцентні - стартерні;} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінесцентні - безстартерні.} \end{cases}$	
Розрахункова активна потужність, кВт	$P_P = P_C + P_O$	$P_P = 41,1 + 16,5 = 57,6$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_P = Q_C + Q_O$	$Q_P = 25,5 + 7,1 = 33,4$
Розрахункова максимальна активна потужність усієї мережі, кВт	$P_{P\Sigma} = K_O \left(\sum_{i=1}^N P_{Pi} + P_{\text{ПЦі}} + P_{P3} \right) + P_{O\Sigma}$	
Розрахункова максимальна реактивна потужність усієї мережі, квар	$Q_{P\Sigma} = K_O \left(\sum_{i=1}^N Q_{Pi} + Q_{\text{ПЦі}} + Q_{P3} \right)$	
Сумарне навантаження підприємства, кВА	$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}$	$S_{P\Sigma} = \sqrt{57,6^2 + 33,4^2} = 66,6$

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження				Сумарне навантаження			
		P _н , кВт	K _п	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , квар	F, м²	P _{пит.о} Вт/м²	K _{по}	K _{пра}	P _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Адміністративна будівля	68,5	0,6	0,85	0,62	41,1	25,5	765	0,020	0,9	1,2	16,5	57,6	33,4	66,6
2	Склад готової продукції	54,4	0,7	0,8	0,75	38,1	28,6	540	0,016	0,8	1,1	7,6	45,7	32,2	55,9
3	Гараж	24,8	0,45	0,7	1,02	11,2	11,4	567	0,016	0,8	1,1	8,0	19,1	15,2	24,5
4	Відділ випічки №1	120,4	0,75	0,8	0,75	90,3	67,7	1089	0,020	0,9	1,2	23,5	113,8	79,0	138,6
5	Пакувальний відділ	36,8	0,75	0,7	1,02	27,6	28,2	693	0,020	0,9	1,2	15,0	42,6	35,3	55,3
6	Відвантажувальний відділ	23,3				13,6	11,2	441	0,020	0,9	1,2	9,5	23,1	15,8	28,0
7	Відділ випічки №2	133,8	0,75	0,8	0,75	100,4	75,3	1188	0,020	0,9	1,2	25,7	126,0	87,6	153,5
	Всього по підприємству	462				322,2	247,7	5283				105,79	411,8	283,6	500,07

Отримані результати дають змогу подальшого проектування системи електропостачання підприємства.

2.1.2 Вибір оптимальної напруги живлення

Визначення класу напруги живлення з стандартного ряду напруг необхідно віднести до техніко-економічних задач, яка вирішується на першому етапі проектування одночасно з вибором реалізації схеми живлення на основі техніко-економічного порівняння можливих декількох варіантів реалізації проекту. Рішенням даної задачі буде проект схеми живлення з оптимальнішими параметрами відносно інших можливих варіантів [4].

Для визначення оптимальної напруги живлення відносно таких параметрів підприємства, як необхідна потужність живлення а також відстань до живлячої підстанції доцільно скористатися даною формулою:

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

Дана формула використовується для підприємств параметри, якого нележать наступним обмеженням, а саме відстань до живлячої підстанції не більше $L \leq 250$ км, а розрахункове активне навантаження не більше $P_p \leq 60$ МВт [4].

Оптимальне значення напруги живлення для даного підприємства:

$$U_{ек} = 4,34 \sqrt{2,5 + 16 \cdot 0,412} = 13,01 \text{ (кВ)}.$$

Згідно результатів розрахунку для подальшого вибору доцільно обрати для порівняння два класи напруги, а саме 10 і 35 кВ. Однак при проектуванні системи електропостачання для ТОВ «Кондитерський дім «Вацик»» враховано фактичну інфраструктуру, топографію розміщення та наявну енергетичну інфраструктуру поблизу.

Підприємство розташоване в межах міської забудови м. Могилів-Подільський, що суттєво обмежує можливість прокладання нових високовольтних повітряних ліній напругою 35 кВ та будівництва ГПП 35/10. Крім того, в безпосередній близькості до підприємства відсутні діючі ПС класу напруги 35 кВ, які могли б бути використані для приєднання.

Разом з тим, поблизу підприємства наявні два джерела живлення напругою 10 кВ, а саме:

- ПС 110/10 кВ «Могилів-Подільський» на відстані 2,5 км від підприємства;
- можливість приєднання до ЗРУ 10 кВ, розташованого лише за 460 м від підприємства.

Таке технічне рішення дозволяє забезпечити підприємству живлення від двох незалежних джерел, що відповідає II категорії надійності електропостачання, без необхідності будівництва нових об'єктів підвищеного класу напруги. Наявність обох джерел на напрузі 10 кВ, а також технічна можливість приєднання через кабельні лінії економічно обґрунтовують вибір 10 кВ як оптимального класу напруги для зовнішнього електропостачання підприємства.

Визначаємо розрахунковий струм ліній для нормального режиму роботи:

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

$$I_p = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 28,9 \text{ (A)}.$$

В якості кабельної лінії 10 кВ приймаємо кабель з ізоляцією з шитого поліетилену типу АПвЭгаПу-10 3×35 [6], допустимий струм якого складає 119 А.

Результати розрахунку капітальних вкладень в СЕП наведені в таблиці 2.3, а щорічних витрат – в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість	10 кВ	
		Кількість	Вартість
Лінії електропередавання, км	тис.грн. за 1 км КЛ	км	тис.грн.
ЗРУ-ТП1 КЛ 10кВ АПвЭгаПу 3×35	419,00	2,5	1047,5
ПС-ТП2 КЛ 10кВ АПвЭгаПу 3×35	419,00	0,46	192,74
ВСЬОГО по лініях			1240,24
Підстанції	тис.грн. за одиницю ПС.		
Розширення РП-10 кВ	18,7	2	37,4
Спорудження РП-10 кВ	124,6	1	124,6
ВСЬОГО по ПС			162
ВСЬОГО			1402,24

Навантажувальні втрати активної електричної енергії визначають як добуток втрат активної потужності в максимальному режимі навантаження ΔP_m на час максимальних втрат τ :

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

де T_m – час використання максимального навантаження ($T_m = W/P_m$, тут W – кількість спожитої енергії);

Вартість втрат електроенергії в ЛЕП:

$$C_{\Delta W10} = 2 \cdot 3 \cdot 28,9^2 \cdot 0,868 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1575 \cdot 6,649 = 113,87 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Зведені річні витрати визначаються за формулою:

$$З = E_n \cdot K + B ; \quad (2.4)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,1$ [5]);

K – капітальні вкладення;

B – щорічні поточні витрати на експлуатацію СЕП.

Таблиця 2.4 – Розрахунок щорічних витрат

Перелік поточних витрат	10 кВ
Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, в тому числі:	
КЛ 10 кВ, 3,8% від К	57,37
ПС 10 кВ, 4,3% від К	64,92
Всього щорічні витрати на обслуговування, ВО тис.грн.	122,29
Амортизація, в тому числі:	
КЛ 10 кВ, 3% від К	45,29
ПС 10 кВ, 3,6% від К	54,35
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва тис.грн.	99,65
Тариф на ЕЕ, грн./кВт*год	6,649
Вартість втрат електроенергії в ЛЕП, ВДВ тис.грн.	113,87
ВСЬОГО щорічні витрати (В) тис.грн.	335,81

Зведені річні витрати будуть складати:

$$З_{10} = 0,1 \cdot 1402,24 + 335,81 = 476,03 \text{ (тис.грн.)};$$

Таким чином, попри теоретичну доцільність живлення на напрузі 35 кВ з урахуванням реальної енергетичної інфраструктури, забудови території та техніко-економічних міркувань, для проектування приймається напруга 10 кВ, що дозволяє реалізувати надійну, доступну та економічно ефективну схему живлення.

2.2 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

Значення густини питомого навантаження на 1 м^2 площі цеху [9]:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}; \quad (2.5)$$

Кількості необхідних двотрансформаторних підстанцій які здатні забезпечити навантаження підприємства визначається за наступною формулою [9]:

$$N_{\text{ек}} \geq \frac{S_{\Sigma}}{2 \cdot S_{\text{ном.т.}} \cdot k_3}; \quad (2.6)$$

де $k_3 = 0,7 - 0,75$ – для споживачів I категорії [9];

$k_3 = 0,8 - 0,85$ – для споживачів II, III категорій [9];

Повна розрахункова потужність всіх цехів підприємства:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{\text{pi}} = 500 \text{ (кВА)}.$$

Сумарна площа всіх цехів підприємства:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 5283 \text{ (м}^2\text{)}.$$

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

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{500}{5283} = 0,09 \text{ (кВ}\cdot\text{А/м}^2\text{)}.$$

Даній густині відповідають двотрансформаторні підстанції з потужністю апаратів $S_{\text{ном.т.}} = 630$ чи 400 кВА. Розглянемо та порівняємо між собою два варіанти:

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

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{500}{2 \cdot 630 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 0,47 \div 0,5 \text{ (шт.)};$$

2. При $S_{\text{ном.т.}} = 400$ кВА число ТП:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{500}{400 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 0,78 \div 0,74 \text{ (шт.)}.$$

Таким чином, для забезпечення електропостачання об'єктів підприємства доцільно передбачити встановлення однієї двотрансформаторної підстанції з трансформаторами номінальною потужністю по 630 кВА, або 400 кВА.

Порівняльні характеристики навантаження для обох варіантів наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

Варіант 1				Варіант 2			
Цех	S _р , кВА	630 кВА		Цех	S _р , кВА	400 кВА	
		N, шт	k ₃			N, шт	k ₃
BCI	521,81	2	0,41	BCI	521,81	2	0,65

Здійснюємо техніко-економічне порівняння варіантів спорудженої системи електропостачання підприємства. Паспортні дані трансформаторів наведено в таблиці 2.6 [8].

Таблиця 2.6 - Параметри трансформаторів

S _{н.тр} , кВА	U _{н.т} , кВ	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _к , кВт	I _{xx} %	U _к %
630	10	1,5	8	2,5	5,5
400	10	0,8	5,5	0,5	4,5

Однолінійна схема електропостачання ТОВ «Вацак» є радіальною на напрузі 10 кВ. Проводимо техніко-економічне порівняння варіантів спорудження підстанцій потужністю 630 кВА і 400 кВА за допомогою методу річних витрат (рисунок 2.1).

Кращий варіант задіяних ТП буде з меншими приведеними затратами:

$$B_{\text{пр}} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + 3_{\text{пер}}; \quad (2.7)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт (0,1);

E_a – амортизація ($E_a = 0,063$ [5]);

К – капітальні вкладення в ТП, грн;

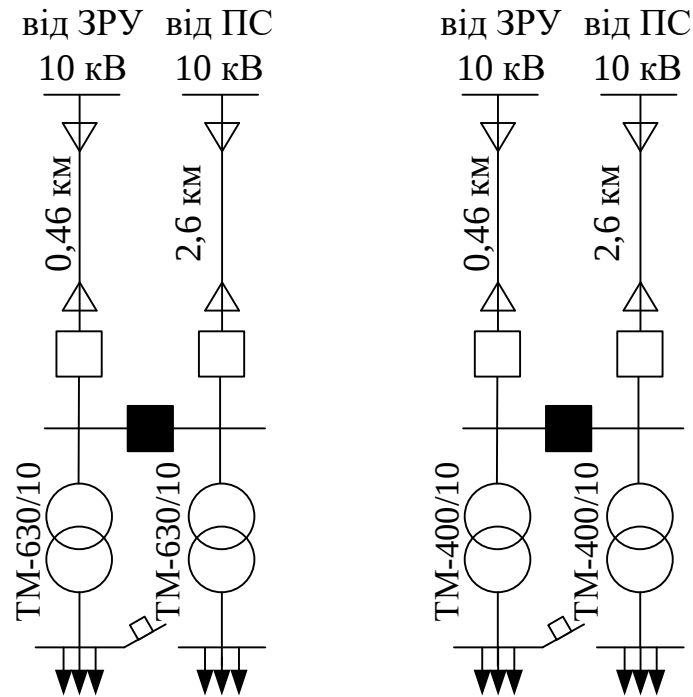


Рисунок 2.1 – Варіанти схем внутрішньозаводського електропостачання

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

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{ном.т.}}} \right)^2; \quad (2.8)$$

Вартість річних втрат потужності розраховуємо за допомогою діючого тарифу:

$$m = t \cdot \tau; \quad (2.9)$$

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

Приймаємо, що $t = 6,649$ грн/кВт·год. для напруги живлення 10 кВ, а $T_{\text{м}} = 4000$.

Звідси вартість річних витрат активної потужності в трансформаторах:

$$m = 6,649 \cdot \left(0,124 + \frac{2500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 8147,11 \text{ (грн/рік)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 630 кВА:

$$\Delta P_{630} = 2 \cdot 1,5 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot \left(\frac{500}{630} \right)^2 = 5,52 \text{ (кВт)};$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 400 кВА:

$$\Delta P_{400} = 2 \cdot 0,8 + \frac{1}{2} \cdot 5,5 \cdot \left(\frac{500}{400} \right)^2 = 5,897 \text{ (кВт)}.$$

Вартість спорудження ТП [10]:

$$K_{630} = 805120 \text{ (грн)};$$

$$K_{400} = 614720 \text{ (грн)}.$$

Остаточню розраховуємо, який із запропонованих варіантів буде вигіднішим:

$$V_{\text{пр}630} = (0,1 + 0,063) \cdot 805120 + 8147,11 \cdot 5,52 = 176206,6 \text{ (грн)};$$

$$V_{\text{пр}400} = (0,1 + 0,063) \cdot 614720 + 8147,11 \cdot 5,897 = 148242,868 \text{ (грн)}.$$

Отже обираємо варіант спорудження СЕП з однією двотрансформаторною підстанцією потужність 2хТМ-400/10. Даний варіант є більш економічніший.

Дані про коефіцієнт завантаження ТП представлено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Номінальні параметри трансформаторів

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Kз, в.о.
ТП1	1	Адміністративна будівля	57,62	33,40	66,61	400	2	0,65
	2	Склад готової продукції	45,68	32,21	55,90			
	3	Гараж	19,14	15,22	24,45			
	4	Відділ випічки №1	113,82	79,02	138,56			
	5	Пакувальний відділ	42,57	35,34	55,33			
	6	Відвантажувальний відділ	23,13	15,77	27,99			
	7	Відділ випічки №2	126,01	87,58	153,46			
		Всього по ТП1	427,98	298,54	521,81			

Здійснюємо побудову картограми електричних навантажень підприємства.

Картограма електричних навантажень підприємства являє собою графічне відображення загального плану території з позначенням цехів, електротехнічних приміщень та енергетичної інфраструктури [9]. На схемі зображені умовні кружки, розміри яких пропорційно відповідають величинам електричного навантаження кожного споживача. Крім того, на картограмі вказано розміщення трансформаторної підстанції, а також прокладення трас кабельних ліній у вигляді траншей або підземних каналів.

Місце розташування цехових ТП можна визначити за наступними формулами:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}; \quad (2.10)$$

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

Дані для даного розрахунку беремо з таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	ТП	Рр, кВт	X, м	Y, м	Рр*X, кВт*м	Рр*Y, кВт*м
1	Адміністративна будівля	1	57,62	45	43	2593,08	2477,83
2	Склад готової продукції	1	45,68	62	18	2832,36	822,30
3	Гараж	1	19,14	40	13	765,73	248,86
2	Відділ випічки №1	1	113,82	88	26	10016,37	2959,38
5	Пакувальний відділ	2	42,57	120	20	5108,26	851,38
6	Відвантажувальний відділ	2	23,13	147	20	3399,46	462,51
7	Відділ випічки №2	2	126,01	176	20	22177,90	2520,22
			ΣРр, кВт	ΣРр*X/ΣРр	ΣРр*Y/ΣРр	ΣРр*X, кВт*м	ΣРр*Y, кВт*м
	Координати ЦЕН		427,98	109,57	24,17	46893,16	10342,48

Оптимальні координати ТП збігаються з ЦЕН.

$$\text{Дані } \sum_{i=1}^n P_{\text{Mi}} = 427,98 \text{ (кВт)};$$

$$\sum_{i=1}^n P_{Mi} \cdot X_i = 46893,16 \text{ (кВт м)};$$

$$\sum_{i=1}^n P_{Mi} \cdot Y_i = 10342,48 \text{ (кВт м)};$$

$$X_0 = \frac{46893,16}{427,98} = 110 \text{ (м)};$$

$$Y_0 = \frac{10342,48}{427,98} = 24 \text{ (м)}.$$

Рішення про розміщення ТП в центрі електричних навантажень необхідно погоджувати з технологами і будівельниками. Розташування трансформаторної підстанції на території підприємства не завжди може відповідати розрахованим ідеальним координатам, оскільки в цих місцях можуть бути вже наявні будівлі, проїзди або інженерні комунікації [9]. Тому при проектуванні враховується генеральний план підприємства, і підстанції розміщуються якнайближче до розрахованих точок з урахуванням реальних обмежень на місцевості.

Координати в яких буде розміщено ТП: $X = 100 \text{ (м)}$; $Y = 45 \text{ (м)}$.

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

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.11)$$

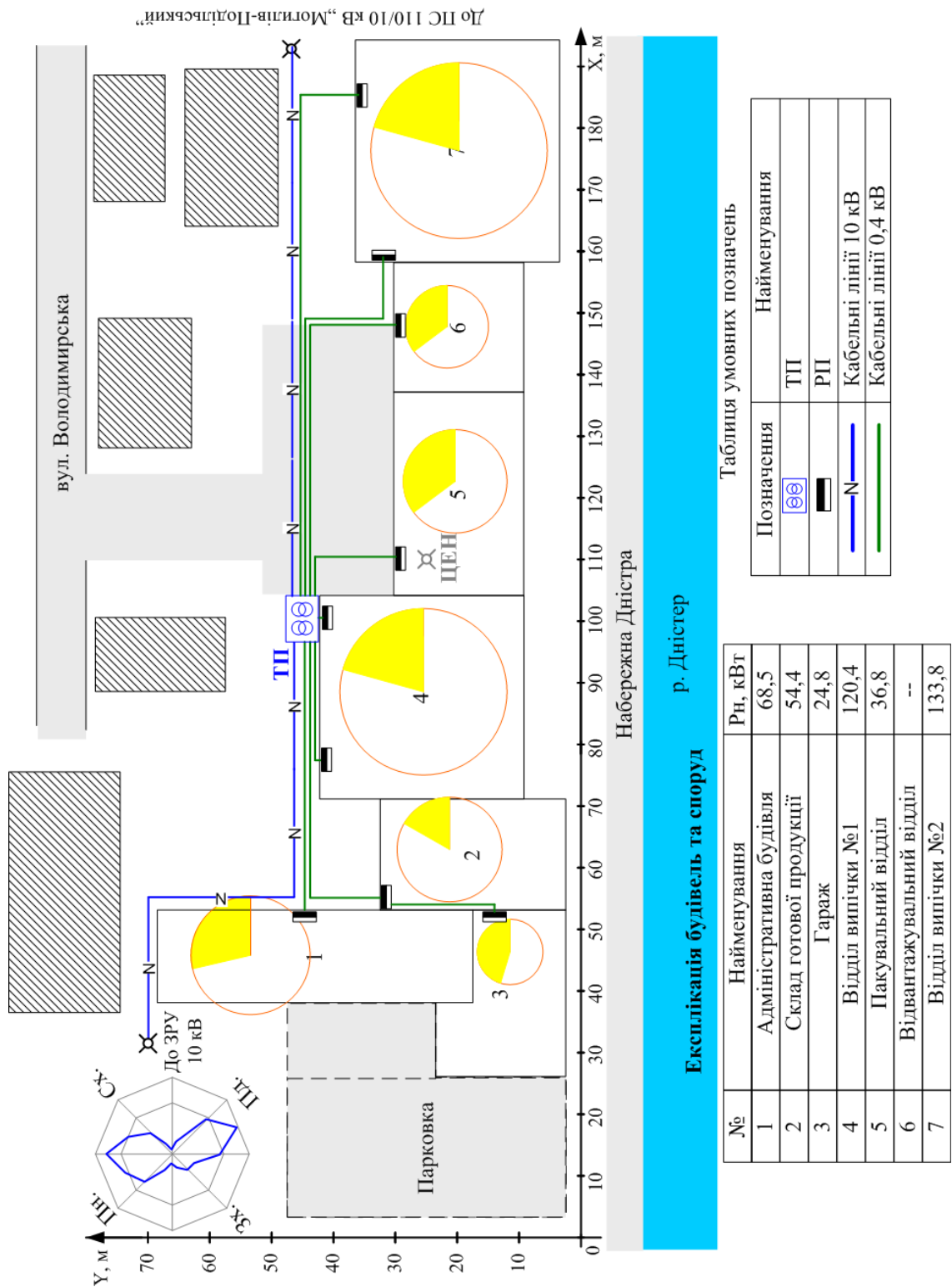
Величина сектору, яке характеризує освітлювальне навантаження цеху:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}; \quad (2.12)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X, м	Y, м	P _p , кВт	P _o , кВт	r, м	α°,	d, м
1	Адміністративна будівля	45	43	57,62	16,52	9,58	103,2	19,16
2	Склад готової продукції	62	18	45,68	7,60	8,53	59,9	17,06
3	Гараж	40	13	19,14	7,98	5,52	150,1	11,04
4	Відділ випічки №1	88	26	113,82	23,52	13,46	74,4	26,93
5	Пакувальний відділ	120	20	42,57	14,97	8,23	126,6	16,47
6	Відвантажувальний відділ	147	20	23,13	9,53	6,07	148,3	12,14
7	Відділ випічки №2	176	20	126,01	25,66	14,17	73,3	28,33



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

2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства

2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

Згідно з ПУЕ [2], електрообладнання необхідно підбирати за типом установки, величиною номінального струму і номінальною напругою та перевіряється на термічну і динамічну стійкість при аварійних режимах роботи.

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

$$I_{\text{р.па}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 28,9 \text{ (А)};$$

$$I_{\max \text{ ТП}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32,3 \text{ (А)};$$

В якості кабельної лінії 10 кВ обираємо АПвЭтаПу-10 3×35 [6], допустимий струм при прокладанні у землі складає 119 А [6] прокладені в траншеї для живлення ГПП підприємства від ПС «Могилів-Подільський» довжиною 2,5 км.

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

$$I_{\text{р}} \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (2.13)$$

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

де k_1 - коефіцієнт, що характеризує температуру навколишнього середовища;

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

k_3 - коефіцієнт, що характеризує питомий термічний опір ґрунту;

k_4 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в землі;

k_5 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в повітрі;

k_6 - коефіцієнт, що характеризує вплив перерізу екрана.

$$32,3 \text{ (А)} \leq 1 \cdot 0,95 \cdot 1,16 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 119 = 104,9 \text{ (А)}.$$

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

На рисунку 2.3 показано опис конструкції та технічні характеристики кабелів АПвЭгаПу-10 3×35.

АПвЭгаПу-10 3×35 ТУ У 31.3-00214534-017-2003 Кабелі силові з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:		
Номинальна напруга	кВ	10
Максимальна напруга	кВ	12
Число та номінальний перетин струмопровідних жил	мм ²	3 × 35
Товщина ізоляції	мм	3.4
Мінімальний перетин екрану	мм ²	16
Допустимий струм короткого замикання по екрану мінімального перетину	кА	3.3
Максимально допустимий струм короткого замикання по струмопровідній жилі	кА	3.3
Тривало допустимі струмові навантаження *		
• при прокладанні у повітрі	A	132
• при прокладанні в ґрунті	A	119
Рівень часткових розрядів при номінальній напрузі, не більше	рС	6
Максимально допустима температура жили		
• тривало	° C	+90
• в аварійному режимі	° C	+130
• при короткому замиканні	° C	+250
Діапазон робочих температур	° C	-60 ... +50

Рисунок 2.3 – Конструкція та характеристики кабелю АПвЭгаПу-10 3×35

k_1 - коефіцієнт, що характеризує температуру навколишнього середовища

Таблиця Б.4 – Поправний коефіцієнт на температуру землі і повітря для кабелів із зшитого ПЕ

Спосіб прокладання	Поправний коефіцієнт на струми для розрахункової температури середовища, °C										
	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	+55	+60
в землі (20 °C)	1,07	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	-	-
в повітрі (30 °C)	-	-	1,08	1,04	1,00	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71

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

Таблиця Б.7 – Поправний коефіцієнт на глибину прокладання для кабелів ПАТ із зшитого ПЕ, прокладених в землі

Глибина прокладання, м	Прокладених безпосередньо в землі			Прокладених в землі в трубах		
	Одножильних		Трижильних	Одножильних		Трижильних
	до 185 мм ²	>185 мм ²		до 185 мм ²	>185 мм ²	
0,50	1,04	1,06	1,04	1,04	1,05	1,03
0,60	1,02	1,04	1,03	1,02	1,03	1,02
0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,99
1,25	0,96	0,95	0,96	0,96	0,95	0,97
1,50	0,95	0,93	0,95	0,95	0,93	0,96
1,75	0,94	0,91	0,94	0,94	0,92	0,95
2,00	0,93	0,90	0,93	0,93	0,91	0,94
2,50	0,91	0,88	0,91	0,91	0,89	0,93
3,00	0,90	0,86	0,90	0,90	0,88	0,92

k_3 - коефіцієнт, що характеризує питомий термічний опір ґрунту;

Таблиця Б.6 – Поправний коефіцієнт на питомий термічний опір ґрунта для одножильних кабелів із зшитого ПЕ, прокладених безпосередньо в землі

Переріз жили, мм ²	Питомий термічний опір ґрунта, см·К/Вт						
	70	80	90	100	200	250	300
1×35	1,30	1,25	1,21	1,16	0,89	0,81	0,75
1×50	1,32	1,26	1,21	1,16	0,89	0,81	0,74
1×70	1,33	1,27	1,22	1,17	0,89	0,81	0,74
1×95	1,34	1,28	1,22	1,18	0,89	0,80	0,74

k_4 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в землі

Таблиця Б.8 – Поправний коефіцієнт на кількість працюючих поряд трижильних або груп одножильних кабелів із зшитого ПЕ, прокладених впритул один до одного

Тип кабелів і спосіб прокладання	Коефіцієнт за кількості трижильних або груп одножильних кабелів				
	2	3	4	5	6
одножильні безпосередньо в землі	0,73	0,60	0,54	0,49	0,46
трижильні безпосередньо в землі	0,80	0,69	0,62	0,57	0,54
одножильні в землі кожен в окремій трубі	0,78	0,66	0,59	0,55	0,51
трижильні в землі кожен в окремій трубі	0,85	0,75	0,69	0,65	0,62

k_5 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в повітрі;

$k_5 = 1$ - так, як кабелі прокладено в землі.

k_6 - коефіцієнт, що характеризує вплив перерізу екрану

Переріз екрану	Алюмінієві жили перерізом					Мідні жили перерізом				
	300	400	500	630	800	300	400	500	630	800
25	1					1				
35	0,99	1	1	1	1	0,99	1	1	1	1
50	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98
70	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96
95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94
120	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92

Рисунок 2.4 – Вибір поправочних коефіцієнтів відносно умов прокладання КЛ

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

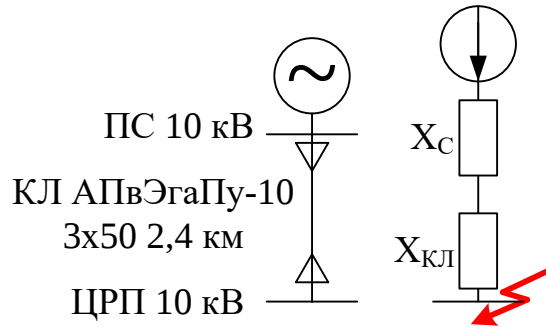


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема і схема заміщення

Розраховуємо значення струмів у точці К-1:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_R} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ (кА)}, \quad (2.19)$$

Визначаємо опори елементів, що зведені до базисних умов:

Для системи:

$$X_C = \frac{S_6}{S_K} = \frac{1000}{75} = 13,33 \text{ (в.о.)}, \quad (2.20)$$

Для визначення опору лінії скористаємось формулою:

$$X_L = X_{\text{пит}} \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{\text{сер}}^2} = 0,066 \cdot 2,4 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,44 \text{ (в.о.)}, \quad (2.21)$$

Результуючий опір рівний:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_L = 13,33 + 1,44 = 14,77 \text{ (в.о.)}, \quad (2.22)$$

Визначаємо періодичну складову струму трифазного Кз в початковий час:

$$I_{\text{ПО}} = \frac{E_C}{X_{\Sigma}} \cdot I_6 = \frac{1}{14,77} \cdot 57,7 = 3,91 \text{ (кА)}, \quad (2.23)$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється:

$$I_{\text{Пт.С}} = I_{\text{ПО}} = 3,91 \text{ (кА)}, \quad (2.24)$$

Розрахунковий час початку розмикання контактів вимикача:

$$\tau = t_{\text{рз.мін}} + t_{\text{в.в.}} = 0,01 + 0,09 = 0,1 \text{ (с)}, \quad (2.25)$$

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

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{\text{ат.С}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ас}}}} = \sqrt{2} \cdot 3,91 \cdot e^{\frac{-0,1}{0,03}} = 0,2 \text{ (кА)}, \quad (2.26)$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{\text{уд.С}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ас}}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,91 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 9,5 \text{ (кА)}, \quad (2.27)$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{ПО}}^2 \cdot (t_{\text{від}} + T_{\text{ас}}) = 3,91^2 \cdot (0,6 + 0,03) = 9,6 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}. \quad (2.28)$$

Отримані результати дають можливість перевірки о

2.3.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

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

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}; \quad (2.23)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{мах}}; \quad (2.24)$$

Комплектація РП 10 кВ ПС передбачає застосування вакуумних вимикачів типу ВРС-10-40/400 УЗ з такими технічними характеристиками: $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$;

$I_H = 40 \text{ кА}$; $I_{H.\text{ВИМК}} = 40 \text{ кА}$; $i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$; $I_{\text{тер}} = 10 \text{ кА}$; $t_{\text{тер}} = 4 \text{ с}$ [11]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{\text{НОМ.В}} = 400 \text{ А} > I_{\text{м.ав}} = 32,3 \text{ А}$ для всіх приєднань до ТП.

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

$$I_{H.\text{ВИМК.}} \geq I_{\text{пт}}; \quad (2.25)$$

$$\sqrt{2}I_{H.\text{ВИМК.}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right) \geq \sqrt{2}I_{\text{пт}} + i_{a\tau}. \quad (2.26)$$

де $I_{H.\text{ВИМК.}}$ – номінальний струм вимкнення вимикача;

β_H – нормований процентний вміст аперіодичної складової струму КЗ (30%...40%);

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

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

$$I_{\text{дин}} \otimes I_{\text{п0}}; \quad (2.27)$$

$$i_{\text{дин}} \otimes i_{\text{уд}}. \quad (2.28)$$

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

$i_{\text{уд}}$ – ударний струм КЗ.

Перевірка вимикачів на термічну стійкість до дії струмів КЗ:

$$I_T^2 t_T \geq B_K \quad (2.29)$$

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

B_K – розрахункове значення теплового імпульсу.

Результати перевірки вимикачів 10 кВ наведені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів 10 кВ

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \otimes I_{пт}$	$I_{н.відк} = 40 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 3,91 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 40 = 56,6 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 3,91 + 0,2 = 5,7 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \otimes i_{уд}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 9,5 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \otimes I_{по}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 9,91 \text{ (кА)}$
$B_K = I_{по}^2 t_{по}$	$I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_K = 9,6 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

У таблиці 2.12 представлена інформація про типи вимикачів і ліній електропередачі які задіяні на напрузі 10 кВ підприємства.

Таблиця 2.12 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП 10 кВ

Лінія	$I_p, \text{ А}$	$I_{ра}, \text{ А}$	Вимикач	$I_{ном}, \text{ А}$	Провідник	$S, \text{ мм}^2$	$I_{доп}, \text{ А}$
ЗРУ–ТП	32,3	32,3	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	119
ПС–ТП	32,3	32,3	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	119

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_K \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_T}; \quad (2.22)$$

де I_K – струм КЗ в А;

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

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

$$s = 35 \text{ (мм}^2\text{)} > s_{\min} = \frac{3,91 \sqrt{0,5}}{94} = 29,4 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Умова виконується, отже живлячі кабелі АПвЭгаПу-10 3х35 вибрані вірно.

У таблиці 2.13 представлена інформація про типи вимикачів і типу кабельних ліній які задіяні на напрузі 0,4 кВ підприємства.

Таблиця 2.12 – Захисні апарати та лінії живлення СЕП 10 кВ

Найменування ЕП	I_p , А	I_n , А	Тип АВ	$I_{ном}$, А	$I_{розч}$, А	$I_{св}$, А	Тип ЛЖ	S, мм ²	спос. прок.	$I_{доп}$, А
ТП-ГРП цеху №1	96,1	240,3	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В траншеї	132
ТП-ГРП цеху №2	80,7	201,7	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В траншеї	132
ГРП цеху №2 – ГРП цеху №3	35,3	88,2	ЕВ 100/3L 63А	63	63	800	АВВГ	4х16	В трубі	71
ТП-РП1 цеху №4	100,0	250	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В трубі	132
ТП-РП2 цеху №4	100,0	250	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В траншеї	132
ТП-ГРП цеху №5	79,9	199,6	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В траншеї	132
ТП-ГРП цеху №6	40,4	101	ЕВ 100/3L 63А	63	63	400	АВВГ	4х16	В траншеї	71
ТП-ГРП цеху №7	110,7	276,8	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В траншеї	132
ТП-ГРП цеху №7	110,7	276,8	ЕВ2 250/3Е 125А	125	125	800	АВВГ	4х50	В траншеї	132

Однолінійна схема електропостачання підприємства показана на рисунку 2.6.

Схема електропостачання підприємства побудована з урахуванням вимог II категорії надійності та передбачає живлення від двох незалежних джерел напругою 10 кВ: від ПС 110/10 кВ (2,5 км) та ЗРУ 10 кВ (0,46 км), що дозволяє мінімізувати ризики відключення у випадку аварійних ситуацій.

На стороні 0,4 кВ передбачено секційний вимикач, який розділяє систему шин на дві частини, кожна з яких підключена до окремого трансформатора. За нормальних умов навантаження розподіляється рівномірно між обома трансформаторами. У разі виходу з ладу одного з трансформаторів, передбачено можливість секціонування та переведення всього навантаження на справний трансформатор із тимчасовим відключенням до 25 % малопріоритетного обладнання. Це забезпечує безперебійну роботу основних технологічних процесів без перевантаження діючого трансформатора.

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

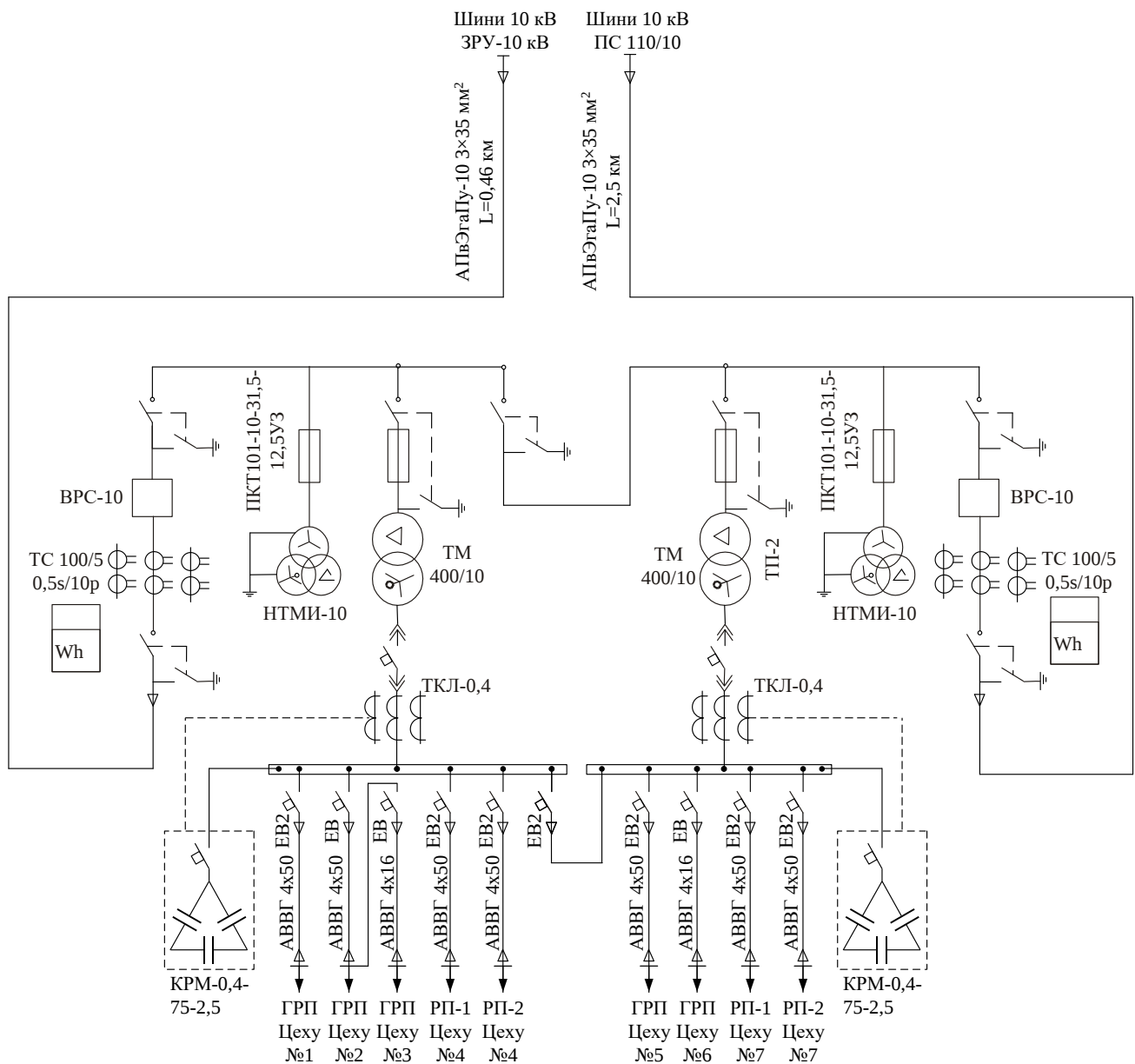


Рисунок 2.6 – Однолінійна схема електропостачання підприємства

2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху

2.4.1. Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху

Для живлення електроприймачів (ЕП) відвантажувального відділу буде використано головний розподільчий пункт (ГРП) рисунок 2.7.

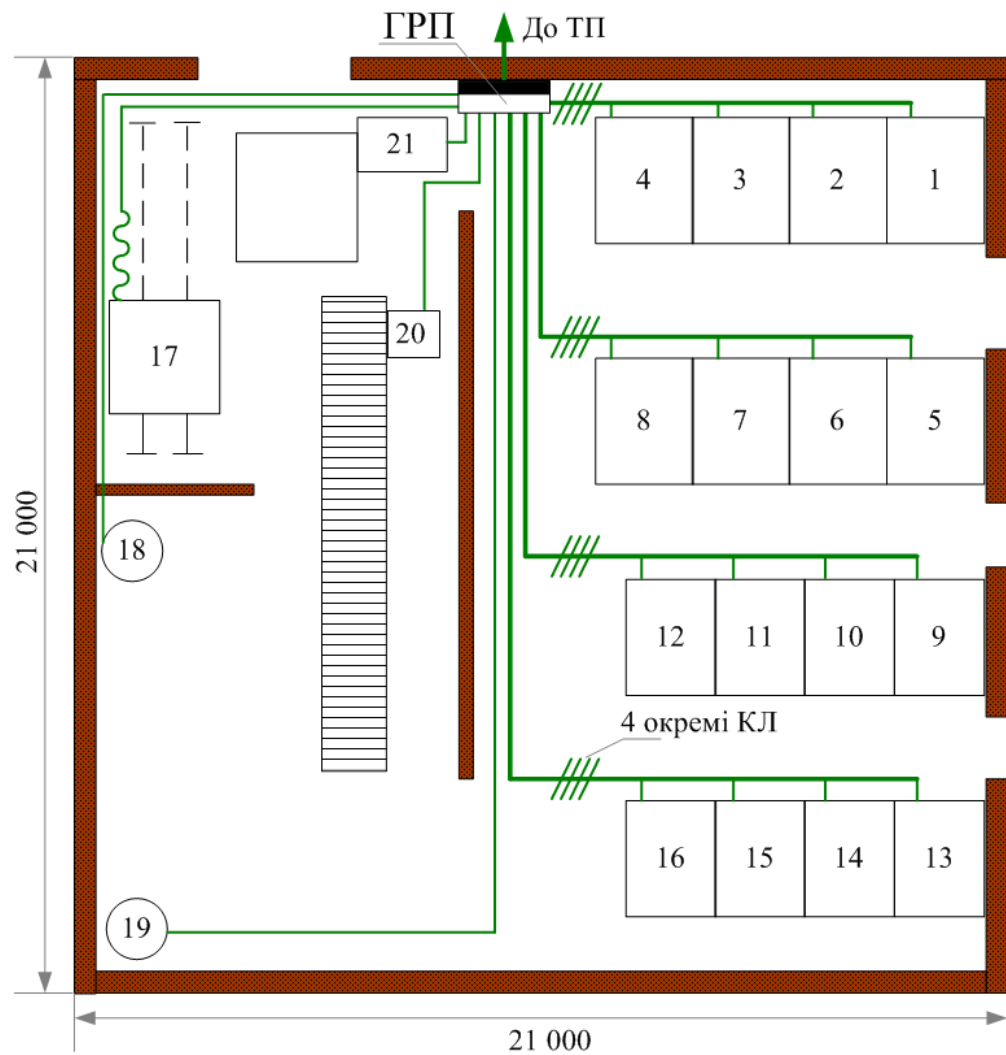


Рисунок 2.7 – План постачання відвантажувального відділу (№6 на генплані)

Проектування та розробка схеми живлення навантаження цеху є важливим етапом при введенні в експлуатацію нового обладнання, оскільки схема мережі цеху має відповідати всім нормам та відповідати вимогам усіх виробничих процесів. При виборі оптимальної схеми необхідно враховувати такі фактори, як [8]: максимальне навантаження, потужність, розподіл та час роботи джерел живлення та навантаження, що забезпечують необхідний рівень надійності та ефективності.

В таблиці 2.14 наведені формули згідно [3] використовуючи які можна виконати розрахунок цехової мережі.

Таблиця 2.14 – Послідовність формул для розрахунку навантажень цехової

мережі

Назва параметра	Формула	Приклад розрахунку для ГРП
Розрахункове активне навантаження окремого ЕП, кВт	$P_p = P_H$	
Розрахункове реактивне навантаження окремого ЕП, квар	$Q_p = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H$	
Середня активна потужність, кВт	$P_C = K_B \cdot P_H$	$P_C = 3,52 + 2,42 + 1,6 + 3,52 + 2,34 + 0,2 = 13,6$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi$	$Q_C = 2,18 + 1,5 + 1,41 + 3,59 + 2,39 + 0,12 = 11,19$
Груповий коефіцієнт використання	$K_B = \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} / \sum_{i=1}^n P_{Hi}$	$K_B = \frac{13,6}{23,3} = 0,58;$
Ефективне число ЕП, шт.	$n_e = \left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{Hi}^2$	$n_e = \frac{23,3^2}{43,43} = 11$
Розрахунковий коефіцієнт, береться з [6] таблиці 1.1	$K_p = f(K_B; n_e)$	$K_p = 1,02$
Розрахункове активне навантаження магістральних шинопроводів, кВт	$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}$	
Розрахункове реактивне навантаження магістральних шинопроводів, квар	$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi$	
Розрахункове активне навантаження для живлячої мережі, кВт	$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}$	$P_p = 1,02 \cdot 13,6 = 13,87$
Розрахункове реактивне навантаження для живлячої мережі, квар	$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e \leq 10, \\ 1,0 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e > 10; \end{cases}$	$Q_p = 1,0 \cdot 11,19 = 11,19$
Значення повної розрахункової потужності, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{13,87^2 + 11,19^2} = 17,83$
Розрахунковий струм лінії, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}$	$I_p = \frac{17,83}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 27,1$

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

Результат розрахунку цехової мережі представлено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

Вихідні дані							Розрахункові величини			n _e	K _p	Розрахункові навантаження			
Завдання технологів				Довідкові дані			P _c	Q _c	n×P ² _н			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А
Найменування ЕП	n	P _н , кВт	n×P _н , кВт	K _в	cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15
1-8 Холодильна камера	8	0,8	6,4	0,55	0,85	0,62	3,52	2,18	5,12						1,5
9-17 Холодильна камера	8	0,55	4,4	0,55	0,85	0,62	2,42	1,50	2,42						1,0
18 Мостовий кран	1	4	4	0,4	0,75	0,88	1,60	1,41	16,00						8,5
19,20 Витяжка	2	2,2	4,4	0,8	0,7	1,02	3,52	3,59	9,68						5,0
21 Конвеєр	1	3,6	3,6	0,65	0,7	1,02	2,34	2,39	12,96						8,2
22 Вага	1	0,5	0,5	0,4	0,85	0,62	0,20	0,12	0,25						0,9
Всього ГРП	21		23,3	0,58			13,60	11,19	46,43	11	1,02	13,87	11,19	17,83	27,08

2.4.2. Вибір комутаційних та захисних апаратів цехової електромережі

Раніше у роботі було обрано радіальну схему цехової мережі, оскільки вона забезпечує надійніше електроживлення (рисунк 2.7). ГРП відвантажувального відділу приєднано до ТП за допомогою кабелів АВВГ прокладених в траншеї. Приєднання під ГРП до ЕП здійснюється кабелями АВВГ прокладених відкрито.

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

Вибір АВ повинен відбуватися з дотриманням наступних умов [9]:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p, \quad (2.30)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_n, \quad (2.31)$$

$$I_{н.відк} \geq I_{к.мак}^{(3)}. \quad (2.32)$$

Проводимо вибір АВ для захисту лінії яка живить ЕП-18.

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n}; \quad (2.33)$$

$$I_p = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75} = 8,5 \text{ (А)}.$$

Пусковий струм приймаємо рівним:

$$I_{\Pi} = 5 \cdot I_M = 5 \cdot 8,5 = 42,6 \text{ (A)}. \quad (2.34)$$

Для захисту ЕП-18 доцільно встановити АВ з напівпровідниковим розчіплювачем. Обраний АВ повинен задовольняти наступним умовам перевірки:

$$I_{\text{н.розч}} \geq K_{\text{відс}} I_M = 1 \cdot 8,5 = 8,5 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.в.}} \geq K_{\text{н}} I_{\Pi} = 1,5 \cdot 42,6 = 64 \text{ (A)}.$$

Отже вибираємо автоматичний вимикач ЕВ100/3L 16А серії економ з номінальним струмом АВ 16 А, у якого номінальний струм спрацювання розчіплювача 16 А та струмом СВ - 250 А.

Виберемо АВ для лінії від ТП до ГРП.

Згідно [9] пусковий струм РП визначаємо за формулою:

$$I_{\Pi} = I_p - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.мах}} + I_{\text{п.мах}}; \quad (2.35)$$

$$I_{\Pi} = 27,1 - 0,4 \cdot 8,5 + 42,6 = 66,3 \text{ (A)};$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії ЕВ 100/3L 63А з номінальним струмом АВ 63 А, у якого номінальний струм спрацювання розчіплювача 63 А та струмом СВ - 300 А.

$$I_{\text{н.розч}} \geq K_{\text{відс}} I_M = 1,1 \cdot 27,1 = 29,8 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.в.}} \geq K_{\text{н}} I_{\Pi} = 1,5 \cdot 66,3 = 99,5 \text{ (A)}.$$

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

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_p \text{ (A)}.$$

Відповідно вимог вибираємо такі способи прокладки ліній живлення:

- від ТП до ГРП прокладка кабелю з алюмінієвими жилами з ПВХ ізоляцією в полівінілхлоридній облонці (АВВГ);
- від ГРП до всіх електроприймачі приєднані алюмінієвими кабелями з ПВХ ізоляцією в полівінілхлоридній облонці (АВВГ).

Для живлення ГРП вибираємо кабель типу АВВГ (4х16), при прокладений в траншеї та допустимий струм якого рівний $I_{\text{доп}} = 71 \text{ А}$.

Для живлення ЕП-18 вибираємо кабель типу АВВГ (4х2,5), при прокладці відкрито $I_{\text{доп}} = 26 \text{ А}$.

Перевіримо втрату напруги в лінії, що живить ЕП-19:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{пит}} + Q_p \cdot X_{\text{пит}}}{U_H} \cdot l; \quad (2.36)$$

$$\Delta U_{\text{ТП2-ГРП}} = \frac{13,87 \cdot 2,4 + 11,19 \cdot 0,084}{380} \cdot 15 = 1,35 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{ГРП-ЕП19}} = \frac{2,2 \cdot 9,61 + 2,2 \cdot 1,02 \cdot 0,098}{380} \cdot 30 = 1,69 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{ТП2-ЕП-19}} = 1,35 + 1,69 = 3,04 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\% \text{ТП2-ЕП-19}} = \frac{1,69}{380} \cdot 100 = 0,44\% . \quad (2.37)$$

Відхилення напруги на затискачах електроприймача відповідає допустимим значенням згідно з нормативними вимогами. Вибір та розрахунок обладнання для інших електроприймачів виконуються за аналогічною методикою. Узагальнені результати вибору та перевірки всього обладнання системи електропостачання цеху наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – АВ та КЛ цехової мережі напругою до 1000 В

Найменування ЕП	I_p, A	I_n, A	Тип АВ	$I_{ном}, A$	$I_{розч}, A$	$I_{св}, A$	Тип ЛЖ	$S, мм^2$	спос. прок.	$I_{доп}, A$
ГРП	27,1	66,3	ЕВ 100/3L 63А	63	63	400	АВВГ	4х16	В траншеї	71
1-8 Холодильна камера	1,5	4,5	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
9-16 Холодильна камера	1,0	3,1	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
17 Мостовий кран	8,5	42,6	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
18,19 Витяжка	5,0	25,1	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
20 Конвеєр	8,2	41,1	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19
21 Вага	0,9	2,8	ЕВ 100/3L 16А	16	16	250	АВВГ	4х2,5	Відкрито	19

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

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки, що живить ЕП-2. Складемо розрахункову схему рисунок 2.8.

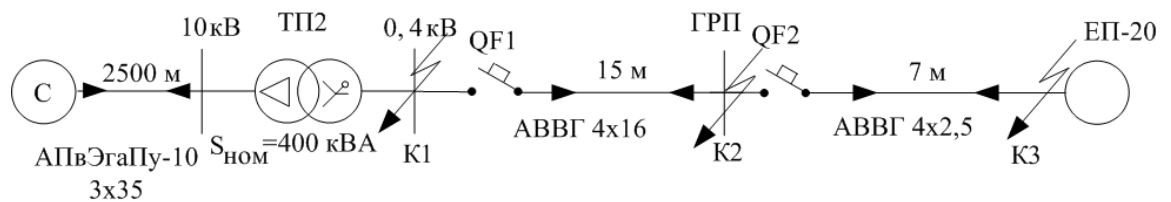


Рисунок 2.8 – Схема електропостачання ЕП-20

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_{\Gamma} = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{10}{0,4} = 25; \quad (2.38)$$

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

Визначаємо опір системи:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K''} \cdot \frac{1}{t_{\Gamma}^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 0,00101 \text{ (Ом)}. \quad (2.39)$$

де C - коефіцієнт напруги;

U_n – номінальна напруга системи в точці з'єднання з мережею;

I_K'' – початкова сила струму КЗ.

Активний і реактивний опір системи знаходиться:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (мОм)}; \quad (2.40)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (мОм)}. \quad (2.41)$$

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{400^2}{400 \cdot 10^3} = 18 \text{ (мОм)}. \quad (2.42)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2, Л3:

$$R_{L1} = r_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,869 \cdot 2500 \cdot \frac{1}{25^2} = 3,476 \text{ (мОм)}; \quad (2.43)$$

$$X_{L1} = x_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,066 \cdot 2500 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,264 \text{ (мОм)}; \quad (2.44)$$

$$Z_{L2} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{2,4^2 + 0,084^2} \cdot 15 = 36,1 \text{ (мОм)};$$

$$Z_{L3} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{9,61^2 + 0,098^2} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 67,3 \text{ (мОм)}.$$

Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості наведені в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 - Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ

Ділянка кола	L, м	R0, мОм/м	X0, мОм/м	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	Zф-0, мОм
ТМ 400/10/0,4	-	-	-	-	-	18	54
Л1	2500	0,869	0,066	3,476	0,264	3,48	1,48
Л2	15	2,4	0,084	36	1,26	36,1	4,43
Л3	7	9,61	0,098	67,2	0,69	67,3	18,52

Розрахуємо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (2.45)$$

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

- для точки КЗ:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,001 + 18 + 3,48 + 36,1 + 67,3)} = 1,91 \text{ (кА)}.$$

- для точки К2:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,001 + 18 + 3,48 + 36,1)} = 4,08 \text{ (кА)}.$$

- для точки К1:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,001 + 18 + 3,48)} = 10,5 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{\text{cu}} > I_{\text{к.макс}}^{(3)}. \quad (2.46)$$

QF1: EB 100/3L 63A з $I_{\text{cu}} = 16 \text{ (кА)}$.

$$I_{\text{cu}} = 16 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 10,5 \text{ (кА)}.$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 100/3L 16A з $I_{\text{cu}} = 8 \text{ (кА)}$.

$$I_{\text{cu}} = 8 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 4,08 \text{ (кА)}.$$

Для точки К2 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

Виконаємо перевірку селективності дії захисту.

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

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\text{ф-н}} \cdot 1}; \quad (2.47)$$

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

$Z_{\text{ф-н}}$ - питомий опір петлі фаза-ноль;

1 – відстань до місця КЗ.

$$I_{KR2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{54}{3} + 4,43 \cdot 15} = 2,6 \text{ (кА)}.$$

Струм однофазного КЗ на затискачах ЕП1:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{54}{3} + 4,43 \cdot 15 + 18,52 \cdot 7} = 1,03 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо чи виконується умова:

$$I_{H.RO3Ч} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}; \quad (2.48)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП2-ГРП:

$$I_{H.RO3Ч} = 63 \text{ (А)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{2600}{3} = 867 \text{ (А)}.$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ГРП- ЕП20:

$$I_{H.RO3Ч} = 16 \text{ (А)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{1030}{3} = 343 \text{ (А)}.$$

Умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів виконуються.

Селективність автоматичних вимикачів перевіряємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1,3..1,5)I_{c.B2}; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.49)$$

Виконаємо перевірку на селективність для вимикачів, що захищають лінії ТП2 - ГРП(вимикач 1), ГРП - ЕП-20(вимикач 2).

$$I_{c.B1} = 400 \text{ (А)} > (1,3..1,5)250 = 325...375 \text{ (А)}.$$

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

Карта селективності захисту.

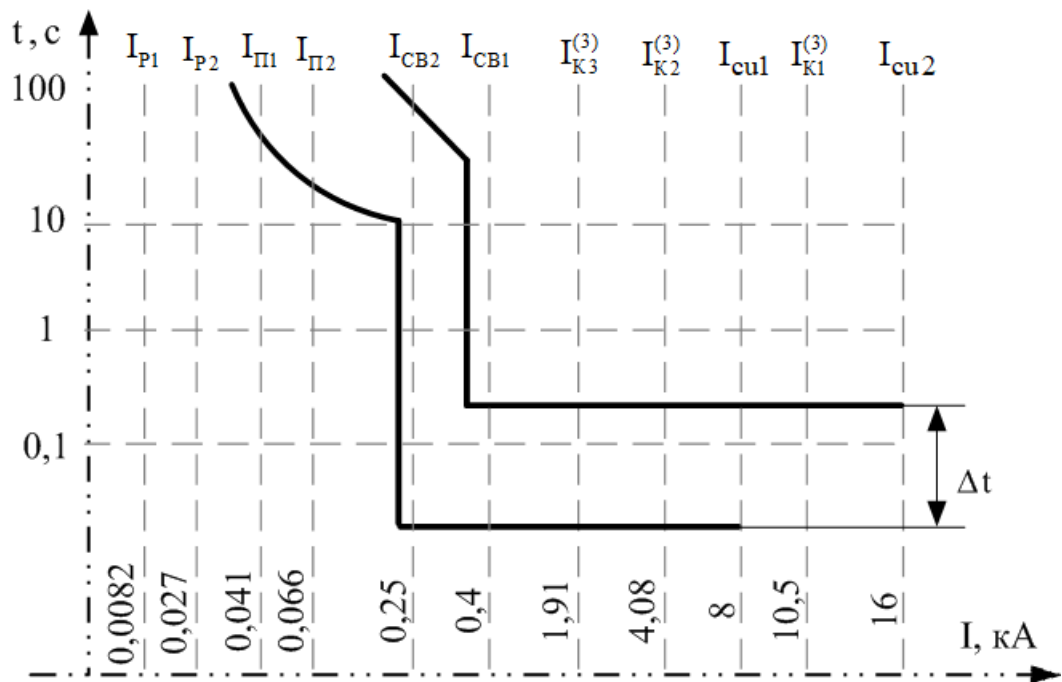


Рисунок 2.9 – Карта селективності захисту

Отже апарати налагоджені на селективну роботу.

Висновки по розділу 2.

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

1. Виконано детальний розрахунок електричних навантажень окремого цеху та всього підприємства, що дозволило визначити необхідні параметри живлення;
2. Проведено порівняльний аналіз варіантів підключення до мережі з використанням різних класів напруги, за результатами якого обґрунтовано доцільність застосування для зовнішнього живлення двох незалежних джерел живлення на напрузі 10 кВ;

3. Система електропостачання підприємства побудована з урахуванням II категорії надійності та передбачає живлення від двох незалежних джерел напругою 10 кВ: ПС 110/10 кВ (2,5 км) та ЗРУ 10 кВ (0,46 км) по кабельних лініях АПвЭгаПу-10 3×35 мм².

4. Вибрано тип, кількість і номінальну потужність трансформаторних підстанцій, а також їх розташування з урахуванням особливостей генерального плану підприємства та мінімізації втрат потужності. Для СЕП підприємства доцільно встановити одну двотрансформаторну підстанцію з 2хТМ-400/10. На стороні 0,4 кВ передбачено секційний вимикач, який розділяє систему шин на дві частини, кожна з яких підключена до окремого трансформатора. За нормальних умов навантаження розподіляється рівномірно між обома трансформаторами. У разі виходу з ладу одного з трансформаторів, передбачено можливість секціонування та переведення всього навантаження на справний трансформатор із тимчасовим відключенням до 25 % малопріоритетного обладнання. Це забезпечує безперебійну роботу основних технологічних процесів без перевантаження діючого трансформатора;

5. Аналіз засобів захисту показав що на стороні 10 кВ доцільно встановити вакуумні вимикачі ВРС-10;

6. Розраховано силові електричні навантаження відділу відвантаження та обрано усю необхідну захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію для живлення ЕП цеху. Проведено розрахунок струм КЗ та здійснено перевірку обраного обладнання.

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

3 РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА

Електричне навантаження підприємства ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»» характеризується переважанням електротермічних установок, зокрема промислових печей у відділах випічки, а також значною кількістю холодильного, кондиціонерного та допоміжного обладнання, що працює в змінному добовому режимі. Такі споживачі створюють нерівномірне навантаження на мережу та призводять до коливань напруги, особливо в години пікової активності [14]. Додатковим фактором є живлення підприємства від двох незалежних джерел 10 кВ через кабельні лінії різної довжини, що спричиняє нерівномірний розподіл напруги на вводах трансформаторних підстанцій. Тому для даного підприємства актуальною є тема регулювання напруги, яка дозволяє підтримувати її в допустимих межах, забезпечити стабільну роботу технологічного обладнання, знизити втрати електроенергії та покращити техніко-економічні показники системи електропостачання.

3.1 Вплив відхилень напруги на техніко–економічні показники електропостачання

Одним із параметрів якості електропостачання є відповідність самої електроенергії встановленим нормам. Оскільки якість електроенергії (ЯЕЕ) впливає на ефективність роботи електроприймачів, так і на надійність та економічність системи електропостачання. Показники якості регламентуються стандартом СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 «Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго» [10]. Згідно цього стандарту якість електричної енергії характеризує відповідність діючих параметрів електроенергії зазначеним в даному документі [10].

В таблиці 3.1 наведено основні показники якості електроенергії, їх нормальні і граничні значення.

Таблиця 3.1 – Показники ЯЕЕ

Показник якості електроенергії	Позначення	нормально та гранично допустимі значення
відхилення частоти	Δf	$\pm 0,5$ Гц (+2/-3 Гц)
відхилення напруги	δU	± 10 % (на інтервалі 10 хв) (+10/-15 %)
швидкі зміни напруги	δU_t	5%, графік (10 %)
показник довгочасного флікера	P_{Lt}	1,0
небаланс напруг	U_2	2 %
сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень	$THDU$	8 % (0,38 кВ)
напруга гармонік	$U_{(n)}$	5 гарм. – 6 % 7 гарм. – 5 %... (0,38 кВ)
напруга інтергармонік		-
провал напруги, який регламентують залишкова напруга та тривалість провалу напруги	$U_{зал}, \Delta t_{п}$	Для мереж низької напруги 10-50 %, середньої напруги – 10–15 % (0,01...60 с)
перенапруга та її тривалість (0,01...60 с)	$U_{пер}, \Delta t_{пер}$	
перенапруга перехідного процесу		
переривання напруги електропостачання		Для мереж НН та СН від декількох десятків до декількох сотень в рік, тривалістю до 3 хв 70 % з них – не більше 1 с

Відхилення напруги. Причини виникнення: технологічні зміни навантаження, що відбуваються протягом визначеного періоду (доба, сезон).

$$\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \%. \quad (3.1)$$

де U – середньоквадратичне значення напруги, що визначається на інтервалі десять хвилин;

$U_{ном}$ – номінальне значення напруги, В

Відхилення напруги в розподільчих мережах, як у бік зниження, так і перевищення номінального значення мають прямий вплив на техніко-економічні показники системи електропостачання підприємства [15]. Зниження напруги спричиняє зменшення потужності, яку споживає обладнання, з одночасним збільшенням струмів навантаження, що веде до зростання втрат активної потужності у мережах, перегріву кабельних ліній і зниження ресурсу

трансформаторного обладнання. Для електротермічних установок, які переважно задіяні у структурі навантаження ТОВ «Вацак», зокрема кондитерських промислових печей, така нестабільність викликає порушення температурного режиму, зменшення якості продукції та збільшення тривалості випікання, що знижує загальну продуктивність. У випадку перенапруги підвищується ризик пробоею ізоляції, особливо в електронних компонентах пакувального та допоміжного обладнання, що призводить до аварійних зупинок і додаткових витрат на ремонт. Коливання напруги також викликають помилкове спрацювання захисної автоматики, що спричиняє незаплановані перерви у виробництві. У сукупності ці ефекти знижують енергоефективність системи, збільшують втрати електроенергії, погіршують показники надійності та викликають прямі фінансові втрати через простої і необхідність обслуговування. Тому підтримання стабільного режиму напруги є не лише технічною вимогою, а й важливим економічним чинником для ефективної роботи СЕП підприємства.

3.2 Аналіз режиму напруги в розподільчих мережах

Режим напруги в розподільчих мережах є одним із ключових параметрів, що впливають на надійність і якість електропостачання споживачів. Відхилення напруги від номінального значення може призводити до погіршення роботи електрообладнання, зниження ефективності використання електроенергії, передчасного зносу обладнання, а в деяких випадках до його виходу з ладу.

Розподільчі мережі підприємства зазвичай мають складну структуру з великою кількістю відгалужень, трансформаторних підстанцій та навантажень, що змінюються впродовж доби. У зв'язку з цим, напруга в різних точках мережі може змінюватися в залежності від:

- поточного навантаження (активного та реактивного);
- довжини та типу ліній електропередачі;
- потужності та типу трансформаторів;
- способу регулювання напруги;

– наявності або відсутності компенсаційних пристроїв.

Для аналізу режиму напруги необхідно провести розрахунок напруг у контрольних точках мережі при максимальних та мінімальних навантаженнях. Це дозволяє визначити:

- чи не перевищують відхилення напруги допустимі межі згідно з ДСТУ EN 50160 ($\pm 10\%$ для споживачів напругою до 1 кВ);
- необхідність застосування регулюючих пристроїв (автоматичних вимикачів з АВР, ступінчастих регуляторів напруги трансформаторів, БСК тощо);
- втрати напруги на кожному етапі передачі енергії;
- ефективність існуючої схеми електропостачання.

На практиці аналіз режиму напруги виконується за допомогою:

- теоретичних розрахунків (методом розподілу потужності або за допомогою електричних схем заміщення);
- моделювання в програмному середовищі;
- інструментальних вимірювань (використанням приладів обліку або АСКОВЕ).

У СЕП ТОВ «Кондитерський дім "Вацак"» напруга аналізувалась з урахуванням навантаження від електропечей, холодильних камер і вентиляційного обладнання. Підприємство живиться від двох незалежних джерел напругою 10 кВ: підстанції ПС 110/10 кВ на відстані 2,5 км та ЗРУ 10 кВ на відстані 0,46 км. Через різну довжину кабельних ліній виникає нерівномірність рівнів напруги у вузлових точках, що особливо проявляється при піковому навантаженні.

У таких умовах важливо правильно вибрати положення перемикача без збудження (ПБЗ) на трансформаторах ТМ-400/10. Вибір цього положення повинен ґрунтуватися на аналізі зміни навантаження при коливаннях напруги. Якщо навантаження представлено у вигляді сталого опору ($R = \text{const}$), можна визначити, як змінюється потужність при зміні напруги, та розрахувати відповідне положення ПБЗ.

Для усунення напругових провалів у віддалених цехах підприємства запропоновано змінити коефіцієнт трансформації шляхом зміни положення ПБЗ.

Такий захід дозволяє компенсувати втрати напруги у лінії та підтримувати рівень напруги в межах нормативу 380/220 В.

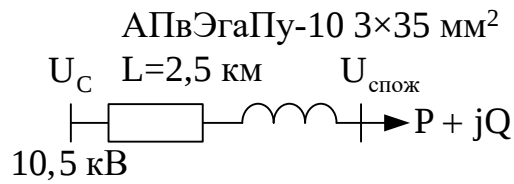


Рисунок 3.1 – Схема заміщення СЕП

Визначимо потужність, при якій виконується умова $U_{\text{спож}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном}}$:

$$P_H = \frac{U_{\text{спож}}(U_C - U_{\text{спож}})}{(r_0 + x_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi)l}, \quad (3.1)$$

де U_C - напруга системи ($U_C = 10,5$ кВ);

$U_{\text{спож}}$ - напруга в точці споживання ($U_{\text{спож}} = 9,4$ кВ);

$\operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт реактивної потужності;

r_0, x_0 - віддалені активний та реактивний опір кабелю АПвЭгаПу-10;

l - довжина лінії.

Виконаємо перерахунок споживаної потужності за умови, що напруга у споживача 10 кВ, а опір навантаження не змінився.

$$\begin{cases} P_K = \frac{U_{\text{спож}}^2}{r_H}, \\ Q_K = \frac{U_{\text{спож}}^2}{x_H}, \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} \Delta P = \frac{P_K^2 + Q_K^2}{U_{\text{спож}}^2} r_0 \cdot l, \\ \Delta Q = \frac{P_K^2 + Q_K^2}{U_{\text{спож}}^2} x_0 \cdot l, \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} P_H = P_K + \Delta P, \\ Q_H = Q_K + \Delta Q, \end{cases} \quad (3.4)$$

Визначивши після перерахунку нові потужності, розраховуємо падіння напруги і k_T , необхідний регулятору напруги для збільшення напруги за допомогою положення ПБЗ до значення 10 кВ:

$$U_{\text{спож}} = U_C - \frac{(P_H \cdot r_0 + Q_H \cdot x_0) \cdot l}{U_C} 0,001 \quad (3.5)$$

Рівень напруги на вході та виході ТП за умови, що напруга у споживача 10 кВ, а опір навантаження не змінився. На рисунку 3.2 приведена діаграма, побудована за результатами розрахунків для $\text{tg}\varphi = 0,8$.

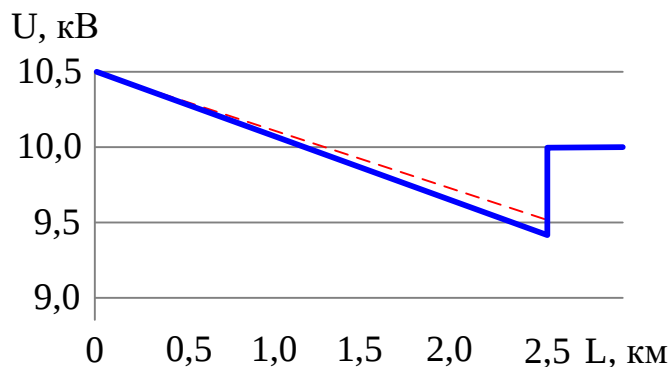


Рисунок 3.2 – Зміна напруги

Визначення відхилень напруги у точках живлення цехів проводилось з урахуванням суми падінь напруги на трансформаторах, силових кабелях, а також за коригуванням за коефіцієнтами одночасності та використання потужності. Отримані результати дали підставу для оптимізації налаштувань ПБЗ трансформаторів у цехових ТП з метою досягнення стабільного режиму напруги.

3.3 Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП

Для підтримання допустимих рівнів напруги в мережі 0,4 кВ, що є критично важливим для стабільної роботи електроприймачів, особливо електротермічних установок та холодильного обладнання, у системах електропостачання використовуються засоби коригування коефіцієнта трансформації. Одним з таких засобів є використання перемикача відгалужень без збудження (ПБЗ), який дозволяє змінювати кількість витків на обмотці вищої напруги трансформатора. Відгалуження умовно позначаються знаками «+» та «-», що відповідає збільшенню або зменшенню вихідної напруги трансформатора відповідно. Перемикання положень здійснюється виключно в знеструмленому стані трансформатора, що обумовлює необхідність точного розрахунку положення ПБЗ до введення трансформатора в експлуатацію або під час планового технічного обслуговування.

У системі електропостачання підприємства ТОВ «Вацак» функціонує двотрансформаторна підстанція 2×ТМ-400/10, яка заживлюється від двох незалежних джерел 10 кВ по кабельних лініях різної довжини. Така структура живлення призводить до нерівномірного розподілу напруги на стороні ВН трансформаторів, що, в поєднанні з добовими коливаннями навантаження від електропечей, холодильного та допоміжного обладнання, викликає значні відхилення напруги на стороні 0,4 кВ. Це може негативно впливати на роботу технологічних процесів, які є чутливими до нестабільної напруги.

Переваги впровадження ПБЗ у СЕП ТОВ «Вацак»:

- забезпечення нормативних значень напруги. Завдяки коригуванню коефіцієнта трансформації можна точно налаштувати напругу на шині 0,4 кВ відповідно до фактичного рівня напруги у мережі 10 кВ;
- зниження втрат електроенергії. При правильному виборі положення ПБЗ зменшуються втрати в лініях низької напруги, що особливо актуально для підприємств з великою кількістю електротермічного обладнання;

– підвищення надійності роботи. Оптимізований режим напруги забезпечує стабільну роботу холодильного, компресорного та вентиляційного обладнання без перевантажень і аварійних спрацювань.

Разом з тим, використання ПБЗ має певні обмеження:

– відсутність гнучкості в реальному часі. Перемикання можливе лише в знеструмленому стані трансформатора, що унеможливорює оперативне реагування на зміну навантаження протягом доби;

– необхідність точних попередніх розрахунків. Вибір оптимального положення відгалуження потребує врахування реальних умов живлення, характеру навантаження та конфігурації мережі;

– потреба у технічному обслуговуванні.

З урахуванням особливостей електричного навантаження підприємства та специфіки його живлення, впровадження трансформаторів з пристроєм ПБЗ є доцільним технічним рішенням. Воно дозволяє забезпечити нормативну якість електроенергії, уникнути перевантаження обладнання та зменшити експлуатаційні втрати, що в цілому сприяє підвищенню ефективності роботи всієї системи електропостачання підприємства.

На ПС виконується регулювання напруги так, що для режиму максимальних навантажень на підприємстві напруга на шинах 10 кВ становить $103\%U_n$, а в режимі мінімальних навантажень 100% .

Втрати напруги по ділянцям схеми визначимо за формулою [18]:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_n} \cdot 100\% . \quad (3.6)$$

Для забезпечення допустимого рівня напруги на шинах ТП 0,4 кВ в умовах паралельної роботи двох трансформаторів ТП1 та ТП2 у складі двотрансформаторної підстанції 2х ТМ-400/10 було проведено розрахунок втрат напруги в кожному елементі живлення та визначено відхилення напруги в режимах максимального і мінімального навантаження. Результати наведено у таблицях 3.2–3.5.

Таблиця 3.2 – Розрахунок спаду напруги для ТП1 окремо для кожного елемента живлення

Ділянка мережі	Вид обладнання	Параметр обладнання	Навантаження		Опір		$\Delta U, \%$
			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	
Живляча КЛ 10 кВ	АПвЭгаПу-10 3х35	$L=460 \text{ м}$	236,27	159,85	0,39928	0,03036	0,0992
ТП1	ТМ-400/10/0,4	$U_{кр}\% = 4,5$	236,27	159,85	3,4375	10,75	2,5306
КЛ від ТП1 до ГРП цеху №1	АВВГ 4х50	$L=20 \text{ м}$	57,6	33,4	0,01538	0,00132	0,0009
КЛ від ТП1 до ГРП цеху №2	АВВГ 4х50	$L=30 \text{ м}$	45,7	32,2	0,02307	0,00198	0,0011
КЛ від ГРП цеху №2 до №3	АВВГ 4х16	$L=18 \text{ м}$	19,1	15,2	0,0432	0,001512	0,0008
КЛ від ТП1 до РП1 цеху №4	АВВГ 4х50	$L=5 \text{ м}$	56,9	39,5	0,003845	0,00033	0,0002
КЛ від ТП1 до РП2 цеху №4	АВВГ 4х50	$L=30 \text{ м}$	56,9	39,5	0,02307	0,00198	0,0014

Таблиця 3.3 – Розрахунок для ТП1 режиму максимальних та мінімальних навантажень

Ріжик навантаження	Напруга на ПС, %	Втрати напруги в КЛ С-ТП, %	Втрати напруги в трансформаторі, %	Добавка напруги, %	Втрати напруги в лінії від ТП до РП цехів, %	Напруга на шинах НН ТП, %	Положення відгалуження ПБЗ	Висновок
максимальний	103	0,099	2,53	0 2,5 5 7,5 10	0,045	100,36 102,86 105,36 107,86 110,36	-5 -2,5 0 2,5 5	допустимий допустимий недопустимий недопустимий недопустимий
мінімальний	100	0,099	2,53	0 2,5 5 7,5 10	0,045	97,36 99,86 102,36 104,86 107,6	-5 -2,5 0 2,5 5	недопустимий допустимий допустимий допустимий недопустимий

Таблиця 3.4 – Розрахунок спаду напруги для ТП2 окремо для кожного елемента живлення

Ділянка мережі	Вид обладнання	Параметр обладнання	Навантаження		Опір		$\Delta U, \%$
			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	
Живляча КЛ 10 кВ	АПВЭгаПу-10 3х35	$L=2500 \text{ м}$	138,69	236,61	2,17	0,165	0,3400
ТП-2	ТМ-400/10/0,4	$U_{кр}\% = 4,5$	138,69	236,61	3,4375	10,75	3,0203
КЛ від ТП2 до ГРП цеху №5	АВВГ 4х16	$L=30 \text{ м}$	42,6	35,3	0,02307	0,00198	0,0011
КЛ від ТП2 до ГРП цеху №6	АВВГ 4х16	$L=15 \text{ м}$	23,1	15,8	0,036	0,00126	0,0046
КЛ від ТП2 до РП1 цеху №7	АВВГ 4х50	$L=5 \text{ м}$	63	43,8	0,003845	0,00033	0,0003
КЛ від ТП2 до РП2 цеху №7	АВВГ 4х50	$L=35 \text{ м}$	63	43,8	0,026915	0,00231	0,0018

Таблиця 3.5 – Розрахунок для ТП2 режиму максимальних та мінімальних навантажень

Режим навантаження	Напруга на ПС, %	Втрати напруги в КЛ С-ТП, %	Втрати напруги в трансформаторі, %	Добавка напруги, %	Втрати напруги в лінії від ТП до РП цехів, %	Напруга на шинях НН ТП, %	Положення відгалуження ПБЗ	Висновок
максимальний	103	0,34	3,02	0 2,5 5 7,5 10	0,0078	99,63 102,13 104,63 107,3 109,63	-5 -2,5 0 2,5 5	допустимий допустимий допустимий недопустимий недопустимий
мінімальний	100	0,34	3,02	0 2,5 5 7,5 10	0,0078	96,63 99,13 101,13 104,13 106,63	-5 -2,5 0 2,5 5	недопустимий допустимий допустимий допустимий недопустимий

Згідно з вимогами технічної експлуатації, трансформатори, що працюють паралельно на спільну систему шин напругою 0,4 кВ, повинні мати однаковий коефіцієнт трансформації. Це обумовлює необхідність встановлення однакового положення ПБЗ на обох трансформаторах ТП1 і ТП2. Встановлення різних значень коефіцієнтів трансформації призведе до появи циркуляційних (внутрішніх) струмів між трансформаторами, які не пов'язані з корисним навантаженням. Такі струми створюють додаткові втрати, можуть викликати локальні перегріви обмоток і апаратури, а також спричиняють нерівномірний розподіл навантаження, що загрожує перевантаженням одного з трансформаторів і зниженням надійності електропостачання загалом.

Аналіз таблиць 3.3 (ТП1) та 3.5 (ТП2) показує, що при положенні ПБЗ $-2,5\%$ напруга на шинах НН трансформаторів перебуває в межах нормативних значень для обох підстанцій:

У режимі максимального навантаження:		У режимі мінімального навантаження:	
– ТП1:	102,86 В (допустимо)	– ТП1:	99,86 В (допустимо)
– ТП2:	102,13 В (допустимо)	– ТП2:	99,13 В (допустимо)

У всіх випадках відхилення не перевищують допустимі межі. При цьому положення ПБЗ $-2,5\%$ дозволяє компенсувати падіння напруги в довгих кабельних лініях живлення (особливо для ТП2, де довжина КЛ становить до 2500 м), забезпечуючи рівномірний розподіл напруги у мережі підприємства.

Інші положення ПБЗ виявились неприйнятними, оскільки призводили до порушення допустимих меж напруги на стороні НН при мінімальному або максимальному навантаженні хоча б на одній із трансформаторних підстанцій.

Таким чином, вибір положення ПБЗ $= -2,5\%$ є технічно обґрунтованим рішенням, яке забезпечує:

- відповідність рівня напруги нормативним вимогам;
- уніфікацію налаштувань трансформаторів у складі спільної СЕП;
- надійне та рівномірне електропостачання технологічного обладнання підприємства.

Висновки по розділу 3.

У даному розділі бакалаврської дипломної роботи було досліджено вплив режиму напруги на ефективність роботи системи електропостачання підприємства ТОВ «Кондитерський дім «Вацак», проаналізовано причини відхилень напруги в мережах 0,4 кВ та обґрунтовано технічне рішення щодо стабілізації напруги шляхом регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів за допомогою перемикача без збудження (ПБЗ).

1. Встановлено, що характер електричних навантажень підприємства визначається наявністю значної кількості промислових кондитерських печей, холодильних установок, кондиціонерів і витяжних систем, що працюють у змінному добовому режимі. Це зумовлює нерівномірність навантаження в мережах, спричиняє відхилення напруги від номінальних значень та веде до зниження якості продукції, зростання втрат електроенергії і погіршення надійності електропостачання.

2. Виконано аналіз режиму напруги у розподільчих мережах підприємства з урахуванням живлення від двох незалежних джерел 10 кВ, що підключаються до трансформаторної підстанції 2×ТМ-400/10. Визначено, що через різну довжину живильних кабельних ліній та нерівномірність навантаження спостерігається різний рівень напруги на вводах трансформаторів ТП1 та ТП2. Проведені розрахунки підтвердили, що для забезпечення стабільної напруги на шинах 0,4 кВ необхідно застосовувати корекцію коефіцієнта трансформації за допомогою ПБЗ.

3. На основі розрахунків режимів максимального та мінімального навантаження для кожної з трансформаторних підстанцій визначено, що лише положення ПБЗ на рівні $-2,5\%$ забезпечує відповідність напруги нормативним вимогам ДСТУ EN 50160 у всіх розрахункових режимах. Інші положення або спричиняють перенапругу, або призводять до зниження напруги нижче допустимого рівня. Враховуючи те, що трансформатори працюють паралельно, вибір однакового положення ПБЗ є необхідною умовою для запобігання циркуляційним струмам, що підтверджує технічну доцільність вибраного рішення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час монтажу та обслуговування обладнання системи електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак», м. Могилів-Подільський. Визначаємо шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [1, 2]:

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

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

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

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення системи електропостачання та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по небезпеці електротравматизму, відповідно до ПБЕ [4, 5], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил,

контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;

користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Заносити довгі предмети (труби, драбини тощо) та працювати з ними в РУ, в яких унеможливлено випадковий дотик до частин, що перебувають під напругою, потрібно вдвох під постійним наглядом керівника робіт. Риштування та драбини, що застосовуються для ремонтних робіт, мають бути виготовлені за ДСТУ чи ТУ на них. Опорна частина драбин, що встановлюються на гладких поверхнях, має бути оббита гумою, а на опорних частинах драбин, що встановлюються на землі, мають бути гострі металеві наконечники. Драбини повинні верхнім кінцем надійно спиратися на міцну опору. У разі необхідності обіперти драбину на провід, вона повинна бути обладнана гачками в верхній частині. Зв'язані драбини застосовувати забороняється. В разі встановлення приставних драбин на підкранових балках, елементах металевих конструкцій тощо необхідно надійно закріпити верхівку і низ драбини на конструкціях. В процесі обслуговування та ремонту електроустановок застосування металевих драбин забороняється.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою ІІІ; виходити з ВРПУ після закінчення роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, - приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

4.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні споживачів струму від мережі три-провідної з глухо-заземленою нейтраллю, при напрузі до 1000 В, використовується занулення – навмисне електричне з'єднання нормально не струмопровідних елементів устаткування із заземленим нульовим проводом. При зануленні, пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів до занулення, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється. Електрозахисні засоби поділяються на основні та допоміжні.

Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]: температури внутрішніх поверхонь будівельних

конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні значно відрізнятися (не більше ніж на 2°C за діапазон норм); якщо температура поверхонь вище або нижче температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м; для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

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

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [6]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [7]. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

4.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи IV, підрозряд «б». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 4.2.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 4.2 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 Виробничий шум

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [9]. Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Рівень звукового тиску

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

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.2.5 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу – За [10]. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, зерносушарки, транспортери, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Отже, приміщення ТОВ «Кондитерський дім «Вацак», відносяться до категорії В з вибухонебезпечними зонами класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний паперовий пил від тари і борошно в завислому стані може з'являтися нечасто та існувати недовго (у разі аварії).

Виробничі приміщення відносяться до категорії Б (пожежонебезпечна), якщо в них наявні горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини та матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, пере-робляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легко-займистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м² кожна перевищує 180 МДж•м⁻².

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

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

До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.4.

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

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.7 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків, сільськогосподарських будівель і споруд потрібно приймати за таблицею 4.7 (знаменник) [15].

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

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

На території ТОВ «Кондитерський дім «Вацак» встановлено 45 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) та ВВП-9 [16].

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

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

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

Висновки. В даній частині дипломної роботи був проведений аналіз безпеки життєдіяльності на підприємстві, проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори, які впливають на робочий персонал цеху. Встановлені технічні рішення що до безпечної експлуатації об'єкта, системи запобігання пожежі, гігієни праці та виробничої санітарії.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської дипломної роботи, що присвячена розробці системи електропостачання ТОВ «Вацак» з дослідженням регулювання напруги в мережах підприємства, було отримано такі результати:

1. Проведено аналіз організаційної структури та особливостей технологічного процесу підприємства, визначено основні типи електроприймачів і режим їх роботи, що дозволило обґрунтувати необхідність високої надійності електропостачання та віднесення споживачів до II категорії надійності.

2. Спроековано СЕП підприємства з урахуванням II категорії надійності, яка передбачає живлення від двох незалежних джерел напругою 10 кВ: ПС 110/10 кВ (2,5 км) та ЗРУ 10 кВ (0,46 км) кабельними лініями АПвЭгаПу-10 3×35 мм²..

3. Вибрано тип, кількість і номінальну потужність трансформаторних підстанцій, а також їх розташування з урахуванням особливостей генерального плану підприємства та мінімізації втрат потужності. Для СЕП підприємства доцільно встановити одну двотрансформаторну підстанцію з 2хТМ-400/10. На стороні 0,4 кВ передбачено секційний вимикач, який розділяє систему шин на дві частини, кожна з яких підключена до окремого трансформатора. За нормальних умов навантаження розподіляється рівномірно між обома трансформаторами. У разі виходу з ладу одного з трансформаторів, передбачено можливість секціонування та переведення всього навантаження на справний трансформатор із тимчасовим відключенням до 25 % малопріоритетного обладнання. Це забезпечує безперебійну роботу основних технологічних процесів без перевантаження діючого трансформатора. Аналіз засобів захисту показав що на стороні 10 кВ доцільно встановити вимикачі ВРС-10.

4. Розраховано силові електричні навантаження відділу відвантаження та обрано усю необхідну захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію для живлення ЕП цеху. Проведено розрахунок струм КЗ та здійснено перевірку обраного обладнання.

5. У науково-дослідній частині роботи досліджено вплив відхилень напруги на техніко-економічні показники системи електропостачання підприємства.

Встановлено, що значні коливання напруги в мережі призводять до зниження якості готової продукції, збільшення втрат електроенергії та зменшення надійності живлення технологічного обладнання.

Проведено аналіз режимів напруги у розподільчих мережах з урахуванням живлення підприємства від двох незалежних джерел напругою 10 кВ, які підключаються до двотрансформаторної підстанції 2×ТМ-400/10. Визначено, що внаслідок різної довжини кабельних ліній та нерівномірного розподілу навантаження, на входах трансформаторів ТП1 і ТП2 спостерігаються відмінності рівнів напруги, що негативно впливає на стабільність роботи споживачів.

Результати розрахунків падіння напруги в умовах максимального та мінімального навантаження підтвердили доцільність використання перемикача без збудження (ПБЗ) для корекції коефіцієнта трансформації. Зокрема, встановлено, що лише положення ПБЗ на рівні $-2,5\%$ забезпечує відповідність напруги на шинах 0,4 кВ нормативним вимогам згідно з ДСТУ EN 50160 у всіх розрахункових режимах. Інші положення призводять або до перенапруги, або до зниження напруги нижче допустимого рівня.

З урахуванням того, що трансформатори ТП1 і ТП2 працюють у паралельному режимі, встановлення однакового положення ПБЗ є обов'язковою умовою для запобігання циркуляційним струмам між трансформаторами. Це підтверджує технічну обґрунтованість вибраного рішення та дозволяє забезпечити стабільну й енергоефективну роботу системи електропостачання підприємства.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення СЕП підприємства, впровадження засобів автоматизованого керування напругою та оптимізації техніко-економічних показників енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
3. РТМ 36.18.32.4-92:1993. Методика розрахунку елек/ навантаження. 9 с.
4. Бурбело, М. Й. Спеціальні питання електропостачання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 89 с.
5. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2006. 95 с.
6. Офіційний сайт ПАТ «Завод Південкабель». URL: <http://www.yuzhcable.info> (дата звернення: 17.10.2024).
7. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" : веб-сайт. URL: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees> (дата звернення: 15.10.2021).
8. Трансформатори силові. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 17.10.2024).
9. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
10. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
11. Силові вимикачі. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 18.10.2024).
12. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого

замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).

13. Терешкевич, Л. Б. Оптимізація режимів електроспоживання : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 112 с.

14. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2024. 159 с.

15. Регулювання напруги в електричних системах - Конспект лекцій з курсу Електричні системи и мережі. URL: http://forca.com.ua/knigi/navchannya/konspekt-lekcii-z-kursu-elektrichni-sistemi-i-merezhi_11.html (дата звернення: 18.10.2024).

16. В.В. Грабко. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів. Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005, 109 с.

17. Яндульський О.С., Труніна Г.О., Нестерко А.Б., Настенко Д.В. Регулювання напруги в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії: монографія. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 184 с.

18. Лежнюк П.Д., Комар В.О. Регулювання напруги в електричних системах. – 2-е вид. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с.

19. ДСНІП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

20. 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->.

21. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

22. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до

захисних заходів від ураження струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

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

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

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

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

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

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

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

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15124>.

31. 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>.

32. 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.

33. 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.

34. 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 ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«КОНДИТЕРСЬКИЙ ДІМ «ВАЦАК»», М. МОГИЛІВ-ПОДІЛЬСЬКИЙ**

Бакалаврська дипломна робота
на тему
Розробка системи електропостачання
Товариства з обмеженою відповідальністю
«Кондитерський дім «Вацак»», м. Могилів-Подільський

Виконав: студент 4 курсу, гр. Е-23мсз
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Будза Олег Сергійович

Науковий керівник:
Терешкевич Леонід Борисович,
кандидат технічних наук, професор

Мета та задачі бакалаврської дипломної роботи

2

Актуальність теми. Енергоефективне функціонування виробничого підприємства може бути досягнуто правильним вибором сучасних методів та засобів для реалізації системи електропостачання. Тому важливо підбирати раціональні системи електропостачання, сучасне електрообладнання, кабельно-провідникову продукцію, підвищувати надійність електропостачання, покращувати використання існуючих мереж, знижувати втрати активної енергії, уніфікувати та індустріалізувати будівництво нових об'єктів [1].

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи електропостачання ТОВ «Вацак».

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вацак».

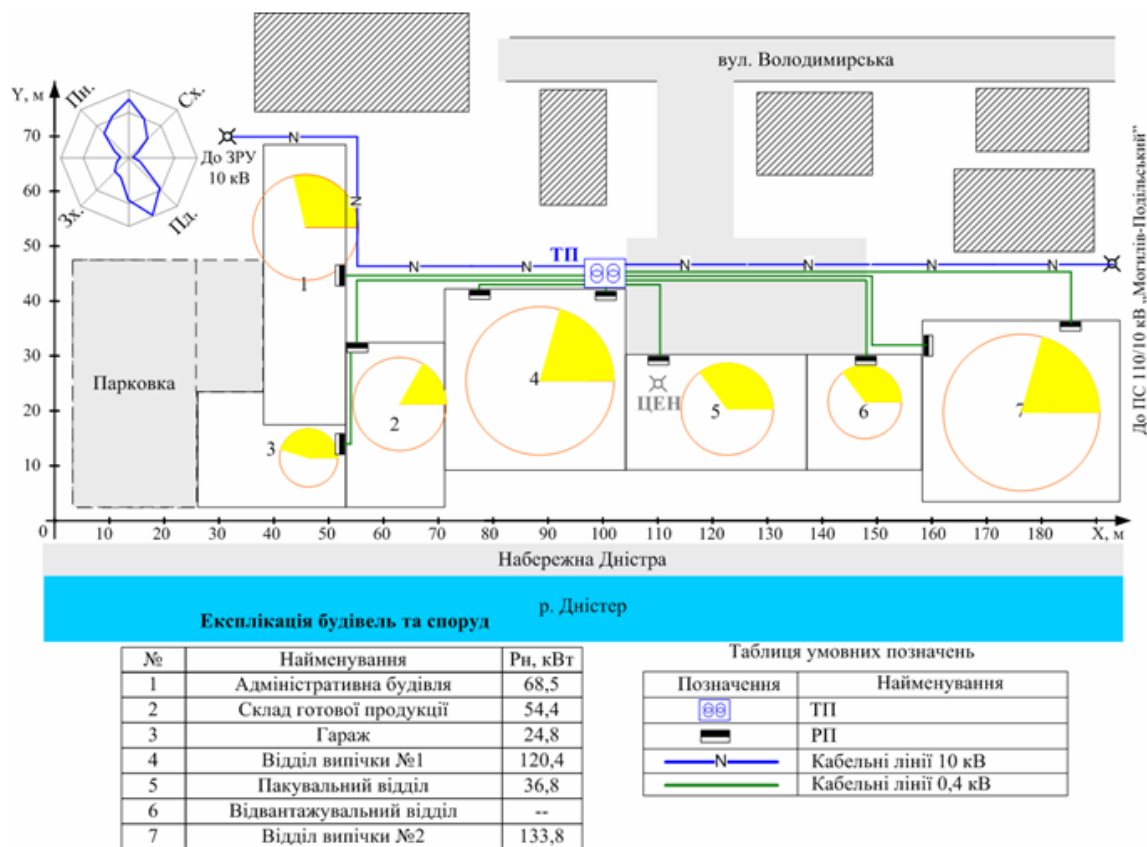
Предмет дослідження – методи та технічні рішення для розробки СЕП ТОВ «Вацак».

Наукова новизна. Розроблено систему електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»» на підставі техніко-економічного порівняння можливих варіантів реалізації СЕП. Спроектована СЕП забезпечує живлення підприємства від двох незалежних джерел напругою 10 кВ, відповідає чинним нормативам і є оптимальною з точки зору надійності, ефективності та енергетичних втрат. В науково-дослідній частині роботи проведено аналіз впливу відхилень напруги на техніко-економічні показники СЕП. Для вирішення проблеми відхилень напруги досліджено ефективність використання перемикача без збудження (ПБЗ) трансформатора для регулювання напруги в системі електропостачання підприємства шляхом визначення його оптимального положення. Запропонований підхід базується на реальних розрахунках втрат напруги, враховує змінність навантаження, довжини кабельних ліній, паралельну роботу трансформаторів та дозволяє підтримувати напругу в допустимих межах.

Практичне використання отриманих проектних рішень дозволить спроектувати систему електропостачання ТОВ «Кондитерський дім «Вацак»» яка за своїми технічними та економічними показниками буде оптимальною як в процесі проектування так і на стадії експлуатації.

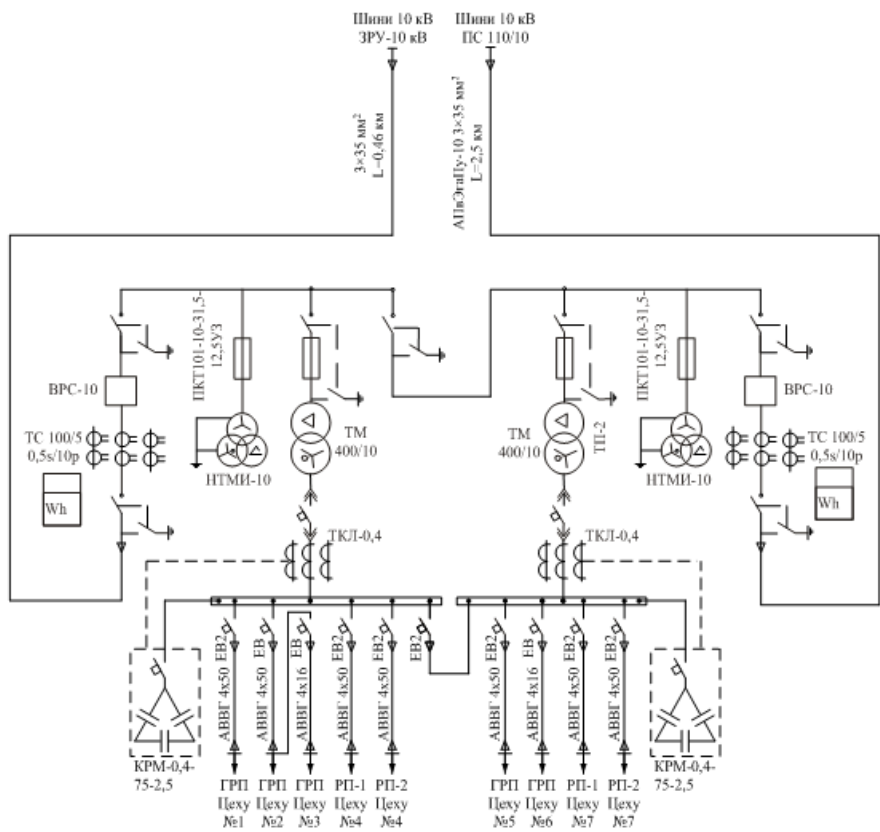
План підприємства із силовими та живильними мережами

3



Однолінійна схема електропостачання підприємства

4



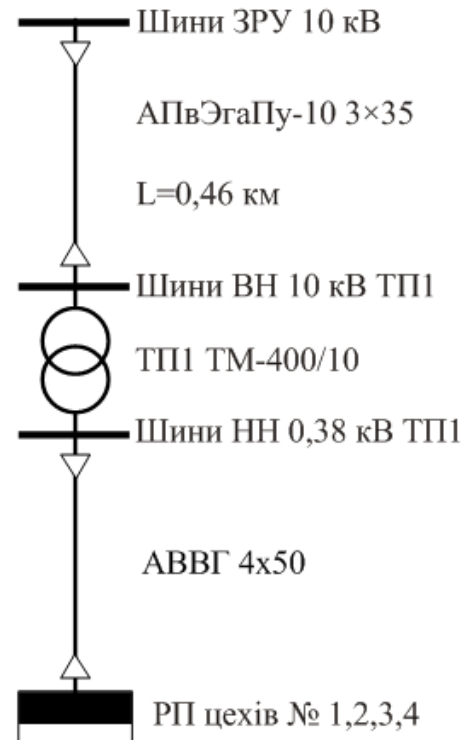
Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП1

Розрахунок спаду напруги для ТП1 окремо для кожного елемента живлення

Ділянка мережі	Вид обладнання	Параметр обладнання	Навантаження		Опір		$\Delta U, \%$
			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	
Живляча КЛ 10 кВ	АПвЭгаПу-10 3х35	$L=450 \text{ м}$	236,27	159,85	0,39928	0,03036	0,0992
ТП1	ТМ-400/10/0,4	$U_{кр}\% = 4,5$	236,27	159,85	3,4375	10,75	2,5306
КЛ від ТП1 до ГРП цеху №1	АВВГ 4х50	$L=20 \text{ м}$	57,6	33,4	0,01538	0,00132	0,0009
КЛ від ТП1 до ГРП цеху №2	АВВГ 4х50	$L=30 \text{ м}$	45,7	32,2	0,02307	0,00198	0,0011
КЛ від ГРП цеху №2 до №3	АВВГ 4х16	$L=18 \text{ м}$	19,1	15,2	0,0432	0,001512	0,0008
КЛ від ТП1 до РП1 цеху №4	АВВГ 4х50	$L=5 \text{ м}$	56,9	39,5	0,003845	0,00033	0,0002
КЛ від ТП1 до РП2 цеху №4	АВВГ 4х50	$L=30 \text{ м}$	56,9	39,5	0,02307	0,00198	0,0014

Розрахунок для ТП1 режиму максимальних та мінімальних навантажень

Результат навантаження	Напруга на ПС, %	Втрата напруги в КЛ С-ТП, %	Втрата напруги в трансформаторі, %	Добавка напруги, %	Втрата напруги в лінії від ТП до РП цехів, %	Напруга на цитах НН ТП, %	Положення регулювального відгалуження	Висновок
максимальний	103	0,099	2,53	0	0,045	100,36 102,86 105,36 107,86 110,36	-5 -2,5 0 2,5 5	допустимий допустимий недопустимий недопустимий недопустимий
мінімальний	100	0,099	2,53	0	0,045	97,36 99,86 102,36 104,86 107,6	-5 -2,5 0 2,5 5	недопустимий допустимий допустимий допустимий недопустимий



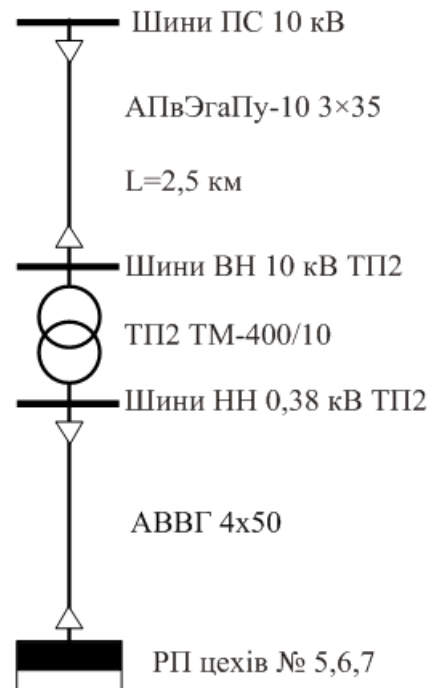
Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП2

Розрахунок спаду напруги для ТП2 окремо для кожного елемента живлення

Ділянка мережі	Вид обладнання	Параметр обладнання	Навантаження		Опір		$\Delta U, \%$
			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	
Живляча КЛ 10 кВ	АПвЭгаПу-10 3х35	$L=2500 \text{ м}$	138,69	236,61	2,17	0,165	0,3400
ТП-2	ТМ-400/10/0,4	$U_{кр}\% = 4,5$	138,69	236,61	3,4375	10,75	3,0203
КЛ від ТП2 до ГРП цеху №5	АВВГ 4х16	$L=30 \text{ м}$	42,6	35,3	0,02307	0,00198	0,0011
КЛ від ТП2 до ГРП цеху №6	АВВГ 4х16	$L=15 \text{ м}$	23,1	15,8	0,036	0,00126	0,0046
КЛ від ТП2 до РП1 цеху №7	АВВГ 4х50	$L=5 \text{ м}$	63	43,8	0,003845	0,00033	0,0003
КЛ від ТП2 до РП2 цеху №7	АВВГ 4х50	$L=35 \text{ м}$	63	43,8	0,026915	0,00231	0,0018

Розрахунок для ТП2 режиму максимальних та мінімальних навантажень

Результат навантаження	Напруга на ПС, %	Втрата напруги в КЛ С-ТП, %	Втрата напруги в трансформаторі, %	Добавка напруги, %	Втрата напруги в лінії від ТП до РП цехів, %	Напруга на цитах НН ТП, %	Положення регулювального відгалуження	Висновок
максимальний	103	0,34	3,02	0	0,0078	99,63 102,13 104,63 107,13 109,63	-5 -2,5 0 2,5 5	допустимий допустимий допустимий недопустимий недопустимий
мінімальний	100	0,34	3,02	0	0,0078	96,63 99,13 101,13 104,13 106,63	-5 -2,5 0 2,5 5	недопустимий допустимий допустимий допустимий недопустимий



Висновки по роботі

1. Проаналізовано організаційну структуру та особливості технологічного процесу підприємства, визначено основні типи електроприймачів і режими їх роботи, що обґрунтовує необхідність високої надійності електропостачання та віднесення споживачів до II категорії.
 2. Спроектовано систему електропостачання з урахуванням II категорії надійності, яка передбачає живлення від двох незалежних джерел 10 кВ: ПС 110/10 кВ (2,5 км) і ЗРУ 10 кВ (0,46 км) через кабелі АПвЭгаПу-10 3×35 мм².
 3. Обґрунтовано тип, кількість і розміщення трансформаторних підстанцій з урахуванням планування території та мінімізації втрат. Запропоновано одну двотрансформаторну ПС з 2×ТМ-400/10. На стороні 0,4 кВ передбачено секційний вимикач для розділення шин, забезпечення рівномірного навантаження і резервування. У разі виходу одного з трансформаторів можливо перевести навантаження на другий із тимчасовим відключенням до 25 % малопріоритетного обладнання. Рекомендовано встановлення вимикачів ВРС-10 на стороні 10 кВ.
 4. Розраховано електричне навантаження цеху відвантаження, підібрано захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію, виконано розрахунок струму КЗ та перевірку вибраного обладнання.
 5. У науково-дослідній частині проаналізовано вплив відхилень напруги на техніко-економічні показники електропостачання. Виявлено, що коливання напруги знижують якість продукції, збільшують втрати та зменшують надійність живлення.
- Проведено аналіз режимів напруги з урахуванням живлення від двох джерел напругою 10 кВ до двотрансформаторної ПС 2×ТМ-400/10. Через нерівну довжину кабелів і розподіл навантаження спостерігається різниця напруги на вводах ТП1 і ТП2.
- Розрахунки для режимів максимального і мінімального навантаження підтвердили, що лише положення ПБЗ –2,5 % забезпечує відповідність напруги на шинах 0,4 кВ вимогам ДСТУ EN 50160. Інші положення призводять до порушення нормативу.

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

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«КОНДИТЕРСЬКИЙ ДІМ «ВАЦАК»», М. МОГИЛІВ-ПОДІЛЬСЬКИЙ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ
ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Кондитерський дім «Вацак»», м. Могилів-Подільський

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 80% Схожість 20%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Войтюк Ю.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Будза О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Терешкевич Л.Б.
(підпис) (прізвище, ініціали)