

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

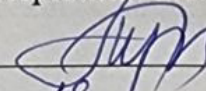
Бакалаврська дипломна робота на тему:

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ВІДКРИТОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«ВІННИЦЬКИЙ ОЛІЙНОЖИРОВИЙ КОМБІНАТ»

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

Катрич О.І.

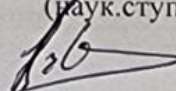
Керівник к.т.н., проф. каф. ЕСЕЕМ



Терешкевич Л.Б.

« 18 » 06 2025 р.

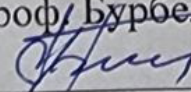
Рецензент к.т.н. проф. каф. ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)



Рубаненко О.Е.

« 19 » 06 2025 р.

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



« 19 » 06 2025 р.

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕМ
проф. Бурбело М.Й.

„28” 03 2025 р

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу
Катричу Олександрову Івановичу

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання Відкритого акціонерного товариства «Вінницький олійножировий комбінат»
керівник роботи Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від «__» _____ 2025 року, №__
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 Вплив відхилень напруги на техніко – економічні показники електропостачання

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

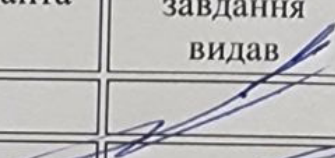
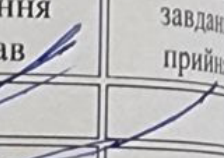
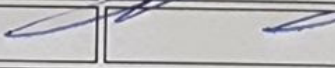
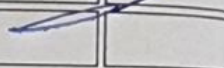
2. Однолінійна схема електропостачання підприємства

3. План цеху і силової мережі

4. Розрахунково-монтажна таблиця

5. Креслення із спецпитання

6. Консультанти розділів дипломної роботи

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

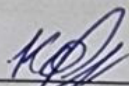
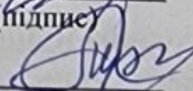
7. Дата видачі завдання «__»__2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

Керівник дипломної роботи


(підпис)

(підпис)

Катрич О.І.
(прізвище та ініціали)

Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Катрич Олександр Іванович. Розробка системи електропостачання Відкритого акціонерного Товариства «Вінницький олійножировий комбінат». Бакалаврська дипломна робота. Спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕМ, 2025 – 86с.

У роботі розроблено систему електропостачання ВАТ «ВОЖК» з урахуванням вимог до надійності, енергоефективності та стабільності технологічних процесів. Проведено аналіз енергоспоживання підприємства, визначено категорії надійності основних цехів, досліджено особливості добового навантаження. Визначено оптимальні параметри живлення, обрано конфігурацію зовнішніх кабельних ліній та виконано вибір трансформаторних підстанцій. Розроблено схему електропостачання та оптимальні параметри трансформаторних підстанцій, підібрано кабельну продукцію, захисну апаратуру та перевірено стійкість обладнання до струмів короткого замикання.

У науково-дослідній частині роботи проаналізовано вплив відхилень напруги на роботу СЕП підприємства. Виконано розрахунки втрат напруги на різних ділянках і доведено доцільність використання ПБЗ як засобу регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів.

Розглянуто аспекти охорони праці та безпеки експлуатації системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, трансформаторна підстанція, ПБЗ, напруга, якість електроенергії.

ABSTRACT

Katrych Oleksandr Ivanovych. Development of the Power Supply System for the Public Joint-Stock Company "Vinnytsia Oil and Fat Plant". Bachelor thesis. Specialties 141 – Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – ESEEM Department – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 86p.

This thesis presents the development of a power supply system for PJSC "Vinnytsia Oil and Fat Plant" with a focus on reliability, energy efficiency, and the stability of technological processes. The analysis of the enterprise's energy consumption was conducted, the reliability categories of the main workshops were determined, and daily load characteristics were examined. Optimal power supply parameters were established, an external cable line configuration was selected, and transformer substations were chosen accordingly. The power supply scheme and optimal parameters for substations were developed, cable products and protective devices were selected, and the equipment was verified for short-circuit current withstand capability.

In the research section, the influence of voltage deviations on the performance of the enterprise's power supply system was analyzed. Voltage loss calculations were carried out for various network segments, and the feasibility of using an off-load tap changer (OLTC) for transformer voltage regulation was substantiated.

Occupational safety and operational reliability issues of the power supply system were also addressed.

Keywords: power supply system, transformer substation, off-load tap changer (OLTC), voltage, power quality.

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
2.2 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій	18
2.3 Вибір та розрахунок схеми електропостачання підприємства	27
2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання	27
2.3.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП.....	30
2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху	34
2.4.1. Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху	34
2.4.2. Вибір комутаційних та захисних апаратів цехової електромережі	36
3 РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА.....	46
3.1 Вплив відхилень напруги на техніко–економічні показники СЕП	46
3.2 Аналіз режиму напруги в розподільчих мережах	48
3.3 Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП.....	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	61
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	61
4.1.2 Електробезпека.....	64
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	65
4.2.1 Мікроклімат.....	65
4.2.2 Склад повітря робочої зони	66
4.2.3 Виробниче освітлення.....	67
4.2.4 Виробничий шум.....	68
4.2.5 Виробнича вібрація	69
4.3 Пожежна безпека	70

ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТКИ	78
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина	
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення ефективної роботи промислового підприємства неможливе без впровадження оптимальної СЕП, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності, надійності та безпеки [9]. Раціональне проектування СЕП передбачає вибір сучасного електротехнічного обладнання, якісної кабельно-провідникової продукції, зниження технологічних втрат енергії та раціональне використання існуючої інфраструктури.

На етапі проектування важливо дотримуватись чинних нормативно-технічних вимог, використовувати перевірені методики розрахунків і впроваджувати технічні рішення, здатні забезпечити стабільну роботу мережі за будь-яких експлуатаційних режимів. Порушення в роботі СЕП, зокрема аварійні відключення чи зниження якості електропостачання, можуть спричинити суттєві економічні збитки, зниження обсягів продукції та створити ризики для персоналу.

Якість електроенергії тісно пов'язана з величиною втрат у мережі, тому її поліпшення сприяє підвищенню надійності та загальної економічної ефективності роботи підприємства.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи електропостачання ВАТ «ВОЖК» шляхом підвищення надійності та економічності її роботи, що досягається за рахунок аналізу існуючої схеми живлення, розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальної структури СЕП, а також дотриманням норм якості електричної енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

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

– виконати розрахунок та проектування електропостачання цехової мережі;

Об’єкт дослідження – це процес функціонування системи електропостачання з подальшою розробкою заходів щодо регулювання рівня напруги.

Предмет дослідження – розробка системи електропостачання ВАТ «ВОЖК».

Методи дослідження. У даній роботі використано загальноприйняті теоретичні методи проектування систем електропостачання, зокрема методи визначення електричних навантажень на основі упорядкованих діаграм навантаження, коефіцієнтів попиту та використання, а також техніко-економічного порівняння варіантів конфігурацій СЕП [3,9].

У науково-дослідній частині бакалаврської дипломної роботи досліджено вплив нестабільності напруги на роботу енергоємного технологічного обладнання ВАТ «ВОЖК» та обґрунтовано доцільність застосування перемикача без збудження для регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів.

Проведено аналіз графіків електричного навантаження підприємства, що виявив значні коливання рівня напруги на фоні добової нерівномірності споживання та великої довжини кабельних ліній. Для кількісної оцінки впливу застосування ПБЗ побудовано однолінійні схеми й схеми заміщення двох ділянок мережі, розраховано активну та реактивну потужність, а також втрати напруги в умовах мінімального та максимального навантаження. Виконано розрахунки напруги на стороні 0,4 кВ при різних положеннях ПБЗ (у діапазоні $\pm 5\%$ з кроком 2,5 %), що дозволило встановити оптимальне положення перемикача $+2,5\%$. Обране положення забезпечує стабільне живлення електроприймачів згідно з вимогами ДСТУ EN 50160:2014 без використання додаткових регулювальних пристроїв.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування ПБЗ як простого та надійного засобу покращення якості напруги та енергетичної стійкості системи електропостачання підприємства.

Практичне використання отриманих проектних рішень дозволить спроектувати систему електропостачання ВАТ «ВОЖК» 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

Відкрите акціонерне товариство «Вінницький олійножировий комбінат» (ВАТ «ВОЖК») є одним із провідних вітчизняних підприємств, що спеціалізується на виробництві харчових жирів, олії, майонезної продукції, маргаринів, а також побічної продукції для комбікормової промисловості [1]. Виробничі потужності підприємства розміщені на території близько 23 гектарів, що забезпечує ефективну організацію логістичних, технологічних і енергетичних процесів.

У складі комбінату функціонують наступні основні виробничі дільниці:

- цех первинної переробки олійних культур із добовою продуктивністю до 1000 тонн насіння соняшнику, 600 тонн ріпаку або 355 тонн сої;
- рафінаційно-гідрогенізаційне виробництво, здатне обробляти до 140 тонн жирів і 50 тонн дезодорованих олій на добу;
- фасувальна лінія для розливу олії в ПЕТ-тару продуктивністю до 20 тонн/добу.

На рисунку 1.1 зображено адміністративні та виробничі будівлі підприємства.



Рисунок 1.1 – Вигляд виробничих об'єктів ВАТ «ВОЖК»

Технологічна інфраструктура підприємства дозволяє забезпечити повний цикл обробки сировини від приймання, очищення, зберігання, механічної та хімічної

обробки, до пакування кінцевої продукції. Сировина постачається переважно з Вінницької, Черкаської, Сумської та інших областей України.

Олійноекстракційний завод розпочинає переробку з очищення насіння від домішок, після чого сировина надходить на зберігання та часткове просушування. Далі насіння подається до рушально-вічного відділення, де його лушать і відокремлюють ядра від лузги. Лузга пневмотранспортом подається до цеху грануляції за межами підприємства, де її переробляють на кормову муку. Ядра направляються до пресового цеху, де під тиском видобувається "пресова олія", яку фільтрують і транспортують на зливну станцію.

Оскільки залишки після пресування ще містять до 25% олії, їх подрібнюють у вальцях до тонких пластівців, які надходять в екстракційний цех. Там за допомогою гексану вилучається решта олії, що використовується для виробництва гліцерину й мийних засобів. Шрот після екстракції з вмістом олії до 1,3% зберігається на складі та використовується для виробництва комбікормових гранул.

На рисунку 1.2 представлено фрагмент одного з виробничих цехів комбінату.

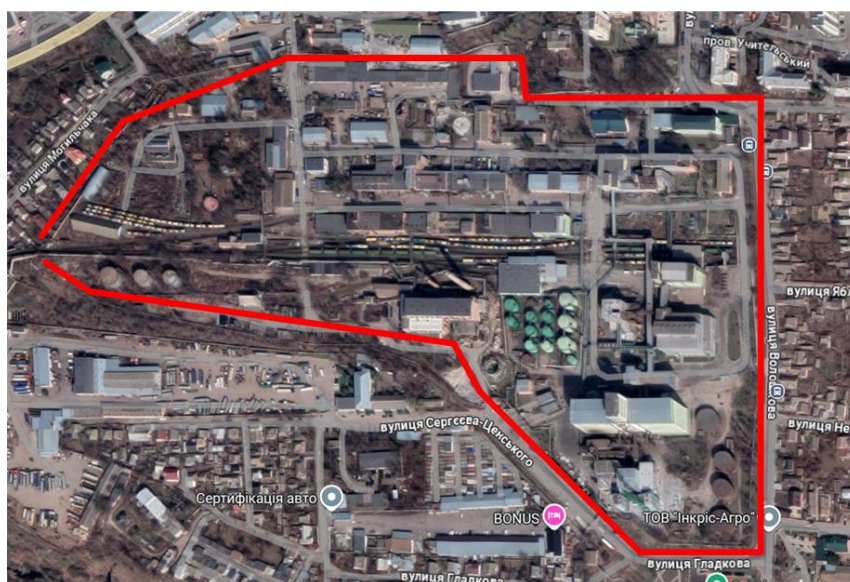


Рисунок 1.2 – Територія ВАТ «ВОЖК»

Гідрогенізаційне виробництво використовує пресову та екстракційну олію, яка олієпроводами подається до відповідного цеху. Тут за участі водню та мідно-нікелевих каталізаторів відбувається насичення жирних кислот, у результаті чого рідка олія перетворюється на саломас — тверду жирову фракцію. Отриманий

саломас поділяють на харчовий (для виробництва маргаринів, кондитерських жирів) і технічний (для потреб миловарної промисловості).

Миловарний цех переробляє технічні жири, які піддаються гідролізу в автоклавах під тиском пари з ТЕЦ. У результаті утворюються гліцерин і жирні кислоти. Після обробки лугами та кип'ятіння утворюється мильна маса, яку висушують, подрібнюють у стружку, обрізають, маркують і пакують. Туалетне мило виготовляється на лінії «Мацоні» з добовою потужністю 33 т (туалетне) та 53,6 т (господарське мило).

Схема технологічного процесу олієжиркомбінату представлена на рисунку 1.3.

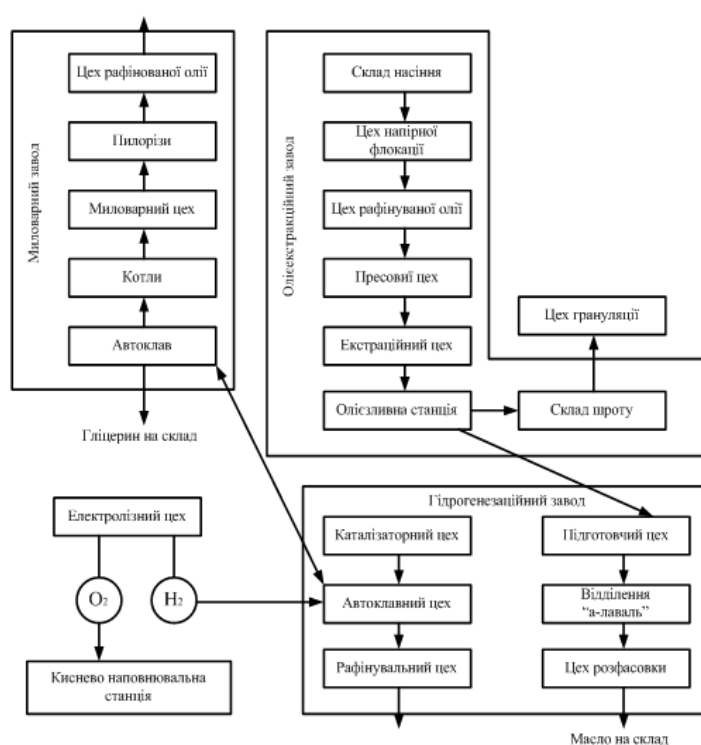


Рисунок 1.3 – Схема технологічного процесу

Усе технологічне устаткування, яке експлуатується на підприємстві, відповідає чинним стандартам щодо енергоефективності, безпеки та екології. Виробничі процеси максимально автоматизовані та інтегровані в єдину логістичну структуру. Значна увага приділяється енергозбереженню, зокрема шляхом використання частотних перетворювачів, систем рекуперації тепла та автоматизованого енергообліку.

1.2 Відомості про електричні навантаження. Оцінка категорії з надійності електропостачання

ВАТ «ВОЖК» належить до підприємств з високим рівнем енергоспоживання, що зумовлено значною кількістю енергоємного обладнання, яке працює у безперервному або циклічному режимі. До основних споживачів належать шнекові преси, екстрактори, гідрогенізаційні реактори, системи вакуумного випаровування, холодильні установки, компресорні станції та автоматизовані фасувальні лінії. Безперебійне електроживлення є критично важливим для підтримання технологічних параметрів, збереження якості продукції та уникнення простоїв, які можуть спричинити фінансові збитки та пошкодження устаткування.

З урахуванням технологічного процесу ВАТ «ВОЖК», виробничі потужності підприємства необхідно віднести до вимог II категорії надійності електропостачання відповідно до положень ПУЕ та ДБН В.2.5-23:2010.

Головною причиною віднесення електроспоживачів ПрАТ «ВОЖК» до II категорії надійності є висока залежність більшості виробничих процесів від стабільного електроживлення. На підприємстві працює значна кількість обладнання, яке виконує безперервні або довготривалі циклічні операції, які потребують постійної подачі електроенергії для підтримання параметрів: температури, тиску, рівня розрідження, перемішування, подачі реагентів тощо.

У разі аварійного знеструмлення навіть на короткий період виникає ризик псування продукту, зупинки хімічних або термічних реакцій у незавершеному стані, блокування трубопроводів затверділими масами, порушення вакууму в технологічних ємностях, втрати герметичності або простою фасувального обладнання. Окремі процеси, такі як екстракція гексаном чи гідрогенізація з воднем, додатково створюють потенційно небезпечні умови при втраті контролю над температурним або тисковим режимом.

Крім основного технологічного обладнання, до критичних споживачів належать системи автоматизованого керування, вентиляції, охолодження й пожежної сигналізації, які також повинні працювати безперервно.

На рисунку 1.4 подано умовне позначення території підприємства та основних енергоспоживаючих зон.

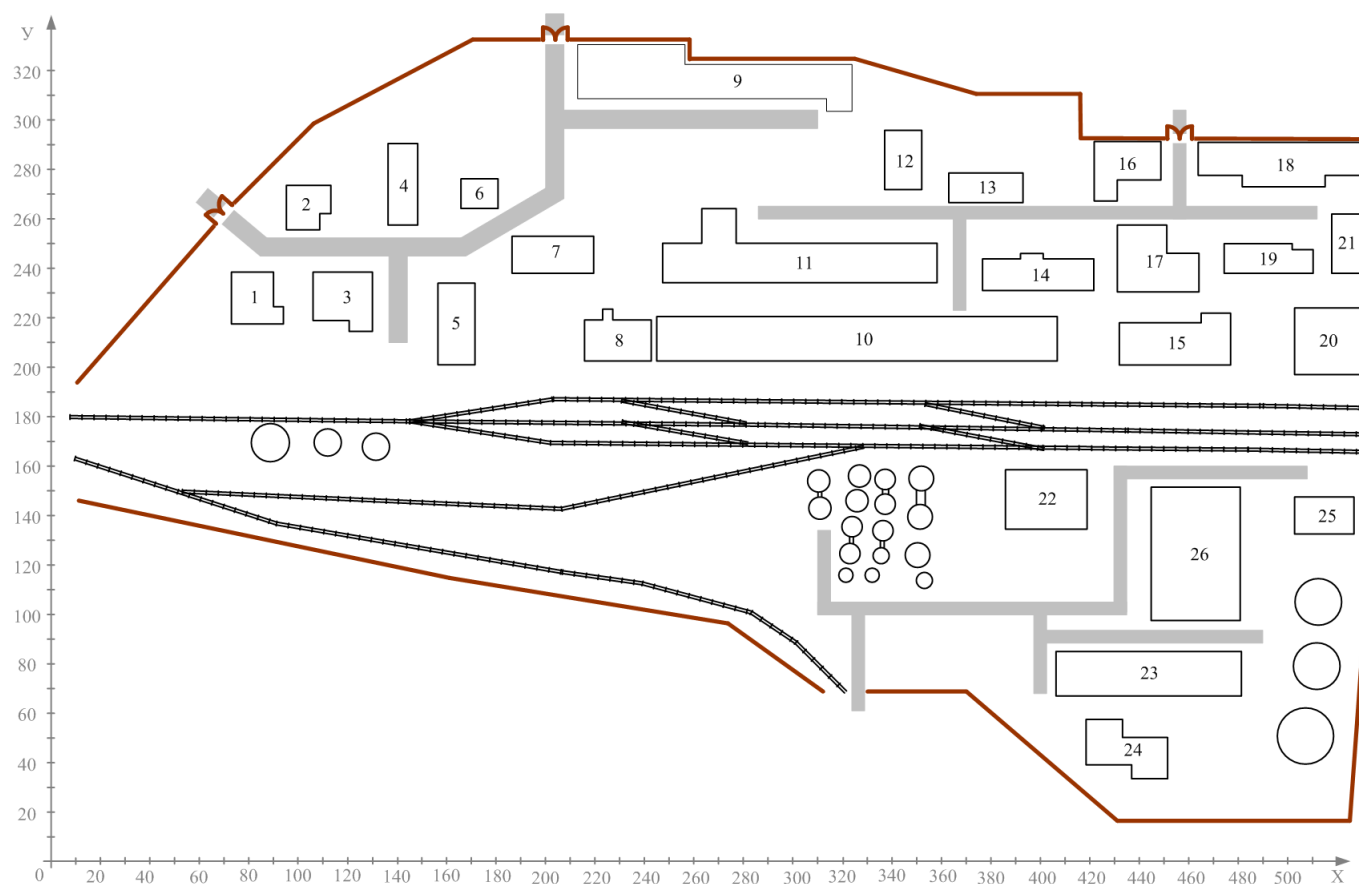


Рисунок 1.4 – Генплан ВАР «ВОЖК»

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження ВАР «ВОЖК»

№	Назва	Р, кВт	№	Назва	Р, кВт
1	Електролізний цех	260	14	Механічна майстерня	200
2	Напірна станція	250	15	Склад шрота	90
3	Теплиця	225	16	Їдальня	90
4	КНС	300	17	Масло-екстраційний цех	300
5	Склад	100	18	Адміністративний корпус	100
6	Цех напірної флокації	300	19	Пресовочний цех	350
7	Цех виробництва маргарину	250	20	Бензосховище	100
8	Склад мила	60	21	Насосна станція	350
9	Гараж	60	22	Олієзливна	330
10	Миловарний завод	400	23	Елеватор шрота	340
11	Гідрогенезаційний завод	350	24	Котельня	335
12	Цех напірної флокації	150	25	Склад шрота	260
13	Механічна майстерня	150	26	Склад зерна	315

Додаткові дані про систему електропостачання підприємства:

Довжина лінії від заводу до живлячої підстанції (ПС) енергосистеми:

- від ПС системи «Технологічна» 110/10 – 2,6 км.

Вхідна РП складає $Q_{\text{вх}} = 750$ квар.

Час використання максимального навантаження $T_{\text{м}} = 6000$ год/рік.

Час максимальних втрат складає $\tau_{\text{м}} = 4591,782$ год/рік.

Значення величини тарифу за активну електроенергію $t = 6,649$ грн/кВт*год.

В даній дипломній роботі виконується проектування системи електропостачання цеху виробництва маргарину (ЦВМ).

До складу електротехнологічного обладнання цеху входять: вентилятори-сушки (2 од.), редуктори (2 од.), насосне обладнання (5 од.) та технологічні резервуари типу "танк" (9 од.). Зазначені електроприймачі забезпечують реалізацію основних етапів технологічного процесу: підготовки сировини, дозування компонентів, змішування, емульгування, термічної обробки та тимчасового зберігання готового або напівготового продукту.

Потужність електроприймачів, що експлуатуються в ЦВМ, коливається в межах від 2,2 до 30 кВт. Найбільш енергоємним елементом є вентиляційно-сушильна установка, що призначена для забезпечення заданих параметрів вологості та температури в робочому середовищі або для сушіння допоміжних матеріалів.

Умови експлуатації обладнання передбачають тривалий або безперервний режим роботи, що характерно для харчової галузі. Знеструмлення окремих агрегатів, особливо насосів, вентиляторів або резервуарів із мішалками, може призвести до порушення температурно-реологічного режиму, втрати однорідності емульсії, псування продукту або необхідності повної санітарної промивки обладнання перед повторним запуском.

З огляду на вищезазначене, до системи електропостачання цеху пред'являються підвищені вимоги щодо надійності, безперебійності та відповідності санітарно-гігієнічним нормам харчових виробництв.

Інформація щодо розподілу електричних навантажень у ЦВМ наведена в таблиці 1.2, а схема розміщення обладнання представлена на рисунку 1.5.

Таблиця 1.2 – Електричні навантаження цеху

№ на	Назва	Рн,
1-2	Вентилятор-сушка	30
3-4	Редуктор	2,2
5,8,9	Насос	5,5
6,7	Насос	2,2
10-18	Танк	3,5

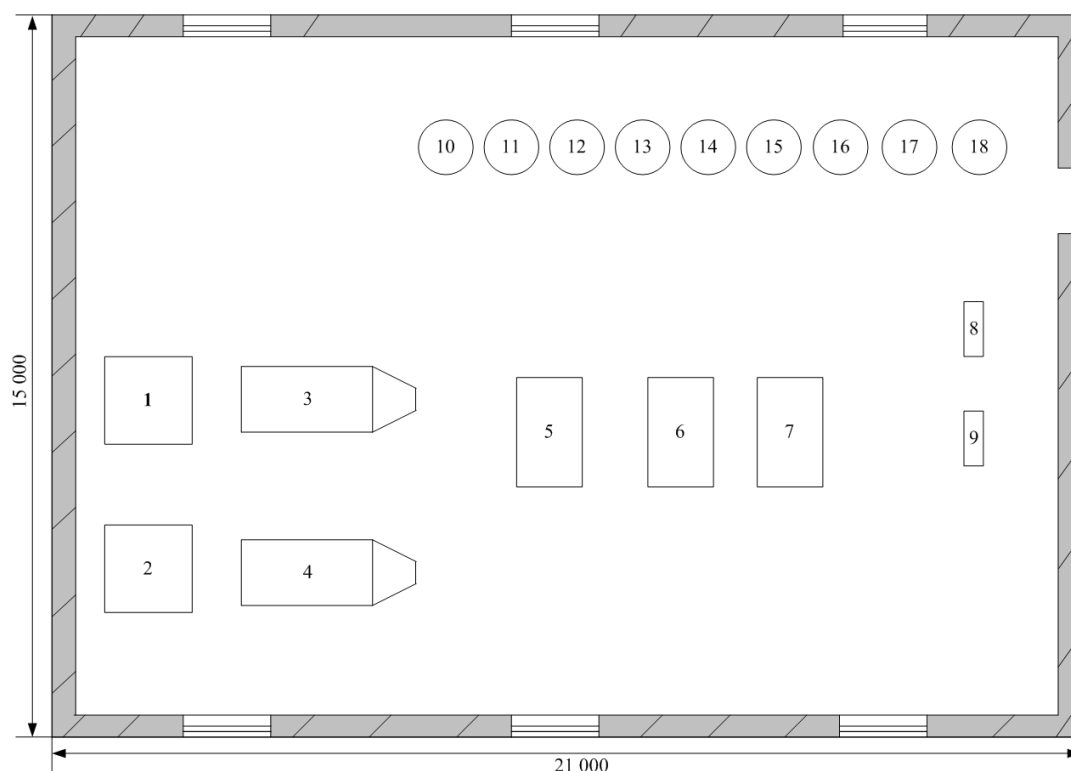


Рисунок 1.5 – План цеху виробництва маргарину (ЦВМ)

Висновки по розділу 1.

У першому розділі бакалаврської дипломної роботи було проведено аналіз загальної виробничої структури та технологічних процесів ВАТ «ВОЖК».

1. Досліджено повний цикл переробки сировини на підприємстві. Встановлено, що більшість технологічного обладнання (екстрактори, преси, реактори, сушильні установки, насосні агрегати) працює у безперервному або тривалому циклічному режимі, що зумовлює підвищену критичність до стабільності електропостачання.

2. Визначено, що основні виробничі підрозділи комбінату, зокрема маслоекстракційний, гідрогенізаційний, миловарний, фасувальний та цех виробництва маргарину, належать до II категорії надійності електропостачання згідно з вимогами ПУЕ та ДБН В.2.5-23:2010. Це передбачає необхідність організації живлення від двох незалежних джерел. Особливу увагу приділено цеху виробництва маргарину, для якого виконується проектування системи електропостачання.

У ході аналізу електроспоживання підприємства встановлено низку чинників, які необхідно враховувати під час подальшого проектування:

- наявність великої кількості споживачів із різним режимом роботи та рівнем енергоспоживання;
- необхідність забезпечення стабільної напруги в умовах змінного навантаження;
- значна віддаленість заводу від живильної підстанції 110/10 кВ (3,1 км), що може призводити до суттєвих втрат напруги.

Актуальність розробки системи електропостачання підтверджується вимогами безперервності технологічних процесів, санітарно-гігієнічними нормами та необхідністю зменшення втрат електроенергії.

Таким чином, проведений аналіз технологічних та енергетичних характеристик ВАТ «ВОЖК» формує технічну базу для проектування надійної, безпечної та енергоефективної системи електропостачання підприємства вилітому та цеху виробництва маргарину.

2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

У сучасних умовах стабільна робота підприємств харчової промисловості, зокрема таких як ВАТ «ВОЖК», безпосередньо залежить від ефективності та надійності системи електропостачання. Зважаючи на складність технологічних процесів, чутливість сировини до температурного режиму, високу ступінь автоматизації та наявність безперервного виробництва, якість та надійність електроживлення є дуже важливою для забезпечення стабільності, безпеки та конкурентоспроможності підприємства.

Проектування системи електропостачання для таких об'єктів повинно передбачати:

- визначення фактичних і перспективних електричних навантажень ключових цехів (екстракційного, гідрогенізаційного, маргаринового, миловарного тощо);
- обґрунтований вибір джерел живлення, їх резервування і категорії надійності споживачів;
- раціональне розташування внутрішньозаводських мереж та комутаційних пунктів;
- підтримання стабільності напруги у межах норм [10];
- врахування особливих умов експлуатації таких, як агресивного середовища, підвищеної вологості, електромагнітних впливів.

У процесі проектування систем електропостачання для промислових підприємств особливої важливості набуває правильне визначення розрахункового електричного навантаження, яке використовується для підбору кабельних ліній, трансформаторів, захисної апаратури та інших елементів мережі. З огляду на те, що реальне навантаження рідко досягає суми номінальних потужностей усіх споживачів одночасно, використання коефіцієнта попиту (K_p) дозволяє суттєво підвищити точність інженерних розрахунків.

2.1 Розрахунок електричних навантажень

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 (Електроліхний цех)
Середня активна потужність силового обладнання підприємства, кВт	$P_C = K_{\Pi} \cdot P_H$	$P_C = 0,4 \cdot 260 = 104$
Середня реактивна потужність силового обладнання підприємства, квар	$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi$	$Q_C = 104 \cdot 1,02 = 106,1$
Розрахункова активна потужність електричного освітлення, кВт	$P_O = P_{\text{Пит.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F$	$P_O = 0,016 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 385 = 5,42$
Питома густина освітлювального навантаження	$P_{\text{Пит.О}} = 0,011 \div 0,022$	$P_{\text{Пит.О}} = 0,016$
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	$P_P = P_C + P_O$	$P_P = 104 + 5,42 = 109,42$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_P = Q_C$	$Q_P = 106,1$
Сумарне навантаження підприємства, кВА	$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}$	$S_{P\Sigma} = \sqrt{109,4^2 + 106,1^2} = 152,4$
Розрахункова максимальна активна потужність усієї мережі, кВт	$P_{P\Sigma} = K_O \left(\sum_{i=1}^N P_{Pi} + P_{\text{ПЦі}} + P_{P3} \right) + P_{\text{ОС}} = 2514,67$	
Розрахункова максимальна реактивна потужність усієї мережі, квар	$Q_{P\Sigma} = K_O \left(\sum_{i=1}^N Q_{Pi} + Q_{\text{ПЦі}} + Q_{P3} \right) = 2264,46$	
Сумарне навантаження підприємства, кВА	$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}$	$S_{P\Sigma} = \sqrt{2515,6^2 + 2264,4^2} = 3383,98$

Методика розрахунку з урахуванням коефіцієнта попиту забезпечує:

- оптимізацію вибору обладнання без його перевантаження або надмірного резерву;
- зменшення капітальних витрат на електротехнічну частину проекту;
- врахування реального режиму роботи споживачів (черговість, тривалість, групування за режимами);
- зниження втрат електроенергії завдяки правильному підбору перерізу проводів та трансформаторної потужності;
- підвищення надійності роботи системи, завдяки точнішому моделюванню навантаження у динаміці.

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень підприємства

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження		
		P _н , кВт	K _л	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , квар	F, м ²	P _{пл.о} Вт/м ²	K _{по}	K _{пра}	P _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Електролізний цех	260	0,4	0,7	1,02	104	106,10	385	0,016	0,8	1,1	5,42	109,42	106,10	152,42
2	Напірна станція	250	0,5	0,8	0,75	125	93,75	295	0,016	0,7	1,1	3,63	128,63	93,75	159,17
3	Теплиця	225	0,25	0,8	0,75	56,25	42,19	512	0,012	0,7	1,1	4,73	60,98	42,19	74,15
4	КНС	300	0,4	0,65	1,17	120	140,30	396	0,016	0,7	1,1	4,88	124,88	140,30	187,82
5	Склад	100	0,3	0,7	1,02	30	30,61	495	0,012	0,7	1,1	4,57	34,57	30,61	46,17
6	Цех напірної флокації	300	0,5	0,8	0,75	150	112,50	180	0,016	0,8	1,1	2,53	152,53	112,50	189,53
7	Цех виробництва маргарину	250	0,35	0,7	1,02	87,5	89,27	495	0,016	0,9	1,1	7,84	95,34	89,27	130,61
8	Склад мила	60	0,45	0,7	1,02	27	27,55	467	0,012	0,7	1,1	4,32	31,32	27,55	41,71
9	Гараж	60	0,25	0,7	1,02	15	15,30	1935	0,012	0,7	1,1	17,88	32,88	15,30	36,27
10	Миловарний завод	400	0,4	0,65	1,17	160	187,06	2916	0,016	0,8	1,1	41,06	201,06	187,06	274,62
11	Гідрогенезаційний завод	350	0,4	0,65	1,17	140	163,68	1970	0,016	0,8	1,1	27,74	167,74	163,68	234,36
12	Цех напірної флокації	150	0,5	0,75	0,88	75	66,14	360	0,016	0,8	1,1	5,07	80,07	66,14	103,86
13	Механічна майстерня	150	0,35	0,65	1,17	52,5	61,38	360	0,016	0,8	1,1	5,07	57,57	61,38	84,15
14	Механічна майстерня	200	0,35	0,65	1,17	70	81,84	598	0,016	0,8	1,1	8,42	78,42	81,84	113,35
15	Склад шрота	90	0,35	0,7	1,02	31,5	32,14	816	0,012	0,7	1,1	7,54	39,04	32,14	50,57
16	Їдальня	90	0,5	0,8	0,75	45	33,75	498	0,02	0,9	1,1	9,86	54,86	33,75	64,41
17	Масло-екстраційний цех	300	0,5	0,7	1,02	150	153,03	743	0,016	0,8	1,1	10,46	160,46	153,03	221,73
18	Адміністративний корпус	100	0,3	0,75	0,88	30	26,46	1038	0,02	0,9	1,1	20,55	50,55	26,46	57,06
19	Пресовочний цех	350	0,3	0,65	1,17	105	122,76	412	0,016	0,8	1,1	5,80	110,80	122,76	165,37
20	Бензосховище	100	0,25	0,75	0,88	25	22,05	729	0,012	0,7	1,1	6,74	31,74	22,05	38,64
21	Насосна станція	350	0,45	0,8	0,75	157,5	118,13	288	0,012	0,7	1,1	2,66	160,16	118,13	199,01
22	Олієзливна	330	0,45	0,7	1,02	148,5	151,50	792	0,012	0,7	1,1	7,32	155,82	151,50	217,33
23	Елеватор шрота	340	0,3	0,6	1,33	102	136,00	1350	0,016	0,7	1,1	16,63	118,63	136,00	180,47
24	Котельня	335	0,5	0,65	1,17	167,5	195,83	555	0,016	0,8	1,1	7,81	175,31	195,83	262,84
25	Склад шрота	260	0,35	0,7	1,02	91	92,84	360	0,012	0,7	1,1	3,33	94,33	92,84	132,35
26	Склад зерна	315	0,25	0,8	0,75	78,75	59,06	1944	0,012	0,7	1,1	17,96	96,71	59,06	113,32
	Разом	6015				2344,00	2361,19	20889				259,83	2514,67	2264,46	3383,98

2.2 Вибір та розміщення трансформаторних підстанцій

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

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}; \quad (2.1)$$

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

$$N_{\text{ек}} \geq \frac{S_{\Sigma}}{2 \cdot S_{\text{ном.т.}} \cdot k_3}; \quad (2.2)$$

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:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{\text{pi}} = 3383,98 \text{ (кВА)}.$$

Сумарна площа всіх цехів підприємства:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i = 20889 \text{ (м}^2\text{)}.$$

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

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{3383,98}{20889} = 0,16 \text{ (кВ} \cdot \text{А/м}^2\text{)}.$$

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

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

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{3383,98}{2 \cdot 630 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 3,15 \div 3,35 \text{ (шт.)}.$$

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

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{3383,98}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 2,11 \div 2,33 \text{ (шт.)}.$$

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

Порівняльні характеристики навантаження для обох варіантів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.4 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

Варіант 1				Варіант 2			
Цех	Sp, кВА	630 кВА		Цех	Sp, кВА	1000 кВА	
		N, шт	k ₃			N, шт	k ₃
1-9	1011,72	2	0,8	1-9	1011,72	2	0,61
10-14	810,698	2	0,6	10-14	810,698	2	0,51
15-21	794,27	2	0,53	15-21	794,27	2	0,5
22-26	902,79	2	0,72	22-26	902,79	2	0,53

Здійснюємо техніко-економічне порівняння варіантів спорудженої системи електропостачання підприємства. Паспортні дані трансформаторів наведено в таблиці 2.5 [10].

Таблиця 2.5 – 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
1000	10	2,1	10,5	1,4	6

Однолінійна схема електропостачання ВАТ «ВОЖК» є радіальною на напрузі 10 кВ. Проводимо техніко-економічне порівняння варіантів спорудження підстанцій потужністю 630 кВА і 1000 кВА за допомогою методу річних витрат (рисунок 2.1).

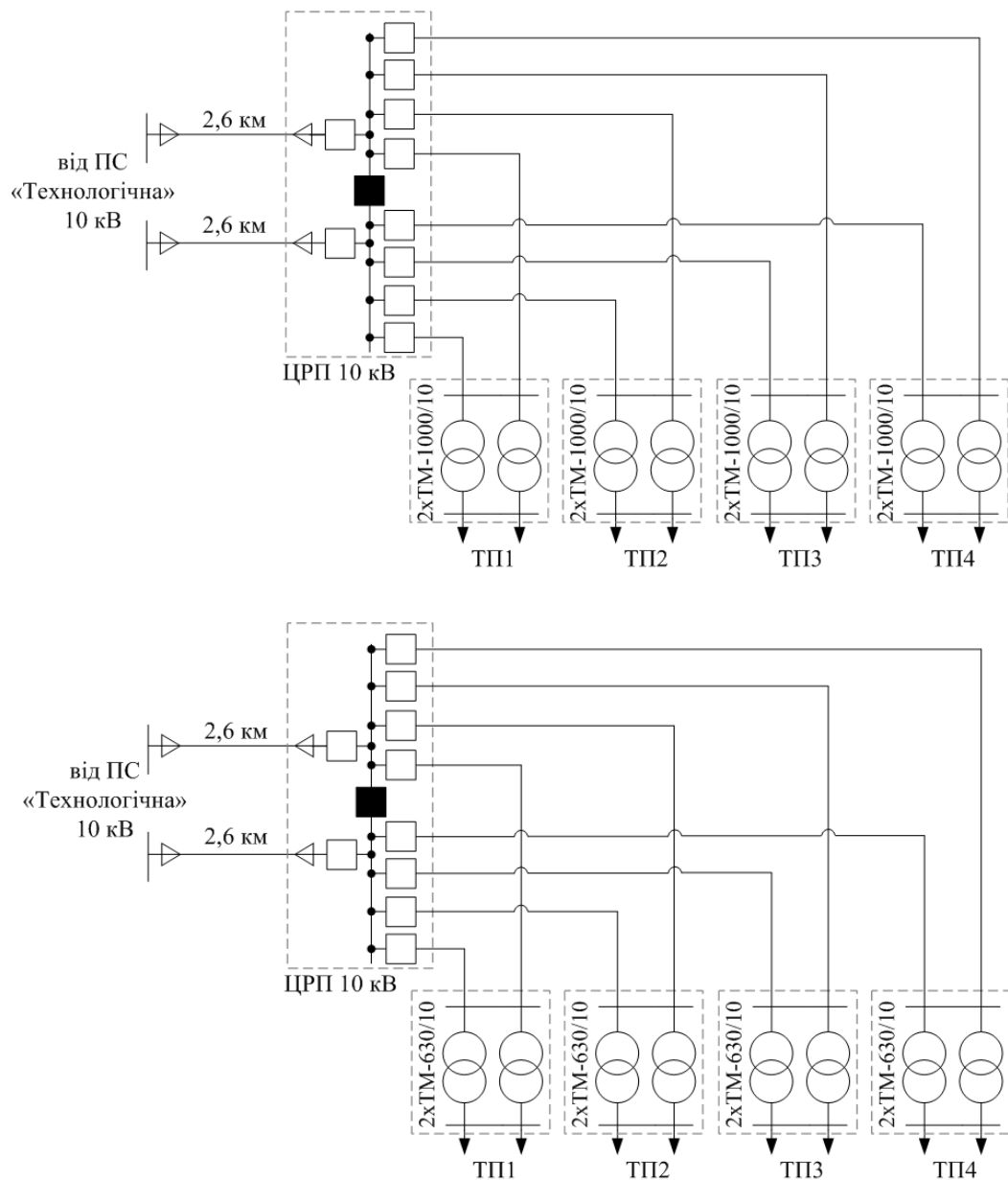


Рисунок 2.1 – Варіанти СЕП підприємства

Кращий варіант задіяних ТП буде з меншими приведеними затратами:

$$B_{\text{пр}} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + Z_{\text{пер}}, \quad (2.3)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт (0,1);

E_a – амортизація ($E_a = 0,063$ [9]);

K – капітальні вкладення в ТП, грн;

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

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{ном.т.}}} \right)^2, \quad (2.4)$$

Вартість річних втрат потужності розраховуємо за допомогою діючого тарифу:

$$m = t \cdot \tau, \quad (2.5)$$

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

Приймаємо, що $t = 6,649$ грн/кВт·год [11]. для напруги живлення 10 кВ, а $T_{\text{м}} = 6000$. Звідси вартість річних витрат активної потужності в трансформаторах:

$$m = 6,649 \cdot \left(0,124 + \frac{6000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 30530,7 \text{ (грн/рік)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 630 кВА:

$$\Delta P_{630} = 8 \cdot 1,5 + \frac{1}{8} \cdot 8 \cdot \left(\frac{3383,98}{630} \right)^2 = 40,85 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності при потужності трансформаторів 1000 кВА:

$$\Delta P_{1000} = 8 \cdot 2,1 + \frac{1}{8} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{3383,98}{1000} \right)^2 = 31,83 \text{ (кВт)}.$$

Вартість спорудження двотрансформаторної ТП [10]:

$$K_{630} = 805120 \text{ (грн)},$$

$$K_{1000} = 1169600 \text{ (грн)}.$$

Остаточню розраховуємо, який із запропонованих варіантів буде вигіднішим:

$$B_{\text{пр}630} = 4 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 805120 + 30530,7 \cdot 40,85 = 1772180,7 \text{ (грн)},$$

$$B_{\text{пр}1000} = 4 \cdot (0,1 + 0,063) \cdot 1169600 + 30530,7 \cdot 31,83 = 1734373,1 \text{ (грн)}.$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{B_1 - B_2} = \frac{4 \cdot (1169600 - 805120)}{30530,7(40,85 - 31,83)} = 5,3 \text{ (років)}.$$

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

Таблиця 2.6 – Номінальні параметри трансформаторів

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	Ст, кВА	N, шт.	Кз, в.о.
ТП1	1	Електролізний цех	109,42	106,10	152,42	1000	2	0,61
	2	Напірна станція	128,63	93,75	159,17			
	3	Теплиця	60,98	42,19	74,15			
	4	КНС	124,88	140,30	187,82			
	5	Склад	34,57	30,61	46,17			
	6	Цех напірної флокації	152,53	112,50	189,53			
	7	Цех виробництва маргарину	95,34	89,27	130,61			
	8	Склад мила	31,32	27,55	41,71			
	9	Гараж	32,88	15,30	36,27			
		Всього по ТП1	768,552	657,956	1011,720			
ТП2	10	Міловарний завод	201,06	187,06	274,62	1000	2	0,51
	11	Гідрогазифікаційний завод	167,74	163,68	234,36			
	12	Цех напірної флокації	80,07	66,14	103,86			
	13	Механічна майстерня	57,57	61,38	84,15			
	14	Механічна майстерня	78,42	81,84	113,35			
		Всього по ТП2	585,792	560,427	810,698			
ТП3	15	Склад шрота	39,04	32,14	50,57	1000	2	0,50
	16	Їдальня	54,86	33,75	64,41			
	17	Масло-екстракційний цех	160,46	153,03	221,73			
	18	Адміністративний корпус	50,55	26,46	57,06			
	19	Пресовочний цех	110,80	122,76	165,37			
	20	Бензосховище	31,74	22,05	38,64			
	21	Насосна станція	160,16	118,13	199,01			
		Всього по ТП3	606,747	512,569	794,273			
ТП4	22	Олієзливна	155,82	151,50	217,33	1000	2	0,55
	23	Елеватор шрота	118,63	136,00	180,47			
	24	Котельня	175,31	195,83	262,84			
	25	Склад шрота	94,33	92,84	132,35			
	26	Склад зерна	96,71	59,06	113,32			
		Всього по ТП4	642,637	634,072	902,790			

Отже вибір двотрансформаторних підстанцій із трансформаторами типу 2×ТМ-1000/10 є обґрунтованим і відповідає вимогам до II категорії надійності електропостачання. Згідно з розрахунками, коефіцієнт завантаження для ТП 1-4 близький 0,55, що свідчить про наявність достатнього резерву потужності. У разі аварійного вимкнення одного з трансформаторів навантаження може бути тимчасово переведене на трансформатор, що залишився в роботі. При цьому допускається тимчасове відключення до 20% малопріоритетного обладнання з метою забезпечення стабільної роботи критичних споживачів до моменту відновлення повноцінного електроживлення.

У рамках розробки СЕП виконується побудова картограми електричних навантажень. Мета картограми навантажень візуалізувати просторовий розподіл електроспоживання між основними технологічними об'єктами та трансформаторними підстанціями.

Місце розташування цехових ТП можна визначити за наступними формулами:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}. \quad (2.6)$$

Розподіл навантажень між трансформаторними підстанціями здійснюється таким чином, щоб зменшити внутрішні перетоки потужності в мережі та забезпечити рівномірне завантаження трансформаторів.

Розміщення трансформаторних підстанцій на території підприємства узгоджено з генеральним планом ВАТ «ВОЖК» та враховує реальні просторові обмеження. Хоча в процесі електротехнічного розрахунку було визначено оптимальні координати ТП на основі мінімізації довжин кабельних ліній і втрат потужності, їх точне застосування не завжди можливе на практиці через наявність будівель, доріг, складів або інженерних мереж.

З огляду на це, фактичні точки розміщення ТП 1-4 та ЦРП були скориговані з мінімальним відхиленням від розрахованих координат, що дозволило зберегти

технічну доцільність розміщення та врахувати вимоги до зручності підключення навантажень, проїзду техніки та безпеки експлуатації.

Дані для даного розрахунку беремо з таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	ТП	Рр, кВт	Х, м	У, м	Рр*Х, кВт*м	Рр*У, кВт*м
1	Електролізний цех	1	109,42	83	228	9081,93	24947,94
2	Напірна станція	1	128,63	104	264	13377,98	33959,48
3	Теплиця	1	60,98	118	226	7195,74	13781,68
4	КНС	1	124,88	142	274	17732,78	34216,77
5	Склад	1	34,57	164	217	5670,10	7502,51
6	Цех напірної флокації	1	152,53	173	270	26388,45	41184,29
7	Цех виробництва маргарину	1	95,34	203	232	19354,18	22119,07
8	Склад мила	1	31,32	229	213	7171,15	6670,11
9	Гараж	1	32,88	268	317	8811,68	10422,77
10	Миловарний завод	2	201,06	326	211	65544,67	42423,09
11	Гідрогазифікаційний завод	2	167,74	302	249	50656,76	41766,66
12	Цех напірної флокації	2	80,07	344	283	27543,67	22659,47
13	Механічна майстерня	2	57,57	378	272	21761,01	15658,71
14	Механічна майстерня	2	78,42	399	238	31289,52	18663,92
15	Склад шрота	3	39,04	447	211	17450,81	8237,41
16	Їдальня	3	54,86	435	279	23864,27	15306,05
17	Масло-екстракційний цех	3	160,46	447	244	71726,26	39152,59
18	Адміністративний корпус	3	50,55	494	282	24972,89	14255,78
19	Пресовочний цех	3	110,80	492	244	54514,07	27035,43
20	Бензосховище	3	31,74	416	210	13202,16	6664,55
21	Насосна станція	3	160,16	524	250	83924,43	40040,28
22	Олієзливна	4	155,82	402	145	62638,87	22593,62
23	Елеватор шрота	4	118,63	444	76	52672,61	9016,03
24	Котельня	4	175,31	435	45	76261,76	7889,15
25	Склад шрота	4	94,33	515	140	48578,10	13205,70
26	Склад зерна	4	96,71	463	124	44777,92	11992,36
			ΣR_p , кВт	$\Sigma R_p \cdot X / \Sigma R_p$	$\Sigma R_p \cdot Y / \Sigma R_p$	$\Sigma R_p \cdot X$, кВт*м	$\Sigma R_p \cdot Y$, кВт*м
	Сумарно по ТП1		770,56	148,96	252,81	114784,00	194804,62
	Сумарно по ТП2		584,85	336,49	241,38	196795,62	141171,85
	Сумарно по ТП3		607,61	476,71	248,01	289654,89	150692,09
	Сумарно по ТП4		640,80	444,64	100,96	284929,25	64696,86
	Координати ЦЕН		2603,83	340,33	211,75	886163,76	551365,42

У таблиці 2.8 наведено порівняння між розрахованими координатами та їх фактичним розміщенням на генплані. Обране розташування дозволяє зберегти

ефективну структуру СЕП без суттєвого впливу на загальні втрати та забезпечити відповідність нормам за умовами доступу та обслуговування.

Таблиця 2.8 – Координати оптимального розміщення ТП

	Цех	Розраховані		Оптимальні	
		Х, м	У, м	Х, м	У, м
ТП-1	1-9	148,96	252,81	156	255
ТП-2	10-14	336,49	241,38	365	248
ТП-3	15-21	476,71	248,01	459	245
ТП-4	22-26	444,64	100,96	435	99
ЦРП		340,33	211,75	395	250

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

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_p}}. \quad (2.8)$$

Величина сектору, яке характеризує освітлювальне навантаження цеху:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}. \quad (2.9)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	Х,м	У,м	Рр, кВт	Ро, кВт	г, м	α°	d, м
1	Електролізний цех	83	228	109,42	5,42	26,40	17,8	37,33
2	Напірна станція	104	264	128,63	3,63	28,62	10,2	40,48
3	Теплиця	118	226	60,98	4,73	19,71	27,9	27,87
4	КНС	142	274	124,88	4,88	28,20	14,1	39,88
5	Склад	164	217	34,57	4,57	14,84	47,6	20,99
6	Цех напірної флокації	173	270	152,53	2,53	31,17	6,0	44,08
7	Цех виробництва маргарину	203	232	95,34	7,84	24,64	29,6	34,85
8	Склад мила	229	213	31,32	4,32	14,12	49,6	19,97
9	Гараж	268	317	32,88	17,88	14,47	195,8	20,47
10	Миловарний завод	326	211	201,06	41,06	35,79	73,5	50,61
11	Гіддрогенезаційний завод	302	249	167,74	27,74	32,69	59,5	46,23

Продовження таблиці 2.9

12	Цех напірної флокації	344	283	80,07	5,07	22,58	22,8	31,94
13	Механічна майстерня	378	272	57,57	5,07	19,15	31,7	27,08
14	Механічна майстерня	399	238	78,42	8,42	22,35	38,7	31,61
15	Склад шрота	447	211	39,04	7,54	15,77	69,5	22,30
16	Їдальня	435	279	54,86	9,86	18,69	64,7	26,44
17	Масло-екстраційний цех	447	244	160,46	10,46	31,97	23,5	45,21
18	Адміністративний корпус	494	282	50,55	20,55	17,94	146,4	25,38
19	Пресовочний цех	492	244	110,80	5,80	26,57	18,8	37,57
20	Бензосховище	416	210	31,74	6,74	14,22	76,4	20,11
21	Насосна станція	524	250	160,16	2,66	31,94	6,0	45,17
22	Олієзливна	402	145	155,82	7,32	31,50	16,9	44,55
23	Елеватор шрота	444	76	118,63	16,63	27,49	50,5	38,87
24	Котельня	435	45	175,31	7,81	33,42	16,0	47,26
25	Склад шрота	515	140	94,33	3,33	24,51	12,7	34,66
26	Склад зерна	463	124	96,71	17,96	24,82	66,9	35,10

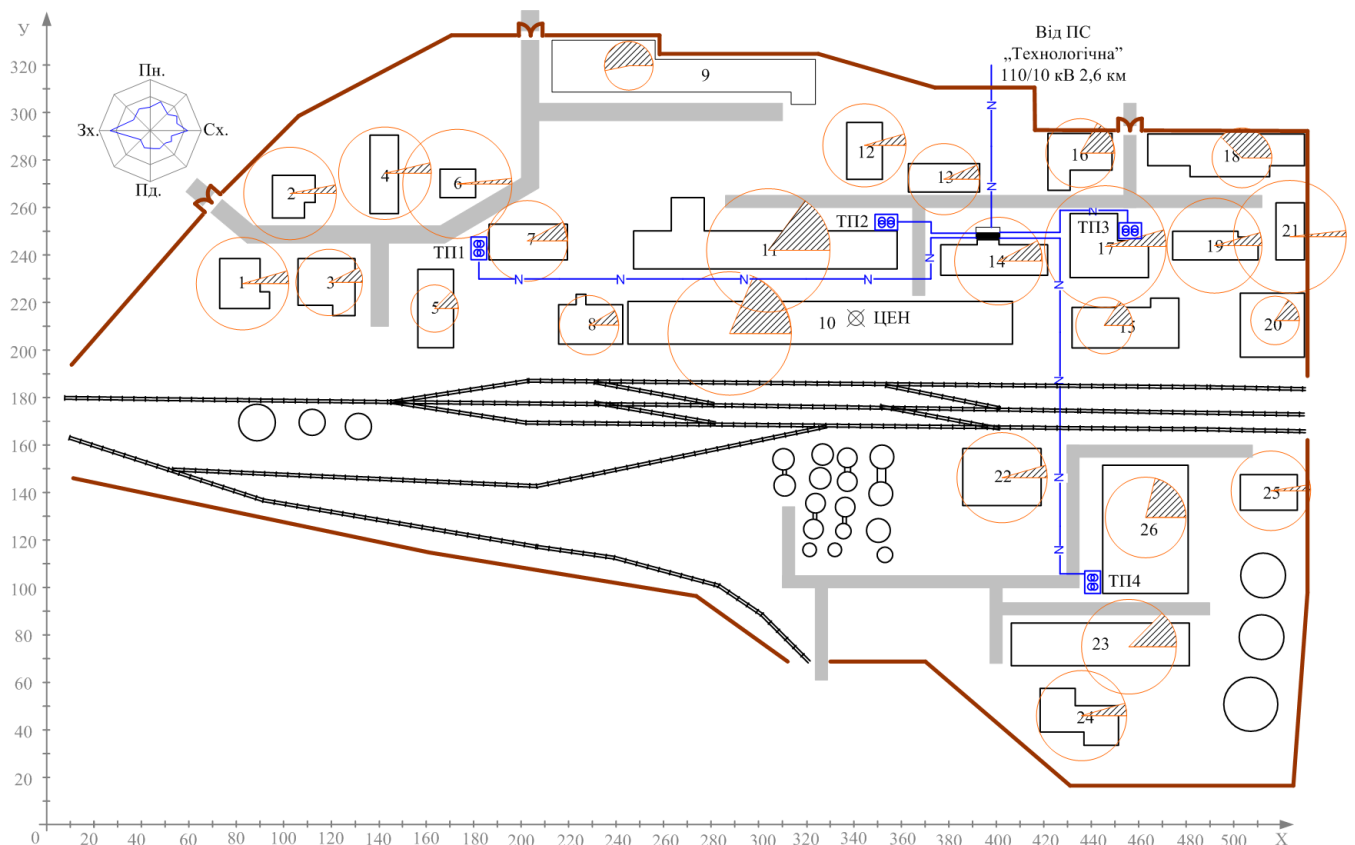


Рисунок 2.2 – Генеральний план ВАТ «ВОЖК»

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

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

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{3383,98}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 97,7 \text{ (A)},$$

$$I_{p.\text{па}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{3383,98}{\sqrt{3} \cdot 10} = 195,4 \text{ (A)},$$

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

В якості кабельної лінії 10 кВ обираємо АПвЭгаПу-10 3×120 [8], допустимий струм при прокладанні у землі складає 232 А [8] прокладені в траншеї для живлення ЦРП підприємства від підстанції «Технологічна» довжиною 2600 м.

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

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}, \quad (2.10)$$

$$I_{p.\text{па}} \leq \alpha \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}. \quad (2.11)$$

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.

$$195,4 \text{ (A)} \leq 1,0 \cdot 0,95 \cdot 1,17 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 232 = 206,3 \text{ (A)}.$$

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 кабелю АПвЭгаПу-10 3×50.

АПвЭгаПу-10 3х120 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 х 120
Товщина ізоляції	мм		3.4
Мінімальний перетин екрану	мм ²		16
Допустимий струм короткого замикання по екрану мінімального перетину	кА		3.3
Максимально допустимий струм короткого замикання по струмопровідній жилі	кА		11.3
Тривало допустимі струмові навантаження *			
• при прокладанні у повітрі	А		273
• при прокладанні в ґрунті	А		232
Рівень часткових розрядів при номінальній напрузі, не більше	рС		6
Максимально допустима температура жили			
• тривало	° C		+90
• в аварійному режимі	° C		+130
• при короткому замиканні	° C		+250
Діапазон робочих температур	° C		-60 ... +50
Мінімальний радіус вигину при прокладанні	мм		1024

Рисунок 2.3 – Конструкція кабелю АПвЭгаПу-10 3×50

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

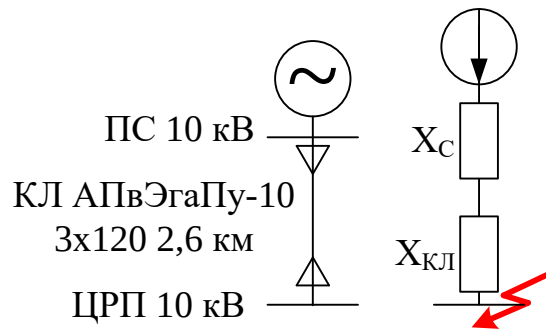


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема і схема заміщення

Розраховуємо значення струмів у точці К-1:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_R} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ (кА)}, \quad (2.13)$$

Визначаємо опори елементів, що зведені до базисних умов:

Для системи:

$$X_C = \frac{S_6}{S_K} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ (в.о.)}, \quad (2.14)$$

Для визначення опору лінії скористаємось формулою:

$$X_L = X_{\text{пит}} \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{\text{сер}}^2} = 0,064 \cdot 2,6 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,51 \text{ (в.о.)}, \quad (2.15)$$

Результуючий опір рівний:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_L = 5 + 1,51 = 6,51 \text{ (в.о.)}, \quad (2.16)$$

Визначаємо періодичну складову струму трифазного Кз в початковий час:

$$I_{\text{ПО}} = \frac{E_C''}{X_{\Sigma}} \cdot I_6 = \frac{1}{6,51} \cdot 57,7 = 8,86 \text{ (кА)}, \quad (2.17)$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється:

$$I_{\text{Пт.С}} = I_{\text{ПО}} = 8,86 \text{ (кА)}, \quad (2.18)$$

Розрахунковий час початку розмикання контактів вимикача:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{B.B.} = 0,01 + 0,09 = 0,1 \text{ (с)}, \quad (2.19)$$

де $t_{pz.min}$ - мінімальний час спрацювання реле захисту;

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 8,86 \cdot e^{\frac{-0,1}{0,03}} = 0,45 \text{ (кА)}, \quad (2.20)$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 8,86 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 21,5 \text{ (кА)}, \quad (2.21)$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac}) = 8,86^2 \cdot (0,6 + 0,03) = 49,5 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}. \quad (2.22)$$

Отримані результати дають можливість перевірки обраного обладнання.

2.3.2 Вибір комутаційного та захисного обладнання ЦРП

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

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

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

Комплектація РП 10 кВ ПС передбачає застосування вакуумних вимикачів типу ВРС-10-40/630 УЗ з такими технічними характеристиками: $U_n = 10 \text{ кВ}$; $I_n = 40 \text{ кА}$; $I_{н.вимк} = 40 \text{ кА}$; $i_{дин} = 100 \text{ кА}$; $I_{тер} = 10 \text{ кА}$; $t_{тер} = 4 \text{ с}$ [11]. Номінальний струм даних силових вимикачів рівний $I_{ном.в} = 630 \text{ А} > I_{м.ав} = 195,4 \text{ А}$ 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:

$$I_{\text{н.вимк.}} \geq I_{\text{пт}}; \quad (2.25)$$

$$\sqrt{2}I_{\text{н.вимк.}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) \geq \sqrt{2}I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}. \quad (2.26)$$

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

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

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

Перевірка вимикачів на динамічну стійкість до дії струмів КЗ:

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

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

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:

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}} \quad (2.29)$$

де $I_{\text{т}}$ – струм термічної стійкості вимикача протягом часу $t_{\text{т}}$ (3 с);

$B_{\text{к}}$ – 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
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 40 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 8,86 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 40 = 56,6 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 8,86 + 0,45 = 13 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 21,5 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 8,85 \text{ (кА)}$
$V_k = I_{по}^2 t_{по}$	$I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$V_k = 49,5 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

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	$S, \text{ мм}^2$	$I_{доп}, \text{ А}$
ПС-ЦРП	97,7	195,4	ВРС-10-10/630 УЗ	630	АПвЭгаПу-10	3×120	232
ЦРП-ТП1	29,2	75,1	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	119
ЦРП-ТП2	23,4	75,1	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	119
ЦРП-ТП3	22,9	75,1	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	119
ЦРП-ТП4	26,1	75,1	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПвЭгаПу-10	3×35	119

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_k \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_T}; \quad (2.30)$$

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.

$$s = 120 \text{ (мм}^2\text{)} > s_{\min} = \frac{8,86 \sqrt{0,6}}{94} = 73,1 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

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

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

2.4 Розрахунок схеми електропостачання цеху

2.4.1. Вибір та розрахунок системи електропостачання цеху

Для живлення електроприймачів (ЕП) цеху виготовлення маргарину буде використано головний розподільчий пункт (ГРП) рисунок 2.6.

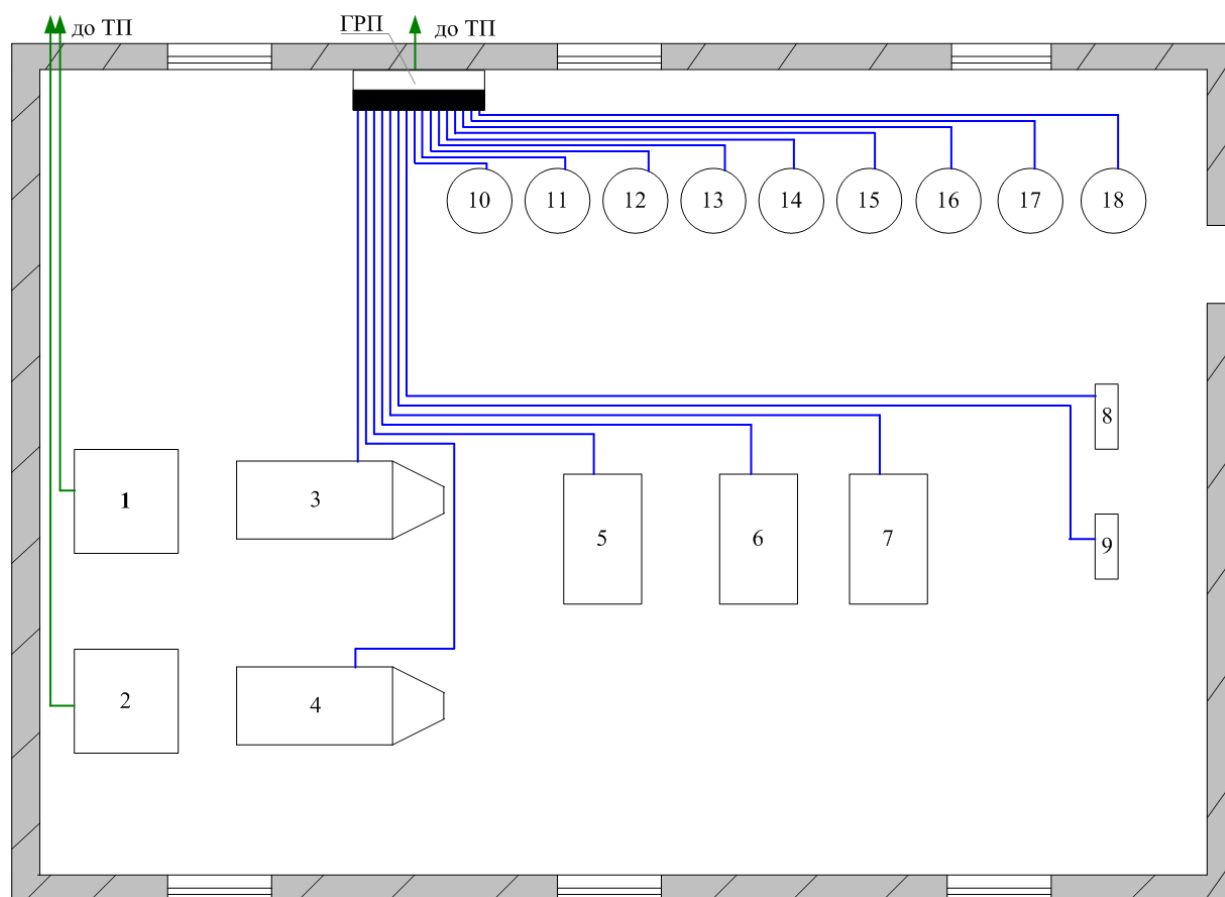


Рисунок 2.6 – План постачання цеху виготовлення маргарину

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 2.12 наведені формули згідно [3] використовуючи які можна виконати розрахунок цехової мережі.

Таблиця 2.12 – 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	$P_C = K_B \cdot P_H$	$P_C = 2,86 + 9,08 + 2,42 + 11,03 = 25,38$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi$	$Q_C = 1,77 + 8 + 2,13 + 6,83 = 18,74$
Груповий коефіцієнт використання	$K_B = \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} / \sum_{i=1}^n P_{Hi}$	$K_B = \frac{25,38}{56,8} = 0,45;$
Ефективне число ЕП, шт.	$n_e = \left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{Hi}^2$	$n_e = \frac{25,38^2}{220,3} = 14$
Розрахунковий коефіцієнт, береться з [6] таблиці 1.1	$K_p = f(K_B; n_e)$	$K_p = 1,01$
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	$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}$	$P_p = 1,01 \cdot 25,38 = 25,63$
Розрахункове реактивне навантаження для живлячої мережі, квар	$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e \leq 10, \\ 1,0 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi, & \text{при } n_e > 10; \end{cases}$	$Q_p = 1,0 \cdot 18,74 = 18,74$
Значення повної розрахункової потужності, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{25,6^2 + 18,7^2} = 31,7$
Розрахунковий струм лінії, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}$	$I_p = \frac{31,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 48,2$

Алгоритм визначення розрахункового навантаження цехових мереж представлений в таблиці 2.1. Спочатку вибирається схема мережі виробничого цеху з урахуванням таких факторів, як розташування найближчої до споживача точки під'єднання живлення. Живлення потужних електроприймачів здійснюється безпосередньо від трансформаторної підстанції.

Результат розрахунку цехової мережі представлено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – 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 _H			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А
Найменування ЕП	n	P _H , кВт	n×P _H , кВт	K _B	cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15
Редуктор 3,4	2	2,2	4,4	0,65	0,85	0,62	2,86	1,77	9,68						4,1
Насос 5,8,9	3	5,5	16,5	0,55	0,75	0,88	9,08	8,00	90,75						11,7
Насос6,7	2	2,2	4,4	0,55	0,75	0,88	2,42	2,13	9,68						4,7
Танк 10-18	9	3,5	31,5	0,35	0,85	0,62	11,03	6,83	110,2						6,6
Всього ГРП	16		56,8	0,45			25,38	18,74	220,3	14	1,01	25,63	18,74	31,76	48,2
Вентилятор-сушка 1,2	2	30	60	0,65	0,7	1,02	39,00	39,79	1800						68,5
Всього цеху	18		116,8	0,55			64,38	58,53	2020	6	1,09	70,17	64,38	95,23	

2.4.2. Вибір комутаційних та захисних апаратів цехової електромережі

Для електропостачання обладнання цеху виробництва маргарину застосовано радіальну схему живлення, яка забезпечує належний рівень надійності, селективність захисту окремих електроприймачів, а також спрощує монтаж, експлуатацію й технічне обслуговування [6]. Топологія внутрішньоцехової мережі сформована з урахуванням просторового розміщення обладнання, конфігурації силових кабельних трас та положення головного розподільчого пункту (ГРП), що наведено на рисунку 2.7.

Захист живильних ліній реалізується за допомогою автоматичних вимикачів типу ЕВ 100/3L, які комплектуються тепловими та електромагнітними розчіплювачами, що дозволяє забезпечити відключення при перевантаженнях,

коротких замиканнях та інших аварійних режимах. Номінальні значення струмів автоматичних вимикачів відповідають розрахунковим навантаженням окремих груп обладнання, як показано в таблиці 2.14.

Прокладання кабельних ліній здійснюється в металевих лотках закритого типу тобто в герметичних кабельних каналах по несучих конструкціях або стінах, відповідно до вимог ПУЕ. Такий спосіб монтажу враховує умови підвищеної вологості, вібрацій і температурних коливань.

Для живлення ГРП та вентиляторів-сушок (ЕП-1,2) від трансформаторної підстанції передбачено використання кабелю марки ВВГнг, прокладеного відкрито в герметичних кабельних каналах. Живлення інших електроприймачів (насоси, танки, редуктори) виконується кабелем ВВГнг прокладеного відкрито в герметичних кабельних каналах, з урахуванням допустимої довжини та падіння напруги. Захист кожної лінії виконується індивідуальним автоматичним вимикачем, що забезпечує селективність та локалізацію аварій.

Загальна структура цехової мережі відповідає принципам енергоефективності, безпеки та експлуатаційної зручності, що забезпечує стабільну роботу всього комплексу електроприймачів в умовах харчового виробництва.

При виборі автоматичних вимикачів повинні виконуватись наступні умови:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p ; \quad (2.31)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_n . \quad (2.32)$$

$$I_{н.відк} \geq I_{к.мах}^{(3)} . \quad (2.33)$$

Виберемо автоматичний вимикач для захисту ЕП-3.

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n} ; \quad (2.34)$$

$$I_p = \frac{2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 4,1 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм визначимо наближено, в залежності від типу приводу:

$$I_{\pi} = 5 \cdot I_p = 5 \cdot 4,1 = 20,7 \text{ (A)}. \quad (2.35)$$

Для захисту ЕП-3 приймаємо автоматичний вимикач з електронним розчіплювачем. Розрахуємо величину номінального струму розчіплювача та струму спрацювання відсічки для ЕП-13:

$$I_{\text{н.розчп}} \geq 1 \cdot 4,1 = 4,1 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.відс}} \geq 1,5 \cdot 20,7 = 31,1 \text{ (A)}.$$

За розрахованими значеннями струмів приймаємо ЕВ 100/3L 25А Зр.

Виберемо автоматичний вимикач для ГРП розрахунковий струм якого:

$$I_p = 48,25 \text{ (A)}.$$

Піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\pi} = I_p - K_v \cdot I_{\text{н.мах}} + I_{\text{п.мах}}; \quad (2.36)$$

$$I_{\pi} = 48,25 - 0,55 \cdot 11,7 + 58,6 = 100,4 \text{ (A)}.$$

Вибираємо для захисту ГРП вимикач від виробника ЕТІ марки ЕВ 100/3L 80А. Номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки для ГРП:

$$I_{\text{н.розчп}} = 80 \geq 1,1 \cdot 48,25 = 53,1 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.відс}} = 400 \geq 1,5 \cdot 100,4 = 150,6 \text{ (A)}.$$

В мережах напругою до 1000 В, КЛ вибирають за допустимим нагріванням.

$$I_{\text{доп}} \geq \begin{cases} I_p - \text{для невибухонебезпечних приміщень,} \\ 1,25 \cdot I_p - \text{для вибухонебезпечних приміщень.} \end{cases} \quad (2.37)$$

Для лінії ТП – ГРП обираємо кабелі силові з мідними СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженої горючості ВВГнг [8] прокладений у відкрито перерізом 4х25 з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 104 > I_p = 48,25 \text{ А}$.

ВВГнг 4х4-1 ТУ У 31.3-00214534-018-2003 Кабелі силові з мідними СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженої горючості		
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:		
Номинальна напруга	кВ	1
Число та номінальний перетин струмопровідних жил	мм ²	4 х 4
Товщина фазної ізоляції	мм	1
Тривало допустимі струмові навантаження на змінному струмі промислової частоти *		
• при прокладанні у повітрі	А	33
• при прокладанні в ґрунті	А	43
Максимально допустима температура жили		
• тривало	°С	+70
• в аварійному режимі	°С	+90
• при короткому замиканні	°С	+160
Діапазон робочих температур	°С	-50 ... +50
Мінімальний радіус вигину при прокладанні	мм	112,5
Розрахунковий зовнішній діаметр кабелю (довідково)**	мм	15
Маса кабелю (орієнтовно)	кг/км	280
Розрахункова будівельна довжина кабелю та маса брутто при постачанні на барабанах ***	м, т	# 12: 1450 • 0,5

Примітки:
 При замовленні будівельну довжину виробу необхідно погоджувати з виробником
 * Довго допустимі струмові навантаження розраховані при роботі в чотирипровідних мережах з навантаженням у всіх жилах для наступних умов: температура повітря плюс 25 °С, температура ґрунту плюс 15 °С, питомий тепловий опір ґрунту 1,2 °К м/Вт, глибина прокладання в ґрунті 0,7 м
 ** Можливе відхилення зовнішнього діаметра від розрахункового до ± 10 %

Рисунок 2.7 – Конструкція кабелів ВВГнг 4х4 які задіяні для живлення ЕП виробничого відділу

ВВГнг 4х25-1 ТУ У 31.3-00214534-018-2003 Кабелі силові з мідними СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженої горючості		
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:		
Номинальна напруга	кВ	1
Число та номінальний перетин струмопровідних жил	мм ²	4 х 25
Товщина фазної ізоляції	мм	1,2
Тривало допустимі струмові навантаження на змінному струмі промислової частоти *		
• при прокладанні у повітрі	А	104
• при прокладанні в ґрунті	А	123
Максимально допустима температура жили		
• тривало	°С	+70
• в аварійному режимі	°С	+90
• при короткому замиканні	°С	+160
Діапазон робочих температур	°С	-50 ... +50
Мінімальний радіус вигину при прокладанні	мм	180
Розрахунковий зовнішній діаметр кабелю (довідково)**	мм	24
Маса кабелю (орієнтовно)	кг/км	1170
Розрахункова будівельна довжина кабелю та маса брутто при постачанні на барабанах ***	м, т	# 14: 1090 • 1,5

Примітки:
 При замовленні будівельну довжину виробу необхідно погоджувати з виробником
 * Довго допустимі струмові навантаження розраховані при роботі в чотирипровідних мережах з навантаженням у всіх жилах для наступних умов: температура повітря плюс 25 °С, температура ґрунту плюс 15 °С, питомий тепловий опір ґрунту 1,2 °К м/Вт, глибина прокладання в ґрунті 0,7 м
 ** Можливе відхилення зовнішнього діаметра від розрахункового до ± 10 %

Рисунок 2.8 – Конструкція кабелю ВВГнг 4х25 за допомогою якого відбувається живлення ГРП

Перевіримо втрату напруги в лінії, що живить ЕП-9, як найбільш віддаленого споживача:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_{\text{пит}} + Q_p \cdot X_{\text{пит}}}{U_H} \cdot l; \quad (2.38)$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ГРП}} = \frac{25,63 \cdot 0,727 + 18,74 \cdot 0,066}{380} \cdot 50 = 2,62 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{ГРП-ЕП9}} = \frac{5,5 \cdot 4,61 + 5,5 \cdot 0,88 \cdot 0,088}{380} \cdot 20 = 1,36 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\text{ТП-ЕП9}} = \Delta U_{\text{ТП-ГРП}} + \Delta U_{\text{ГРП-ЕП9}} = 2,62 + 1,36 = 3,98 \text{ (В)};$$

$$\Delta U_{\% \text{ТП-ЕП9}} = \frac{3,98}{380} \cdot 100\% = 1,05\%. \quad (2.39)$$

Дана втрата напруги в лінії живлення являється допустимою. Для інших споживачів розрахунок виконуємо аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Захисна апаратура та провідники цехової мережі

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
ГРП	48,25	100,4	ЕВ 100/3L 80А	80	80	400	ВВГнг	4x25	Відкрито	104
Редуктор 3,4	4,1	20,7	ЕВ 100/3L 25А	25	25	250	ВВГнг	4x4	Відкрито	33
Насос 5,8,9	11,7	58,6	ЕВ 100/3L 25А	25	25	250	ВВГнг	4x4	Відкрито	33
Насос 6,7	4,7	23,5	ЕВ 100/3L 25А	25	25	250	ВВГнг	4x4	Відкрито	33
Танк 10-18	6,6	32,9	ЕВ 100/3L 25А	25	25	250	ВВГнг	4x4	Відкрито	33
Вентилятор-сушка 1,2	68,5	342,7	ЕВ 100/3L 80А	80	80	400	ВВГнг	4x25	Відкрито	104

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

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки, що живить ЕП-9. Складемо розрахункову схему рисунок 2.9.

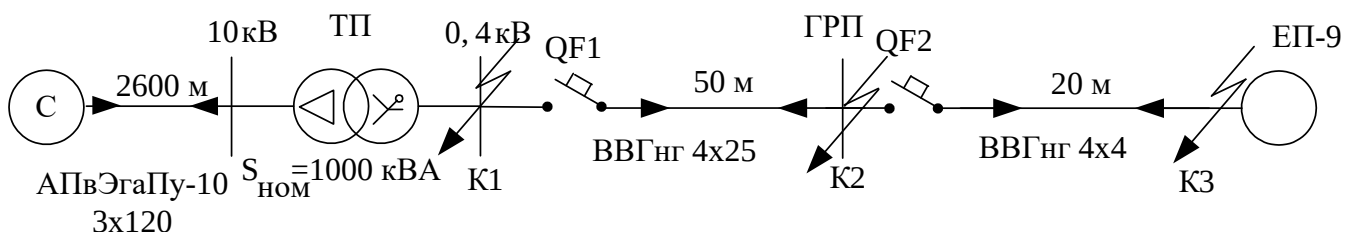


Рисунок 2.9 – Схема електропостачання ЕП-9

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_r = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{10}{0,4} = 25; \quad (2.40)$$

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:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K''} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 0,00101 \text{ (Ом)}. \quad (2.41)$$

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:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (мОм)}; \quad (2.42)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (мОм)}. \quad (2.43)$$

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{ном.Т}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 9,6 \text{ (мОм)}. \quad (2.44)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2, Л3:

$$R_{L1} = r_{пит} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,253 \cdot 2600 \cdot \frac{1}{25^2} = 1,052 \text{ (мОм)}; \quad (2.45)$$

$$X_{L1} = x_{пит} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_r^2} = 0,063 \cdot 2600 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,262 \text{ (мОм)}; \quad (2.46)$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{0,727^2 + 0,066^2} \cdot 50 = 36,5 \text{ (мОм)};$$

$$Z_{Л3} = \sqrt{R_o^2 + X_o^2} \cdot L = \sqrt{4,61^2 + 0,088^2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 92,2 \text{ (мОм)}.$$

Розрахуємо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (2.47)$$

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

- для точки КЗ:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,001 + 1,084 + 9,6 + 36,5 + 92,2)} = 1,65 \text{ (кА)}.$$

- для точки К2:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,001 + 1,084 + 9,6 + 36,5)} = 4,88 \text{ (кА)}.$$

- для точки К1:

$$I_{\text{к.макс}}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,001 + 1,084 + 9,6)} = 21,6 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

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

QF1: EB 100/3L 80A з $I_{\text{cu}} = 14 \text{ (кА)}$.

$$I_{\text{cu}} = 25 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 21,6 \text{ (кА)}.$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

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

$$I_{\text{cu}} = 8 \text{ (кА)} > I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 4,88 \text{ (кА)}.$$

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:

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_{\phi.\text{ном}}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-H} \cdot l}; \quad (2.48)$$

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

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

l – відстань до місця КЗ.

$$I_{KR2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{28,8}{3} + 2,1 \cdot 50} = 1,92 \text{ (кА)}.$$

Струм однофазного КЗ на затискачах ЕП1:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{28,8}{3} + 2,1 \cdot 50 + 7,59 \cdot 20} = 0,831 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо чи виконується умова:

$$I_{H.\text{РОЗЧ}} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}; \quad (2.49)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-ГРП:

$$I_{H.\text{РОЗЧ}} = 80 \text{ (А)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{1920}{3} = 640 \text{ (А)}.$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ГРП- ЕП20:

$$I_{H.\text{РОЗЧ}} = 16 \text{ (А)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{831}{3} = 277 \text{ (А)}.$$

Умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів виконуються.

Селективність автоматичних вимикачів перевіряємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1,3..1,5)I_{c.B2}; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.50)$$

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

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

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

Карта селективності захисту представлена на рисунку 2.10.

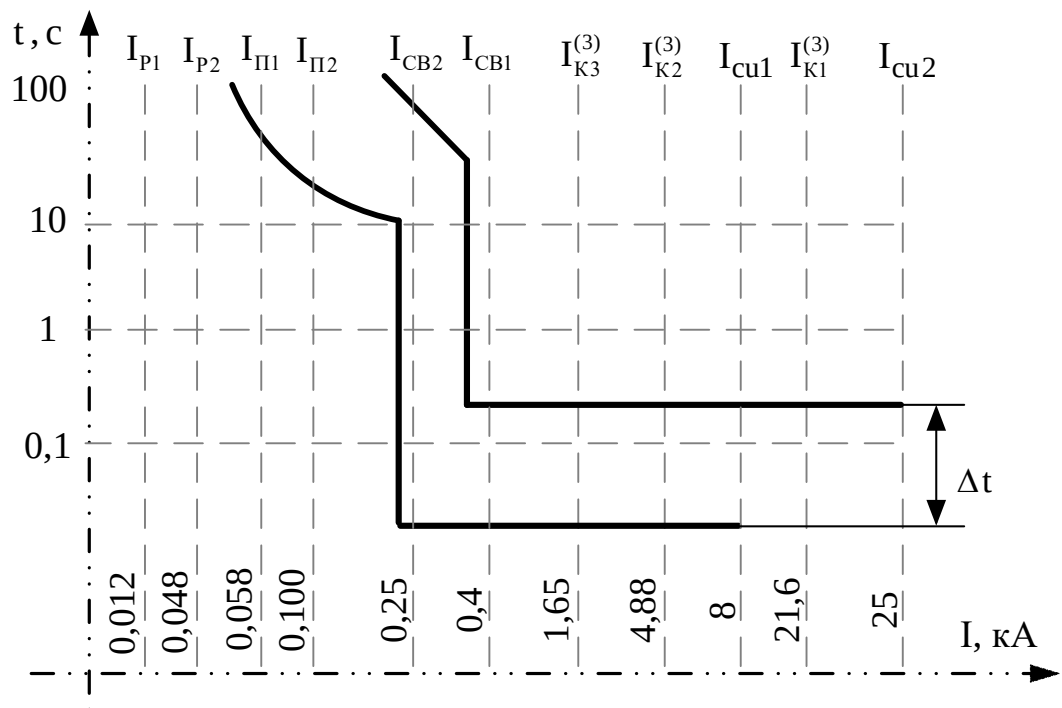


Рисунок 2.10 – Карта селективності захисту

Отже апарати налагоджені на селективну роботу.

Висновки по розділу 2.

У даному розділі бакалаврської дипломної роботи проведено розрахунки та техніко-економічне обґрунтування вибору елементів системи електропостачання

для виробничих потужностей ВАТ «ВОЖК». В ході виконання роботи отримано наступні результати:

1. Виконано детальний розрахунок електричних навантажень окремого цеху та всього підприємства, що дозволило визначити необхідні параметри живлення;

2. Переріз зовнішньої кабельної лінії повинен бути $3 \times 120 \text{ мм}^2$, а сама кабельна лінія виконана силовим кабелем з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену типу АПвЭгаПу-10 на напрузі 10 кВ довжиною 2600 м від ПС 110/10 «Технологічна». Аналіз типу засобів захисту електрообладнання в аварійних режимах роботи показав що на стороні 10 кВ доцільно використати вакуумні вимикачі ВРС-10;

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 чотири двотрансформаторні підстанції з трансформаторами ТМ-1000/10, що також відповідає вимогам до II категорії надійності електропостачання. Розрахунковий коефіцієнт завантаження ТП 1-4 становить 0,55, що забезпечує резерв потужності на випадок аварійного відключення одного з трансформаторів із незначним відключенням малопріоритетних споживачів;

4. Розраховано силові електричні навантаження цеху та обрано усю необхідну захисну апаратуру та кабельно-провідникову продукцію для живлення ЕП цеху. Проведено розрахунок струмів 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.

З РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВА

Електричне навантаження ВАТ «ВОЖК» формується переважно за рахунок роботи енергоємного обладнання безперервної дії, зокрема шнекових пресів, екстракторів, гідрогенізаційних реакторів, вакуумних установок, насосів та вентиляторів, що функціонують у цілодобовому або тривалому циклічному режимі. Окремі процеси, такі як екстракція з використанням гексану або гідрогенізація із застосуванням водню, вимагають жорсткого дотримання температурного та тискового режимів, що унеможлиблює навіть короточасні коливання параметрів живлення.

Навантаження розподіляється по кількох виробничих корпусах, які отримують електроенергію через трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ по протяжних кабельних лініях, що у поєднанні з нерівномірністю добового графіка споживання створює ризик просідань напруги, особливо у вечірні години або при одночасному пуску потужних електроприймачів.

У зв'язку з цим для ВАТ «ВОЖК» актуальним є питання регулювання напруги та стабілізації параметрів електропостачання на шинах 0,4 кВ ТП. Забезпечення допустимого рівня напруги дозволяє уникнути аварійних ситуацій, зменшити втрати енергії в мережі, знизити теплові навантаження на обладнання та покращити надійність і економічну ефективність функціонування всієї системи електропостачання підприємства.

3.1 Вплив відхилень напруги на техніко-економічні показники електропостачання

Відхилення напруги від номінального значення є одним із найважливіших факторів, що впливають на ефективність функціонування електроенергетичної системи підприємства. Для споживачів електроенергії, особливо в промисловості, відхилення напруги у межах $\pm 10\%$ (а іноді й менше) можуть призвести до значних технічних і економічних наслідків.

При зниженні напруги:

- зменшується обертовий момент електродвигунів, що призводить до падіння продуктивності;
- зростає струм споживання, що викликає перегрів обмоток та скорочення ресурсу двигунів;
- можливі запуски з недобором швидкості або повна відмова запуску в завантаженому режимі.

При підвищеній напрузі:

- збільшується нагрів обмоток і ізоляції;
- прискорюється зношування обладнання;
- виникає небезпека відмови електронних систем керування.

При нестабільній напрузі зростають активні та реактивні втрати в кабельних лініях, трансформаторах та апаратурі, що знижує енергоефективність системи.

У харчовій промисловості, такій як на ВАТ «ВОЖК», відхилення напруги можуть спричинити:

- зрив температурних режимів, що критично для процесів гідрогенізації та емульгування;
- порушення дозування, часу обробки, швидкості перемішування;
- вихід з ладу автоматизованих систем керування і фасування.

Економічні наслідки:

- збільшення витрат на ремонт і заміну обладнання;
- зростання споживання електроенергії на одиницю продукції;
- вимушені простої виробництва, втрати продукції та сировини;
- штрафи від енергопостачальника за надмірну реактивну потужність або спотворення графіка навантаження.

Підтримання напруги в межах допустимих відхилень є необхідною умовою забезпечення надійної, енергоефективної та технічно стабільної роботи системи електропостачання. Для реалізації цього завдання доцільно застосовувати технічні засоби регулювання напруги, зокрема автотрансформатори з пристроями ПБЗ.

3.2 Аналіз режиму напруги в розподільчих мережах

Відхилення напруги від номінального значення безпосередньо впливає на техніко-економічні показники системи електропостачання промислового підприємства. Для ВАТ «ВОЖК», де значна частина технологічного обладнання (шнекові преси, екстрактори, гідрогенізаційні реактори, фасувальні лінії, вакуумні системи, теплові установки) працює у безперервному або тривалому циклічному режимі, стабільна напруга необхідна для коректної та безпечної роботи. Занижена напруга викликає зростання струмів навантаження, що призводить до перевантаження електродвигунів, зменшення пускової здатності, порушення технологічних режимів і підвищеного зносу обладнання. Завищена напруга провокує пробіи ізоляції, нестабільну роботу перетворювачів частоти, збої у системах керування, вихід з ладу релейної автоматики та електронних компонентів. Такі відхилення погіршують якість продукції, знижують енергоефективність, підвищують втрати активної й реактивної енергії в мережі та збільшують частоту відмов. За умови живлення від ПС 110/10 кВ по довгих кабельних лініях та нерівномірного навантаження по фазах, підтримка допустимого рівня напруги на вводах цехів є необхідною для забезпечення стабільності роботи технологічного обладнання.

Напруга в електромережі змінюється залежно від навантаження, тому для забезпечення стабільної роботи споживачів важливо підтримувати її в допустимих межах. Один із методів коригування напруги є зміна коефіцієнта трансформації трансформатора, тобто співвідношення між кількістю витків первинної та вторинної обмоток.

$$U_2 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot U_1. \quad (3.1)$$

Для цього в обмотках передбачають відгалуження (відпайки), які дозволяють змінювати ефективну кількість витків. Перемикання між цими відпайками може виконуватися двома способами:

Під напругою – за допомогою РПН (регулювання під навантаженням);

Без напруги – шляхом перемикання без збудження (ПБЗ).

ПБЗ застосовується тоді, коли трансформатор вимкнений із мережі. У такому режимі перемикач підключає відповідну відпайку, змінюючи коефіцієнт трансформації. Це дозволяє наближати напругу на виході до номінальної за умов змін первинної напруги або сезонних коливань навантаження.

Завдяки простоті конструкції ПБЗ є дешевшим за РПН, однак не дозволяє виконувати перемикання під час роботи трансформатора, що обмежує його застосування лише плановими або рідкісними коригуваннями напруги.

На рисунку 3.1 показана схема роботи перемикача відгалужень ПБЗ.

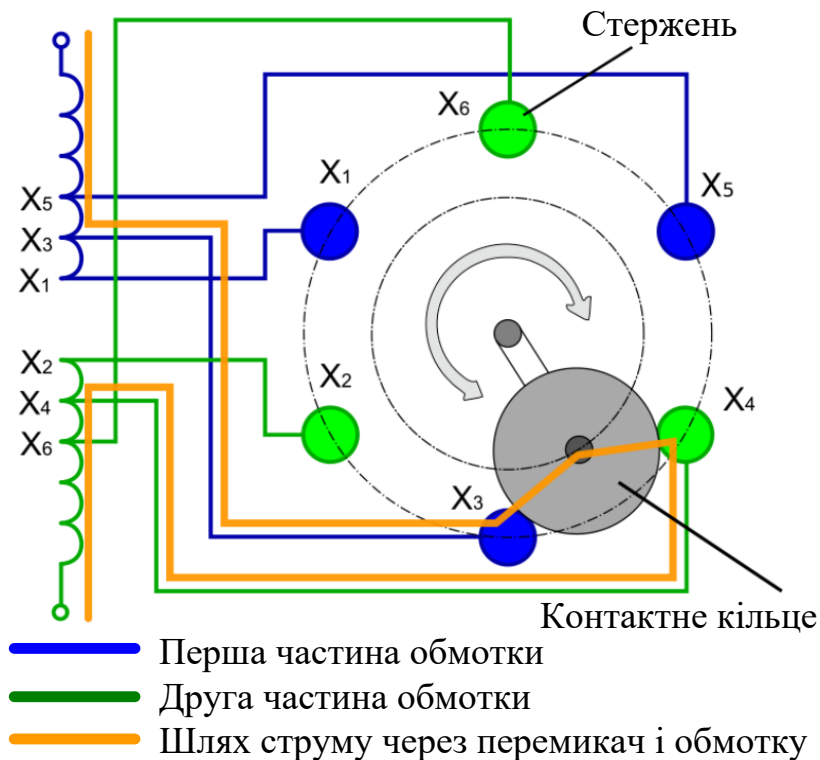


Рисунок 3.1 – Схема роботи перемикача відгалужень

Перемикання без збудження (ПБЗ) дозволяє змінювати коефіцієнт трансформації трансформатора шляхом підключення до різних відпайок обмотки. Такий пристрій працює лише при знеструмленому трансформаторі, тому його застосовують переважно для сезонного регулювання напруги, коли змінюється навантаження в мережі.

У трансформаторах середньої та великої потужності зазвичай передбачено 4 положення по $\pm 2,5\%$, що дає можливість регулювання у межах $\pm 5\%$. Відпайки найчастіше розміщують на обмотці вищої напруги, оскільки тут менші струми, більше число витків і зручніше виконати точне регулювання.

На рисунку 3.2 представлено конструктивне виконання пристрою ПБЗ.

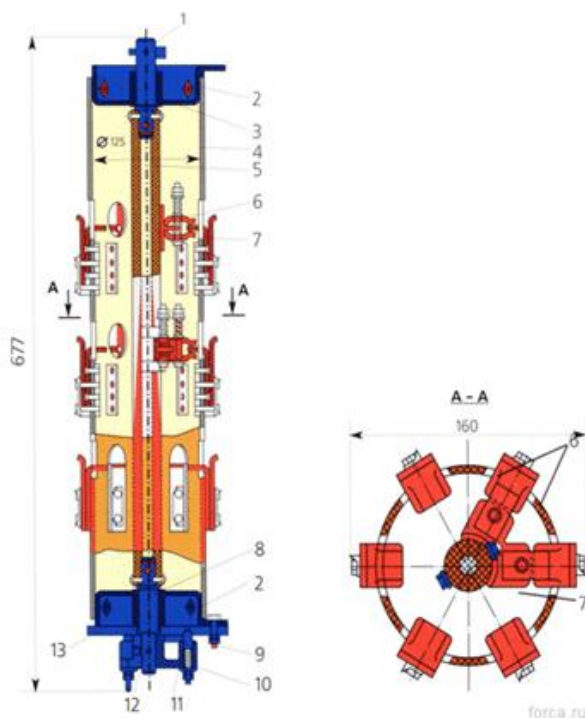


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема ПБЗ

Основні конструктивні елементи: 1. Сталевий вал – забезпечує передачу обертового руху до механізму перемикачів. 2. Фланець – елемент кріплення пристрою до трансформатора. 3. Втулка підшипника – забезпечує обертання валу з мінімальним тертям. 4. Корпус – ізолює та захищає внутрішні елементи перемикача. 5. Бакелітова трубка – ізолюючий елемент, що відокремлює струмопровідні частини. 6. Рухомі контакти – безпосередньо перемикають відгалуження обмотки, замикаючись з нерухомими контактами. 7. Нерухомі контакти – з'єднані з відповідними відпайками обмотки трансформатора. 8. Сталевий вал (другий сегмент) – допоміжний елемент передачі руху в механізмі. 9. Кріпильний болт – фіксація вузлів у корпусі. 10. Фіксатор положення – забезпечує надійне утримання обраної позиції перемикача. 11. Штифт фіксатора – механічне блокування небажаного зсуву положення. 12. Фіксує палець – елемент замикання механізму фіксації. 13. Фіксує диск з отворами – задає можливі положення перемикача, забезпечуючи точність і надійність фіксації.

Досягнення допустимого рівня напруги на електроприймачах ВАТ «ВОЖК» забезпечується правильним вибором положення регульовального відгалуження ПБЗ. Встановлення оптимального положення ПБЗ дозволяє частково компенсувати втрати напруги в кабельних лініях, забезпечити нормативне значення напруги на шинах головного розподільчого пункту та мінімізувати коливання напруги в умовах змінного графіка навантаження. Такий підхід сприяє покращенню якості електропостачання без необхідності додаткових регульовальних пристроїв у розподільчій мережі.

3.3 Розрахунок положення регулювального відгалуження для цехової ТП

У цьому підрозділі бакалаврської дипломної роботи виконано розрахунок положень регулювального відгалуження ПБЗ, які забезпечують допустимі відхилення напруги в усіх режимах роботи системи електропостачання відповідно до вимог [10]. Для виконання даної задачі здійснимо розрахунок відхилень напруги в режимах максимального та мінімального споживання підприємством електричної енергії.

Положення регулювального відгалуження (ПРВ) пристрою ПБЗ – це вибране значення перемикача, яке відповідає певній відпайці обмотки і визначає коефіцієнт трансформації. Залежно від положення ПБЗ змінюється кількість активних витків у обмотці, що дозволяє коригувати вихідну напругу трансформатора відповідно до змін навантаження або вхідної напруги.

Живлення підприємства ВАТ «ВОЖК» здійснюється від ПС $U_n = 10$ кВ.

В максимальному режимі напруга ПС на три відсотки вища за номінальну напругу мережі, а при мінімальному режимі напруга на один відсоток нижча:

$$U_{дж}^{max} = 1,03U_n = 1,03 \cdot 10 = 10,3 \text{ кВ}; \quad U_{дж}^{min} = 1,01U_n = 1,01 \cdot 10 = 10,1 \text{ (кВ)}. \quad (3.2)$$

Складемо загальну схему та схему заміщення для розрахунку керування відхилень напруги в СЕП підприємства рисунок 3.3 та 3.4.

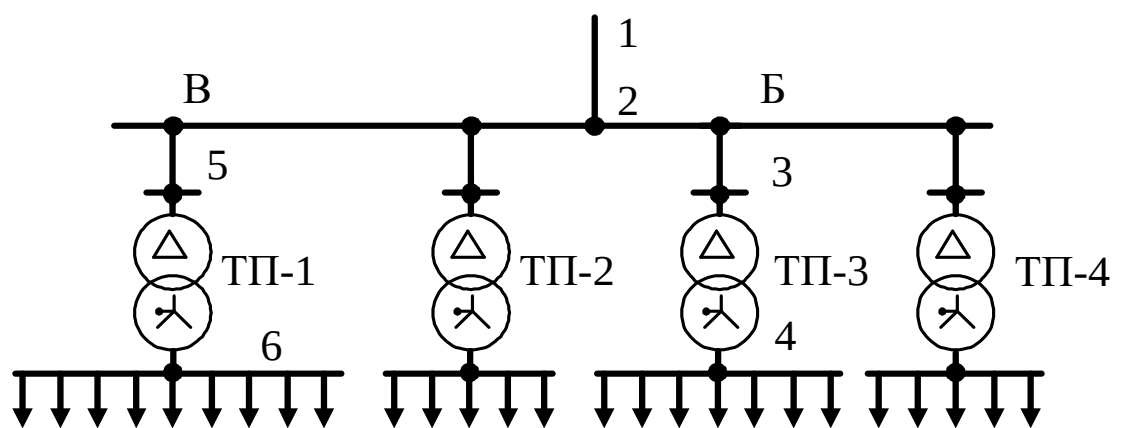


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема живлення для СЕП підприємства

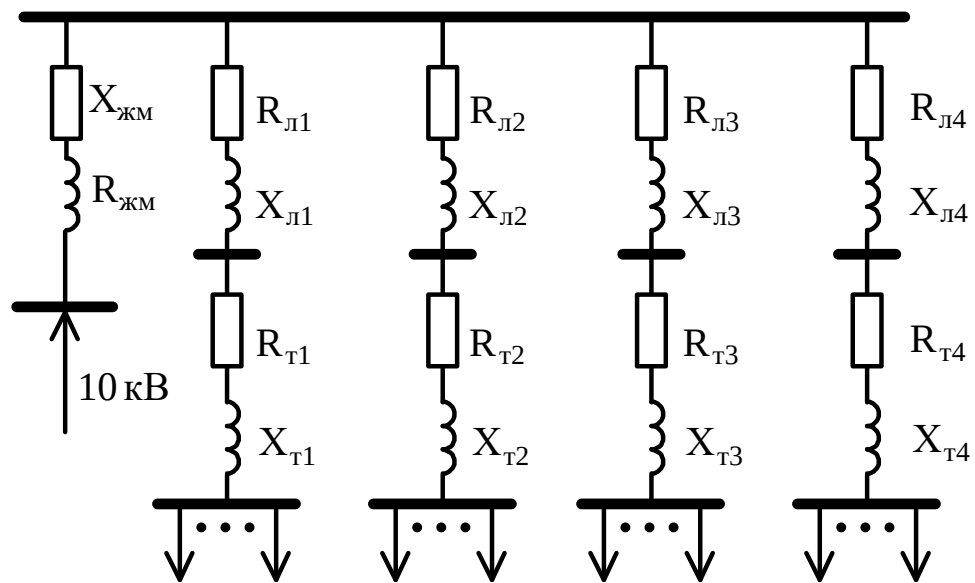


Рисунок 3.4 – Схема заміщення для СЕП підприємства

Розрахунок ближньої точки (Б) по вхідним даним.

Розглянута електромережа та режими її роботи можна охарактеризувати за допомогою таких параметрів:

$$P_{\text{роз.1.2.Б}} = 2514,67 \text{ (кВт)}; Q_{\text{роз.1.2.Б}} = 2264,46 \text{ (квар)};$$

$$r_{1.2.Б} = 0,65 \text{ (Ом)}; x_{1.2.Б} = 0,873 \text{ (Ом)}.$$

де $r_{1.2.Б}$, $x_{1.2.Б}$ – відповідно активний та реактивний опори зовнішньої лінії живлення ділянки 1-2;

$P_{\text{роз.1.2.Б}}$, $Q_{\text{роз.1.2.Б}}$ – розрахункова активна і реактивна потужність зовнішньої лінії живлення ділянки 1-2.

Довжина лінії живлення від точки 1 до точки 2: $L_{1.2.Б} = 2,6 \text{ (км)}$.

$$P_{\text{роз.2.3.Б}} = 606,747 \text{ (кВт)}; Q_{\text{роз.2.3.Б}} = 512,569 \text{ (квар)};$$

$$r_{2.3.Б} = 0,05 \text{ (Ом)}; x_{2.3.Б} = 0,012 \text{ (Ом)}.$$

Знайдемо потужності, які протікають по зовнішній лінії живлення та лінії живлення ТП-3 в максимальному та мінімальному режимах роботи.

Розрахунок точки (Б) в період максимуму та мінімум навантаження здійснюємо за формулами:

$$U_{\text{max1}} = 1,03 \cdot U_H = 1,03 \cdot 10 = 10,3 \text{ (кВ)};$$

$$U_{\min 1} = 1,01 \cdot U_H = 1,01 \cdot 10 = 10,1(\text{кВ}).$$

Для окремої лінії живлення ТП-3 при максимальному режимі роботи буде складати половину навантаження ТП-3.

Визначимо активну і реактивну потужність в період максимального та мінімального навантаження на всіх ділянках точки (Б):

$$P_{\max 1.2} = \frac{P_{p1.2}}{2} = \frac{2514,67}{2} = 1257,33(\text{кВт});$$

$$Q_{\max 1.2} = \frac{Q_{p1.2}}{2} = \frac{2264,46}{2} = 1132,23(\text{квар}).$$

Через лінію живлення ТП-3 в мінімальному режимі роботи протікає потужність:

$$P_{\min 12} = 0,3 \cdot P_{\max 12} = 0,3 \cdot 1257,33 = 377,2(\text{кВт});$$

$$Q_{\min 12} = 0,3 \cdot Q_{\max 12} = 0,3 \cdot 1132,23 = 339,7(\text{квар}).$$

Проводимо розрахунки і для інших точок схеми за аналогічним алгоритмом, а результати заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків потужностей в період максимального і мінімального навантаження

Режими електроспоживання										
Максимальний					Мінімальний					
$P_{\max 1.2}$	$Q_{\max 1.2}$	$P_{\max 2.3}$	$Q_{\max 2.3}$	$P_{\max 3}$	$P_{\min 1.2}$	$Q_{\min 1.2}$	$P_{\min 2.3}$	$Q_{\min 2.3}$	$P_{\min 3.4}$	$Q_{\min 3.4}$
1257,33	1132,23	303,37	256,28	303,37	377,2	339,7	91,01	76,88	86,54	68,84

Розрахуємо втрати напруги в період максимального навантаження в т. (Б):

$$\Delta U_{1.2}^{\max} = \frac{P_{\max 1.2} \cdot r_{1.2} \cdot l_{1.2} + Q_{1.2} \cdot x_{1.2} \cdot l_{1.2}}{1,03 \cdot U_H \cdot 1000}; \quad (3.3)$$

$$\Delta U_{1.2}^{\max} = \frac{1257,33 \cdot 0,65 \cdot 2,6 + 1132,23 \cdot 0,873 \cdot 2,6}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0456 (\text{кВ});$$

$$\Delta U_{2.3}^{\max} = \frac{P_{\max 2.3} \cdot r_{2.3} \cdot l_{2.3} + Q_{2.3} \cdot x_{2.3} \cdot l_{2.3}}{1,03 \cdot U_H \cdot 1000}; \quad (3.4)$$

$$\Delta U_{2.3}^{\max} = \frac{303,37 \cdot 0,05 \cdot 0,154 + 256,28 \cdot 0,012 \cdot 0,154}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0018 \text{ (кВ)}.$$

В максимальному режимі на шинах ЦРП 10 кВ напруга рівна:

$$U_3^{\max} = U_{\max,2} - \Delta U_{2.3}^{\max} = 10,1135 - 0,0018 = 10,112 \text{ (кВ)}.$$

Визначаємо спад напруги в період мінімального навантаження для т. (Б):

$$\Delta U_{1.2}^{\min} = \frac{P_{\min 1.2} \cdot r_{1.2} \cdot l_{1.2} + Q_{1.2} \cdot x_{1.2} \cdot l_{1.2}}{1,03 \cdot U_H \cdot 1000}; \quad (3.5)$$

$$\Delta U_{1.2}^{\min} = \frac{377,2 \cdot 0,65 \cdot 2,6 + 339,7 \cdot 0,873 \cdot 2,6}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0137 \text{ (кВ)};$$

$$\Delta U_{2.3}^{\min} = \frac{P_{\min 2.3} \cdot r_{2.3} \cdot l_{2.3} + Q_{2.3} \cdot x_{2.3} \cdot l_{2.3}}{1,03 \cdot U_H \cdot 1000}; \quad (3.6)$$

$$\Delta U_{2.3}^{\min} = \frac{91,01 \cdot 0,05 \cdot 0,154 + 76,88 \cdot 0,012 \cdot 0,154}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,00053 \text{ (кВ)}.$$

В період мінімального навантаження на шинах ЦРП 10 кВ напруга рівна:

$$U_2^{\min} = U_{\min,1}^{\min} - \Delta U_{1.2}^{\min} = 10,1 - 0,0137 = 10,086 \text{ (кВ)}; \quad (3.7)$$

$$U_{\min,3} = U_{\min,2} - \Delta U_{2.3}^{\min} = 10,09 - 0,00053 = 10,089 \text{ (кВ)}. \quad (3.8)$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків втрат напруги в період максимального та мінімального навантаження

Режими електроспоживання							
Максимальний				Мінімальний			
$\Delta U_{\max 1.2}$	$U_{\max 2}$	$\Delta U_{\max 2.3}$	$U_{\max 3}$	$\Delta U_{\min 1.2}$	$U_{\min 2}$	$\Delta U_{\min 2.3}$	$U_{\min 3}$
2		3		2		3	
0,0456	10,1135	0,0018	10,112	0,0137	10,086	0,00053	10,089
	5		2		9	3	9

Розрахуємо значення дійсної напруги на стороні низької напруги ТП при різних коефіцієнтах трансформації (K_T). Розрахуємо K_T для всіх відгалужень від +5% до -5% з кроком 2,5%. Для напруги в період максимального навантаження точки (Б):

Здійснимо розрахунок на прикладі відгалуження 5% в період максимального навантаження.

Початкові дані: $v_1=0,05$ – відгалуження ТП;

$U_{\text{нВВ}}=10$ – ВН ТП;

$U_{\text{нНН}}=0,38$ – НН ТП;

Визначаємо коефіцієнт трансформації:

$$K_{T_{v5\%}} = \frac{(1 + v_1) \cdot U_{\text{нВВ}}}{1,05 \cdot U_{\text{нНН}}} = \frac{(1 + 0,05) \cdot 10}{1,05 \cdot 0,38} = 26,3158.$$

де v – ПРВ для цехової ТП ($v = -5; -2,5; 0; +2,5; +5$).

$$U_{\text{maxЗНН}} = \frac{U_{\text{ВНЗ}}}{K_{T_{v5\%}}} = \frac{10,112}{26,3158} = 0,3727.$$

де $U_{\text{ВНЗ}}$ – напруга ВН ТП відносно низької сторони.

Розрахунки усіх інших положень регулювального відгалуження для цехової ТП представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунки ПРВ та коефіцієнта трансформації

Режими електроспоживання	ВН U_N , кВ	Відгалуження ТП, %	K_{TP}	НН $U_{3\text{max}}$, кВ	Висновок	Опт.
Максимальний	10,1135	-5,0	23,8095	0,4119	-	
		-2,5	24,4361	0,4013	-	
		0	25,0627	0,3913	Допустимо	
		+2,5	25,6892	0,3818	Допустимо	V
		+5,0	26,3158	0,3727	-	
Мінімальний	10,09	-5,0	23,8095	0,418	-	
		-2,5	24,4361	0,4073	-	
		0	25,0627	0,3971	Допустимо	
		+2,5	25,6892	0,3874	Допустимо	
		+5,0	26,3158	0,3782	Допустимо	V

Висновок: розрахунок відгалужень та коефіцієнта трансформації показав, що примикання пристрою ПБЗ на положення +2,5% дозволяє досягти рівні напруги на шинах 0,4 кВ на рівні нормованих значень.

Розрахунок ближньої точки (В) по вхідним даним.

Розглянута електромережа та режими її роботи можна охарактеризувати за допомогою таких параметрів:

$$P_{\text{роз.1.2.B}} = 2514,67 \text{ (кВт)}; Q_{\text{роз.1.2.B}} = 2264,46 \text{ (квар)};$$

$$r_{1.2.B} = 0,65 \text{ (Ом)}; x_{1.2.B} = 0,873 \text{ (Ом)}.$$

Довжина лінії живлення від точки 1 до точки 2: $L_{1.2.B} = 2,6 \text{ (км)}$;

Розрахункова активна і реактивна потужність ділянки 2-5 для КЛ:

$$P_{\text{роз.2.5.B}} = 778,12 \text{ (кВт)}; Q_{\text{роз.2.5.B}} = 716,66 \text{ (квар)};$$

$$r_{2.5.B} = 0,197 \text{ (Ом)}; x_{2.5.B} = 0,05 \text{ (Ом)}.$$

Довжина лінії від точки 2 до точки 5: $L_{2.5.B} = 250 \text{ (м)}$.

Розрахункова активна і реактивна потужність ділянки 5-6 для ТП-1:

$$P_{\text{роз.5.6.TB}} = 768,55 \text{ (кВт)}; Q_{\text{роз.5.6.TB}} = 657,95 \text{ (квар)};$$

$$r_{5.6.TB} = 1,05 \text{ (Ом)}; x_{5.6.TB} = 5,91 \text{ (Ом)};$$

Проведемо розрахунок напруги у ввідаленому вузлі в період мінімуму та максимуму нашого навантаження (В):

$$U_{\text{max1}} = 1,03 \cdot U_H = 1,03 \cdot 10 = 10,3 \text{ (кВ)};$$

$$U_{\text{min1}} = 1,01 \cdot U_H = 1,01 \cdot 10 = 10,1 \text{ (кВ)}.$$

Визначимо активну і реактивну потужність в період мінімум та максимум нашого навантаження на всіх ділянках віддаленої точки:

$$P_{\text{max1.2}} = \frac{P_{\text{p1.2}}}{2} = \frac{2414,67}{2} = 1257,33 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{\max 1.2} = \frac{Q_{p1.2}}{2} = \frac{2264,46}{2} = 1132,23 (\text{квар});$$

$$P_{\min 12} = 0,3 \cdot P_{\max 12} = 0,3 \cdot 1257,33 = 377,2 (\text{кВт});$$

$$Q_{\min 12} = 0,3 \cdot Q_{\max 12} = 0,3 \cdot 1132,23 = 339,67 (\text{квар}).$$

Розрахунки аналогічно проводимо для інших точок і заносимо результати до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунків потужностей в період мінімального та максимального навантаження

Режими електроспоживання											
максимальний						Мінімальний					
$P_{\max 1.2}$	$Q_{\max 1.2}$	$P_{\max 2.5}$	$Q_{\max 2.5}$	$P_{\max 5.6}$	$Q_{\max 5.6}$	$P_{\min 1.2}$	$Q_{\min 1.2}$	$P_{\min 2.5}$	$Q_{\min 2.5}$	$P_{\min 5.6}$	$Q_{\min 5.6}$
1257,33	1132,23	389,06	358,33	384,27	328,97	377,2	339,67	116,8	107,61	111,1	102,4

Знайдемо втрати напруги в період максимум нашого навантаження для віддаленої точки:

$$\Delta U_{1.2}^{\max} = \frac{1257,33 \cdot 0,65 \cdot 2,6 + 1132,23 \cdot 0,873 \cdot 2,6}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0456 (\text{кВ});$$

$$\Delta U_{2.5}^{\max} = \frac{389,06 \cdot 0,197 \cdot 0,605 + 358,33 \cdot 0,05 \cdot 0,605}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0055 (\text{кВ});$$

$$\Delta U_{\text{ТБ}}^{\max} = \frac{384,27 \cdot 1,05 + 328,97 \cdot 5,91}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,228 (\text{кВ}).$$

На шинах ЦРП 10 кВ в період максимального навантаження:

$$U_2^{\max} = U_{\max 1} - \Delta U_{1.2}^{\max} = 10,3 - 0,0456 = 10,258 (\text{кВ}).$$

$$U_3^{\max} = U_{\max 2} - \Delta U_{2.5}^{\max} = 10,258 - 0,0055 = 10,252 (\text{кВ}).$$

$$U_{\text{ВН6}}^{\max} = U_{\max 3} - \Delta U_{\text{ТБ}}^{\max} = 10,252 - 0,228 = 10,024 (\text{кВ}).$$

Розрахунок втрат напруги період мінімального навантаження для точки (В):

$$\Delta U_{1.2}^{\min} = \frac{377,2 \cdot 0,65 \cdot 2,6 + 339,67 \cdot 0,873 \cdot 2,6}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0137 \text{ (кВ)};$$

$$\Delta U_{2.5}^{\min} = \frac{116,8 \cdot 0,197 \cdot 0,605 + 107,61 \cdot 0,05 \cdot 0,605}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,0017 \text{ (кВ)};$$

$$\Delta U_{\text{ТБ}}^{\min} = \frac{111,1 \cdot 1,05 + 102,4 \cdot 5,91}{1,03 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,07 \text{ (кВ)}.$$

На шинах ЦРП 10 кВ в період мінімального навантаження:

$$U_2^{\min} = U_{\min 1} - \Delta U_{1.2}^{\min} = 10,1 - 0,0137 = 10,086 \text{ (кВ)};$$

$$U_3^{\min} = U_{\min 2} - \Delta U_{2.5}^{\min} = 10,086 - 0,0017 = 10,084 \text{ (кВ)};$$

$$U_{\text{НН6}}^{\min} = U_{\min 3} - \Delta U_{\text{ТБ}}^{\min} = 10,084 - 0,07 = 10,014 \text{ (кВ)}.$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків втрат напруги

Режими електроспоживання											
Максимальний						Мінімальний					
$\Delta U_{\max 1.2}$	$U_{\max 2}$	$\Delta U_{\max 2.5}$	$U_{\max 3}$	$\Delta U_{\max \text{ТБ}}$	$U_{\text{ВН6}}$	$\Delta U_{\min 1.2}$	$U_{\min 2}$	$\Delta U_{\min 2.5}$	$U_{\min 3}$	$\Delta U_{\min \text{ТБ}}$	$U_{\text{НН6}}$
0,0456	10,258	0,0055	10,252	0,228	10,024	0,0137	10,086	0,0017	10,084	0,07	10,014

Здійснимо розрахунок на прикладі відгалуження 5% в період максимального навантаження.

Початкові дані: $v_1 = 0,05$ – відгалуження ТП;

$U_{\text{ННВ}} = 10$ – напруга ВН ТП;

$U_{\text{ННН}} = 0,38$ – напруга НН ТП;

Визначаємо коефіцієнт трансформації:

$$K_{\text{Тв}5\%} = \frac{(1 + v_1) \cdot U_{\text{ННВ}}}{1,05 \cdot U_{\text{ННН}}} = \frac{(1 + 0,05) \cdot 10}{1,05 \cdot 0,38} = 26,3158.$$

де v – положення відгалуження трансформатора ($v = -5; -2,5; 0; +2,5; +5$).

$$U_{\max 6\text{НН}} = \frac{U_{\text{ВН6}}}{K_{\text{Тв}5\%}} = \frac{10,2}{26,3158} = 0,3733.$$

Для інших ПРВ результати розрахунків представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунки ПРВ та коефіцієнта трансформації

Режими електроспоживання	ВН U_H , кВ	Відгалуження ТП, %	K_{TP}	НН U_{3max} , кВ	Висновок	Опт.
Максимальний	10,258	-5,0	23,8095	0,4126	-	
		-2,5	24,4361	0,402	-	
		0	25,0627	0,392	Допустимо	
		+2,5	25,6892	0,3824	Допустимо	V
		+5,0	26,3158	0,3733		
Мінімальний	10,086	-5,0	23,8095	0,4177	-	
		-2,5	24,4361	0,407	-	
		0	25,0627	0,3968	-	
		+2,5	25,6892	0,3871	Допустимо	
		+5,0	26,3158	0,3779	Допустимо	V

Висновок: розрахунок відгалужень та коефіцієнта трансформації показав, що примикання пристрою ПБЗ на відгалуження +2,5% дозволяє досягти рівні напруги на шинах 0,4 кВ на рівні нормованих значень.

Висновки по розділу 3.

У цьому розділі бакалаврської дипломної роботи проаналізовано особливості режиму напруги в мережах електропостачання ВАТ «ВОЖК» та обґрунтовано застосування регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів за допомогою перемикача без збудження (ПБЗ) для стабілізації параметрів живлення технологічного обладнання.

1. Встановлено, що електричне навантаження підприємства формується переважно за рахунок енергоємного обладнання безперервної дії: шнекових пресів, реакторів, вакуумних установок, насосів та іншого технологічного устаткування, що чутливе до відхилень напруги. Нерівномірність добового навантаження та значна протяжність кабельних ліній спричиняють суттєві просідання напруги, особливо у вечірні години.

2. Проведено аналіз технічних і економічних наслідків відхилень напруги для споживачів, серед яких: зниження продуктивності електроприводів, зростання втрат,

прискорене старіння обладнання, збої в системах автоматизації та збільшення витрат на ремонт і простої. Особливо критичними є порушення живлення для процесів гідрогенізації та екстракції в умовах харчового виробництва.

3. Здійснено технічне обґрунтування використання ПБЗ як засобу стабілізації напруги в умовах змінного навантаження. Представлено конструкцію пристрою ПБЗ, наведено його принцип дії та переваги, зокрема простоту, надійність і можливість реалізації сезонного регулювання без складних електронних засобів.

4. Виконано розрахунок втрат напруги в період максимального та мінімального навантаження для двох ділянок мережі: до трансформаторної підстанції ТП-3 та віддаленої ТП-1. Побудовано однолінійні схеми та схеми заміщення, визначено активну й реактивну потужність на кожній ділянці, а також втрати напруги на шинах трансформаторів.

Проведено розрахунок напруги на стороні 0,4 кВ для різних положень відгалуження ПБЗ у межах $\pm 5\%$ із кроком 2,5 %. На основі аналізу отриманих значень встановлено, що оптимальним є положення +2,5 %, яке забезпечує відповідність рівня напруги нормативним вимогам ДСТУ EN 50160:2014 як у мінімальному, так і в максимальному режимі споживання.

Таким чином, застосування ПБЗ із правильно підібраним відгалуженням дозволяє компенсувати втрати напруги в мережі без встановлення додаткових стабілізуючих пристроїв, покращити якість електропостачання та забезпечити надійну роботу технологічного обладнання на підприємстві.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час монтажу та обслуговування обладнання системи електропостачання ВАТ Відкрите акціонерне товариство «Вінницький олійножировий комбінат». 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_o, Y_o, X_o	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	зов-ніш-ні не-несу-чі	внут-рішні не-несучі (пере-город-ки				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. Встановленні 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 ВАТ «ВОЖК» з дослідженням регулювання напруги в мережах підприємства, було отримано такі результати:

1. У першому розділі роботи здійснено комплексний аналіз технологічної структури ВАТ «ВОЖК» та особливостей його енергоспоживання. Встановлено, що виробничі потужності підприємства працюють у безперервному або тривалому циклічному режимі, що зумовлює підвищену чутливість до нестабільності напруги. Основні цехи належать до II категорії надійності, що вимагає резервування джерел живлення. Аналіз умов експлуатації підтвердив актуальність проектування системи електропостачання з підвищеним рівнем надійності та якості живлення.

2. Спроектовано СЕП підприємства з урахуванням II категорії надійності, яка передбачає живлення двома кабельними лініями напругою 10 кВ від ПС 110/10 кВ «Технологічна» довжиною 2,6 км кабелем типу АПвЭгаПу-10 3×120 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 чотири двотрансформаторні підстанції з трансформаторами ТМ-1000/10, що також відповідає вимогам до II категорії надійності електропостачання. Розрахунковий коефіцієнт завантаження ТП 1-4 становить 0,55, що забезпечує резерв потужності на випадок аварійного відключення одного з трансформаторів із незначним відключенням малопріоритетних споживачів. Аналіз засобів захисту показав що на стороні 10 кВ доцільно встановити вимикачі ВРС-10.

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

5. У науково-дослідній частині дипломної роботи досліджено вплив нестабільної напруги на роботу технологічного обладнання ВАТ «ВОЖК» та обґрунтовано технічне рішення щодо її стабілізації. Встановлено, що нерівномірність добового навантаження у поєднанні з великою протяжністю

кабельних ліній призводить до суттєвих просідань напруги, особливо у години максимального споживання. Це спричиняє зниження ефективності електроприводів, збої в роботі автоматизованих систем та зростання витрат на технічне обслуговування й ремонт обладнання.

Проведено аналіз електричних режимів у мережі електропостачання підприємства. Виконано розрахунок втрат напруги в умовах максимального та мінімального навантаження. Встановлено, що через нерівномірне навантаження та довжину ліній на шинах 0,4 кВ фіксуються значні відхилення напруги від нормативного значення.

На основі розрахунків проведено оцінку ефективності застосування ПБЗ для корекції коефіцієнта трансформації трансформаторів. Визначено, що положення ПБЗ на рівні +2,5 % забезпечує відповідність рівня напруги на шинах 0,4 кВ вимогам ДСТУ EN 50160:2014 у всіх розрахункових режимах. Застосування ПБЗ дозволяє уникнути перенапруг чи недонапруг без необхідності встановлення додаткового стабілізуючого обладнання.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів за допомогою пристрою ПБЗ. Це рішення є технічно обґрунтованим і забезпечує стабільне, надійне та енергоефективне функціонування системи електропостачання ВАТ «ВОЖК».

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. Офіційний сайт Відкритого акціонерного Товариства «Вінницький олійножировий комбінат» : веб-сайт. URL: <http://vmzhk.vioil.com/> (дата звернення: 17.10.2024).
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-infrazvuku-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
ВІДКРИТОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«ВІННИЦЬКИЙ ОЛІЙНОЖИРОВИЙ КОМБІНАТ»**

Бакалаврська дипломна робота на тему

Розробка системи електропостачання Відкритого акціонерного Товариства «Вінницький олійножировий комбінат»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕЕ-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Катрич Олександр Іванович

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

Мета та задачі бакалаврської дипломної роботи

2

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи електропостачання ВАТ «ВОЖК» шляхом підвищення надійності та економічності її роботи, що досягається за рахунок аналізу існуючої схеми живлення, розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальної структури СЕП, а також дотриманням норм якості електричної енергії.

Об'єкт дослідження – це процес функціонування системи електропостачання з подальшою розробкою заходів щодо регулювання рівня напруги.

Предмет дослідження – розробка системи електропостачання ВАТ «ВОЖК».

Методи дослідження. У даній роботі використано загальноприйняті теоретичні методи проектування систем електропостачання, зокрема методи визначення електричних навантажень на основі упорядкованих діаграм навантаження, коефіцієнтів попиту та використання, а також техніко-економічного порівняння варіантів конфігурацій СЕП [3,9].

У науково-дослідній частині бакалаврської дипломної роботи досліджено вплив нестабільності напруги на роботу енергоємного технологічного обладнання ВАТ «ВОЖК» та обгрунтовано доцільність застосування перемикача без збудження для регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів.

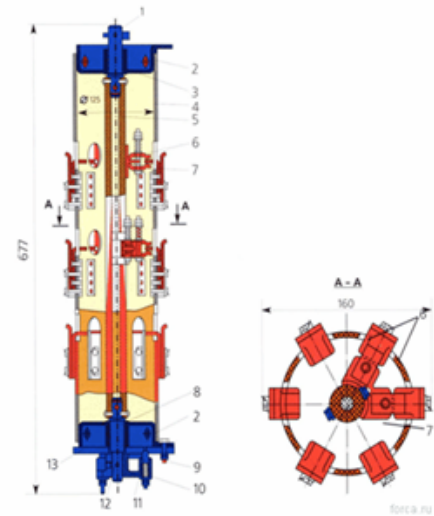
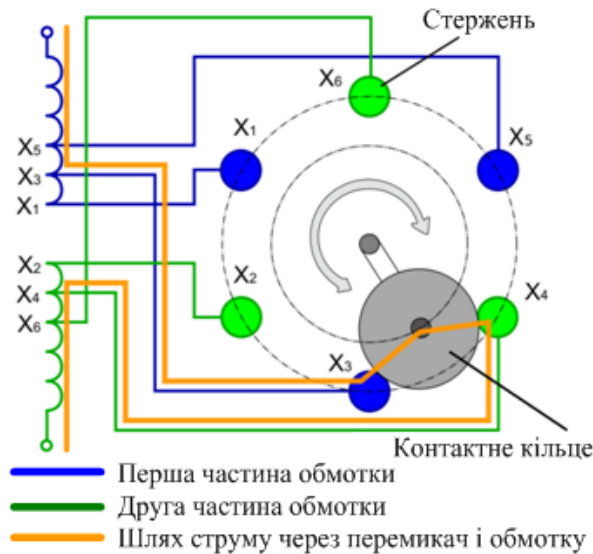
Проведено аналіз графіків електричного навантаження підприємства, що виявив значні коливання рівня напруги на фоні добової нерівномірності споживання та великої довжини кабельних ліній. Для кількісної оцінки впливу застосування ПБЗ побудовано однолінійні схеми й схеми заміщення двох ділянок мережі, розраховано активну та реактивну потужність, а також втрати напруги в умовах мінімального та максимального навантаження. Виконано розрахунки напруги на стороні 0,4 кВ при різних положеннях ПБЗ (у діапазоні $\pm 5\%$ з кроком $2,5\%$), що дозволило встановити оптимальне положення перемикача $+2,5\%$. Обране положення забезпечує стабільне живлення електроприймачів згідно з вимогами ДСТУ EN 50160:2014 без використання додаткових регулювальних пристроїв.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування ПБЗ як простого та надійного засобу покращення якості напруги та енергетичної стійкості системи електропостачання підприємства.

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

Перемикання без збудження (ПБЗ)

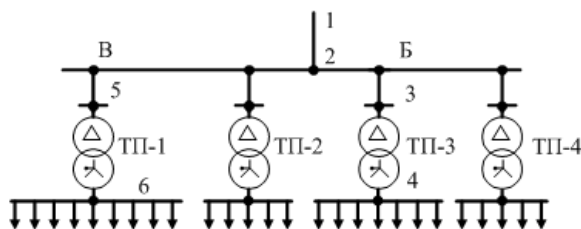
7



Основні конструктивні елементи: 1. Сталевий вал – забезпечує передачу обертового руху до механізму перемикання. 2. Фланець – елемент кріплення пристрою до трансформатора. 3. Втулка підшипника – забезпечує обертання валу з мінімальним тертям. 4. Корпус – ізолює та захищає внутрішні елементи перемикача. 5. Бакелітова трубка – ізолюючий елемент, що відокремлює струмопровідні частини. 6. Рухомі контакти – безпосередньо перемикають відгалуження обмотки, замикаючись з нерухомими контактами. 7. Нерухомі контакти – з'єднані з відповідними відпайками обмотки трансформатора. 8. Сталевий вал (другий сегмент) – допоміжний елемент передачі руху в механізмі. 9. Кріпильний болт – фіксація вузлів у корпусі. 10. Фіксатор положення – забезпечує надійне утримання обраної позиції перемикача. 11. Штифт фіксатора – механічне блокування небажаного зсуву положення. 12. Фіксує палець – елемент замикання механізму фіксації. 13. Фіксує диск з отворами – задає можливі положення перемикача, забезпечуючи точність і надійність фіксації.

Розрахунок положення регульованого відгалуження для цехової ТП

8



Однолінійна схема живлення для СЕП підприємства

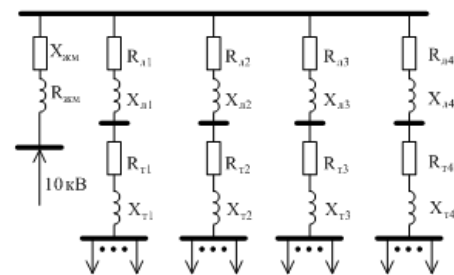


Схема заміщення для СЕП підприємства

Розрахунки положення регульованого відгалуження та коефіцієнта трансформації

Режими електроспоживання	ВН U_N , кВ	Відгалуження ТП, %	K_{TP}	НН $U_{зmax}$, кВ	Висновок	Опт.
Максимальний	10,258	-5,0	23,8095	0,4126	-	
		-2,5	24,4361	0,402	-	
		0	25,0627	0,392	Допустимо	
		+2,5	25,6892	0,3824	Допустимо	V
		+5,0	26,3158	0,3733		
Мінімальний	10,086	-5,0	23,8095	0,4177	-	
		-2,5	24,4361	0,407	-	
		0	25,0627	0,3968	-	
		+2,5	25,6892	0,3871	Допустимо	
		+5,0	26,3158	0,3779	Допустимо	V

Висновки по роботі

9

У науково-дослідній частині дипломної роботи досліджено вплив нестабільної напруги на роботу технологічного обладнання ВАТ «ВОЖК» та обґрунтовано технічне рішення щодо її стабілізації. Встановлено, що нерівномірність добового навантаження у поєднанні з великою протяжністю кабельних ліній призводить до суттєвих просідань напруги, особливо у години максимального споживання. Це спричиняє зниження ефективності електроприводів, збої в роботі автоматизованих систем та зростання витрат на технічне обслуговування й ремонт обладнання.

Проведено аналіз електричних режимів у мережі електропостачання підприємства. Виконано розрахунок втрат напруги в умовах максимального та мінімального навантаження. Встановлено, що через нерівномірне навантаження та довжину ліній на шинах 0,4 кВ фіксуються значні відхилення напруги від нормативного значення.

На основі розрахунків проведено оцінку ефективності застосування ПБЗ для корекції коефіцієнта трансформації трансформаторів. Визначено, що положення ПБЗ на рівні +2,5 % забезпечує відповідність рівня напруги на шинах 0,4 кВ вимогам ДСТУ EN 50160:2014 у всіх розрахункових режимах. Застосування ПБЗ дозволяє уникнути перенапруг чи недонапруг без необхідності встановлення додаткового стабілізуючого обладнання.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів за допомогою пристрою ПБЗ. Це рішення є технічно обґрунтованим і забезпечує стабільне, надійне та енергоефективне функціонування системи електропостачання ВАТ «ВОЖК».

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

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

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ВІДКРИТОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
«ВІННИЦЬКИЙ ОЛІЙНОЖИРОВИЙ КОМБІНАТ»**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка системи електропостачання Відкритого акціонерного Товариства «Вінницький олійножировий комбінат»

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 _____ Лобода Ю.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

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

Автор роботи _____ Катрич О.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

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