


Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

«ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДКРИТОГО  
АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ  
НАСІННЄВИЙ ЗАВОД»


Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-22м  
141 «Електроенергетика, електр техніка та  
електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Дворецький Р.В.

(прізвище та ініціали)


Керівник: к.т.н., професор кафедри ЕСЕЕМ

 Терешкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023

Опонент к.т.н., доцент ЕСЕС

 Острова О.В.

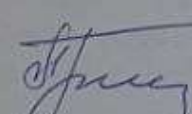
(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

 (прізвище та ініціали)

« 8 » грудня 2023 р.

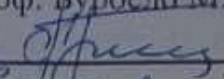
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр  
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма – Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ  
д.т.н. проф. Вурбело М.Й.

  
"19" вересня 2023 р

**ЗАВДАННЯ**  
на магістерську кваліфікаційну роботу  
Дворецькому Руслану Вікторовичу

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання Відкритого акціонерного товариства «Вінницький насінневий завод».

Рівень роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,  
затверджені наказом по ВНТУ від « 18 » вересня 2023 року, № 247

Строк подання студентом роботи « 5 » грудня 2023 року

Вихідні дані до роботи: відомості про електроприймачі та електричні навантаження, планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства. Результати дослідження параметрів якості електроенергії в системі електропостачання підприємства.

Наукові публікації з питань оптимізації якості електроенергії на промислових підприємствах.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Вступ.

**РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО**

1.1 Відомості про підприємство

1.2 Вихідні дані для проведення дослідження та основні науково-технічні завдання, що потребують вирішення

1.3 Висновки до розділу 1

**РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «Продмова»**

2.1 Розрахунок електричних навантажень по окремим виробничим підрозділам та по підприємству в цілому

2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторних підстанцій

2.3 Оцінка втрат потужності на ТП підприємства

2.4 Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній 10 кВ

2.5 Обґрунтування оптимального розміщення трансформаторних підстанцій

2.6 Оптимальна компенсація реактивної потужності в мережах 10 кВ підприємства

2.7 Висновки до розділу 2

**РОЗДІЛ 3. СИМЕТРУВАННЯ РЕЖИМУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ**

3.1 Обґрунтування критерію ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені





3.2 Математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень при'єднанні до чотирипровідної мережі

- 3.3 Алгоритм вирішення задачі внутрішнього симетрування  
 3.4 Тестовий приклад знаходження рішень задачі внутрішнього симетрування за розробленим алгоритмом  
 3.5 Висновки до розділу 3  
 РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
 РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ  
 ВИСНОВКИ  
 Література

5. Перелік графічного матеріалу:

Матеріал, необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. каф. БЖДПБ, д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання « 20 » вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	25.09.2023	
2	Оптимізація системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод»	15.10.2023	
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	30.10.2023	
4	Економічна частина роботи	10.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	05.12.2023	

Студент



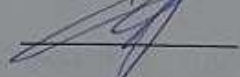
Дворецький Р.В.

Керівник магістерської роботи



Терешкевич Л.Б.

Нормоконтроль



Войтюк Ю. П.

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

## Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

### «ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДКРИТОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ НАСІННЄВИЙ ЗАВОД»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-22м  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_ Дворецький Р.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., професор кафедри ЕСЕЕМ

\_\_\_\_\_ Терешкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023

Опонент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

УДК 621.316

## АНОТАЦІЯ

Дворецький Р.В. Оптимізація системи електропостачання Відкритого акціонерного товариства «Вінницький насінневий завод» Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2023 – 107 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 39 назв; рис.: 16; табл. 14.

Проведені розрахунки та отримано ряд оптимальних рішень, якими підтверджується можливість оптимізації системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод». Серед таких вибір оптимальних потужностей силових трансформаторів, перерізів кабельних ліній 10кВ мереж живлення та розподілу підприємства, місця розташування ЦРП підприємства Крім цього, ефективність функціонування системи електропостачання суттєво підвищується в результаті зменшення активних втрат в кабельних мережах 10кВ та в силових трансформаторах, що досягається шляхом оптимального розподілу вхідної реактивної потужності і установки регульованих батарей статичних конденсаторів оптимальної потужності.

Розроблена математична модель оптимального під'єднання однофазних навантажень, що встановлені в цеху обробки насіння підприємства, до фазних напруг чотирипровідної мережі. Реалізуючи рішення, отримані в результаті аналізу розробленої математичної моделі, забезпечується мінімальна несиметрія електричного режиму в лінії живлення і мінімізуються значення збитків, зумовлених якістю електроенергії.

Ключові слова: Оптимальні рішення, оптимізаційна математична модель, цільова функція, втрати активної потужності.

## ABSTRACT

Dvoretzky R.V. Optimization of the power supply system of the Open Joint-Stock Company "Vinnytsia Seed Plant" Master's qualification thesis on the specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Electrotechnical systems of power consumption". – Vinnytsia, VNTU, 2023 – 107 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 39 titles; Fig.: 16; table 14.

Calculations were carried out and a number of optimal solutions were obtained, which confirm the possibility of optimizing the power supply system of Vinnytsia Seed Plant OJSC. Among these are the selection of optimal capacities of power transformers, cross-sections of 10 kV cable lines of the enterprise's power and distribution networks, the location of the enterprise's CDP. In addition, the efficiency of the operation of the power supply system is significantly increased as a result of the reduction of active losses in 10 kV cable networks and in power transformers, which is achieved through optimal distribution input reactive power and installation of adjustable batteries of static capacitors of optimal power.

A mathematical model of optimal connection of single-phase loads installed in the plant's seed processing shop to the phase voltages of a four-wire network was developed. By implementing the solutions obtained as a result of the analysis of the developed mathematical model, the minimum asymmetry of the electrical regime in the power supply line is ensured and the values of losses caused by the quality of electricity are minimized.

Keywords: Optimal solutions, optimization mathematical model, objective function, losses of active power.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	10
1.1 Відомості про підприємство	10
1.2 Вихідна інформація для оптимізації системи електропостачання «ВАТ Вінницький насінневий завод»	11
1.3 Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗОВАНІ РОЗРАХУНОКИ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень по виробничим підрозділам Вінницького насінневого заводу та по заводу в цілому	14
2.2 Визначення оптимальної потужності трансформаторів цехових ТП	19
2.3 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП Вінницького насінневого заводу	24
2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній 10 кВ	25
2.5 Обґрунтування оптимального розміщення ЦРП та ТП1, ТП2 та ТП3	32
2.6 Задача оптимальної компенсації реактивних навантажень в заводських мережах 10 кВ	35
2.7 Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3. СИМЕТРУВАННЯ РЕЖИМУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ	40
3.1. Обґрунтування критерію ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені	41
3.2. Математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень при під'єднанні до чотирипровідної мережі	42
3.2.1 Аналітичний опис критерію ефективності (цільової функції)	42
3.3.2 Аналітичний опис умови обов'язковості під'єднання кожного із несиметричних електроприймачів	44

3.3.4 Математична модель	44
3.3 Алгоритм вирішення задачі внутрішнього симетрування	45
3.4 Тестовий приклад знаходження рішень задачі внутрішнього симетрування навантажень за розробленим алгоритмом	48
3.5 Висновки до розділу 3	57
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ</b>	<b>58</b>
4.1 Розрахунок чисельності обслуговуючого та ремонтного персоналу	58
4.2 Розрахунок витрат по заробітній платі	60
4.3 Розрахунок витрат підприємства на матеріали, що потрібні на всі види ремонтів та технічне обслуговування електрообладнання та електромереж	61
4.4 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат	63
4.5 Розрахунок плати за електроенергію	64
4.6 Собівартість електроенергії	64
4.7 Висновки до розділу 4	65
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>66</b>
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	66
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах	66
5.1.2 Електробезпека	68
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	70
5.2.1 Мікроклімат	70
5.2.2 Склад повітря робочої зони	71
5.2.3 Виробниче освітлення	72
5.2.4 Виробничий шум	74
5.2.5 Виробничі вібрації	75
5.2.6 Психофізіологічні фактори	75
5.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи елементів системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» в умовах	



	6
загрозливих чинників НС	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
ДОДАТКИ	84
Додаток А. Технічне завдання до магістерської кваліфікаційної роботи	85
Додаток Б. Вихідні дані для виконання магістерської випускної роботи	88
Додаток В. Демонстраційний матеріал до МКР	90
Додаток Г. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	107

## ВСТУП

*Актуальність теми.* За час існування двічі відбувалась відбудова насінневого заводу: у 1923 та в 1944 роках та відбувались багато чисельні реконструкції. Тому в діючій систем електропостачання Вінницького насінневого заводу іноді використовується морально- та фізично застаріле електрообладнання, а електричні мережі в ряді випадків не відповідають електричним навантаженням. В таких умовах діюча система електропостачання підприємства потребує модернізації.

Тому робота, де із використанням сучасних автоматизованих технологій розроблена оптимальна система електропостачання, що виконана із врахуванням зазначених вище обставин із використанням сучасних проектних методик, а також розроблена система математичного забезпечення внутрішнього симетрування несиметричного навантаження, що експлуатується на підприємстві, є *актуальною* для ВАТ «Вінницький насінневий завод»

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*

Робота виконана на факультеті електроенергетики та електромеханіки ВНТУ у рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕЕМ.

*Мета і завдання дослідження.* Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» та таких параметрів її стану як несиметрія електричного режиму, використовуючи інформаційні технології та сучасні методи оптимізації.

Мета, що поставлена, досягається в результаті вирішення таких технічних задач:

–автоматизованими розрахунками оптимальних потужностей цехових трансформаторних підстанцій та підприємства в цілому;

–автоматизованими розрахунками оптимальних перерізів живильних та розподільних ліній 10 кВ підприємства;

– розрахунками оптимальної потужності конденсаторних батарей;

– розробки методики розрахунку оптимального варіанту під'єднання групи

несиметричних електроприймачів до чотирипровідної лінії живлення.

*Об'єкт дослідження* – система електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод».

*Предмет дослідження* – мережі 10 кВ та режими несиметрії в системі електропостачання.

*Новизна одержаних результатів.* Підвищена ефективність системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» в результаті оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній, потужності конденсаторних установок, та внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів при їх під'єднання до чотирипровідної мережі.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» та зменшити долю енерговитрат в собівартості продукції.

*Достовірність теоретичних положень* магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач та застосуванням сучасних методів оптимізації.

*Особистий внесок здобувача.* Усі наукові положення та результати магістерської кваліфікаційної роботи, які виносяться на захист, отримані автором одноособово.

*Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.* Викладені в роботі результати апробовані на XLIX Науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки (2020).

*Публікації:*

1. Леонід Борисович Терешкевич, Руслан Вікторович Дворецький Похибки розрахунку додаткових втрат активної потужності в системі симетричних складових // Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2021). Стор. 2285-2288  
Режим доступу:

[https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu\\_2021\\_netpub.pdf](https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2021_netpub.pdf)

2. Леонід Борисович Терешкевич, Руслан Вікторович Дворецький. Критерій ефективності для оптимізаційної задачі під'єднання групи однофазних електроприймачів до вузла чотирипровідної електричної мережі // Матеріали ЛП науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2023). Стор.

*Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи.* Робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 107 сторінок, з яких основний зміст викладений на 82 сторінках друкованого тексту, містить 16 рисунків, 14 таблиць, список використаних джерел із 39 найменувань.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

### 1.1 Відомості про підприємство

ВАТ «Вінницький насінневий завод» входить до складу Зернового комплексу ТОВ "Агроград - В" та надає послуги зернового складу. Потужність комплексу складає 25 тис. тонн. Технологічна потужність і оснащеність цього заводу забезпечує насінням цукрового буряка переважну частину господарств України, які його вирощують (у великому асортименті, як по найменуванням гібридів, так і по видах обробки).

Вінницький насінневий завод оперативно вирішує питання приймання сировини, визначає основні технологічні параметри насіння, за допомогою сучасного навантажувально-розвантажувального обладнання і вагового господарства, він оснащений сучасною лабораторією оцінки стану вхідного продукту.

Товари та послуги насінневого заводу:

- продаж насіння цукрового буряка,
- послуги зернового складу,
- підготовка насіння до сівби,
- дражування насіння,
- капсулювання насіння,
- лабораторні дослідження,
- очищення, калібрування, протравка, інкрустація, дражування або капсулювання давальницької сировини.

## 1.2 Вихідна інформація для оптимізації системи електропостачання «ВАТ Вінницький насінневий завод»

Категорія за надійністю електропостачання Вінницького насінневого заводу (в тому числі і насінне-обробного цеху) – II.

Генплан підприємства і відомості про електричні навантаження заводу наведені на рис. 1.1 та в таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження об'єктів заводу

№	Назва цеху	Рн,кВт	Кп	cosφ	F,м <sup>2</sup>	Рпит	Кпра	Кпо
1	Елеватор	280	0,8	0,7	4114,3	0,016	1,1	0,95
2	Цех обробки насіння	267	0,8	0,65	2259	0,016	1,2	0,95
3	Адміністративний корпус	50	0,7	0,8	1410,6	0,016	1,2	0,8
4	20-й цех	180	0,9	0,85	664	0,016	1,2	0,8
5	Гранувальний цех	10	0,9	0,85	781,5	0,016	1,2	0,8

6	Унісем	220	0,8	0,65	5302,5	0,016	1,2	0,95
7	Цех дражування	270	0,7	0,7	587,6	0,016	1,2	0,8
8	Склад ЗГП	35	0,6	0,8	1058	0,012	1,1	0,6
9	Ремонтно-механічний цех	30	0,7	0,7	529	0,016	1,2	0,8
10	Гараж	15	0,6	0,8	596,6	0,014	1,1	0,6
11	Субабонент	260	0,7	0,75	290,9	0,014	1,2	0,8
12	Погрузочний цех	1,6	0,8	0,7	211,6	0,012	1,2	0,8
13	Теплопункт	40	0,8	0,9	293,9	0,012	1,2	0,7
14	Ангар	20	0,6	0,5	176,3	0,012	1,1	0,6

Для підприємства, як і для багатьох інших виробництв, актуальною є технічна задача поліпшення якості електроенергії. При цьому існують варіанти, які для реалізації не потребують додаткових капітальних вкладень. Так, в цеху обробки насіння використовуються фільтри потужністю 2 – 4 кВт однофазного виконання в кількості в кількості 7 шт. Живляться вони від одного вузла навантаження чотирипровідної мережі 0,4 кВ, що посилює несиметрію режиму в мережах підприємства.

Можливі джерела живлення.

Живлення підприємства може здійснюватись від районної трансформаторної підстанції 110/10кВ «Східна». На підстанції "Східна" встановлено два трансформатора типу ТРДН-40000Ун/Д/Д-11-11. Підстанція знаходиться на віддалі 0,65 км. Енергопостачальна компанія визначає для підприємства значення вхідної реактивної потужності – 100 квар.

### 1.3 Висновки до розділу 1

1. Параметри усіх елементів системи електропостачання ВАТ «Вінницький насіннєвий завод», не відповідають електричним навантаженням, які суттєво змінилися останнім часом в результаті модернізації виробництва та впровадження сучасних технологій.

2. На підприємстві експлуатується морально та фізично застаріле електро- та технологічне обладнання, що негативно позначається на техніко-економічних

показниках роботи системи електропостачання підприємства, а в кінцевому підсумку на собівартості продукції.

3. Деяке поліпшення якості електроенергії на підприємстві без додаткових капітальних вкладень можна отримати якщо реалізувати задачу внутрішнього симетрування навантажень однофазного виконання, які під'єднані до одного РП в цеху обробки насіння.



## РОЗДІЛ 2.

### АВТОМАТИЗОВАНІ РОЗРАХУНОКИ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Однією складовою оптимізаційних заходів, розроблених в роботі, є оптимальний вибір потужностей трансформаторів та оптимальне їх розміщення на плані підприємства, а також перерізів ліній електропередач живильних та розподільних мереж 10 кВ і потужностей батарей стичних конденсаторів.

Вибір потужностей трансформаторів та перерізів кабельних ліній виконано за критерієм річних приведених витрат [8]. Розрахунки оптимальних потужностей трансформаторів та перерізів кабельних ліній здійснені шляхом організації суцільного перебору всіх можливих варіантів з використанням сучасних технологій автоматизованого проектування. Обґрунтування місця установки трансформаторних підстанцій та потужностей батарей стичних потужності конденсаторів вибрано за критерієм мінімуму втрат активної потужності. Вибір потужності батарей статичних конденсаторів проведено з використанням математичного метода невизначених множників Лагранжа [15]. Місце розташування ЦРП підприємства та трансформаторних підстанцій вибрано за результатами розрахунків центру електричних навантажень [20].

#### 2.1 Розрахунок електричних навантажень по виробничим підрозділам Вінницького насінневого заводу та по заводу в цілому

Вибір оптимальних перерізів ліній електропередач, потужностей трансформаторів та батарей статичних конденсаторів, а також розрахунки центрів електричних навантажень здійснюється за результатами розрахунків, виконання яких потребує інформацію про електричні навантаження (середні, максимальні (розрахункові)) окремих підрозділів підприємства та по заводу в цілому. Розрахунки навантажень виконуються за методиками [3; 5], який рекомендований ведучими проектними організаціями для проведення зазначених розрахунків.

Розрахунок зазначених навантажень (як силового так і освітлювального) виконаємо за методом коефіцієнта попиту. Сутність методу коефіцієнта попиту полягає в наступному:

– розрахункове активне освітлювальне навантаження  $i$ -того виробничого підрозділі визначається за формулою:

$$P_{poi} = K_{poi} \cdot F_i \cdot p_{питі} \cdot K_{праі}, \quad (2.1)$$

де  $K_{poi}$  – коефіцієнт попиту для освітлювального навантаження  $i$ -го об'єкту Вінницького насінневого заводу;

$p_{питі}$  – питома густина освітлювального навантаження для  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу, кВт/м<sup>2</sup>;

$F_i$  – площа  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу, м<sup>2</sup>;

$K_{праі}$  – коефіцієнт, враховує втрати в пуско-регулюючій апаратурі  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу;

– розрахункове реактивне освітлювальне навантаження  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу розраховується за формулою:

$$Q_{poi} = F_i \cdot K_{poi} \cdot p_{питі} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{oi}, \quad (2.2)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_{oi}$  – коефіцієнт реактивної потужності освітлювального навантаження  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу.

– середнє активне силове навантаження  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу розраховується так:

$$Q_{poi} = F_i \cdot K_{poi} \cdot K_{праі} \operatorname{tg} \varphi_{oi}, \quad (2.3)$$

де  $P_{номі}$  – номінальна потужність  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу, кВт;

$K_{ві}$  – коефіцієнт використання для  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу;

– середнє реактивне силове навантаження  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу розраховується за формулою:

$$Q_{сі} = P_{ном} K_{ві} \operatorname{tg} \varphi_i + Q_{poi} \quad (2.4)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу.

– повне середнє навантаження і-того об'єкту Вінницького насінневого заводу розраховується так:

$$S_{ci} = \sqrt{P_{ci} + Q_{ci}} \quad (2.5)$$

Розрахункове активне навантаження будь-якого і-того об'єкту Вінницького насінневого заводу.

$$P_{pi} = P_{pi} K_{pi} + P_{poi}, \quad (2.6)$$

де  $K_{pi}$  – коефіцієнт попиту і-того цеху.

Розрахункове реактивне навантаження і-того об'єкту Вінницького насінневого заводу:

$$Q_{pi} = P_{pi} K_{pi} \operatorname{tg} \varphi + Q_{poi} \quad (2.7)$$

Розрахункове повне навантаження і-того об'єкту Вінницького насінневого заводу:

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}. \quad (2.8)$$

Розрахунковий струм і-того об'єкту Вінницького насінневого заводу:

$$I_{pi} = \frac{S_{pi}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (2.9)$$

де  $U_{ном}$  – номінальна напруга мережі, кВ.

Складовими навантаження об'єктів Вінницького насінневого заводу є силове та освітлювальне навантаження.

Розрахуємо середні та розрахункові навантаження об'єктів Вінницького насінневого заводу та підприємства в цілому:

$$P_{po\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{poi}; \quad (2.10)$$

$$Q_{po\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{poi}; \quad (2.11)$$

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{ci}; \quad (2.12)$$

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{ci}; \quad (2.13)$$

$$P_{p\Sigma} = \sum (P_{\text{ном}i} K_{ni}) + P_{\text{ро}\Sigma} \quad (2.14)$$

$$Q_{p\Sigma} = K_o \sum_{i=1}^N (P_{\text{ном}i} K_{ni} \text{tg}\varphi_i) + Q_{\text{ро}\Sigma}, \quad (2.15)$$

де  $K_o$  – коефіцієнт одночасності [3], прийmemo  $K_o = 0,95$ ;

$N$  – кількість підрозділів Вінницького насінневого заводу.

Повне навантаження підприємства в цілому:

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}; \quad (2.16)$$

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

Сумарний струм розрахуємо так:

$$I_{p\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}. \quad (2.18)$$

Питома густина навантаження  $i$ -того об'єкту Вінницького насінневого заводу:

$$\rho = \frac{S_{pi}}{F_i}. \quad (2.19)$$

Питома густина навантаження по Вінницькому насінневому заводу:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}}. \quad (2.20)$$

Результати автоматизованого розрахунку згаданих вище навантажень Вінницького насінневого заводу, як в цілому так і по всіх його виробничих об'єктах, що виконані за допомогою електронних таблиць Excel, зведені до однієї таблиці (рис. 2.1).

		U= 0,38					Ko= 0,95														
№	Найменування цехів	Дані сили					Світло					Середні навантаження			Розрах. Нав.				ρ кВА/м <sup>2</sup>		
		Рн кВт	cos	tg	Кп	Кв	Площа м <sup>2</sup>	Ксо	Рпит кВт/м <sup>2</sup>	Кпра	tgφ0	Qмо квар	Рро кВт	Рс кВт	Qс квар	Sc кВА	Рр кВт	Qр квар		Sp кВА	Ip, А
1	Елеватор	320	0,7	1,02	0,3	0,2	200,00	0,80	0,016	1,20	0,48	1,47	3,07	67,07	66,77	94,64	99,07	99,41	140,35	213,24	0,7018
2	Цех обробки насіння	360	0,65	1,17	0,3	0,4	207,00	0,85	0,015	1,10	0,48	1,39	2,90	146,90	169,75	224,49	110,90	127,66	169,10	256,93	0,8169
3	Адмінстративний корпус	60	0,8	0,75	0,7	0,5	500,00	0,80	0,016	1,10	0,48	3,38	7,04	37,04	25,88	45,19	49,04	34,88	60,18	91,43	0,1204
4	20-й цех	250	0,85	0,62	0,5	0,35	146,00	0,85	0,015	1,10	0,48	0,98	2,05	89,55	55,21	105,20	127,05	78,45	149,32	226,86	1,0227
5	Гранувальний цех	180	0,85	0,62	0,7	0,55	600,00	0,85	0,017	1,10	0,48	4,58	9,54	108,54	65,93	126,99	135,54	82,67	158,76	241,21	0,2646
6	Унісем	380	0,65	1,17	0,8	0,5	230,00	0,70	0,018	1,10	0,48	1,53	3,19	193,19	223,66	295,55	307,19	356,95	470,93	715,50	2,0475
7	Цех дражування	320	0,7	1,02	0,35	0,45	212,00	0,65	0,017	1,10	0,48	1,24	2,58	146,58	148,15	208,40	114,58	115,50	162,69	247,18	0,7674
8	Склад ЗГП	35	0,8	0,75	0,95	0,7	210,00	0,80	0,019	1,10	0,48	1,69	3,51	28,01	20,06	34,45	36,76	26,62	45,39	68,96	0,2161
9	Ремонтно-механічний цех	220	0,7	1,02	0,25	0,3	320,00	0,85	0,017	1,10	0,48	2,44	5,09	71,09	69,77	99,61	60,09	58,55	83,90	127,47	0,2622
10	Гараж	30	0,8	0,75	0,7	0,55	150,00	0,85	0,014	1,10	0,48	0,94	1,96	18,46	13,32	22,77	22,96	16,69	28,39	43,13	0,1893
11	Субабонент	600	0,75	0,88	0,8	0,45	395,00	0,90	0,019	1,10	0,48	3,57	7,43	277,43	241,68	367,94	487,43	426,89	647,94	984,44	1,6403
12	Погрузочний цех	50	0,7	1,02	0,5	0,2	100,00	0,70	0,002	1,20	0,48	0,10	0,20	10,20	10,30	14,50	25,20	25,60	35,92	54,58	0,3592
13	Теплопункт	60	0,9	0,48	0,7	0,50	150,00	0,80	0,016	1,10	0,48	1,01	2,11	32,11	15,54	35,68	44,11	21,36	49,01	74,46	0,3267
14	Ангар	36	0,5	1,73	0,4	0,25	220,00	0,80	0,012	1,10	0,48	1,12	2,32	11,32	16,70	20,18	16,72	26,06	30,96	47,04	0,1407
Всього по підприємству		2901				0,41	3640,00					25,44	52,99	1237,49	1142,73	1684,41	1557,46	1423,69	2110,11	3205,98	0,5797

Рисунок 2.1 – Результати, отримані при автоматизованому розрахунку навантажень  
Вінницького насінневого заводу

## 2.2 Визначення оптимальної потужності трансформаторів цехових ТП

Розрахунок потужності трансформаторів можна виконати сформувавши навантаження підстанцій. Для цього потрібно врахувати розташування кожного об'єкту на плані підприємства та його потужності.

Оскільки підприємство відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання, то виробничі об'єкти мають отримувати живлення від двох незалежних джерел. Тому всі трансформаторні підстанції Вінницького насінневого заводу мають бути двотрансформаторними [8]. Вибір потужності трансформаторної підстанції потрібно здійснювати із врахуванням питомої густини навантаження. Якщо питома густина навантаження до 0,2 (кВА/м<sup>2</sup>), то потрібно обирати трансформатори, потужність яких менша 1000 (кВА) [7]. Виходячи із зручності експлуатації ТП потрібно забезпечити їх однотипність.

Дотримуючись зазначених принципів сформуємо навантаження кожної підстанції. Передбачимо установку на Вінницькому насінневому заводі трьох ТП. Розподіл виробничих об'єктів та результатів розрахунку їх потужностей наведена в табличній формі, рис. 2.2

№ ТП	Номер цеху	Розрахункова активна потужність $P_p$ , кВт	Розрахункова реактивна потужність $Q_p$ , квар	Повна розрахункова потужність $S_p$ , кВА	Середня активна потужність $P_c$ , кВт	Середня реактивна потужність $Q_c$ , квар	Повна середня потужність $S_c$ , кВА	Кількість трансформаторів в ТП
ТП1	1	99,07	99,41	140,35	67,07	66,77	94,64	2
	2	110,90	127,66	169,10	146,90	169,75	224,49	
	3	49,04	34,88	60,18	37,04	25,88	45,19	
	4	127,05	78,45	149,32	89,55	55,21	105,20	
	5	135,54	82,67	158,76	108,54	65,93	126,99	
	12	25,20	25,60	35,92	10,20	10,30	14,50	
	Всього по ТП1	546,80	448,67	707,32	459,30	393,84	605,03	
ТП2	6	307,19	356,95	470,93	193,19	223,66	295,55	2
	7	114,58	115,50	162,69	146,58	148,15	208,40	
	8	36,76	26,62	45,39	28,01	20,06	34,45	
	9	60,09	58,55	83,90	71,09	69,77	99,61	
		Всього по ТП2	518,61	557,62	761,51	438,86	461,65	
ТП3	11	487,43	426,89	647,94	277,43	241,68	367,94	2
	10	22,96	16,69	28,39	18,46	13,32	22,77	
	13	44,11	21,36	49,01	32,11	15,54	35,68	
	14	16,72	26,06	30,96	11,32	16,70	20,18	
		Всього по ТП3	571,23	490,99	753,24	339,33	287,25	

Рисунок 2.2 – Розподілення виробничих об'єктів Вінницького насінневого заводу між трансформаторними підстанціями

Задачу вибору потужності трансформаторів ТП можна вирішувати як оптимізаційну, оскільки існує множина можливих її розв'язків. Тому для вирішення задачі скористаємось методами дослідження операцій [24]. Математична модель, що використана для вирішення задачі, має цільову функцію, якою описується критерій ефективності – річні приведені затрати на підстанцію. Оскільки задача полягає в виборі оптимальної потужності трансформаторів із дискретного ряду стандартних значень, то для її вирішення скористаємось математичною моделлю, що відноситься до класу дискретних.

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[ \Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТПсм} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТПр} \cdot k_{ша} \\ S_T \in S_{СТ} \end{array} \right. \quad (2.21)$$

де  $S_{СТ}$  – множина стандартних потужностей трансформаторів;

$E_e$  – коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень;

$E_a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$S_{ТПр}$  – розрахункова потужність трансформаторної підстанції;

$S_{ТПсм}$  – середня потужність трансформаторної підстанції;

$k_{ТП}(S_T, k_T)$  – капіталовкладення в ТП, що залежать від кількості вибраних трансформаторів та їх потужностей.

Зміст керованої змінної математичної моделі є потужність трансформаторів –  $S_T$ , яка має визначатися із ряду стандартних потужностей трансформаторів. На першому етапі вирішення задачі оцінюється можливість використання кожного трансформатора із всього ряду стандартних потужностей. В результаті із подальшого розгляду відкидаються трансформатори, які мають недопустимі значення номінальної потужності. Із множини потужностей трансформаторів, яка залишилась, за зазначеним критерієм (річні приведені затрати на підстанцію), вибирається до установки трансформатор оптимальної потужності.

Результати розрахунків з вибору потужностей трансформаторних підстанцій наведені на рис. 2.3 – 2.5.

Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
Економічні характеристики														
Питома вартість втрат, грн/кВт											Bo =	560,895		
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень											Ee =	0,1		
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea =	0,036		
ТП1														
Дані нормального режиму														
Розрахункова потужність ТП, кВА											Sp=	707,32		
Середня потужність ТП, кВА											Sc=	605,03		
Кількість трансформаторів											кТ=	2		
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											Kn=	1		
Дані післяаварійного режиму														
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											Kпа =	1,3		
Доля навантаження в післяаварійному режимі											Kнпа =	0,8		
*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кТ*кн*St>=Sc	кпа*St>=кнпа*Sp	*
	63	1,28	0,24	950,78	129,3061	80,67284	0,48	81,15284	45,51822		-	-	-	
	100	1,97	0,33	1010,71	137,4566	49,27932	0,66	49,93932	28,01071		-	-	-	
	160	3,1	0,51	1009,45	137,2852	30,29146	1,02	31,31146	17,56244		-	-	-	
	250	4,2	0,74	1190,46	161,9026	16,81	1,48	18,29	10,25877		-	-	-	
	400	5,9	0,95	1430,38	194,5317	9,224238	1,9	11,12424	6,239529		-	+	-	
<b>V</b>	630	8,5	1,31	1590,53	216,3121	5,357181	2,62	7,977181	4,474361	220,7864	630	+	+	<b>V</b>
	1000	10,5	2,1	1880,23	255,7113	2,626563	4,2	6,826563	3,828985	259,5403	1000	+	+	
	1600	18	2,8	2340	318,24	1,758859	5,6	7,358859	4,127547	322,3675	1600	+	+	
	2500	23,5	3,85	2670,73	363,2193	0,94056	7,7	8,64056	4,846447	368,0657	2500	+	+	
Мінімальні затрати, грн										Zmin=	220,7864			
Оптимальна потужність трансформатора, кВА										St*=	630			
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*=	0,561363			

Рисунок 2.3 – Отримані результати розрахунку оптимальної потужності трансформаторів, що встановлені на ТП1



Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
Економічні характеристики														
Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo = 560,895				
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee = 0,1				
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea = 0,036				
ТП2														
Дані нормального режиму														
Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp= 761,51				
Середня потужність ТП, кВА										Sc= 636,96				
Кількість трансформаторів										кТ= 2				
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Кн= 1				
Дані післяварійного режиму														
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяварійному режимі										Кпа = 1,3				
Доля навантаження в післяварійному режимі										Кпап = 0,8				
*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кТ*кн*St>=Sc	кпа*St>=кпап*Sp	*
	63	1,28	0,24	950,78	129,3061	93,50864	0,48	93,98864	52,71776	-	-	-	-	
	100	1,97	0,33	1010,71	137,4566	57,12012	0,66	57,78012	32,40858	-	-	-	-	
	160	3,1	0,51	1009,45	137,2852	35,11111	1,02	36,13111	20,26576	-	-	-	-	
	250	4,2	0,74	1190,46	161,9026	19,48463	1,48	20,96463	11,75896	-	-	-	-	
	400	5,9	0,95	1430,38	194,5317	10,6919	1,9	12,5919	7,062734	-	+	-	-	
<b>V</b>	630	8,5	1,31	1590,53	216,3121	6,209558	2,62	8,829558	4,952455	221,2645	630	+	+	<b>V</b>
	1000	10,5	2,1	1880,23	255,7113	3,044473	4,2	7,244473	4,063389	259,7747	1000	+	+	
	1600	18	2,8	2340	318,24	2,03871	5,6	7,63871	4,284514	322,5245	1600	+	+	
	2500	23,5	3,85	2670,73	363,2193	1,090211	7,7	8,790211	4,930386	368,1497	2500	+	+	
Мінімальні затрати, грн										Зmin= 221,2645				
Оптимальна потужність трансформатора, кВА										St*= 630				
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*= 0,604374				

Рисунок 2.4 – Отримані результати розрахунку оптимальної потужності трансформаторів, що встановлені на ТП2

Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
Економічні характеристики														
Питома вартість втрат, грн/кВт											Bo =	560,895		
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень											Ee =	0,1		
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea =	0,036		
ТПЗ														
Дані нормального режиму														
Розрахункова потужність ТП, кВА											Sp =	753,24		
Середня потужність ТП, кВА											Sc =	444,58		
Кількість трансформаторів											kt =	2		
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											Kn =	1		
Дані післяаварійного режиму														
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											Kпа =	1,3		
Доля навантаження в післяаварійному режимі											Kнпа =	0,8		
*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	kt*kn*St>=Sc	kпа*St>=кнпа*Sp	*
	63	1,28	0,24	950,78	129,3061	91,48894	0,48	91,96894	51,58492	-	-	-	-	
	100	1,97	0,33	1010,71	137,4566	55,88637	0,66	56,54637	31,71658	-	-	-	-	
	160	3,1	0,51	1009,45	137,2852	34,35274	1,02	35,37274	19,8404	-	-	-	-	
	250	4,2	0,74	1190,46	161,9026	19,06378	1,48	20,54378	11,5229	-	+	-	-	
	400	5,9	0,95	1430,38	194,5317	10,46096	1,9	12,36096	6,933203	-	+	-	-	
<b>V</b>	630	8,5	1,31	1590,53	216,3121	6,075437	2,62	8,695437	4,877227	221,1893	630	+	+	<b>V</b>
	1000	10,5	2,1	1880,23	255,7113	2,978715	4,2	7,178715	4,026506	259,7378	1000	+	+	
	1600	18	2,8	2340	318,24	1,994675	5,6	7,594675	4,259815	322,4998	1600	+	+	
	2500	23,5	3,85	2670,73	363,2193	1,066664	7,7	8,766664	4,917178	368,1365	2500	+	+	
Мінімальні затрати, грн									Zmin =	221,1893				
Оптимальна потужність трансформатора, кВА									St* =	630				
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора									kз* =	0,597812				

Рисунок 2.5 – Отримані результати розрахунку оптимальної потужності трансформаторів, що встановлені на ТПЗ

### 2.3 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП Вінницького насінневого заводу

При роботі трансформаторів (як на холостому ходу так і під навантаженням) мають місце втрати активної потужності. Зазначені втрати залежать від завантаження трансформаторів і їх необхідно враховувати при виборі перерізів ліній, які живлять ці трансформатори [28]. В зв'язку з цим виникає потреба в розрахунку значень втрат потужності в трансформаторах.

Кількісне значення зазначених втрат можна розрахувати за формулою [5]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n\Delta P_{\text{хх}} + \frac{1}{n}\Delta P_{\text{кз}} \left( \frac{S_p}{S_{\text{ном тр}}} \right)^2, \quad (2.22)$$

Де  $n$  - кількість трансформаторів в ТП;

$\Delta P_{\text{тр}}$  - втрати активної потужності в трансформаторах, (кВт);

$\Delta P_{\text{хх}}$  - потужність холостого ходу трансформатора (втрати на намагнічування), (кВт);

$\Delta P_{\text{кз}}$  - втрати короткого замикання трансформатора (втрати в обмотках), (кВт);

Результати проведеного розрахунку активних втрат в трансформаторах цехових ТП Вінницького насінневого заводу, а також уточнені потужності трансформаторів із врахуванням зазначених втрат ТП представлені на рис. 2.6.

$\Delta P_{\text{кз}}$ , кВт	$I_{\text{хх}}$ , %	$U_{\text{к}}$ , %	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$\Delta P_{\text{тр}}$ , кВт	$\Delta Q_{\text{тр}}$ , квар	$\Delta S_{\text{тр}}$ , кВА	$P$ , кВт	$Q$ , квар
8,5	2	5,5	546,8014	448,6712	707,3172	7,977181	47,03839	47,71001	554,7786	495,7096
8,5	2	5,5	518,6123	557,6208	761,5114	8,829558	50,51308	51,27897	527,4418	608,1339
8,5	2	5,5	571,2287	490,991	753,2426	8,695437	49,96634	50,71731	579,9241	540,9574
			1636,642	1497,283		25,50218	147,5178	149,7059	1662,145	1644,801

Рисунок 2.6 – Результати проведеного розрахунку потужностей трансформаторів із врахуванням втрат потужності в них

## 2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній 10 кВ, що живлять підприємство та ТП

Вінницький насінневий завод – це підприємство другої категорії за надійністю електропостачання [4]. Вимоги що до надійності можна забезпечити, передбачивши живлення підприємства від двох незалежних джерел. Вінницький насінневий завод знаходиться в межах м. Вінниця (живлення споживачів, що знаходяться на території великих міст слід здійснювати кабельними лініями [5]). Саме тому ЦРП підприємства під'єднаємо до джерела живлення двома кабельними лініями 10 кВ. Також двома кабельними лініями 10 кВ під'єднаємо всі ТП до ЦРП

Кабельна продукція, що випускається промисловістю, характеризується рядом стандартних перерізів.

Існує ряд стандартних перерізів кабельних ліній [8]. Частина перерізів цього ряду перерізів не задовольняє умовам вибору кабелів. З іншої частини (що залишилась) виберемо переріз кабелю, що забезпечує мінімум річних приведених затрат. Для вирішення оптимізаційної задачі вибору оптимального перерізу кабельних ліній використаємо математичну модель, що забезпечує вимоги нормативних документів (по допустимим втратам напруги та по термічній стійкості до дії струмів короткого замикання).

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = \left[ (E_e + E_a) K_o(x) + 3 I_L^2 r_o(x) t \tau \right] L k_L \rightarrow \min \\ x \geq x_{\text{доп}} \equiv k_{\text{доп}} I_{\text{доп}}(x) \geq I_L \\ x \geq x_{\text{доп}} \equiv k_{\text{па}} I_{\text{доп}}(x) \geq I_L k_L k_{\text{нпа}} \\ \Delta U_{\text{н}}(x) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ \Delta U_{\text{па}}(x) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ x \geq x_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{кз}} \sqrt{t_{\text{н}}}}{C} \\ x \in X_{\text{ст}} \end{array} \right. \quad (2.23)$$

де  $Z(X)$  - експлуатаційні витрати в кабельних лініях перерізом  $X$ ;

$k_0(x)$  – питома вартість кабельних ліній (залежить від перерізу і кількості ліній);

$B_B(x)$  – річна вартість втрат електричної енергії в кабельних лініях перерізом  $X$ ;

$I_L$  – струм лінії, відповідає розрахунковій потужності;

$I_{don}(x)$  – допустимий струм для відповідного перерізу згідно ПУЕ [3];

$\Delta U_H(x)$  – втрати напруги в лінії перерізом  $X$ , що відповідають нормальному режиму роботи;

$\Delta U_{na}(x)$  – втрати напруги в лінії перерізом  $X$ , що відповідають післяаварійному режиму роботи;

$\Delta U_{don}$  – допустимі втрати напруги, яким відповідають допустимі відхилення напруги [8];

$K_{don}(x)$  – коефіцієнт допустимого навантаження [3];

$k_{доп}$  – коефіцієнт допустимого навантаження,  $k_{доп} = k_{п} \cdot k_{с}$ ;

$k_{п}$  – коефіцієнт прокладки,  $k_{п}=1$  [3], що відповідає випадку, за умови живлення двокабельною лінією коли кабелі прокладені в різних траншеях (по одному кабелю в траншеї);

$k_{с}$  – коефіцієнт середовища;

$k_{na}$  – максимальний допустимий коефіцієнт навантаження кабельних ліній при їх прокладці у землі в післяаварійному режимі, приймаємо  $k_{na} - 1,25$  для найважчих умов перевантаження і при його тривалості 6 год. і  $K_3 = 0,6$ .

$x_{кз}$  – мінімальний переріз лінії за умовою термічної дії струмів к. з.;

$t_n$  – приведений час к. з. (с)  $\approx 1,5(c)$ ;

$I_{кз}$  – струм к. з. на початку лінії;

$C$  – тепловий коефіцієнт  $(\frac{A \cdot \sqrt{c}}{мм^2})$  (згідно [6], для кабелів 10кВ з

алюмінієвими жилами коефіцієнт  $C = 90$ ).

Фізичний зміст цільової функції математичної моделі – річні приведені затрати. Множиною можливих рішень є множина всіх стандартних перерізів кабелів 10 кВ. Змінною  $X$  (мм<sup>2</sup>) позначено переріз кабельної лінії. Числове значення  $X$ , якому відповідає мінімум цільової функції, необхідно розрахувати

Обмеження математичної моделі забезпечують допустимі втрати напруги в кабельних лініях в нормальних та післяаварійних режимах та допустиму термічну дію струмів короткого замикання. Для розрахунку використані електронні таблиці Excel. Отримані результати цього розрахунку наведені в таблицях, рис. 2.7 – рис. 2.10.

У відповідності до триманих результатів приймаємо рішення:

- районна трансформаторна підстанція – ЦРП підприємства – ААБ (3\*50);
- ЦРП підприємства – ТП1; ТП2; ТП3 – ААБ (3\*35).

Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ																	
Економічні характеристики																	
Питома вартість втрат, грн/кВт												Bo=	560,895				
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень												Ee=	0,1				
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію												Ea=	0,04				
Дані нормального режиму																	
Напруга, кВ												U =	10				
Активна розрахункова потужність споживача, кВт												P =	1662,14451				
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр												Q =	1644,80088				
Розрахунковий струм окремого кабелю, А												Ip =	67,50				
Коефіцієнт допустимого навантаження												Kдоп =	1,00				
Допустима втрата напруги в КЛ, %												dUдоп =	5				
Кількість кабелів												k =	2				
Довжина лінії, км												L =	2,5				
Дані аварійного режиму																	
Струм КЗ на початку лінії, кА												Iкз =	3,03868563				
Приведений час КЗ, с												tn =	1,5				
Тепловий коефіцієнт C, (A*s^(1/2))/мм^2												C =	90				
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2												Fкз =	41,35				
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі												Kпа =	1,25				
Доля навантаження в післяаварійному режимі												Kнпа =	0,8				
Допустима втрата напруги в КЛ, %												dUпадоп =	5				
F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	Ko, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUna, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Vв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп n >= Ip	n*Iдоп Kнпа*k*I	dUn <= dUnдоп	dUna <= dUnaдоп	F >= Fкз
10	3,1	0,122	90,5381	65	6,69	10,71	211,89	452,69	63,38	118,85	-	-----	-	-	-	-	-
16	1,94	0,113	103,784	75	4,26	6,82	132,60	518,92	72,65	74,38	-	-----	+	-	+	-	-
25	1,24	0,099	190,854	90	2,78	4,45	84,76	954,27	133,60	47,54	-	-----	+	+	+	+	-
35	0,89	0,095	250,953	115	2,04	3,27	60,83	1254,77	175,67	34,12	-	-----	+	+	+	+	-
<b>v</b> 50	0,62	0,09	360,927	140	1,47	2,36	42,38	1804,64	252,65	23,77	276,42	50	+	+	+	+	+
70	0,443	0,086	500,501	165	1,10	1,76	30,28	2502,51	350,35	16,98	367,33	70	+	+	+	+	+
95	0,326	0,083	650,451	205	0,85	1,36	22,28	3252,26	455,32	12,50	467,81	95	+	+	+	+	+
120	0,258	0,081	820,823	240	0,70	1,12	17,63	4104,12	574,58	9,89	584,47	120	+	+	+	+	+
150	0,206	0,079	1020,11	275	0,59	0,94	14,08	5100,55	714,08	7,90	721,97	150	+	+	+	+	+
185	0,167	0,077	1370,48	310	0,51	0,81	11,41	6852,40	959,34	6,40	965,74	185	+	+	+	+	+
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	276,42						
Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт	50						

Рисунок 2.7 – Результати розрахунків оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство

Вибір оптимального перерізу КЛ1																		
Економічні характеристики																		
Питома вартість втрат, грн/кВт																	Bo=	560,895
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																	Ee=	0,1
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																	Ea=	0,04
Дані нормального режиму																		
Напруга, кВ																	U =	10
Активна розрахункова потужність споживача, кВт																	P =	554,778606
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр																	Q =	495,709585
Розрахунковий струм окремого кабелю, А																	Ip =	21,48
Коефіцієнт допустимого навантаження																	Kдоп =	0,92
Допустима втрата напруги в КЛ, %																	dUдоп =	5
Кількість кабелів																	k =	2
Довжина лінії, км																	L =	0,5
Дані аварійного режиму																		
Струм КЗ на початку лінії, кА																	Iкз =	2,23559277
Приведений час КЗ, с																	tn =	1,5
Тепловий коефіцієнт C, (A*c^(1/2))/мм^2																	C =	90
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2																	Fкз =	30,42
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																	Kпа =	1,2
Доля навантаження в післяаварійному режимі																	Kпап =	0,8
Допустима втрата напруги в КЛ, %																	dUпадоп =	5
F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	K0, т.грн/км	Iдоп, А	dUN, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп п >= Ip	Kпа*Kдоп п*Iдоп >=	dUN <=	dUpa <=	F >= Fкз	
10	3,1	0,122	90,5381	65	0,45	0,71	4,29	90,54	12,68	2,41	-	-----	+	+	+	+	-	
16	1,94	0,113	103,784	75	0,28	0,45	2,68	103,78	14,53	1,51	-	-----	+	+	+	+	-	
25	1,24	0,099	190,854	90	0,18	0,29	1,72	190,85	26,72	0,96	-	-----	+	+	+	+	-	
<b>v</b>	35	0,89	0,095	250,953	115	0,14	0,22	1,23	250,95	35,13	0,69	35,82	35	+	+	+	+	
	50	0,62	0,09	360,927	140	0,10	0,16	0,86	360,93	50,53	0,48	51,01	50	+	+	+	+	
	70	0,443	0,086	500,501	165	0,07	0,12	0,61	500,50	70,07	0,34	70,41	70	+	+	+	+	
	95	0,326	0,083	650,451	205	0,06	0,09	0,45	650,45	91,06	0,25	91,32	95	+	+	+	+	
	120	0,258	0,081	820,823	240	0,05	0,07	0,36	820,82	114,92	0,20	115,12	120	+	+	+	+	
	150	0,206	0,079	1020,11	275	0,04	0,06	0,29	1020,11	142,82	0,16	142,98	150	+	+	+	+	
	185	0,167	0,077	1370,48	310	0,03	0,05	0,23	1370,48	191,87	0,13	192,00	185	+	+	+	+	

Рисунок 2.8 – Результати розрахунків оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять ТП1



Вибір оптимального перерізу КЛ2																			
Економічні характеристики																			
Питома вартість втрат, грн/кВт															Bo=	560,895			
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень															Ee=	0,1			
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію															Ea=	0,04			
Дані нормального режиму																			
Напруга, кВ															U =	10			
Активна розрахункова потужність споживача, кВт															P =	527,441818			
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр															Q =	608,133928			
Розрахунковий струм окремого кабелю, А															Ip =	23,24			
Коефіцієнт допустимого навантаження															Kдоп =	0,92			
Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUдоп =	5			
Кількість кабелів															k =	2			
Довжина лінії, км															L =	0,5			
Дані аварійного режиму																			
Струм КЗ на початку лінії, кА															Iкз =	2,10327525			
Приведений час КЗ, с															tn =	1,5			
Тепловий коефіцієнт C, $[A \cdot s^{1/2}] / \text{мм}^2$															C =	90			
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм <sup>2</sup>															Fкз =	28,62			
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	1,25			
Доля навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	0,8			
Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUпадоп =	5			
F, мм <sup>2</sup>	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	Ko, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	Z, т.грн	X	Kдоп*Iдоп п >= Ip	Kпа*Kдоп п*Iдоп >= Kпа*k*I p	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUpaдоп	F >= Fкз		
10	3,1	0,122	90,5381	65	0,43	0,68	5,02	90,54	12,68	2,82	-	-----	+	+	+	+	-		
16	1,94	0,113	103,784	75	0,27	0,44	3,14	103,78	14,53	1,76	-	-----	+	+	+	+	-		
25	1,24	0,099	190,854	90	0,18	0,29	2,01	190,85	26,72	1,13	-	-----	+	+	+	+	-		
<b>v</b>	35	0,89	0,095	250,953	115	0,13	0,21	1,44	250,95	35,13	0,81	35,94	35	+	+	+	+		
	50	0,62	0,09	360,927	140	0,10	0,15	1,00	360,93	50,53	0,56	51,09	50	+	+	+	+		
	70	0,443	0,086	500,501	165	0,07	0,11	0,72	500,50	70,07	0,40	70,47	70	+	+	+	+		
	95	0,326	0,083	650,451	205	0,06	0,09	0,53	650,45	91,06	0,30	91,36	95	+	+	+	+		
	120	0,258	0,081	820,823	240	0,05	0,07	0,42	820,82	114,92	0,23	115,15	120	+	+	+	+		
	150	0,206	0,079	1020,11	275	0,04	0,06	0,33	1020,11	142,82	0,19	143,00	150	+	+	+	+		
	185	0,167	0,077	1370,48	310	0,03	0,05	0,27	1370,48	191,87	0,15	192,02	185	+	+	+	+		
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	35,94								

Рисунок 2.9 – Результати розрахунків оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять ТП2

Вибір оптимального перерізу КЛЗ																				
Економічні характеристики																				
Питома вартість втрат, грн/кВт															Bo=	560,895				
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень															Ee=	0,1				
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію															Ea=	0,04				
Дані нормального режиму																				
Напруга, кВ															U =	10				
Активна розрахункова потужність споживача, кВт															P =	579,924087				
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр															Q =	540,957363				
Розрахунковий струм окремого кабелю, А															Ip =	22,89				
Коефіцієнт допустимого навантаження															Kдоп =	0,92				
Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUдоп =	5				
Кількість кабелів															k =	2				
Довжина лінії, км															L =	0,5				
Дані аварійного режиму																				
Струм КЗ на початку лінії, кА															Iкз =	2,10327525				
Приведений час КЗ, с															tn =	1,5				
Тепловий коефіцієнт C, (A*s^(1/2))/мм^2															C =	90				
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2															Fкз =	28,62				
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	1,25				
Доля навантаження в післяаварійному режимі															Kна =	0,8				
Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUпадоп =	5				
F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	Ko, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Vв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	Kпа*Kдоп >= Kна*K*Iр	dUn <= dUндоп	dUpa <= dUpaдоп	F >= Fкз			
10	3,1	0,122	90,5361	65	0,47	0,75	4,87	90,54	12,68	2,73	-	-----	+	+	+	+	-			
16	1,94	0,113	103,784	75	0,30	0,47	3,05	103,78	14,53	1,71	-	-----	+	+	+	+	-			
25	1,24	0,099	190,854	90	0,19	0,31	1,95	190,85	26,72	1,09	-	-----	+	+	+	+	-			
v	35	0,89	0,095	250,953	115	0,14	0,23	1,40	250,95	35,13	0,78	35,92	35	+	+	+	+			
	50	0,62	0,09	360,927	140	0,10	0,16	0,97	360,93	50,53	0,55	51,08	50	+	+	+	+			
	70	0,443	0,086	500,501	165	0,08	0,12	0,70	500,50	70,07	0,39	70,46	70	+	+	+	+			
	95	0,326	0,083	650,451	205	0,06	0,09	0,51	650,45	91,06	0,29	91,35	95	+	+	+	+			
	120	0,258	0,081	820,823	240	0,05	0,08	0,41	820,82	114,92	0,23	115,14	120	+	+	+	+			
	150	0,206	0,079	1020,11	275	0,04	0,06	0,32	1020,11	142,82	0,18	143,00	150	+	+	+	+			
	185	0,167	0,077	1370,48	310	0,03	0,06	0,26	1370,48	191,87	0,15	192,01	185	+	+	+	+			
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	35,92									

Рисунок 2.10 – Результати розрахунків оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять ТПЗ

## 2.5 Обґрунтування оптимального розміщення ЦРП та ТП1, ТП2 та ТП3

Втрати активної потужності в системі електропостачання залежать від місця розташування центра живлення (ЦРП для мереж 10 кВ і ТП для мереж 0,4 кВ) [28]. Оптимальним (з точки зору втрат активної потужності) варіантом є розміщення центра живлення в центрі електричних навантажень (ЦЕН) [5]. У випадку неможливості розташування ЦРП або ТП в ЦЕН (проїзна частина дороги, виробниче приміщення, підземні комунікації і т.п.) їх розташовують поблизу ЦЕН, зміщуючи при цьому в сторону джерела живлення. Скористаємось методикою розрахунку ЦЕН та картограми електричних навантажень [5]. Ця методика рекомендована авторитетними проектними організаціями і широко використовується в проектній практиці.

Для визначення координат ЦЕН необхідно побудувати картограму електричних навантажень [10]. Вона являє собою генплан підприємства з нанесеними на площі кожного виробничого об'єкту колами, радіуси яких (площі кіл) пропорційні потужності відповідного об'єкту. На площі кіл виділяються сектора, пропорційні потужності силового і освітлювального навантаження. Побудова картограми здійснюється в певному масштабі, спільному для всіх об'єктів підприємства.

$$m_p = \frac{P_p}{\pi r^2}, \quad (2.24)$$

де  $m_p$  – масштаб побудови, вибирають кратним 1,2,5;

$P_p$  – розрахункова активна потужність цеха, (кВт);

$r$  – радіус кола навантаження, см.

Прийmemo масштаб для побудови картограми:

$$m_p = 3 \text{ (кВт/см}^2\text{)}.$$

Радіуси кіл картограми електричних навантажень визначаються за формулою [3]:

$$r_i = \sqrt{\frac{P p_i}{\pi m}}, \quad (2.25)$$

Визначимо радіус кола картограми навантажень при даному масштабі для елеватору (за планом об'єкт №1):

$$r_i = \sqrt{\frac{87,07}{3,14 \cdot 3}} = 3,03 \text{ (см)}.$$

Сектор освітлювального навантаження для елеватору складає :

$$\alpha_i = \frac{360^0 \cdot P_{po}}{P_{pi}} = \frac{360 \cdot 3,07}{87,07} = 12,69^0.$$

Розрахунки такого ж змісту по іншим виробничим об'єктам підприємства зводимо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку картограми електричних навантажень окремих об'єктів та ЦЕН груп об'єктів, які під'єднуються до відповідних ТП, Вінницького насінневого заводу

№ п.п	Споживачі	Координати		P <sub>м</sub> , (кВт)	P <sub>мо</sub> , (кВт)	α <sub>к</sub>	r <sub>к</sub> , (см)
		X <sub>к</sub> , (см)	Y <sub>к</sub> , (см)				
ТП1							
1	Елеватор	5,3	13,0	99,07	3,07	11,2	3,24
2	Цех обробки насіння	8,4	10,3	110,9	2,9	9,4	3,43
3	Адміністративний корпус	7,7	7,2	49,04	7,04	51	2,28
4	20-й цех	8,9	6,8	127,05	2,05	5,81	3,67
5	Гранувальний цех	8,8	4,5	135,5	9,54	25,3	3,78
12	Погрузочний цех	5,0	6,8	25,2	0,2	2,8	1,63
	ЦЕН по групі 1	6,6	9,6				
ТП2							
6	Унісем	11,5	3,8	307,2	3,19	3,75	5,7
7	Цех дражування	12,5	5,8	114,58	2,58	8,1	3,48
8	Склад ЗГП	13,7	8,8	36,76	3,51	34,4	1,97
9	Ремонтно-механічний цех	8,6	1,3	60,09	5,09	30,5	2,52
	ЦЕН по групі 2	12,6	4,8				
ТП3							
11	Субабонент	1,6	8,0	487,43	7,43	5,49	7,2
10	Гараж	1,7	3,5	22,96	1,96	29,7	0,56
13	Теплопункт	7,3	1,6	44,11	2,11	17,2	0,46
14	Ангар	5,7	1,6	16,72	2,32	50,01	1,33
	ЦЕН по групі 3	2,2	7,2				

Разом 1557,46.

Визначаємо координати ЦЕН за формулою [1]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{pi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^3 P_{pi}} = 5,6 \text{ (см)},$$

де  $P_{p,i}$  – розрахункова активна потужність  $i$ -ої ТП, (кВт);

$X_i$  – координати абсциси  $i$ -ої ТП, см.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{pi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^3 P_{pi}} = 3,3 \text{ (см)},$$

де  $Y_i$  – координати ординати  $i$ -ої ТП цеха, (см).

Розрахована картограма та центр електричних навантажень зображені на рис.

2.11.

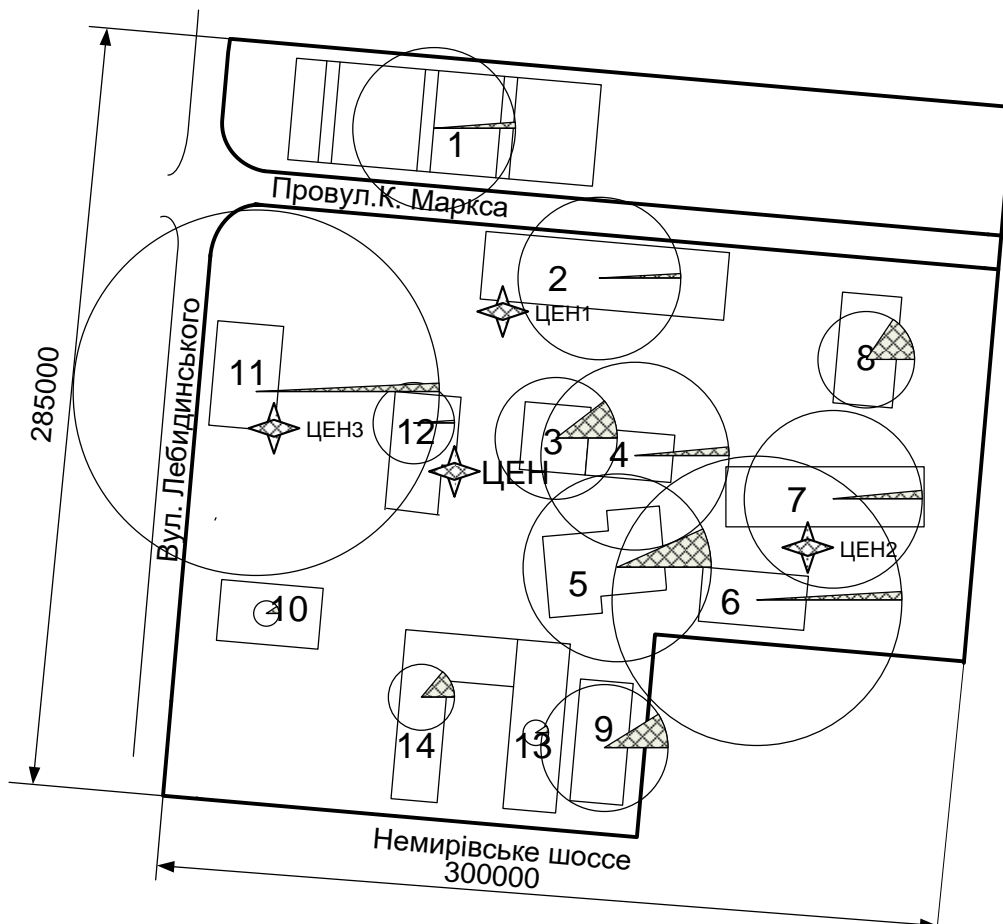


Рисунок 2.11 – Картограма, центри електричних навантажень груп споживачів та мережі 10 кВ підприємства

## 2.6 Задача оптимальної компенсації реактивних навантажень в заводських мережах 10 кВ

В будь-яких електричних мережах мають місце суттєві втрати активної потужності. Зменшити їх значення можна шляхом компенсації реактивної складової струму. Для цього здійснюють установку батарей статичних конденсаторів (БСК). Для найбільшого ефекту необхідно максимально наближати БСК до електроприймачів. Практична можливість для їх установки є в розподільних пристроях 0,4 кВ трансформаторних підстанцій. При такій установці трансформатори та мережі 10 кВ (в тому числі і лінії живлення підприємства) розвантажуються від реактивної потужності і зменшення втрат активної потужності має місце саме на цих ділянках електромережі.

Приймати рішення про вибір потужності БСК необхідно із врахуванням вимог енергопостачальної організації [32]. Для Вінницького насінневого заводу встановлено значення вхідної реактивної потужності 100 квар. За цих умов недопустимими є зворотні перетоки реактивної потужності із мереж підприємства в мережі енергопостачальної організації. Враховуючи те, що реактивна потужність, що споживається, змінюється на протязі доби БСК вибираються з можливістю регулювання їх потужності.

На етапі розробки системи електроспоживання вирішуються питання оптимального розподілу вхідної реактивної потужності між цеховими ТП та вибору потужності БСК, що мають бути встановленими на кожній ТП. Задача розподілу реактивної потужності між ТП є багатоваріантною і тому її можна вирішувати як оптимізаційну. Критерієм вирішення зазначеної задачі можуть бути сумарні втрати активної потужності в мережах 10 кВ [31]. Природно, що необхідно забезпечити такий їх розподіл, якому відповідає мінімум згаданих втрат. Вирішувати таку оптимізаційну задачу можна за математичною моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{\Sigma} = \frac{10^{-3}}{U_H^2} \sum_{i=1}^N Q_{ei} * R_{ei} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^N Q_{ei} = Q_e \\ Q_{pi} = Q_{ei} \end{array} \right. \quad (2.25)$$

де  $N$  – кількість вузлів електричної енергії, де мають бути встановлені БСК величиною  $Q_{ei}$ :

$U_H$  – номінальна напруга мережі;

$R_{ei}$  – еквівалентний опір мереж  $i$ -го приєднання;

$Q_{ei}$  – величина реактивної потужності, яку доцільно передавати в  $i$ -тий вузол електричної мережі з точки зору мінімальних загальних втрат потужності.

Із множини існуючих методів оптимізації для вирішення зазначеної задачі виберемо метод невизначених множників Лагранжа [35]. Розрахуємо оптимальне значення долі вхідної потужності –  $Q_e$ , що доцільно передати  $i$ -й вузол мережі забезпечуючи при цьому мінімальні втрати активних навантажень в мережах 10 кВ підприємства [7]:

$$Q_{ei} = \frac{10^3 * U_H^2 * \lambda}{2R_{ei}};$$

де  $\lambda$  - множник Лагранжа, 
$$\lambda = \frac{B * Q_{BB}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_{ei}}},$$

$Q_{BB}$  - вхідна реактивна потужність, яка задана енергосистемою;

$B$ - коефіцієнт, 
$$B = \frac{2 * 10^3}{U_H^2} = \frac{2 * 10^3}{10^2} = 2 * 10^{-5}.$$

Потужність БСК, для встановлення [1]:

$$Q_{КУ} \geq Q_m - Q_e = 1423,7 - 100 = 1323,7 \text{ (квар)}.$$

Для розрахунку значення  $Q_{ei}$  скористаємось схемою заміщення розподільчої мережі підприємства, яка зображена на рис. 2.12.

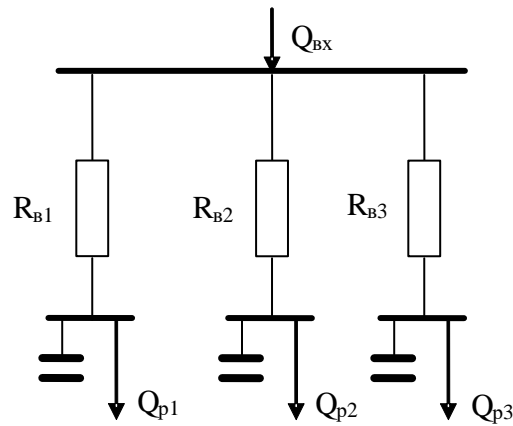


Рисунок 2.12 – Спрощена R-схема заміщення розподільної мережі 10 кВ підприємства

Розрахуємо еквівалентний опір розподільної мережі 10 кВ. Для цього використаємо інформацію про перерізи кабелів та довжини ліній. Питомий опір кабеля (до ТП1, ТП2 та ТП3) ААБ(3\*35) 0,95 Ом/км [15]. Довжини зазначених кабелів та відповідні опори кожної ділянки, табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Опори ділянок кабеля 10 кВ

Ділянка	Довжина (L), км	Опір ( $R_{лі}$ , Ом)
ЦРП- ТП1	0,06	0,06
ЦРП- ТП2	0,25	0,24
ЦРП- ТП	0,2	0,19

Оскільки на всіх ТП однакова кількість та потужності трансформаторів (ТМ630), то врахування їх опорів при розрахунку розподілу вхідної реактивної потужності немає потреби.

Еквівалентні опори ділянок розподільної мережі 10 кВ:

$$R_{e1}=0,06 \text{ (Ом);}$$

$$R_{e2}=0,24 \text{ (Ом);}$$

$$R_{e3}=0,19 \text{ (Ом);}$$



$$\Sigma \frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{e_1}} + \frac{1}{R_{e_2}} + \frac{1}{R_{e_3}} = 26,1 \text{ (См)}.$$

Множник Лагранжа:

$$\lambda = \frac{2 * 10^{-5} * 100}{26,1} = 7,61 * 10^{-5}.$$

Значення  $Q_{ei}$ , які доцільно передавати у вузли навантаження:

$$Q_{e1} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 7,61 * 10^{-5}}{2 * 0,06} = 69,83 \text{ (квар)};$$

$$Q_{e2} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 7,61 * 10^{-5}}{2 * 0,24} = 17,46 \text{ (квар)};$$

$$Q_{e3} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 7,61 * 10^{-5}}{2 * 0,19} = 22,05 \text{ (квар)}.$$

Розрахуємо потужність конденсаторних батарей, що потрібно встановити на кожній  $i$ -тій ТП –  $Q_{BK_i}$ :

$$Q_{BK_i} = Q_{Pi} - Q_{ei}, \quad (2.26)$$

де  $Q_{Pi}$  – розрахункова реактивна потужність вузла  $i$ ;

$$Q_{BK1} = 448,67 - 69,83 = 378,83 \text{ (квар)};$$

$$Q_{BK2} = 557,52 - 17,46 = 540,06 \text{ (квар)};$$

$$Q_{BK3} = 490,99 - 22,05 = 468,94 \text{ (квар)};$$

Компенсацію реактивної потужності виконаємо за допомогою керованих комплектних конденсаторних установок серії ККУ-0,4 [28].

Для ТП1 виберемо ККУ-0,4-200/10-20-21УЗ загальною потужністю 200 квар на кожну секцію збірних шин (всього 2 шт.). Конденсаторна установки має по 10 секцій регулювання потужністю 20 квар. Загальна потужність БСК, встановлених на ТП1 становить 400 квар

Те саме, для ТП2 – 2 конденсаторних установки ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ загальною потужністю 240 квар, яка має 12 секцій по 20 квар, а також 2 конденсаторних установки ККУ-0,4-30/6-5-21УЗ загальною потужністю 30 квар,

яка має 5 секцій по 6 квар. Загальна потужність БСК, встановлених на ТП2 становить 540 квар

Те саме, для ТП3 – 2 конденсаторних установки ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ загальною потужністю 240 квар, яка має 12 секцій по 20 квар. Загальна потужність БСК, встановлених на ТП3 становить 480 квар

Потужності вибраних конденсаторних установок керовані, що ефективно дозволяє здійснювати компенсацію реактивної потужності протягом доби. Установки укомплектовані автоматичними мікропроцесорними регуляторами реактивної потужності. Управління реактивною потужністю можна здійснювати як в ручному, так і в автоматичному режимах.

## 2.7 Висновки до розділу 2

1. Оптимальним рішенням для системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» є установка трьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА кожна.

2. Кабельні мережі 10 кВ доцільно виконати такими перерізами:

- підстанція 110/10 кВ «Східна» – ЦРП 2(3×50);
- ЦРП – ТП1 2(3×35);
- ЦРП – ТП2 2(3×35);
- ЦРП – ТП3 2(3×35).

3. Оптимальним рішенням для зниження активних втрат в мережах 10 кВ та трансформаторах є установка таких комплектних БСК:

- ТП1 ККУ-0,4-200/10-20-21УЗ в кількості 2 шт;
- ТП 2 ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ в кількості 2 шт, а також ККУ-0,4-30/6-5-21УЗ в кількості 2 шт;
- ТП3 ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ в кількості 2 шт.

### РОЗДІЛ 3

## СИМЕТРУВАННЯ РЕЖИМУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ

Стан системи електропостачання системи електропостачання будь-якого об'єкту характеризується параметрами електричного режиму. Серед параметрів електричного режиму є параметри, що характеризують якість електроенергії. Їх відхилення від нормативних значень, що нормуються державним стандартом, приводить до появи збитків. Розповсюджене в сучасних системах електропостачання явище несиметрії електричного режиму, характеризується суттєвими значеннями відповідних показників. Їх зменшення є актуальною потребою також і для ВАТ «Вінницький насінневий завод».

Існує багато способів вирівнювання завантаження по фазах чотирипровідної електричної мережі. Одним із них є спосіб, що не потребує для своєї реалізації додаткових капітальних вкладень – спосіб внутрішнього симетрування, який полягає у вирівнюванні навантажень по фазах мережі шляхом розподілу однофазних електроприймачів. На підприємстві «Вінницький насінневий завод» в цеху обробки насіння використовуються фільтри потужністю 2 – 4 кВт однофазного виконання в кількості 7 шт. Живляться вони від одного вузла навантаження чотирипровідної мережі 0,4 кВ. Для даного вузла актуальною є задача внутрішнього симетрування.

Задача внутрішнього симетрування може вирішуватись, як оптимізаційна. Вирішувати її можна методами дослідження операцій, методологія яких передбачає розробку математичної моделі [17, 18].

В даному розділі кваліфікаційної роботи розроблена математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень в чотирипровідній мережі, а її працездатність перевірена на числовому прикладі.

3.1 Обґрунтування критерію ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені

Оптимізаційну задачу можна вирішити методами дослідження операцій лише у випадку наявності кількісного критерію ефективності, що дає змогу виконувати перебір варіантів, порівнювати їх між собою за критерієм ефективності та відбирати кращі. В результаті чого можна серед множини рішень вибрати те, яке задовольняє умові мінімуму або максимуму [7].

Критерій ефективності може мати технічний або і економічний зміст. Оскільки несиметрія режиму супроводжується появою збитків, то за критерій ефективності в даній задачі можна прийняти значення зазначених збитків. Цей критерій безпосередньо вказує на цільову спрямованість задачі внутрішнього симетрування. Але проведені наукові дослідження указують на те що цей критерій описується складною функцією [21], а також за своєю природою є не вимірюваною величиною. Тому в практиці такий критерій використаним бути не може [19].

Несиметрія режиму в чотирипровідній мережі характеризується наявністю симетричних складових зворотної та нульової послідовності. Мірою ефективності того або іншого впливу на режим зворотної послідовності може бути модуль струму зворотної послідовності –  $I_2$ , а на режим нульової послідовності модуль струму нульової послідовності –  $I_0$ . Тому задачу симетрування в чотирипровідній мережі слід розглядати як багатокритеріальну. Як показують дослідження зазначені критерії є супупечливі [15], тобто при реалізації деякого заходу, що зменшує, наприклад, струм зворотної послідовності може одночасно збільшуватись струм нульової послідовності і навпаки.

В математиці існує ряд підходів для вирішення багатокритеріальних задач. Один із них метод середньозваженого критерію [32]. Середньозважений критерій складається з ряду доданків, кожен з яких по-суті є одним із критеріїв вирішення задачі. Ці складові можуть бути різної природи, а також і різної вимірності. Зазначений метод має можливість змінювати вагомість кожної складової середньозваженого критерію шляхом зміни вагового коефіцієнту.

Середньозважений критерій можна запропонувати і для задачі внутрішнього симетрування навантажень це сумарні додаткові втрати активної потужності, зумовлені струмами  $I_2$  та  $I_0$ :

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_2 + \Delta P_0, \quad (3.1)$$

де  $\Delta P_2$  та  $\Delta P_0$  – додаткові втрати активної потужності, при протіканні струмів  $I_2$  та  $I_0$ .

Для критерію (3.1) складові також можуть мати різні вагові коефіцієнти. Наприклад, у випадку, коли в системі електроспоживання є асинхронні двигуни, що працюють з перевантаженням, та мають суттєвий додатковий нагрів струмами  $I_2$ . Це приводить зменшення надійності та до скорочення терміну служби ізоляції. В такому випадку  $\Delta P_2$  можна ввести в критерій ефективності з ваговим коефіцієнтом  $>1$ . В результаті, задача зменшення струму  $I_2$  стає більш пріоритетною. Звичайно, значення такого вагового коефіцієнта повинно в кожному конкретному випадку обґрунтовуватися дослідженнями.

Дія, яка полягає в певному під'єднанні групи несиметричних електроприймачів до мережі має здійснюватись при виконанні таких умов:

- обов'язкове під'єднання кожного із електроприймачів до мережі;
- кожний окремо взятий електроприймач має бути під'єднаним до однієї із напруг трифазної чотирипровідної мережі.

Зазначені умови мають бути аналітично описані і включені в число технічних обмежень математичної моделі. В іншому випадку рішення, отримане за математичною моделлю, практично реалізувати буде не можливо.

### 3.2 Математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень при під'єднанні до чотирипровідної мережі

3.2.1 Аналітичний опис критерію ефективності (цільової функції). Для аналітичного опису всіх співвідношень, що входять до математичної моделі потрібно ввести змінні, встановивши певний їх зміст. Задача внутрішнього

симетрування потребує цілочислових розв'язків і відноситься до класу цілочислових оптимізаційних задач [29]. Для забезпечення зазначеної особливості зазначеної задачі приймемо змінні, що можуть набувати лише такі значення: 1 або 0, –  $x_{im} \in \{1, 0\}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $m=1, 2, 3$  (булеві змінні). Якщо змінна  $x_{im}$  в результаті вирішення задачі або за результатами будь-якої ітерації дорівнює 1, то це реалізується ввімкненням  $i$ -го навантаження на напругу  $m$ , а якщо  $x_{im} = 0$ , навантаження  $i$  не вмикається на напругу  $m$ . Ведені змінні створюють вектор змінних:

$$X^T = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{n3}). \quad (3.2)$$

де  $T$  – індекс транспонування матриці.

Струмів  $\dot{I}_2$  та  $\dot{I}_0$  в лінії живлення створюються шляхом накладання відповідних струмів окремих несиметричних навантажень. На підставі цього додаткові втрати активної потужності  $\Delta P_2$  та  $\Delta P_0$ , зумовлені цими струмами, можна описати так:

$$\Delta P_2 = 3 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_m^3 \dot{I}_{2im} x_{im} \right\}^2 \cdot r_2, \quad (3.3)$$

$$\Delta P_0 = 12 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{0im} x_{im} \right\}^2 \cdot r_0, \quad (3.4)$$

де  $r_2$  та  $r_0$  – відповідно активна складова опору струму зворотної та нульової послідовностей.

Цільова функція задачі внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів при їх під'єднання до чотирипровідної мережі може бути записана таким чином:

$$3 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{2im} x_{im} \right\}^2 \cdot r_2 + 12 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{0im} x_{im} \right\}^2 \cdot r_0 \rightarrow \min . \quad (3.5)$$

3.3.2 Аналітичний опис умови обов'язковості під'єднання кожного із несиметричних електроприймачів. Зазначена умова має бути описаною для того, щоб виключити можливість не приєднання однофазних електроприймачів до мережі з метою зменшення несиметрії електричного режиму. Умова обов'язкового під'єднання до мережі  $i$ -го однофазного електроприймача через змінні, що введені, запишеться таким чином:

$$x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} = 1. \quad (3.6)$$

Одночасно це рівняння буде виконуватись лише у разі під'єднання  $i$ -го навантаження лише до однієї із напруг.

Те саме, але для всіх однофазних електроприймачів можна записати:

$$x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.7)$$

3.3.4 Математична модель. Отримані аналітичні вирази, що описують цільову функцію та обмеження дають можливість записати математичну модель внутрішнього симетрування в функціональному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} 3 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{2im} x_{im} \right\}^2 \cdot r_2 + 12 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{0im} x_{im} \right\}^2 \cdot r_0 \rightarrow \min \\ \sum_{m=1}^3 x_{im} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ x_{im} = 1 \vee 0, \end{array} \right. \quad (3.8)$$

де  $\vee$  – символ логічної операції „АБО”.

Оскільки  $x_{im} = 1 \vee 0$ , то математичну модель (3.8) слід віднести до класу моделей дискретного програмування. Обмеження лінійні залежності керованих змінних.

Цільова функція має дві складові вигляду  $f(x) + j\varphi(x)$  і тому її слід віднести до класу не скалярних. Цільова функція математичної моделі (3.8) квадратично залежна від струмів  $\dot{I}_2$  та  $\dot{I}_0$ . В цьому її відмінність від відомих математичних моделей не скалярної оптимізації [22]. Саме тому для її аналізу неможна використати відомі методи.

З цієї причини для аналізу математичної моделі розроблено числовий метод.

### 3.3 Алгоритм вирішення задачі внутрішнього симетрування

Задачу внутрішнього симетрування електричних навантажень можна вирішувати як багатоетапну. Ідея, реалізована в розробленому алгоритмі, полягає в тому, що спочатку знаходиться будь-який допустимий розв'язок. Далі перебираючи варіанти знаходиться найбільш ефективно перемикання одного із електроприймачів на іншу напругу. Отриманий результат порівнюється із вихідним. Якщо отримано зменшення критерію ефективності порівнянно із вихідним станом, то такий варіант приймається до реалізації. Наступні етапи є продовженням такого ж розрахунку. Розрахунки припиняються якщо досягнуто такого стану, коли будь-яке перемикання по всім електроприймачам буде супроводжуватись збільшенням числового значення критерію ефективності

Обчислювальний метод, що розроблено, передбачає попередню оцінку вихідного стану системи для випадку, коли всі електроприймачі під'єднані до напруги  $\dot{U}_A$ . Цьому відповідає вектор під'єднань:

$$X^T = (100100100\dots). \quad (3.9)$$



Розраховується вектора  $\dot{I}_{2im}$  та  $\dot{I}_{0im}$ , що створюються окремими електроприймачами, результуючі струми  $\dot{I}_0$  і  $\dot{I}_2$  в лінії живлення та сумарні додаткові втрати активної потужності в лінії живлення, зумовлені несиметрією режиму –  $\Delta P_\Sigma$ .

Для будь-якого  $k$ -го етапу вирішення задачі можна запропонувати алгоритм, оснований на методі динамічного програмування. Для деякого  $k$ -го етапу він полягає в наступному.

Крок 1. Розраховуються  $\Delta P_\Sigma$  для всіх можливих варіантів почергового перемикавання кожного із навантажень на всі інші напруги.

Крок 2. Із всіх варіантів вибирається той, де мають місце найменші додаткові втрати потужності –  $\Delta P_{\Sigma k}$ .

Крок 3. Порівнюється значення  $\Delta P_{\Sigma k}$  із  $\Delta P_{\Sigma(k-1)}$ , отриманим на попередньому етапі.

Крок 4. Якщо  $\Delta P_{\Sigma k} < \Delta P_{\Sigma(k-1)}$ , то отримане рішення реалізується (відповідна компонента вектора керування  $X_{(k-1)}$  прирівнюється до одиниці, а компонента, що відповідала попередньому під'єднанню цього електроприймача, прирівнюється до нуля) та виконується перехід до кроку 1. В іншому випадку рішення, отримане за результатами попереднього ( $k - 1$ ) етапу оптимальне і розрахунки припиняються.

Алгоритм вирішення задачі можна зобразити блок-схемою, рис. 3.1:

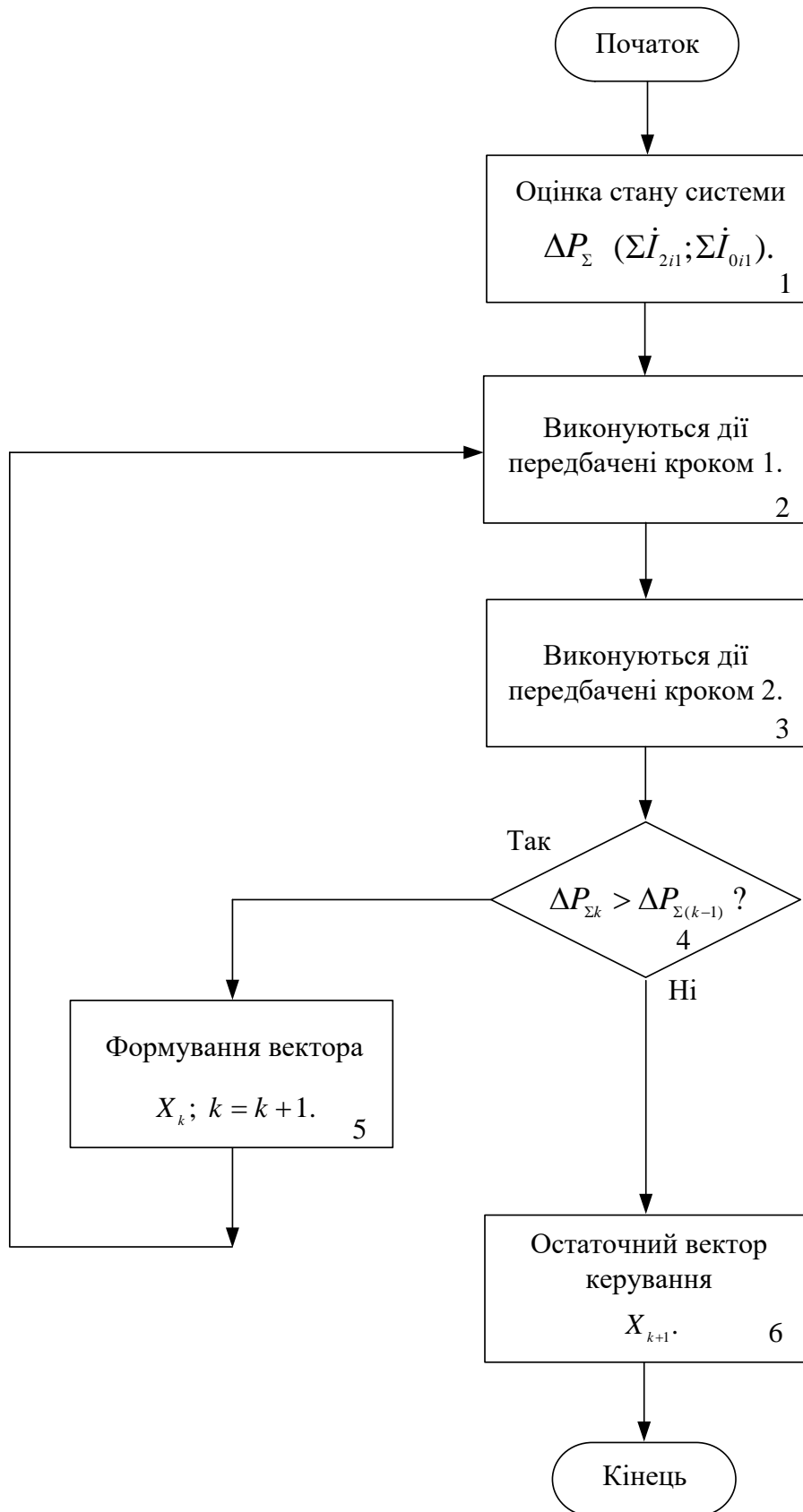


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму аналізу математичної моделі (3.8)

### 3.4 Тестовий приклад знаходження рішень задачі внутрішнього симетрування навантажень за розробленим алгоритмом

Проведемо розрахунки з метою перевірки розробленої математичної моделі на адекватність та працездатність розробленого алгоритму розрахунків.

Приклад.

Від вузла чотирипровідної електричної мережі живиться група несиметричних однофазних електроприймачів, що під'єднані до фазних напруг. Необхідні вихідні дані для вирішення тестового прикладу про електричну мережу та характеристики однофазних електроприймачів, наведені на рис. 3.2.

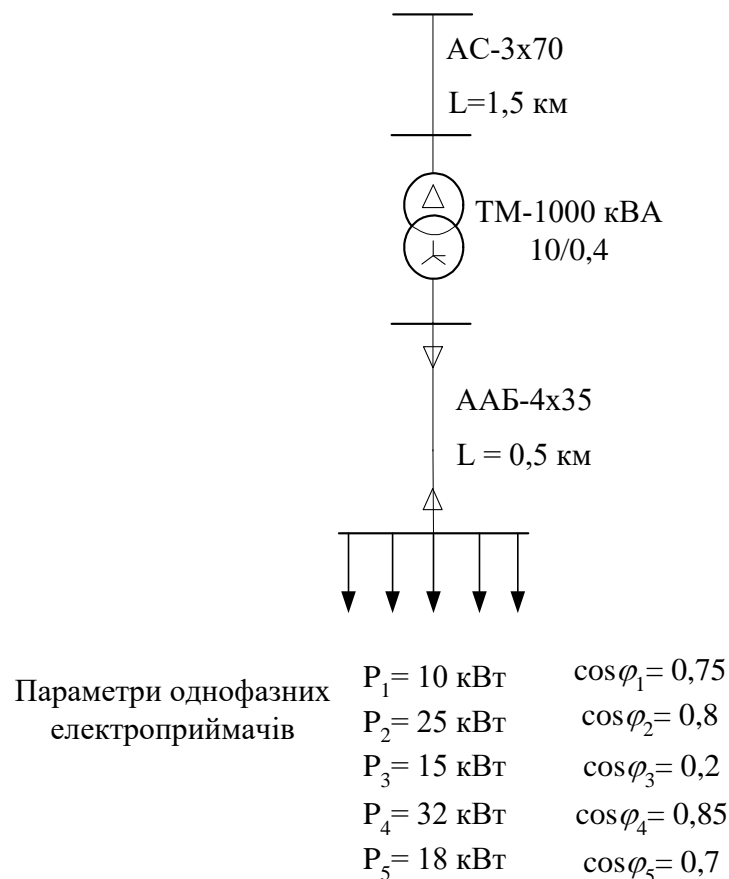


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема і вихідні дані тестової задачі

Розрахувати рішення, що забезпечує мінімум додаткових втрат активної потужності, зумовлених несиметрією режиму (мінімально можливою несиметрією режиму) в лінії живлення в результаті під'єднання однофазних електроприймачів до чотирипровідної мережі.

### Розв'язування

Складемо схему заміщення електричної мережі та розрахуємо її параметри в системі іменованих одиниць. Отримані результати приведемо до напруги 0,4 кВ.

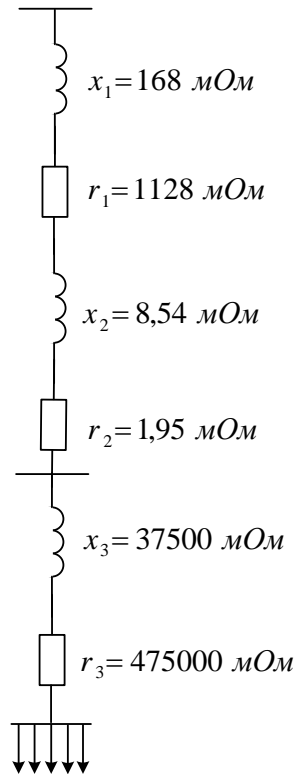


Рисунок 3.3 – Схема заміщення розрахункової ділянки електричної мережі

Знайдемо сумарні значення реактивного та активного опорів:

$$x_{\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 = 0,000168 + 0,00000854 + 0,0375 = 0,038 \text{ (} \Omega \text{)}; \quad (3.10)$$

$$r_{\Sigma} = r_1 + r_2 + r_3 = 0,001128 + 0,00000195 + 0,475 = 0,476 \text{ (} \Omega \text{)}. \quad (3.11)$$

Подальші розрахунки виконаємо відповідно до розробленого алгоритму аналізу математичної моделі оптимального розподілу однофазних навантажень, рис. 3.2.

Крок 1. Припустимо, що всі електроприймачі підключені до напруги  $U_A$ . Виконаємо оцінку варіантів почергового перемикавання кожного із навантажень на

іншу напругу трифазної мережі. Для цього потрібно розрахувати значення струмів зворотної і нульової послідовностей, що генерується кожним однофазним електроприймачем при підключенні його до кожної з трьох фаз:

для електроприймача №1

$$\begin{aligned} \dot{I}_{211} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} \cdot e^{-j\varphi_{\Lambda}^{\circ}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{10}{0.4 \cdot 0.75} \cdot e^{-j41.41^{\circ}} = 11.11 \cdot e^{-j41.41^{\circ}} = \\ &= 8.33 - 7.35(A); \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{011} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} \cdot e^{-j\varphi_{\Lambda}^{\circ}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{10}{0.4 \cdot 0.75} \cdot e^{-j41.41^{\circ}} = \\ &= 11.11 \cdot e^{-j41.41^{\circ}} = 8.33 - 7.35(A). \end{aligned} \quad (3.13)$$

Результати розрахунків для інших електроприймачів зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку струмів  $|\dot{I}_2|$  та  $|\dot{I}_0|$

Порядковий №	№ ЕП	На яку напругу включається	$\text{Re } \dot{I}_2$	$\text{Im } \dot{I}_2$	$ \dot{I}_2 $	$\text{Re } \dot{I}_0$	$\text{Im } \dot{I}_0$	$ \dot{I}_0 $
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	$U_A$	8.33	-7.35	11.11	8.33	-7.35	11.11
2	2	$U_A$	20.83	-15.62	26.04	20.83	-15.62	26.04
3	3	$U_A$	12.5	-61.24	62.5	12.5	-61.24	62.5
4	4	$U_A$	26.66	-16.53	31.37	26.66	-16.53	31.37
5	5	$U_A$	15	-15.3	21.43	15	-15.3	21.43
6	1	$U_B$	2.19	10.89	11.11	-10.53	-3.54	11.11
7	2	$U_B$	3.11	25.85	26.04	-23.95	-10.23	26.04
8	3	$U_B$	46.78	41.45	62.5	-59.28	19.79	62.5

9	4	$U_B$	0.98	31.36	31.38	-27.64	-14.83	31.37
10	5	$U_B$	5.75	20.65	21.44	-20.75	-5.34	21.43
11	1	$U_C$	-10.53	-3.54	11.11	2.19	10.89	11.11
12	2	$U_C$	-23.95	-10.23	26.04	3.11	25.85	26.04
13	3	$U_C$	-59.28	19.79	62.5	46.78	41.45	62.5
14	4	$U_C$	-27.64	-14.83	31.37	0.98	31.36	31.38
15	5	$U_C$	-20.75	-5.34	21.43	5.75	20.65	21.44

Розрахуємо втрати активної потужності в лінії живлення, що мають місце при протіканні струмів зворотної та нульової послідовностей за умови, що всі електроприймачі підключені на напругу фази А., тобто вектор керування:

$$X^T = (100100100100100).$$

Для цього спочатку розрахуємо сумарний струм зворотної та нульової послідовностей, який буде протікати при підключенні усіх електроприймачів на напругу фази А:

$$\dot{I}_2 = 83,32 + j116,04 = 142,855 \cdot e^{-j54,32} \text{ (A)}; \quad (3.14)$$

$$\dot{I}_0 = 64,46 + j112,23 = 129,424 \cdot e^{-j60,13} \text{ (A)}; \quad (3.15)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 142,855^2 = 29,14 \text{ (кВт)}; \quad (3.16)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 129,424^2 = 116,57 \text{ (кВт)}; \quad (3.17)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 29,14 + 116,57 = 145,7 \text{ (кВт)}. \quad (3.18)$$

Такі ж, розрахунки проводимо для усіх інших можливих варіантів під'єднання п'яти однофазних електроприймачів до трифазної системи напруг. Сумарні додаткові втрати активної потужності для випадку, при якому вектор керування має вигляд  $X^T = (010100100100100)$  будуть рівними:

$$\dot{I}_2 = 77,18 - j97,8 = 124,586 \cdot e^{-j51,72} \text{ (A)}; \quad (3.19)$$

$$\dot{I}_0 = 64,46 + j112,23 = 129,424 \cdot e^{j60,13} \text{ (A)}; \quad (3.20)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 124,586^2 = 22,16 \text{ (кВт)}; \quad (3.21)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 129,424^2 = 95,68 \text{ (кВт)}; \quad (3.22)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 22,16 + 95,68 = 117,8 \text{ (кВт)}. \quad (3.23)$$

Для вектора керування  $X^T = (001100100100100)$ :

$$\dot{I}_2 = 64,46 + j112,23 = 129,424 \cdot e^{-j60,13} \text{ (A)}; \quad (3.24)$$

$$\dot{I}_0 = 77,18 - j97,8 = 124,586 \cdot e^{-j51,72} \text{ (A)}; \quad (3.25)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 129,424^2 = 23,92 \text{ (кВт)}; \quad (3.26)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 124,586^2 = 88,66 \text{ (кВт)}; \quad (3.27)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 23,92 + 88,66 = 112,6 \text{ (кВт)}. \quad (3.28)$$

Для вектора керування  $X^T = (100010100100100)$ :

$$\dot{I}_2 = 65,6 - j74,57 = 99,318 \cdot e^{-j48,66} \text{ (A)}; \quad (3.29)$$

$$\dot{I}_0 = 38,54 - j110,65 = 117,169 \cdot e^{-j70,8} \text{ (A)}; \quad (3.30)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 99,318^2 = 14,09 \text{ (кВт)}; \quad (3.31)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 117,169^2 = 78,42 \text{ (кВт)}; \quad (3.32)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 14,09 + 78,42 = 92,5 \text{ (кВт)}. \quad (3.33)$$

Для вектора керування  $X^T = (100001100100100)$ :

$$\dot{I}_2 = 38,54 - j110,65 = 117,169 \cdot e^{-j70,8} \text{ (A)}; \quad (3.34)$$

$$\dot{I}_0 = 65,6 - j74,57 = 99,318 \cdot e^{-j48,66} \text{ (A)}; \quad (3.35)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 117,169^2 = 19,6 \text{ (кВт)}; \quad (3.36)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 99,318^2 = 56,34 \text{ (кВт)}; \quad (3.37)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 19,6 + 56,34 = 75,79 \text{ (кВт)}. \quad (3.38)$$

Для вектора керування  $X^T = (100100010100100)$ :

$$\dot{I}_2 = 117,6 - j13,35 = 118,355 \cdot e^{-j6,48} \text{ (А)}; \quad (3.39)$$

$$\dot{I}_0 = 11,54 - j35,01 = 36,86 \cdot e^{-j71,76} \text{ (А)}; \quad (3.40)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 118,355^2 = 20 \text{ (кВт)}; \quad (3.41)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 36,86^2 = 7,76 \text{ (кВт)}; \quad (3.42)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 20 + 7,76 = 27,77 \text{ (кВт)}. \quad (3.43)$$

Для вектора керування  $X^T = (100100001100100)$ :

$$\dot{I}_2 = 11,54 - j35,01 = 36,86 \cdot e^{-j71,76} \text{ (А)}; \quad (3.44)$$

$$\dot{I}_0 = 117,6 - j13,35 = 118,355 \cdot e^{-j6,48} \text{ (А)}; \quad (3.45)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 36,86^2 = 1,94 \text{ (кВт)}; \quad (3.46)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 118,355^2 = 80,01 \text{ (кВт)}; \quad (3.47)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 1,94 + 80,01 = 81,95 \text{ (кВт)}. \quad (3.48)$$

Для вектора керування  $X^T = (100100100010100)$ :

$$\dot{I}_2 = 57,64 - j68,15 = 89,26 \cdot e^{-j49,78} \text{ (А)}; \quad (3.49)$$

$$\dot{I}_0 = 29,02 - j114,34 = 117,965 \cdot e^{-j6,48} \text{ (А)}; \quad (3.50)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 89,26^2 = 11,38 \text{ (кВт)}; \quad (3.51)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 117,965^2 = 79,49 \text{ (кВт)}; \quad (3.52)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 11,38 + 79,49 = 90,86 \text{ (кВт)}. \quad (3.53)$$



Для вектора керування  $X^T = (100100100001100)$ :

$$\dot{I}_2 = 29,02 - j114,34 = 117,965 \cdot e^{-j6,48} \text{ (A)}; \quad (3.54)$$

$$\dot{I}_0 = 57,64 - j68,15 = 89,26 \cdot e^{-j49,78} \text{ (A)}; \quad (3.55)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 117,965^2 = 19,87 \text{ (кВт)}; \quad (3.56)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 89,26^2 = 45,51 \text{ (кВт)}; \quad (3.57)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 19,87 + 45,51 = 65,38 \text{ (кВт)}. \quad (3.58)$$

Для вектора керування  $X^T = (100100100100010)$ :

$$\dot{I}_2 = 74,07 - j80,09 = 109,09 \cdot e^{-j47,24} \text{ (A)}; \quad (3.59)$$

$$\dot{I}_0 = 47,57 - j106,08 = 116,258 \cdot e^{-j65,85} \text{ (A)}; \quad (3.60)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 109,09^2 = 16,99 \text{ (кВт)}; \quad (3.61)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 116,258^2 = 77,2 \text{ (кВт)}; \quad (3.62)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 16,99 + 77,2 = 94,19 \text{ (кВт)}. \quad (3.63)$$

Для вектора керування  $X^T = (100100100100001)$ :

$$\dot{I}_2 = 47,57 - j106,08 = 116,258 \cdot e^{-j65,85} \text{ (A)}; \quad (3.64)$$

$$\dot{I}_0 = 74,07 - j80,09 = 109,09 \cdot e^{-j47,24} \text{ (A)}; \quad (3.65)$$

$$\Delta P_{2\Sigma} = 3 \cdot 0,476 \cdot 116,258^2 = 19,3 \text{ (кВт)}; \quad (3.66)$$

$$\Delta P_{0\Sigma} = 12 \cdot 0,476 \cdot 109,09^2 = 67,98 \text{ (кВт)}; \quad (3.67)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 19,3 + 67,98 = 87,28 \text{ (кВт)}. \quad (3.68)$$

Крок 2. Із всіх розглянутих варіантів перемикання кожного однофазного електроприймача на всі напруги (крім напруги  $U_A$ ) вибираємо той, який забезпечує найменше значення додаткових втрат активної потужності  $\Delta P_{\Sigma}$ .

Результати розрахунків по першій ітерації зводимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку  $\Delta P_{2\Sigma}$ ,  $\Delta P_{0\Sigma}$  та  $\Delta P_{\Sigma}$

Етап вирішення задачі	Вектор керування $X^T$	$\Delta P_{2\Sigma}$ , Вт	$\Delta P_{0\Sigma}$ , Вт	$\Delta P_{\Sigma}$ , Вт
Вихідний стан	(100100100100100)	29140	116568	145700
Перша ітерація				
	(010100100100100)	22160	95680	117800
	(001100100100100)	23920	88660	112600
	(100010100100100)	14090	78420	92500
	(100001100100100)	19600	56340	75950
	(100100010100100)	20000	7762	27770
	(100100001100100)	1940	80010	81950
	(100100100010100)	11380	79490	90860
	(100100100001100)	19870	45510	65380
	(100100100100010)	16994	77202	94190
	(010100100100101)	19300	67976	87280

На першій ітерації найменші втрати активної потужності (27770 Вт) забезпечуються при реалізації такого вектора керування:

$$X^T = (100100010100100).$$

Результати розрахунків на кожній наступній ітерації зведені в таблицю 3.3.

Крок 3. Порівнюємо значення сумарних втрат активної потужності на першій ітерації з втратами, які відповідають вихідному стану (вектор керування (100100100100100)).

Крок 4. Оскільки значення втрат на першій ітерації менші ніж при вихідному стані, тому отриманий вектор керування приймаємо до реалізації.

Відповідно до алгоритму, рис. 3.1, виконуємо перехід до кроку 1 і продовжуємо розрахунки з пошуку оптимального розподілу однофазних електроприймачів між фазами чотирипровідної електричної мережі.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку на наступних етапах вирішення задачі

Етапи вирішення задачі	Вектор керування $X^T$	$\Delta P_2$ , Вт	$\Delta P_0$ , Вт	$\Delta P_\Sigma$ , Вт
Вихідний стан	(100100100100100)	29140	116600	145700
1	(100100010100100)	20000	7762	27770
2	(100001010100100)	8730	456	9186
3	(001001010100100)	4182	4352	8534
4	(001001010100010)	4299	11630	15930

Як видно із таблиці 3.2 на четвертому етапі сумарні втрати активної потужності  $\Delta P_\Sigma$  збільшилися, це свідчить про те, що оптимальний розв'язок даної задачі знайдено на третьому етапі. На цьому розрахунки припиняються, оптимальне рішення знайдено.

### 3.5 Висновки до розділу 3

1. Задача внутрішнього симетрування однофазних навантажень оптимізаційна і багатокритеріальна. Вирішувати її можна методами дослідження операцій. За критерієм мінімуму сумарних додаткових втрат активної потужності.

2. Для вирішення задачі оптимального розподілу однофазних навантажень розроблена математична модель, яка відноситься до класу

квадратичних, нескалярних та цілочислових, і тому для її аналізу можна використати розроблений обчислювальний метод, який базується на методі динамічного програмування.

3. Для демонстрації ефективності роботи розробленої математичної моделі та обчислювального методу розрахований тестовий приклад. Отримані результати свідчать про працездатність розробленого алгоритму, а також ефективність впровадження виконаних розробок.

## РОЗДІЛ 4.

## ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

Економічну ефективність комплексу розроблених в МКР технічних заходів, а також кожного окремо із них є потреба в оцінюванні. Така оцінка необхідна для обґрунтування доцільності витрат на впровадження будь-якого технічного заходу і може бути виконаною за різними показниками. Один із них – собівартість електроенергії для підприємства. Це інтегральний показник, за яким розраховується вартість електроенергії в собівартості продукції і має ряд складових. Собівартість електроенергії для ВАТ «Вінницький насінневий завод» розрахована в даному розділі. При розрахунках прийнято ряд спрощень, пов'язаних із недостатністю інформації або її неточністю.

## 4.1 Розрахунок чисельності обслуговуючого та ремонтного персоналу

Чисельність електроперсоналу визначається трудомісткістю поточного ремонту та технічного обслуговування електрообладнання та мереж [20]. Планова трудомісткість відповідного виду робіт  $T'$  ( $T_{п р}$ ,  $T_{огл}$ ) визначається:

$$T' = \Pi * t_{норм} * h \quad (4.1)$$

де  $\Pi$  – число ремонтів даного виду за рік, що приходить на одиницю обладнання;

$t_{норм}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, (люд\*год);

$h$  – кількість обладнання даного виду.

Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування виконується

:

$$T_{т о} = 12 * t_{норм} * k_{с р} \quad (4.2)$$

де  $t_{норм}$  – планова трудомісткість поточного ремонту, (люд\*год);

$k_{с р}$  – коефіцієнт складності ремонту, 1/(міс).

Розрахунок виконаємо у табличній формі за [11].

Таблиця 4.1 – Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування

Обладнання та мережі	Поточний ремонт				Огляди			Технічне обслуговування, (люд*год),
	Кількість	Число одиниць обладнання, рем/рік	Норми трудомісткості, люд*год	Загальна трудомісткість, люд*год	Число оглядів на одиницю облад, 1/рік	Норми трудомісткості, люд*год	Загальна трудомісткість, люд*год	
1.Кабельні лінії зовнішньої системи електропост, (км) ААБ(3*50)	6,4	1	15	75	-	-	-	180
2.Кабельні лінії заводського електропостачання ААБ(3*35), (км)	1,82	1	15	30	-	-	-	180
4. Силовий трансформатор ТМ630/10	6	0,33	60	118,8	12	4,5	324	147,6
5.Батарейний конденсаторів ККУ-0,4-200/10-20-21УЗ	2	1	20	80	12	8,4	403,2	204,2
6.Батарейний конденсаторів ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ	4	1	20	80	12	8,4	403,2	204,2
7.Батарейний конденсаторів ККУ-0,4-30/6-5-21УЗ	2	1	20	40	12	8,4	403,2	204,2
<b>Всього</b>				423,8			1534	1120,4

Потреба в ремонтному персоналі визначається за формулою:

$$N_{\text{ПР}} = \frac{T_{\text{ПР}}}{\Phi_{\text{Д}} * K_{\text{ВН}}}, \quad (4.3)$$

де  $\Phi_d$  – дійсний фонд робочого часу за рік,  $\Phi_d=1850-1900$  (год);

$K_{вн}$  - коефіцієнт виконання норм,  $K_{вн}=1,1$  – для ремонтного персоналу та

$K_{вн}=1,05$  – для експлуатаційного,

$$N_{пр} = \frac{423,8}{1850 * 1,1} = 0,215 \text{ (людини).}$$

Отриманий результат заокруглимо до цілого числа і приймемо до уваги те, що ряд робіт по ремонту електрообладнання у відповідності з правилами безпеки повинні виконувати двоє людей [10].

Приймемо кількість ремонтного персоналу 2 чол.

Розрахуємо потребу в експлуатаційному персоналі:

$$N_{обсл} = \frac{T_{огл} + T_{то}}{\Phi_d * K_{вн}} = \frac{1534 + 1120,4}{1850 * 1,05} = 1,3 \text{ (людини).} \quad (4.4)$$

Приймаємо кількість експлуатаційного персоналу 2 чоловіки.

#### 4.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Визначимо річний фонд прямої заробітної плати для робочих, що зайняті на роботах з експлуатації та обслуговуванні електрообладнання та мереж [20]

$$\Phi_{п} = N_{обс} \cdot \beta_{в} \cdot t_{ч.е} \cdot \Phi_d, \quad (4.5)$$

де  $\beta_{в}$  - коефіцієнт використання річного номінального фонду робочого часу,  $\beta_{в} = 0.9$ ;

$t_{ч.е}$  - годинна тарифна ставка, що відповідає середньому тарифному розряду експлуатаційних робочих, що дорівнює 40 (грн/год).

$$\Phi_{п} = 2 * 0,9 * 40 * 1850 = 133200 \text{ (грн.)}$$

Річний фонд прямої заробітної плати для робочих, що виконують поточний ремонт електрообладнання та електромереж

$$\Phi_{в} = T_{пр} \cdot t_{г.в}, \quad (4.6)$$

де  $t_{г.в}$  - годинна тарифна ставка відрядників, що відповідає середньому

розряду ремонтних робіт,  $t_{г.в} = 45$  (грн/год).

$$\Phi_{в} = 2 \cdot 690,2 \cdot 45 = 62118 \text{ (грн.)}$$

Фонд основної заробітної плати:

– на експлуатацію та обслуговування

$$\Phi_{о.п} = \Phi_{п} (1 + 0,05 + 0,01 + \alpha),$$

де 0.05 (5%) - доля доплат за роботу в нічний час;

0.01 (1%) - доля доплат за роботу в святкові дні;

$\alpha$  - доля преміальних доплат,  $\alpha = 0,2$ ,

$$\Phi_{о.п} = 133200 (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 167832 \text{ (грн.)};$$

– на поточний ремонт електрообладнання та мереж

$$\Phi_{о.в} = \Phi_{в} (1 + 0,05 + 0,01 + \alpha) = 62118(1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 76268,6 \text{ (грн.)}$$

Величина сумарного фонду заробітної плати з врахуванням додаткової заробітної плати:

$$\Phi_{об.п} = 167832 \cdot (1 + 0,075) = 180419,4 \text{ (грн/рік)};$$

$$\Phi_{об.в} = 76268,6 \cdot (1 + 0,075) = 81988,8 \text{ (грн/рік)},$$

де 0,075 = доля додаткової заробітної плати.

Врахувавши нарахування на заробітну плату (фонд соціального страхування - 4%; фонд зайнятості - 1.5%; пенсійний фонд - 32%), визначимо витрати підприємства на заробітну плату робітникам, що забезпечують експлуатацію та обслуговування електрообладнання та ремонтному енергоперсоналу

$$C_{зп.т.о} = \Phi_{об.п} (1 + 0,04 + 0,015 + 0,32) = 248076,1 \text{ (грн.)};$$

$$C_{зп.п.р.} = \Phi_{об.в} (1 + 0,04 + 0,015 + 0,32) = 112734,6 \text{ (грн.)}$$

4.3 Розрахунок витрат підприємства на матеріали, що потрібні на всі види ремонтів та технічне обслуговування електрообладнання та електромереж

Розрахунок потреби кількості основних матеріалів для всіх видів ремонтів та



технічного обслуговування виконаємо на основі норм витрат матеріалів [20]. В системі ППРОСПЭ витрати матеріалів, віднесені на 100 люд.-год трудомісткості ремонтів, включаючи і технічне обслуговування. Розрахунок виконаємо в табличній формі, табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок потреби кількості основних матеріалів

Назва матеріалу	Ціна, грн	Норма витрат на 100 (люд.-год)	Вартість матеріалу, (грн.)
<b>Силові трансформатори</b>			
Сталь сортова, кг	33,3	6	200
Припой олов'яно-свинцевий, кг	409,6	0,02	8,2
Припой мідно-фосфористий, кг	129,5	0,03	3,9
Електроди, кг	77,2	0,15	12
Кріпильні вироби, кг	69,2	2,0	138
Провід, м	130,7	0,5	653
Мідь/алюміній (голий), кг	145,3	62	9009
Картон електроізоляційний, кг	54,8	1,4	77
Кабельна бумага, кг	48	0,6	29
Лакотканина, м	101,0	0,2	20,2
Стрічка кіперна, кг	328	40	13120
Стрічка асбестова, електроіз. кг	9,2	0,05	0,46
Лак ізоляційний, кг	47,6	1,5	71,4
Емалі ґрунтові, кг	59,4	2,5	89,1
Масло трансформаторне, кг	36	0,58	20,9
Бензин, кг	300	0,7	210
Розчинник, кг	98,9	0,8	79
Маслостійка гума, кг	121	0,4	48,4
Гума профільна, кг	121	0,13	16
Шнур кручений, м	101,2	0,3	30,4
Обтирочний матеріал, кг	72	0,4	29
<b>ВСЬОГО</b>			<b>23077</b>
<b>Кабельна лінія</b>			
Сталь сортова, кг	166	2	332
Електроди, кг	77,2	0,1	7,7
<b>ВСЬОГО</b>			<b>340</b>

Вартість матеріалів для поточного ремонту:

$$C_{M \text{ ПР.}} = 0,01 \sum_{i=1}^f T_{\text{п.р.}i} \sum_{j=1}^g m_{\text{п.р.}i} \dots \dots j, \quad (4.7)$$

де  $f$  - кількість груп обладнання та мереж;

$T_{п.р.i}$  - трудомісткість поточного ремонту для  $i$  групи;

$g$  - число різновидності матеріалів;

$m_{пр.j}$  - норма витрати  $j$ -го виду матеріалу на 100 (люд.-год). трудомісткості поточного ремонту;

$\Pi_{mj}$  - ціна одиниці матеріалу, грн.

$$C_{МПР}=0,01 [39,6 * 23077 + (81 + 57,8 + 12 + 47) * 340]=9819 \text{ (грн.)}$$

Планова вартість матеріалів для технічного обслуговування

$$C_{М.Т.О.} = 0.01 \sum_{i=1}^f T_{Т.О.i} \sum_{j=1}^g m_{Прj} \cdot \Pi_{mj}, \quad (4.8)$$

де  $T_{т.о.i}$  - трудомісткість технічного обслуговування для всієї  $i$ -ої групи.

$$C_{МТО}=0,01 [147,6 * 2 * 23077 + 180 * 2 * 340]=68932 \text{ (грн.)}$$

Витрати на обслуговування

$$C_{обс} = C_{зп.т.о} + C_{М.т.о} = 139543,1 + 68932 = 208475,1 \text{ (грн.)}$$

Витрати на поточний ремонт

$$C_{п.р.} = C_{зп.п.р} + C_{М.п.р} = 52703,6 + 9819 = 625226 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат

Амортизаційні відрахування визначимо за формулою

$$C_a = \sum_{i=1}^f P_{ai} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де  $P_{ai}$  - норма амортизаційних відрахувань для  $i$ -ої групи;

$K_i$  - капітальні вкладення в  $i$ -ту групу обладнання системи електропостачання.

$$C_a = [0,043 * 4670,53 * 1,7 + 0,064(2276,2 + 2276,2 + 2505,8)] * 10^3 = 793 * 10^3 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати (витрати на допоміжні матеріали, послуги виробничим підрозділам підприємства, частина загально - заводських витрат) приймають в розмірі 25-30% від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт та амортизацію

$$C_i = 0,25(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a) =$$

$$= 0,25 (208475,1 + 625226 + 793000) = 406675,2 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.3 – Кошторис різних поточних витрат

Найменування статей	Втрати, грн	% до підсумку
Затрати на експлуатацію електро-обладнання та мереж	208475,1	10,2
Поточний ремонт	625226	30
Амортизаційні відрахування	793000	38
Інші витрати	406675,2	19
<b>ВСЬОГО</b>	<b>2033376</b>	

#### 4.5 Розрахунок плати за електроенергію

Величина корисно спожитої електроенергії на підприємстві за рік

$$E_a = P_p T_m = 1071,23 * 3000 = 3213690 \text{ (кВт*год)}. \quad (4.10)$$

Розрахуємо величину втрат електроенергії в лініях 10 кВ.

$$\Delta E = 7497 \text{ (кВт*год)}.$$

Втрати потужності в трансформаторах

$$\Delta P_T = 32,96 \text{ (кВт)}.$$

Розрахуємо величину втрат електроенергії в трансформаторах.

$$\Delta E_T = \Delta P_{mp} * \tau = 32,96 * 2000 * 10^{-3} = 65920 \text{ (кВт*год)}. \quad (4.11)$$

Загальна потреба підприємства в електроенергії

$$E = E_a + \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_T = 3213690 + 7497 + 65920 = 3287107 \text{ (кВт*год)}.$$

Плата за електроенергію, що спожита підприємством. Тариф на електроенергію становить 5,5 грн/кВт\*год [ ].

$$Ц = C_0 * E = 5,5 * 10^{-3} * 3287107 = 180790885 \text{ (тис грн)}. \quad (4.12)$$

#### 4.6 Собівартість електроенергії

Собівартість однієї корисно спожитої кіловатт\*години електроенергії

розраховується за формулою [32]:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} * 100}{E_a} \quad (4.13)$$

де  $C_{\text{сум}}$  - загальні втрати підприємства на електроенергію за рік,

$$C_{\text{сум}} = Ц + C_n = 180790885 * 10^3 + 2033,376 * 10^3 = 180792918,4 * 10^3 \text{ (грн.)};$$

$$S = \frac{180792918,9 * 10^3}{3213690} = 6,12 \text{ (грн/кВт*год)}.$$

#### 4.7 Висновки до розділу 4

1. За умови, що тариф на електроенергію 5,5 (грн/кВт\*год), собівартість електроенергії для ВАТ «Вінницький насіннєвий завод» становить 6,12 (грн/кВт\*год).

## РОЗДІЛ 5.

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час оптимізації системи електропостачання Відкритого акціонерного товариства «Вінницький насінневий завод». На електротехнічний технологічний персонал, який здійснює реконструкцію та обслуговування електрообладнання даного об'єкта, впливають наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [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.

#### 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах. Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень Відкритого акціонерного товариства «Вінницький насінневий завод» [4,5]. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що

відповідає вимогам з урахуванням показників пожежо- вибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон).

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектною організацією і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу.

При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажо-підіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з [4, 5] (як для пересувних механізмів).

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

### 5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні.

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 однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

### 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.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. 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.

Є неприпустимими:

– експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;



- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат. Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони[6]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [7]:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони. Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [6]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [7]:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

#### Природне освітлення.

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО ( $e_n$ ). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

#### Штучне освітлення.

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єктарозрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне	Сумісне
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

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

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

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

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

#### 5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом [9], який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – 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

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. 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.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [10] і наведені в таблиці 5.5.

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

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

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

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

### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної

класифікації праці [1]. Робота монтажника будівельних конструкцій потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кг/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг – до 30 кг; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємне розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни;нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи –рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій); сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів; обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання; робота в умовах дефіциту часу.

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) –51-75; щільність сигналів (звукові за1 год) –151-300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра тощо).

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – двозмінна (без нічної зміни).

5.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи елементів системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» в умовах загрозливих чинників НС

Вибір матеріалу для загороджень і екранів залежить від проникаючої здатності випромінювань. Альфа-частинки затримує навіть аркуш паперу, для захисту від бета-частинок необхідні матеріали більшої густини, а захист від гамма-променів здійснюється матеріалами з великою атомною масою (свинець, вольфрам).

Доцільно виконати захисне екранування даного обладнання, що дасть змогу зменшити вплив ЕМІ.

Необхідно прийняти такі заходи по підвищенню стійкості роботи:

- екранування блоку підсилення;
- різні схемні рішення;
- розташування РЕА в бункерах.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K_{б.норм} - K_{б.роз.мін}, \quad (5.6)$$

де  $K_{б.норм}$  - номінальний коефіцієнт безпеки ( $K_{б.норм}=40$  (дБ));

$K_{б.роз.мін}$  - мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при розрахунку.

Визначаємо товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}} \text{ [см] },$$

де  $t$  – товщина стінки екрана, см;

$$f=15000 \text{ Гц.}$$

Отже, визначаємо з даної формули товщину стінки екрана для кожного елемента СЕП:

$$t_1 = \frac{40 - (-52,1)}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,13 \text{ (см) },$$



$$t_2 = \frac{40 - (-76,5)}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,19 \text{ (см)} .$$

Таким чином, при екрануванні системи живлення з використанням екрану 0,13 см та пульта керування з використанням екрану товщиною 0,19 см, система електропостачання буде стійкою в умовах дії ЕМІ.

Також в даному розділі було оцінено стійкість роботи системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій та розроблено заходи по підвищенню стійкості її роботи. В умовах дії іонізуючого випромінювання система електропостачання буде працювати стійко, оскільки  $D_{гр} > D_m$ , допустимий час роботи в заданих умовах становить 1183635,2 год.

Дослідження стійкості роботи СЕП ВАТ «Вінницький насінневий завод» при дії електромагнітного імпульсу показала, що робота обладнання стійка, при застосуванні захисних сталевих екранів товщиною 0,13 см та 0,19 см.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На підприємстві експлуатується морально та фізично застаріле електро- та технологічне обладнання, що негативно позначається на техніко-економічних показниках роботи системи електропостачання підприємства, а в кінцевому підсумку на собівартості продукції

2. Оптимальними рішеннями для системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» є установка трьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА кожна; прокладка кабельних ліній 35 мм<sup>2</sup> розподільчої мережі 10 кВ і 50 мм<sup>2</sup> лінії живлення, а також установка комплектних БСК загальною потужністю 910 квар.

3. Деяке поліпшення якості електроенергії на підприємстві без додаткових капітальних вкладень можна отримати якщо реалізувати задачу внутрішнього симетрування навантажень однофазного виконання, які під'єднані до одного РП в цеху обробки насіння

4. Для вирішення задачі оптимального розподілу однофазних навантажень розроблена математична модель, яка відноситься до класу квадратичних, нескаларних та цілочислових, і тому для її аналізу можна використати розроблений обчислювальний метод, який базується на методі динамічного програмування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування. Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. 153 с.
2. Бурбело М.Й., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2011. 204 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання. Дніпро: НГУ, 2015. 540 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Київ : 2017. 617 с.
5. Зайцев М.О., Кучанський В.О., Гунько І.О. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроулаштування. Монографія. Друкарня ФОП Гуляєва В.М., 2021.
6. Буряк В.М., Дейнеко Н.А. Вибір електричних апаратів захисту в мережах до 1000 В. Харків : ХНАМГ, 2007. 62 с.
7. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності.
8. Зорін В.В., Штогрин Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи. Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. 224 с.
9. Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2013. 424 с.
10. Шестеренко Є.В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2004. 655 с.
11. Василега П.О. Електропостачання. Суми : вид-во «Університетська книга», 2018. 415 с.
12. Бурбело М.Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2017. 123 с.
13. Галузеві будівельні норми України. Електротехнічні пристрої. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2012. 139 с.
14. В. А. Попов, В. В. Ткаченко, Ярмолюк О. С. Проектування систем забезпечення споживачів електричною енергією. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 222 с.

15. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.

16. Терешкевич Л.Б , Терешкевич Н.В. Волоцький А.М. Проектування цехових електричних мереж і освітлювальних установок, Вінниця, ВНТУ 2006.

17. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання. / Маліновський А.А. Хохулі Б.К. – Львів.: Львівська політехніка, 2007. – 379 с.

18. Терешкевич Л. Б. АСУ режимами систем електропостачання. Навчальний посібник / Вінниця:ВДТУ, 1998. – 119 с.

19. Милосердов В.О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. Навчальний посібник / . Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 120 с.

20. Бабенко О.В. Квазірівноважені вимірювальні канали для установок симетрування навантажень вузлів електричних мереж: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.14.02. / Бабенко О.В. – Вінниця, 2007. – 183с.

21. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник для студентів вузів / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – К.: Либідь, 2007. – 556 с.

22. Терешкевич Л.Б. Симетрування електричного режиму шляхом зсуву в часі графіків навантаження електроприймачів однофазного виконання / Л.Б. Терешкевич, О.О. Хоменко // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. Наук. Праць. Вип. 34. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. Держ. Техн. Ун-т» 2017. – С. 132-139.

24 Терешкевич Л.Б. Внутрішнє симетрування однофазних електроприймачів та вирівнювання їх групового графіка навантажень/ Л.Б. Терешкевич, О.О. Хоменко, І.О.Бандура // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. №1. – С. 12-17. Retrieved із <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2171>

25 Терешкевич Л. Б. [Метод обмеженого перебору варіантів для задач внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів](#) / Л. Б. Терешкевич,

О.О. Хоменко // Технічна електродинаміка 2: 48–53, 2019 DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.02.048>

26. Терешкевич Л. Б. Метод розрахунку внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів у вузлах чотирипровідної мережі / Л. Б. Терешкевич, І. О. Бандура, О. О. Хоменко // [Наукові нотатки](#). - 2019. - Вип. 65. - С. 249-253. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2019\\_65\\_40](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_40)

27. Л. Б. Терешкевич і І. О. Бандура, Розробка математичної моделі керування батареями статичних конденсаторів з огляду її реалізації в мікропроцесорній системі, Вісник ВПІ, вип. 6, с. 58–63, Груд. 2021. - Режим доступу: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2705/2534>

28. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад. Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 28 с.

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

30. 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->.

31. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_a322\\_2009/1-1-0-945](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945).

32. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

33. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила

устройстваэлектростановок. Электрооборудованиеспециальных установок).

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

34. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

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

36. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)

37. 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>.

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

39. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

## ДОДАТКИ

## Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

**«ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДКРИТОГО  
АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ  
НАСІННЄВИЙ ЗАВОД»**08-17.МКР.007.05.100 ТЗ

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 22м

Дворецький Р.В. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2023 р.



## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 247 від 18.09.2023 р.

Дата початку роботи 1 вересня 2023 р.

Дата закінчення роботи 10 грудня 2023 р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

*а) мета* – Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» шляхом прийняття оптимальних рішень з кількості та потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів ліній мереж підприємства, визначення оптимальних координат місця установки трансформаторних підстанцій, розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок та розробка математичної моделі внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів, під'єднаних до чотирипровідної мережі.

*б) призначення розробки* – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

*в) вихідні дані для виконання МКР:* генплан підприємства (об'єкта); відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); результати експериментальних досліджень; основні техніко-економічні показники.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад. Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 28 с.

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4. Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах».- Вінниця: ВНТУ, 2006р.

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	10.09.2023	
2	Оптимізація системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінєвий завод»	31.09.2023	
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	15.10.2023	
4	Економічна частина роботи	10.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2023	
6	Написання пояснювальної записки	10.12.2023	

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

##### 7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

##### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ Не передбачається

Додаток Б  
ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ  
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дані про електроспоживачів цехів підприємства наведені в таблиці Б.1.

Категорія за надійністю електропостачання Вінницького насінневого заводу (в тому числі і насінне-обробного цеху) – II.



Рисунок Б.1 – Генплан підприємства

Таблиця Б.1 – Відомості про електричні навантаження об'єктів заводу

№	Назва цеху	Рн,кВт	Кп	cosφ	Ф,м <sup>2</sup>	Рпит	Кпра	Кпо
1	Елеватор	280	0,8	0,7	4114,3	0,016	1,1	0,95
2	Цех обробки насіння	267	0,8	0,65	2259	0,016	1,2	0,95
3	Адміністративний корпус	50	0,7	0,8	1410,6	0,016	1,2	0,8
4	20-й цех	180	0,9	0,85	664	0,016	1,2	0,8

5	Гранувальний цех	10	0,9	0,85	781,5	0,016	1,2	0,8
6	Унісем	220	0,8	0,65	5302,5	0,016	1,2	0,95
7	Цех дражування	270	0,7	0,7	587,6	0,016	1,2	0,8
8	Склад ЗГП	35	0,6	0,8	1058	0,012	1,1	0,6
9	Ремонтно-механічний цех	30	0,7	0,7	529	0,016	1,2	0,8
10	Гараж	15	0,6	0,8	596,6	0,014	1,1	0,6
11	Субабонент	260	0,7	0,75	290,9	0,014	1,2	0,8
12	Погрузочний цех	1,6	0,8	0,7	211,6	0,012	1,2	0,8
13	Теплопункт	40	0,8	0,9	293,9	0,012	1,2	0,7
14	Ангар	20	0,6	0,5	176,3	0,012	1,1	0,6

Можливі джерела живлення.

Живлення підприємства може здійснюватись від районної трансформаторної підстанції 110/10кВ «Східна». На підстанції "Східна" встановлено два трансформатора типу ТРДН-40000Ун/Д/Д-11-11. Підстанція знаходиться на віддалі 0,65 км. Енергопостачальна компанія визначає для підприємства значення вхідної реактивної потужності – 100 квар.

Додаток В

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДО РОБОТИ

ДВОРЕЦЬКИЙ Руслан Вікторович

«ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДКРИТОГО АКЦІОНЕРНОГО  
ТОВАРИСТВА «ВІННИЦЬКИЙ НАСІННЄВИЙ ЗАВОД»

Магістерська кваліфікаційна робота

Керівник:

Терешкевич Леонід Борисович  
к.т.н, професор

***Актуальність теми.*** Діюча система електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» характеризується рядом недоліків.

Тому робота, де із використанням сучасних автоматизованих технологій розроблена оптимальна система електропостачання, що виконана із врахуванням зазначених вище обставин із використанням сучасних проектних методик, а також розроблена система математичного забезпечення внутрішнього симетрування несиметричного навантаження, що експлуатується на підприємстві, є *актуальною* для ВАТ «Вінницький насінневий завод»

***Мета і завдання дослідження.*** Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» та таких параметрів її стану як несиметрія електричного режиму, використовуючи інформаційні технології та сучасні методи оптимізації.

## Визначення оптимальної потужності ТП підприємства

*Математична модель*

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{\text{ТП}}(S_T, k_T) + \left[ \Delta P_{\text{ХХ}}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{\text{КЗ}}(S_T) \cdot \frac{S_{\text{ТП}}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{\text{СТ}}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_{\text{Н}} \geq S_{\text{тн см}} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{\text{па}} \geq S_{\text{тнр}} \cdot k_{\text{нпа}}, \\ S_T \in S_{\text{СТ}} \end{array} \right.$$

*Показник ефективності вибору трансформаторів ТП - річні приведені затрати на підстанцію*

*Керована змінна - потужність трансформаторів –  $S_T$*

*Множина доступних значень – всі стандартні потужності трансформаторів  $S_T$ .*

## Визначення оптимальної кількості та потужності цехових ТП

3

Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат													
Економічні характеристики													
Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895		
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1		
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =			
ТП1											ТП1	ТП2	ТП3
Дані нормального режиму													
Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	2×630	2×630	2×630
Середня потужність ТП, кВА										Sc=			
Кількість трансформаторів										kt=	2		
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Kn=	1		
Дані післяаварійного режиму													
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Kпа =	1,3		
Доля навантаження в післяаварійному режимі										Knпа =	0,8		
*	St кВА	ΔPкз кВт	ΔPxx кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔPзм кВт	ΔPпс кВт	ΔP кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	kt*kn*St> =Sc	кпа*St>= кнпа*Sp
	63	1,28	0,24	950,78	129,3061	80,67284	0,48	81,15284	45,51822	-	-	-	-
	100	1,97	0,33	1010,71	137,4566	49,27932	0,66	49,93932	28,01071	-	-	-	-
	160	3,1	0,51	1009,45	137,2852	30,29146	1,02	31,31146	17,56244	-	-	-	-
	250	4,2	0,74	1190,46	161,9026	16,81	1,48	18,29	10,25877	-	-	-	-
	400	5,9	0,95	1430,38	194,5317	9,224238	1,9	11,12424	6,239529	-	+	-	-
<b>V</b>	630	8,5	1,31	1590,53	216,3121	5,357181	2,62	7,977181	4,474361	220,7864	630	+	+
	1000	10,5	2,1	1880,23	255,7113	2,626563	4,2	6,826563	3,828985	259,5403	1000	+	+
	1600	18	2,8	2340	318,24	1,758859	5,6	7,358859	4,127547	322,3675	1600	+	+
	2500	23,5	3,85	2670,73	363,2193	0,94056	7,7	8,64056	4,846447	368,0657	2500	+	+
Мінімальні затрати, грн									Zmin=	220,7864			
Оптимальна потужність трансформатора, кВА									St*=	630			
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора									кз*=	0,561363			



## Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = [(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_L^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau] \cdot L \cdot k_L \rightarrow \min_{x \in X_{opt}} \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{\partial on} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_L \\ x \geq x_{na} \equiv k_{na} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_L \cdot k_L \cdot k_{yna} \\ \Delta U_n(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ \Delta U_{na}(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ x \geq x_{kz} = \frac{I_{kz} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \\ x \in X_{ct} \end{array} \right.$$

*Критерій ефективності:* річні приведені затрати в зовнішню лінію живлення 10 кВ

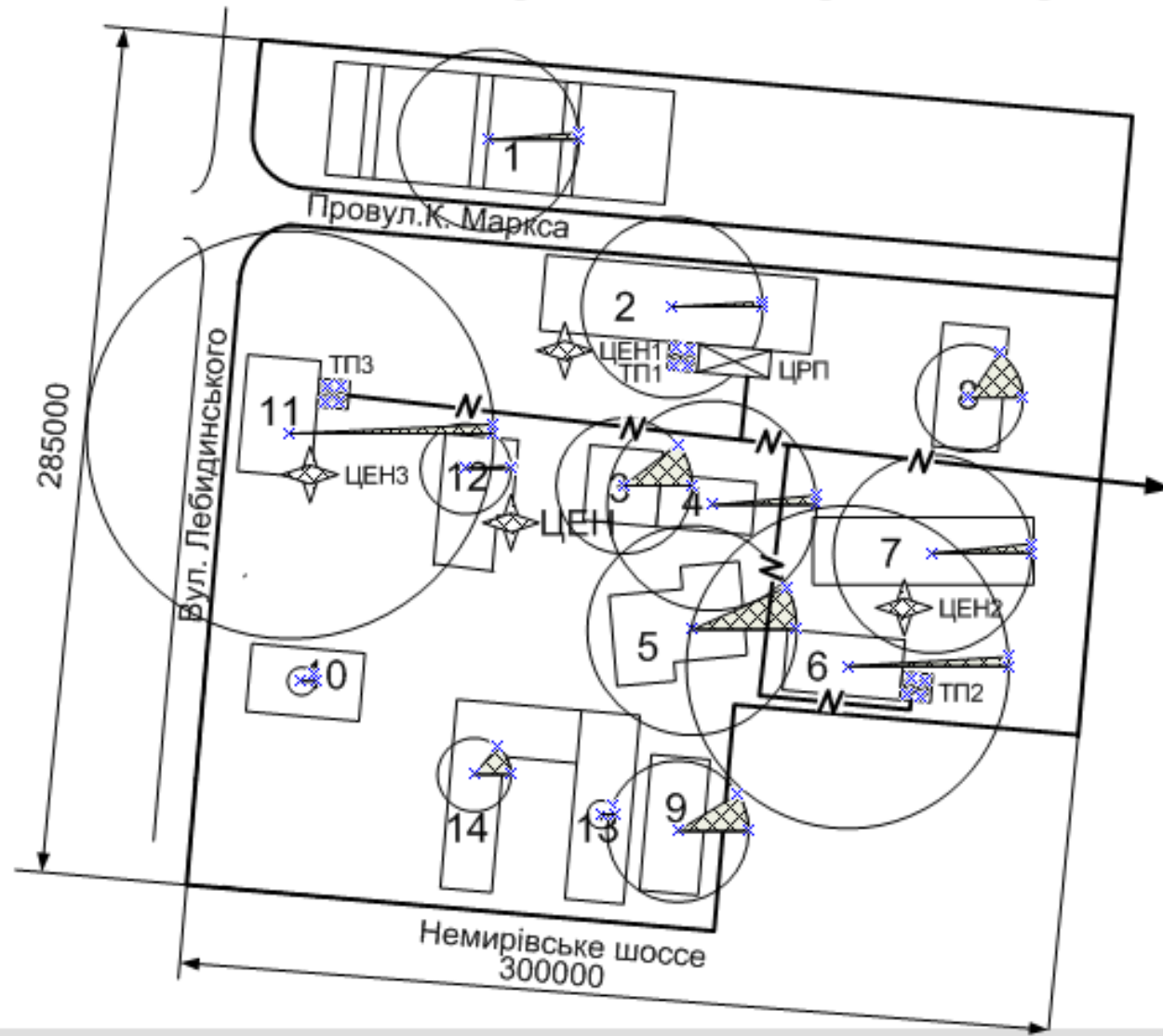
*Керована змінна:* переріз кабельних ліній (мм<sup>2</sup>).

*Множина доступних рішень:* множина всіх стандартних перерізів кабельних ліній 10 кВ.

## Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

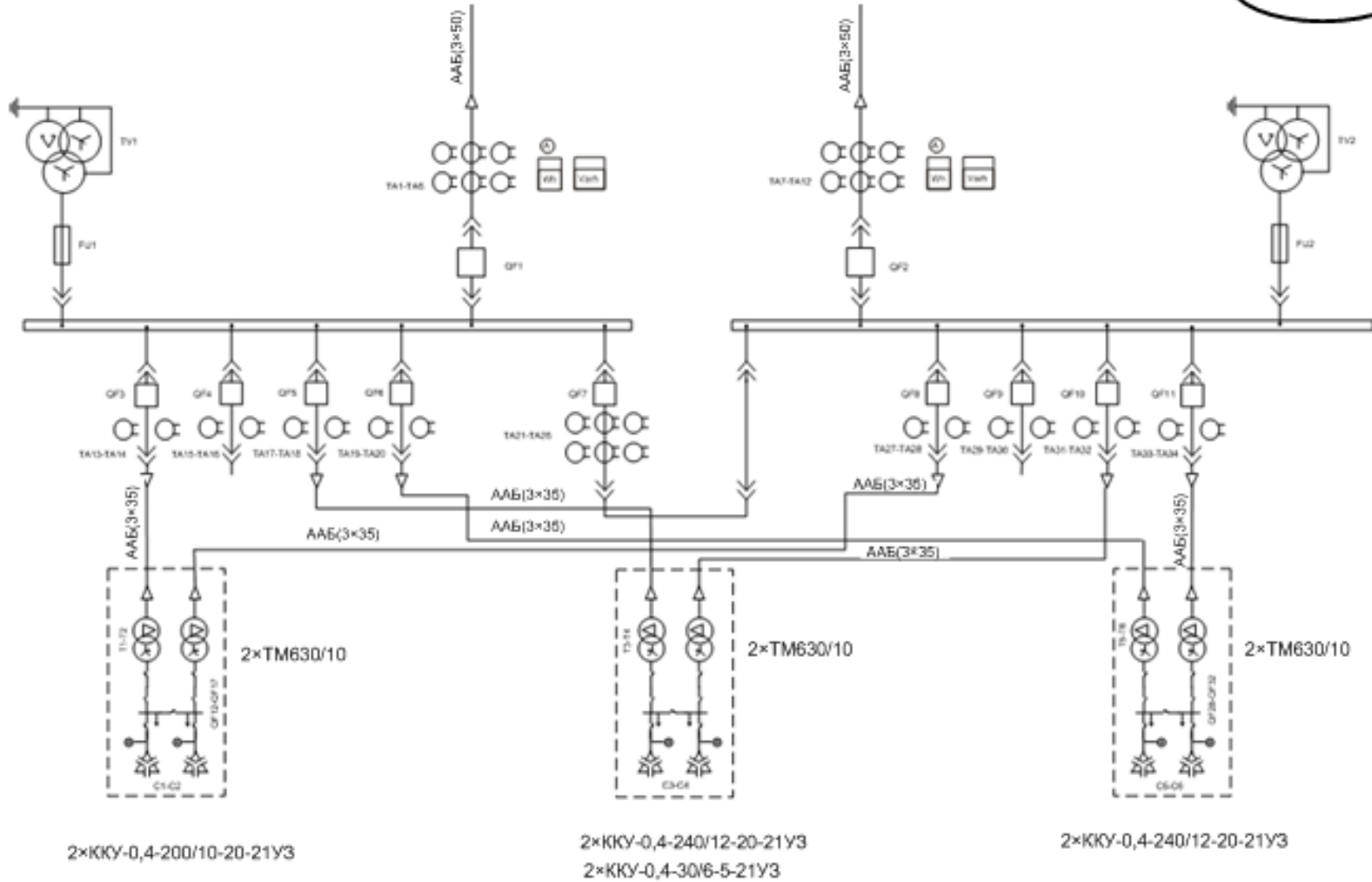
Напруга, кВ														РТП-ЦРП				ЦРП-ТП1				ЦРП-ТП2				ЦРП-ТП3			
Активна розрахункова потужність споживача, кВт																													
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр																													
Розрахунковий струм окремого кабелю, А														ААБ 3*50				ААБ 3*35				ААБ 3*35				ААБ 3*35			
Коефіцієнт допустимого навантаження																													
Допустима втрата напруги в КЛ, %																										dUдоп = 5			
Кількість кабелів																										k = 2			
Довжина лінії, км																										L = 2,5			
Дані аварійного режиму																													
Струм КЗ на початку лінії, кА																										Iкз = 3,03868563			
Приведений час КЗ, с																										tn = 1,5			
Тепловий коефіцієнт С, (А*с^(1/2))/мм^2																										C = 90			
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2																										Fкз = 41,35			
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																										Kпа = 1,25			
Доля навантаження в післяаварійному режимі																										Kлпа = 0,8			
Допустима втрата напруги в КЛ, %																										dUлдоп = 5			
F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	KO, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUла, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Вв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	n*Iдоп >= Kлпа*k*I	dUn <= dUндоп	dUла <= dUлдоп	F >= Fкз												
10	3,1	0,122	90,5381	65	11,51	18,42	522,19	452,69	63,38	292,89	-	-----	-	-	-	-	-												
16	1,94	0,113	103,784	75	7,31	11,69	326,79	518,92	72,65	183,29	-	-----	-	-	-	-	-												
25	1,24	0,099	190,854	90	4,75	7,60	208,87	954,27	133,60	117,16	-	-----	-	-	+	-	-												
35	0,89	0,095	250,953	115	3,48	5,56	149,92	1254,77	175,67	84,09	-	-----	+	-	+	-	-												
v 50	0,62	0,09	360,927	140	2,49	3,98	104,44	1804,64	252,65	58,58	311,23	50	+	+	+	+	+												
70	0,443	0,086	500,501	165	1,84	2,94	74,62	2502,51	350,35	41,86	392,21	70	+	+	+	+	+												
95	0,326	0,083	650,451	205	1,41	2,26	54,91	3252,26	455,32	30,80	486,12	95	+	+	+	+	+												
120	0,258	0,081	820,823	240	1,16	1,86	43,46	4104,12	574,58	24,38	598,95	120	+	+	+	+	+												
150	0,206	0,079	1020,11	275	0,97	1,55	34,70	5100,55	714,08	19,46	733,54	150	+	+	+	+	+												
185	0,167	0,077	1370,48	310	0,82	1,31	28,13	6852,40	959,34	15,78	975,11	185	+	+	+	+	+												
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін		311,23																	
Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Холт		50																	

### План підприємства з електричними мережами 10кВ



### Однолінійна схема електропостачання

7



## Симетрування режиму в системі електропостання, що розробляється

На підприємстві «Вінницький насінневий завод» в цеху обробки насіння використовуються фільтри потужністю 2 – 4 кВт однофазного виконання в кількості 7 шт. Живляться вони від одного вузла навантаження чотирипровідної мережі 0,4 кВ. Для даного вузла актуальною є задача внутрішнього симетрування.

Задача внутрішнього симетрування може вирішуватись, як оптимізаційна. Вирішувати її можна методами дослідження операцій, методологія яких передбачає розробку математичної моделі

## **Критерій ефективності для вирішення задачі внутрішнього симетрування та технічні обмеження, що мають бути забезпечені**

Мірою ефективності того або іншого впливу на режим зворотної послідовності може бути модуль струму зворотної послідовності –  $I_2$ , а на режим нульової послідовності модуль струму нульової послідовності –  $I_0$ . Тому задачу симетрування в чотирипровідній мережі слід розглядати як багатокритеріальну.

Задачу внутрішнього симетрування в чотирипровідних мережах можна вирішувати як багатокритеріальну, використовуючи середньозважений критерій. Таким критерієм можуть бути сумарні додаткові втрати активної потужності, зумовлені струмами  $I_2$  та  $I_0$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_2 + \Delta P_0$$

Будь-яке допустиме рішення ( в тому числі і оптимальне) має забезпечувати такі умови:

- обов'язкове під'єднання кожного із електроприймачів до мережі;
- кожний окремо взятий електроприймач має бути під'єднаним до однієї із напруг трифазної чотирипровідної мережі.

Зазначені умови забезпечуються обмеженнями математичної моделі.

**Математична модель внутрішнього симетрування однофазних навантажень  
при під'єднанні до чотирипровідної мережі**

$$\left\{ \begin{array}{l} 3 \left\{ \left| \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{2im} X_{im} \right| \right\}^2 \cdot r_2 + 12 \left\{ \left| \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{0im} X_{im} \right| \right\}^2 \cdot r_0 \rightarrow \min \\ \sum_{m=1}^3 X_{im} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ X_{im} = 1 \vee 0, \end{array} \right.$$

За цільовою функцією математичну модель слід віднести до класу нескалярних. Змінні  $i$  тому математична модель є моделлю дискретного програмування. Цільова функція математичної моделі квадратично залежна від струмів  $\dot{I}_{2im}$  та  $\dot{I}_{0im}$ . В цьому відмінність математичної моделі від відомих моделей нескалярної оптимізації. Саме тому для її аналізу неможна використати відомі мето

## Алгоритм розрахунків для будь-якого $k$ -го етапу вирішення задачі

Крок 1. Розраховуються  $\Delta P_{\Sigma}$  для всіх можливих варіантів почергового перемикання кожного із навантажень на всі інші напруги.

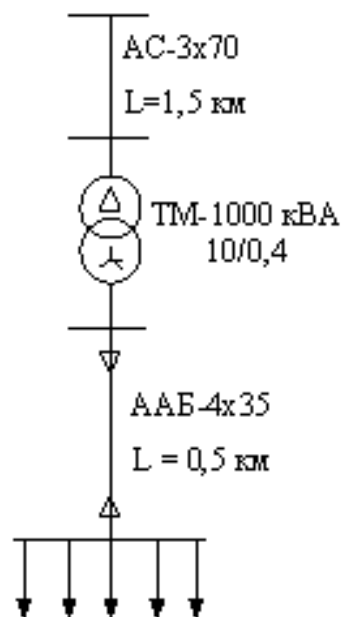
Крок 2. Із всіх варіантів вибирається той, де мають місце найменші додаткові втрати потужності –  $\Delta P_{\Sigma k}$ .

Крок 3. Порівнюється значення  $\Delta P_{\Sigma k}$  із  $\Delta P_{\Sigma(k-1)}$ , отриманим на попередньому етапі.

Крок 4. Якщо  $\Delta P_{\Sigma k} < \Delta P_{\Sigma(k-1)}$ , то отримане рішення реалізується (відповідна компонента вектора керування  $X_{(k-1)}$  прирівнюється до одиниці, а компонента, що відповідає попередньому під'єднанню цього електроприймача, прирівнюється до нуля) та виконується перехід до кроку 1. В іншому випадку рішення, отримане за результатами попереднього ( $k - 1$ ) етапу оптимальне і розрахунки припиняються.



## Тестовий приклад знаходження рішень задачі внутрішнього симетрування навантажень за розробленим алгоритмом



Розрахункова схема і вихідні дані тестової задачі

Параметри однофазних електроприймачів	$P_1 = 10$ кВт	$\cos \varphi_1 = 0,75$
	$P_2 = 25$ кВт	$\cos \varphi_2 = 0,8$
	$P_3 = 15$ кВт	$\cos \varphi_3 = 0,2$
	$P_4 = 32$ кВт	$\cos \varphi_4 = 0,85$
	$P_5 = 18$ кВт	$\cos \varphi_5 = 0,7$

### Результати розрахунків по першій ітерації

Етап вирішення задачі	Вектор керування $X^T$	$\Delta P_2,$ Вт	$\Delta P_0,$ Вт	$\Delta P_\Sigma,$ Вт
Вихідний стан	(100100100100100)	29140	116568	145700
Перша ітерація				
	(010100100100100)	22160	95680	117800
	(001100100100100)	23920	88660	112600
	(100010100100100)	14090	78420	92500
	(100001100100100)	19600	56340	75950
	(100100010100100)	20000	7762	27770
	(100100001100100)	1940	80010	81950
	(100100100010100)	11380	79490	90860
	(100100100001100)	19870	45510	65380
	(100100100100010)	16994	77202	94190
	(010100100100101)	19300	67976	87280

## Результати розрахунку на наступних етапах вирішення задачі

Етапи вирішення задачі	Вектор керування $X^r$	$\Delta P_2$ , Вт	$\Delta P_0$ , Вт	$\Delta P_\Sigma$ , Вт
Вихідний стан	(100100100100100)	29140	116600	145700
1	(100100010100100)	20000	7762	27770
2	(100001010100100)	8730	456	9186
3	(001001010100100)	4182	4352	8534
4	(001001010100010)	4299	11630	15930

На четвертому етапі сумарні втрати активної потужності  $\Delta P_\Sigma$  збільшилися, це свідчить про те, що оптимальний розв'язок даної задачі знайдено на третьому етапі

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На підприємстві експлуатується морально та фізично застаріле електро- та технологічне обладнання, що негативно позначається на техніко-економічних показниках роботи системи електропостачання підприємства, а в кінцевому підсумку на собівартості продукції

2. Оптимальними рішеннями для системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» є установка трьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА кожна; прокладка кабельних ліній 35 мм<sup>2</sup> розподільчої мережі 10 кВ і 50 мм<sup>2</sup> лінії живлення, а також установка комплектних БСК загальною потужністю 910 квар.

3. Деяке поліпшення якості електроенергії на підприємстві без додаткових капітальних вкладень можна отримати якщо реалізувати задачу внутрішнього симетрування навантажень однофазного виконання, які під'єднані до одного РП в цеху обробки насіння

4. Для вирішення задачі оптимального розподілу однофазних навантажень розроблена математична модель, яка відноситься до класу квадратичних, не скалярних та цілочислових, і тому для її аналізу можна використати розроблений обчислювальний метод, який базується на методі динамічного програмування.

5. Отримані результати вирішення тестового прикладу свідчать про працездатність розробленого алгоритму, а також ефективність впровадження виконаних розробок.

***Наукова новизна одержаних результатів.*** Підвищена ефективність системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» в результаті оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній, потужності конденсаторних установок, та внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів при їх під'єднання до чотирипровідної мережі.

***Практичне значення одержаних результатів*** полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ВАТ «Вінницький насінневий завод» та зменшити долю енерговитрат в собівартості продукції.

## Додаток Г

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Назва роботи: Оптимізація системи електропостачання Відкритого акціонерного товариства «Вінницький насінневий завод»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота.

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Науковий керівник: к.т.н. професор Терешкевич Л.Б.

## Показники звіту подібності

Unicheck	
Оригінальність	88,8 %
Схожість	11,2 %

## Аналіз звіту подібності

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи.

Автор \_\_\_\_\_ Дворецький Р.В.

## Опис прийнятого рішення

Магістерська кваліфікаційна робота допускається до захисту

Особа відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Лобода Ю.В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Терешкевич Л.Б.

Експерт \_\_\_\_\_ Бурбело М.Й., зав кафедри ЕСЕЕМ