

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

«ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ПРОДМОВА», МІСТО ЛИПОВЕЦЬ»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-21м
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ю.П. Добровольський Ю.П.

(прізвище та ініціали)

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

Л.Б. Геренкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

« 14 » грудня 2022

Опонент

(прізвище та ініціали)

« » 2022

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н./проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2022 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 ЕСЕМ
 д.т.н. проф. Бурбело М.Й.

4 / 09 / 2022 р.

ЗАВДАННЯ на магістерську кваліфікаційну роботу Добровольського Юрія Петровича

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Продмова», м. Липовець.
 керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
 затверджені наказом по ВНТУ від « 14 » вересня 2022 року, № 203
2. Строк подання студентом роботи « 10 » грудня 2022 року
3. 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.
4. 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
- 3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ НЕСИМЕТРИЇ НАПРУГ
- 3.1 Властивості БСК та особливості їх роботи при несиметричній нарузі
- 3.2 Необхідність врахування несиметрії напруги в електричній мережі при керуванні БСК

3.3 Математична модель оптимальної компенсації реактивної потужності, забезпечує допустимі значення несиметрії та рівнів відхилень напруг

3.4 Приклади розрахунку за виконаними розробками

3.5 Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ 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

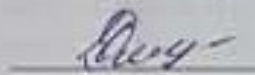
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобидякський О.В., зав. каф. БЖДПБ, д.т.н., професор		

7. Дата видачі завдання « 25 » березня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	10.09.2022	Вик.
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Продмова»	31.09.2022	Вик.
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	15.10.2022	Вик.
4	Економічна частина роботи	10.11.2022	Вик.
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2022	Вик.
6	Написання пояснювальної записки	10.12.2022	Вик.

Студент



Добровольський Ю.П.

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
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ПРОДМОВА», МІСТО ЛИПОВЕЦЬ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-21м
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Добровольський Ю.П.

(прізвище та ініціали)

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

Терешкевич Л.Б.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2022

Опонент _____

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2022

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2022 р

АНОТАЦІЯ

Добровольський Ю.П. Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Продмова», місто Липовець. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2022 – 107 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 60 назв; рис.: 18; табл. 18.

Проведені розрахунки, які обґрунтовують потребу оптимізації системи електропостачання ТОВ «Продмова». Позитивний ефект може досягатись вибором оптимальних потужностей трансформаторів, перерізів ліній 10кВ живильної та розподільної мереж, місця установки ЦРП підприємства, що обґрунтовується розрахунком центру електричних навантажень. Крім цього, ефективність системи електропостачання суттєво підвищується в результаті установки батарей статичних конденсаторів оптимальних потужностей. При цьому здійснюється компенсація реактивних навантажень і зниження активних втрат потужності в електричній мережі.

Розроблено метод, який дозволяє підвищити ефективність конденсаторних батарей в процесі їх експлуатації шляхом врахування несиметрії напруг, яка має місце в мережах ТОВ «Продмова». При цьому контролюється несиметрія напруг, яка в результаті включення конденсаторних батарей посилюється. Реалізація кінцевого вектору керування гарантує забезпечення вимог стандарту щодо несиметрії напруг та їх відхилень.

Ключові слова: Оптимізація керування, математична модель, критерій ефективності, втрати потужності.

ABSTRACT

Dobrovolskyi Y.P. Optimization of the electricity supply system of Prodmova Limited Liability Company, city of Lypovets. Master's qualification thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Electrotechnical systems of electricity consumption". – Vinnytsia, VNTU, 2022 – 107 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 97 titles; Fig.: 12; table 6.

Calculations have been made that justify the need to optimize the power supply system of Prodmova LLC. A positive effect can be achieved by choosing the optimal capacities of transformers, cross-sections of 10kV lines of power and distribution networks, the installation location of the company's CDP, which is justified by the calculation of the center of electrical loads. In addition, the efficiency of the power supply system is significantly increased as a result of the installation of batteries of static capacitors of optimal capacities. At the same time, reactive loads are compensated and active power losses in the electrical network are reduced.

A method has been developed that allows you to increase the efficiency of capacitor banks during their operation by taking into account the asymmetry of voltages that occurs in the networks of Prodmova LLC. At the same time, voltage asymmetry is controlled, which increases as a result of the inclusion of capacitor banks. Implementation of the final control vector guarantees compliance with the requirements of the standard regarding voltage asymmetry.

Keywords: Optimal control, mathematical model, efficiency criterion, power loss.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	11
1.1 Відомості про підприємство	11
1.2 Вихідні дані для виконання роботи та науково-технічного завдання, що вирішуються	12
1.3 Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ПРОДМОВА»	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень по підприємству ТОВ «Продмова» та окремим його виробничим підрозділам	14
2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції	19
2.3 Оцінка втрат потужності в трансформаторах ТП підприємства	22
2.4 Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній 10 кВ	22
2.5 Обґрунтування оптимального розміщення трансформаторних підстанцій	26
2.6 Компенсація реактивної потужності в мережах підприємства та перевірка деяких із прийнятих рішень	29
2.7 Висновки до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ	34
3.1 Результати експериментальних досліджень, що свідчать про випадки несиметрії напруг в вузлах під'єднання БСК в мережах виробництв, в яких відсутнє несиметричне навантаження	34
3.2 Властивості БСК та особливості їх роботи при несиметричній нарузі	35
3.2.1 Вплив електричних режимів мережі на БСК	35
3.2.2 Вплив БСК на режими в електричній мережі	38
3.3 Необхідність врахування несиметрії напруги в електричній	

мережі при керуванні БСК	39
3.3.1 Забезпечення показників якості електроенергії, що нормують несиметрію напруги	39
3.3.2 Контроль відхилень напруги по фазах	41
3.4 Математична модель оптимальної компенсації реактивної потужності, що забезпечує допустимі значення несиметрії напруги	44
3.4.1 Обґрунтування критерію ефективності математичної моделі	44
3.4.2 Обмеження математичної моделі та загальна схема прийняття керуючого рішення	45
3.4.3 Математична модель, для випадку, коли можливе перевищення допустимого значення несиметрії напруги при керуванні БСК	48
3.4.4 Тестовий приклад розрахунку з використанням розробленої математичної моделі	49
3.4.5 Математична модель, яка дозволяє забезпечити допустимі значення відхилень напруг по фазах в процесі керування БСК	52
3.4.6 Тестовий розрахунок вектора керування за математичною моделлю, що розроблена	53
3.5 Висновки до розділу 3	62
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ	63
4.1 Розрахунок чисельності обслуговуючого та ремонтного персоналу	63
4.2 Розрахунок витрат по заробітній платі	65
4.3 Розрахунок витрат підприємства на матеріали, що потрібні на всі види ремонтів та технічне обслуговування електрообладнання та електромереж	66
4.4 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат	68
4.5 Розрахунок плати за електроенергію	68
4.6 Собівартість електроенергії	69
4.7 Висновки до розділу 4	69

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта проектування	70
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	70
5.1.2 Електробезпека	72
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	73
5.2.1 Мікrokлімат виробничого приміщення	73
5.2.2 Склад повітря робочої зони	73
5.2.3 Виробниче освітлення	74
5.2.4 Виробничий шум	76
5.2.5 Фактори трудового процесу	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
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. Як і для будь-якого виробництва навантаження ТОВ «Продмова» постійно змінювалось. Це обумовлено зміною номенклатури виробництва та обсягів продукції, впровадженням новітніх технологій та енергоощадного технологічного обладнання. Крім того, змінювались умови, що встановлюються енергопостачальною організацією для виробництв. В таких умовах діюча система електропостачання потребує модернізації, що має здійснюватись через певні проміжки часу. На таку модернізацію будь-яке виробництво має накопичити відповідні кошти або взяти кредити.

Тому робота, де із використанням сучасних комп'ютерних автоматизованих технологій розроблена оптимальна система електропостачання, що виконана із врахуванням зазначених вище обставин, а також розроблена методика керування батареями статичних конденсаторів, яка призначена для умов несиметрії напруг в електричній мережі, є *актуальною* для ТОВ «Продмова».

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 ТОВ «Продмова». та таких параметрів її стану як реактивна потужність в елементах мережі в умовах несиметрії електричних режимів використовуючи інформаційні технології та сучасні методи оптимізації.

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

- автоматизованими розрахунками оптимальних потужностей цехових трансформаторних підстанцій;
- автоматизованими розрахунками оптимальних перерізів живильних ліній 10 кВ та ліній підприємства;
- розрахунками оптимальної потужності конденсаторних батарей;
- розробки методики розрахунку оптимальних керуючих рішень для

конденсаторних пристроїв, в умовах несиметрії напруг в мережі, що забезпечує вимоги стандарту на якість електроенергії.

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

Предмет дослідження – мережі 10 кВ та режими реактивної потужності і несиметрії в системі електропостачання.

Наукова новизна одержаних результатів. Підвищена ефективність системи електропостачання ТОВ «Продмова» в результаті оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній, потужності конденсаторних установок, та керуванні їх потужністю враховуючи несиметрію напруг в мережах підприємства.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ТОВ «Продмов» 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).

Публікація.: Юрій Петрович Добровольський. Компенсація реактивної потужності в умовах несиметрії напруг в системах електропостачання. // XLIX Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2020) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2020/paper/view/10011/8393>

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 83 сторінках друкованого тексту, містить 18 рисунків, 18 таблиць, список використаних джерел із 50 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство

ТОВ «Продмова» зареєстрована 24.09.1999 за юридичною адресою Україна, **4, Вінницька обл., Липовецький р-н, місто Липовець, вулиця Привокзальна та виробляє продукти борошномельно-круп'яної промисловості; хліб та хлібобулочні вироби; борошняні та кондитерські вироби, торти і тістечка нетривалого зберігання; здійснює оптову торгівлю зерном, необробленим тютюном, насінням і кормами для тварин та іншими продуктами харчування, у тому числі рибою, ракоподібними та молюсками.

Виробництво здійснюється на млині Р6-АВМ виробництва Могилів-Подільського заводу, що знаходиться на станції Липовець, Липовецького району Вінницької області.

Завдяки правильній стратегії на ринку хлібопродуктів та якості борошна продукція підприємства має попит не лише у Вінницькій області, а й на території всієї України. У 2011 році у м. Вінниці в районі "Електромережа" було відкрито оптово-роздрібний склад, де представлено не лише асортимент продукції виробничих потужностей ТОВ "Продмова", а й інші товари - крупи, корми для тварин, зернові, макаронні вироби та і т.д.

За час діяльності ТОВ "Продмова" збільшило потужність переробки зерна до 50 тонн/добу, сформувало штат професійних фахівців, налагодило безперебійний технологічний процес виробництва готової продукції.

1.2 Вихідні дані для виконання роботи та науково-технічного завдання, що вирішуються

В роботі використовується генплан підприємства, який наведено на рисунку 1.1.

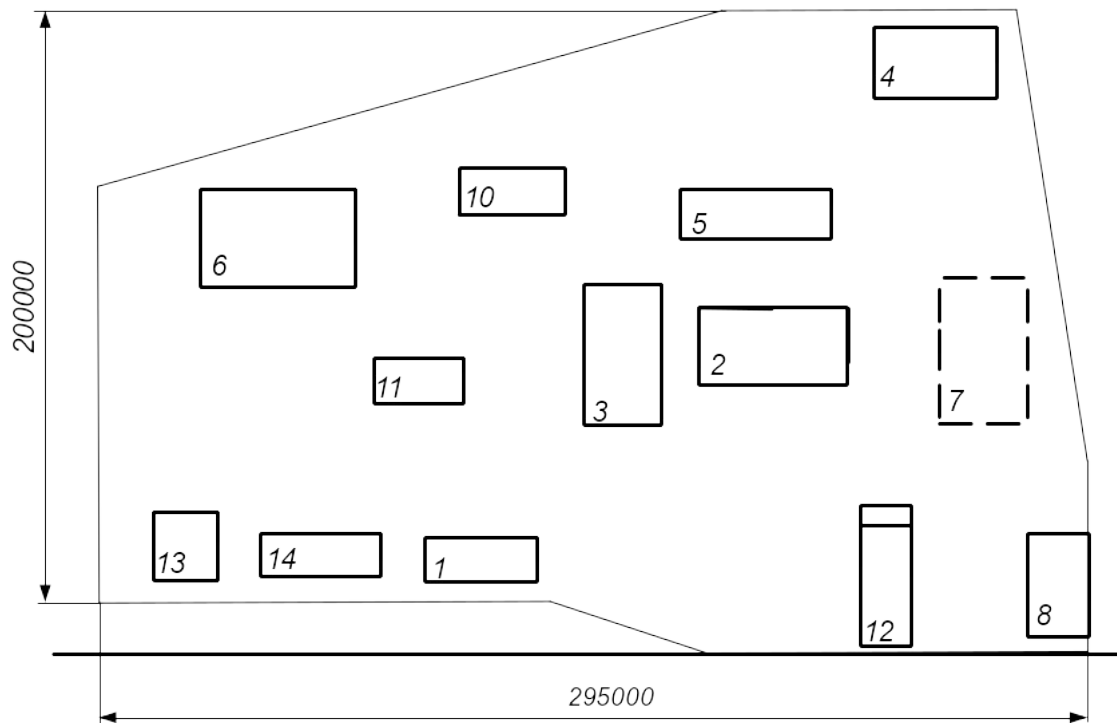


Рисунок 1.1 Генеральний план ТОВ «Продмова»

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

Назва підрозділу	P_n , (кВт)	S , (m^2)	Категорійність за надійністю
1.Адміністративний корпус	34	800	2
2.Хлібопекарський цех	250	950	2
3. Кондитерський цех	150	1275	2
4.Млин	100	1000	3
5. Упаковочний цех	80	900	3
6.Субабонент	200	850	2
7.Об'єкт перспективного будівництва	160	100	2
8.Котельня	40	360	2
9.Комунально-побутове навантаження	80	900	3
10. Склад борошна	10	600	3
11. Електроцех	50	200	3

12. Гараж	30	600	3
13. Магазин	10	525	3
14. Їдальня	50	700	3

Всі електроприймачі підприємства працюють на напрузі 380В промислової частоти 50 Гц. На найближчі 10 років зростання потужностей підприємства за результатами перспективного будівництва не передбачається.

Підприємство може житись від підстанції 110/10 кВ «Липовець», потужність короткого замикання на шинах 110 кВ якої становить 100 МВА. На підстанції «Липовець» встановлено два трансформатора типу ТДТНГ 20000/110. Підстанція знаходиться на віддалі 2,5 км від підприємства. Вхідна реактивна потужність, що встановлена енергопостачальною компанією для споживання ТОВ «Продмова» в години максимальних навантажень в системі становить 150 квар.

На підприємстві графік споживання реактивної потужності нерівномірний: глибокі провали в нічні години та навпаки піки споживання в денні години. Для забезпечення вимог енергопостачальної компанії, а також для зменшення активних втрат в мережах необхідно здійснювати керування потужністю батарей статичних конденсаторів. Особливість ситуації на підприємстві полягає в тому, що в мережах режими несиметричні. Природа виникнення несиметрії електричних режимів зумовлена несиметричним комунально-побутовим навантаженням, яке знаходиться поблизу підприємства і живиться також від мереж 10 кВ енергопостачальної компанії. Ця обставина створює додаткові особливості для компенсації реактивних навантажень, які полягають в тому, що збільшення потужності батарей статичних конденсаторів збільшує рівень несиметрії напруг, що може привести до порушення вимог стандарту на якість електроенергії. Тому алгоритми, за якими працюють системи керування батареями статичних конденсаторів, мають враховувати зазначену особливість при прийнятті керуючих рішень. Ця обставина потребує проведення досліджень та їх реалізацію в пристроях керування.

1.3 Висновки до розділу 1

1. Електричні мережі та електрообладнання системи електропостачання ТОВ «Продмова» не відповідають електричним навантаженням, оскільки останнім часом вони змінились у зв'язку із змінами в технології та технологічного обладнання на виробництві, номенклатури та обсягів продукції, яка виготовляється на підприємстві.

2. Електрообладнання, що експлуатується на підприємстві, морально та фізично застаріле. Це негативно позначається на техніко-економічних характеристиках роботи енергогосподарства підприємства і потребує проведення необхідних розрахунків для прийняття оптимальних рішень.

3. На підприємстві є потреба в проведенні досліджень особливостей реалізації такого енергозберігаючого заходу як компенсація реактивних навантажень в умовах несиметрії електричних режимів, розробки алгоритмів та методів прийняття рішень для їх реалізації в системах керування.

РОЗДІЛ 2.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ПРОДМОВА»

Частина магістерської кваліфікаційної роботи (розділ 2) пов'язана із оптимізацією схеми системи електропостачання ТОВ «Продмова». Вона полягає у виборі оптимальної потужності трансформаторів, від яких живляться електроприймачі підприємства, перерізів ліній 10 кВ, а також потужностей конденсаторних установок. При цьому розглядаються всі можливі варіанти, з яких визначаються підмножини допустимих, із яких приведеними річними витратами відбираються найкращі.

Проведені розрахунки виконані з використанням класичного математичного апарату вирішення оптимізаційних задач.

2.1 Розрахунок електричних навантажень по підприємству ТОВ «Продмова» та окремим його виробничим підрозділам

Оптимізаційні розрахунки з вибору потужності трансформаторної підстанції, перерізу живильної кабельної лінії 10 кВ, конденсаторних установок та визначення оптимального місця установки трансформаторної підстанції підприємства виконуються на підставі інформації про середні та максимальні (розрахункові) навантаження підприємства та його окремих виробничих. Такі розрахунки виконаємо за методиками [3; 5].

Розрахунок виконаємо з використанням засобів автоматизації і проведемо використовуючи метод коефіцієнта попиту. Метод рекомендований провідними проектними організаціями для розрахунку як силового, так і освітлювального навантаження промислових підприємств [1, 3].

Сутність розрахунків полягає в тому, що мають бути розрахованими середні навантаження і маючи результати цього розрахунку можна розрахувати навантаження максимальні.

Значення середніх навантаження за методом коефіцієнта попиту, розраховуються так:

– активне навантаження освітлювальних установок і-того виробничого об'єкту розраховується так:

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

де K_{poi} – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження і-го об'єкту підприємства»;

$p_{\text{питі}}$ – питома густина освітлювального навантаження для і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова», кВт/м²;

F_i – площа і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова», м²;

$K_{\text{праі}}$ – коефіцієнт, враховує втрати в пуско-регулюючій апаратурі і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова»;

– реактивне освітлювальне навантаження і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова» розраховується за формулою:

$$Q_{\text{poi}} = F_i K_{\text{ноі}} p_{\text{питі}} K_{\text{праі}} \text{tg}\varphi_{\text{oi}}, \quad (2.2)$$

де $\text{tg}\varphi_{\text{oi}}$ – коефіцієнт реактивної потужності освітлювального навантаження і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова».

– середнє активне силове навантаження і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова» розраховується так:

$$Q_{\text{poi}} = F_i K_{\text{ноі}} K_{\text{праі}} \text{tg}\varphi_{\text{oi}} \quad (2.3)$$

де $P_{\text{ноі}}$ – номінальна потужність і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова», кВт.

$K_{\text{ві}}$ – коефіцієнт використання для і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова»;

– середнє реактивне силове навантаження і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова» розраховується за формулою:

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

де $\operatorname{tg}\varphi_i$ – коефіцієнт реактивної потужності і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова».

– повне середнє навантаження і-того об'єкту підприємства розраховується так:

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

Розрахункове активне навантаження будь-якого і-того об'єкту підприємства.

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

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

Розрахункове реактивне навантаження і-того об'єкту підприємства :

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

Розрахункове повне навантаження і-того об'єкту підприємства :

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

Розрахунковий струм і-того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова»:

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

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

В цілому навантаження підприємства ТОВ «Продмова» має складові: навантаження силове та освітлювальне.

Виконаємо розрахунок середніх та розрахункових навантажень об'єктів ТОВ «Продмова» в цілому:

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

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

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

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

$$P_{p\Sigma} = \sum (P_{номi} K_{ni}) + P_{po\Sigma} \quad (2.14)$$

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

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

N – кількість підрозділів підприємства ТОВ «Продмова».

Повне навантаження підприємства ТОВ «Продмова» 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 через повну розрахункову потужність:

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

Питома густина навантаження i -того об'єкту підприємства ТОВ «Продмова»:

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

Питома густина навантаження по підприємству ТОВ «Продмова»:

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

Результати автоматизованого розрахунку навантажень ТОВ «Продмова» як в цілому, так і по всіх його виробничих підрозділах зведені в електронній таблиці (рис. 2.1).

№	А	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V			
																							Дані сили		
№	Найменування цехів												Світло				Кое=0,95				U=0,38				ρ кВА/м ²
№	Найменування цехів	Rн кВт	cos	tg	Kп	Kв	Площа м ²	Kco	Rпнт кВт/м ²	Kпра	tgφ0	Qмо квар	Rро кВт	Fс кВт	Qс квар	Sc кВА	Fр кВт	Qр квар	Sр кВА	Ip, A	ρ кВА/м ²				
1	Адміністративний корпус	34	0,8	1,3	0,56	0,2	800	0,80	0,017	1,20	0,48	6,27	13,06	19,86	15,11	24,95	32,10	31,02	44,64	67,82	0,0558				
2	Хлібопекарський цех	250	0,9	1,3	0,56	0,4	950	0,85	0,015	1,10	0,48	6,40	13,32	113,32	136,40	177,33	153,32	188,40	242,90	369,05	0,2557				
3	Кондитерський цех	150	0,75	0,88	0,46	0,5	1275	0,80	0,017	1,10	0,48	9,16	19,07	94,07	75,16	120,41	88,07	69,88	112,43	170,81	0,0882				
4	Млин	100	0,75	0,88	0,46	0,35	1000	0,85	0,017	1,10	0,48	7,63	15,90	50,90	38,43	63,77	61,90	48,11	78,39	119,11	0,0784				
5	Упаковочний цех	80	0,75	0,88	0,5	0,55	900	0,85	0,017	1,10	0,48	6,87	14,31	58,31	45,59	74,01	54,31	42,07	68,69	104,37	0,0763				
6	Субабонент	200	0,65	1,17	0,3	0,5	850	0,70	0,017	1,10	0,48	5,34	11,13	111,13	122,34	165,28	71,13	75,54	103,76	157,64	0,1221				
7	Об'єкт перспективного будівництва	160	0,8	0,75	0,4	0,45	100	0,90	0,015	1,10	0,48	0,71	1,49	73,49	54,71	91,62	65,49	48,71	81,62	124,00	0,8162				
8	Котельня	40	0,75	0,88	0,6	0,7	360	0,80	0,014	1,10	0,48	2,13	4,44	32,44	26,77	42,05	28,44	23,25	36,73	55,81	0,102				
9	Комунально-побутове навантаження	80	0,75	0,88	0,5	0,3	900	0,85	0,012	1,10	0,48	4,85	10,10	34,10	25,97	42,86	50,10	40,05	64,14	97,45	0,0713				
10	Склад муки	10	0,75	0,88	0,4	0,55	600	0,85	0,012	1,10	0,48	3,23	6,73	12,23	8,07	14,65	10,73	6,75	12,68	19,26	0,0211				
11	Електроцех	50	0,8	0,75	0,5	0,45	200	0,90	0,015	1,10	0,48	1,43	2,97	25,47	18,30	31,36	27,97	20,18	34,49	52,40	0,1724				
12	Гараж	30	0,75	0,88	0,6	0,2	600	0,85	0,017	1,20	0,48	4,99	10,40	16,40	10,27	19,36	28,40	20,83	35,23	53,52	0,0387				
13	Магазин	10	0,65	1,17	0,3	0,50	525	0,80	0,016	1,10	0,48	3,55	7,39	12,39	9,40	15,55	10,39	7,06	12,56	19,09	0,0239				
14	Ідальня	50	0,8	0,75	0,9	0,25	700	0,80	0,014	1,10	0,48	4,14	8,62	21,12	13,51	25,08	53,62	37,89	65,66	99,76	0,0938				
15	Всього по підприємству	1244				0,43	9760,00					66,68	138,92	675,22	600,02	903,30	706,11	630,07	946,35	1437,83	0,097				

Рисунок 2.1 – Отримані результати розрахунку середніх та силових навантажень ТОВ «Продмова»

2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції

Для проведення розрахунку потужності трансформаторів попередньо потрібно сформулювати навантаження підстанцій і тим самим визначити їх кількість. За результатами розрахунку навантажень підприємства можна прийняти рішення про установку однієї підстанції. Оскільки підприємство в цілому відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання [4], то його електроприймачі мають живитись від двох незалежних джерел. Тому передбачаємо для підприємства двотрансформаторну підстанцію із секціонованою системою збірних шин. Потужності трансформаторів необхідно вибрати таким чином, щоб в аварійних ситуаціях можна було жити все підприємство від одного трансформатора, забезпечуючи при цьому допустимі характеристики його можливого перевантаження.

Вибір трансформаторної підстанції проводиться із врахуванням питомої густини навантаження. При питомій густині навантаження до 0,2 (кВА/м²) [7] рекомендується обирати трансформатори потужність до 1000 (кВА).

Для розрахунку оптимальної потужності трансформаторів скористаємось математичними методами оптимізації – методами дослідження операцій. Технологія використання методів дослідження операцій передбачає попередню розробку оптимізаційної моделі. Критерієм ефективності, за яким здійснюється вибір найкращого рішення, приймемо річні приведені витрати на підстанцію. Математична модель має забезпечувати таку умову – вибір слід виконувати із ряду стандартних потужності трансформаторів. Таким чином математична модель має відноситись до класу дискретних.

Зазначені особливості забезпечені в такій математичній моделі

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(S_T) = (E_c + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{K3}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТПСМ} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{Па} \geq S_{ТПР} \cdot k_{НПа} \\ S_T \in S_{СТ} \end{array} \right. \quad (2.21)$$

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

E_c – 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.

Керованою змінною в математичній моделі є потужність трансформаторів S_T і вибирається вона із ряду стандартних їх потужностей. Критерієм ефективності математичної моделі є річні приведені затрати на підстанцію. Отримання допустимих розв'язків забезпечується тим, що визначення оптимального рішення виконується із множини допустимих з технічних міркувань потужностей трансформаторів.

Отримані результати розрахунку з вибору потужностей трансформаторної підстанції для живлення підприємства наведені на рис. 2.2.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Економічні характеристики														
2														
3	Питома вартість врат, грн/кВт										Bo = 560,895			
4	Коефіцієнт ефективності капітовкладень										Ee = 0,1			
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea = 0,036			
6											ТП1			
7	Дані нормального режиму													
8	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp= 946,35			
9	Середня потужність ТП, кВА										Sc= 512,30			
10	Кількість трансформаторів										кТ= 2			
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Кн= 1			
12	Дані післяварійного режиму													
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяварійному режимі										Кпа = 1,3			
14	Доля навантаження в післяварійному режимі										Кпа = 0,8			
15														
16	*	St кВА	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*S p	*
17		63	0,24	950,78	129,306	144,412	0,48	144,892	81,269	-	-	-	-	-
18		100	0,33	1010,71	137,457	88,2145	0,66	88,8745	49,8492	-	-	-	-	-
19		160	3,1	1090,45	148,301	54,2245	1,02	55,2445	30,9863	-	-	-	-	-
20		250	4,2	1190,46	161,903	30,0914	1,48	31,5714	17,7083	-	-	-	-	-
21		400	5,9	1430,38	194,532	16,5122	1,9	18,4122	10,3273	-	-	-	-	-
22	V	630	8,5	1590,53	216,312	9,58984	2,62	12,2098	6,84844	223,161	630	+	+	V
23		1000	10,5	1880,23	255,711	4,70179	4,2	8,90179	4,99297	260,704	1000	+	+	
24		1600	18	2340	318,24	3,14852	5,6	8,74852	4,907	323,147	1600	+	+	
25		2500	23,5	2670,73	363,219	1,68369	7,7	9,38369	5,26326	368,483	2500	+	+	
26														
27	Мінімальні затрати, грн								3min=	223,161				
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА								St*=	630				
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора								кз*=	0,75107				

Рисунок 2.2 – Розрахунки та вибір оптимальної потужності трансформаторної підстанції

2.3 Оцінка втрат потужності в трансформаторах ТП підприємства

Робота трансформаторів супроводжується їх нагріванням на що витрачається активна енергія. Накладаючись на активну енергію, що корисно споживається електроприймачами, вона передається по лінії 10 кВ, що живить підприємство. Тому ці втрати в подальших розрахунках врахуємо при виборі перерізу кабельної лінії 10 кВ, якою живиться підприємство.

Для розрахунку активних втрат в трансформаторах скористуємось відомою 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, (кВт);

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

Отримані результати автоматизованого розрахунку активних втрат в трансформаторах ТП представлені на рис. 2.3.

1												
2	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	$I_{\text{хх}}$, %	$U_{\text{к}}$, %	$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА	$\Delta P_{\text{тр}}$, кВт	$\Delta Q_{\text{тр}}$, квар	$\Delta S_{\text{тр}}$, кВА	P , кВт	Q , квар	
3	8,5	2	5,5	706,11	630,07	1437,83	21,44	19,7	29,1	730,86	649,77	

Рисунок 2.3 – Результати уточнюючого розрахунку потужностей трансформаторів із врахуванням активних втрат потужності

2.4 Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній 10 кВ

Як і для всіх підприємств, що відносяться до другої категорії за надійністю, передбачимо живлення ТОВ «Продмова» двома кабельними лініями.

Переріз кабельних ліній будемо вибирати із ряду стандартних перерізів, що виготовляються промисловістю. В цьому ряду є частина перерізів, вибір яких є

не допустимим, оскільки вони не задовольняють умовам, по яким здійснюється вибір кабелів. Із підмножини допустимих перерізів кабелів за критерієм мінімуму приведених річних витрат виберемо оптимальний переріз для умов ТОВ «Продмова». Такий вибір можна здійснити, користуючись математичною моделлю:

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

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

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

$V_b(x)$ - річна вартість втрат електричної енергії в кабельних лініях перерізом X ;

I_L – струм лінії, відповідає розрахунковій потужності;

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

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

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

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

$K_{\text{доп}}(x)$ - коефіцієнт допустимого навантаження [3];

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

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

$k_{\text{с}}$ – коефіцієнт середовища;

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

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

$t_{\text{п}}$ – приведений час к. з. (с) $\approx 1,5(\text{с})$;

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

C – тепловий коефіцієнт $\left(\frac{A \cdot \sqrt{C}}{\text{мм}^2}\right)$ (згідно [6], для кабелів 10кВ з алюмінієвими жилами коефіцієнт $C = 90$).

Модель забезпечує всі умови вибору перерізу кабелю. Цільова функція є аналітичним описом критерію ефективності річних приведених затрат. Вибір виконується із підмножини всіх стандартних перерізів. Змінною, числове значення якої треба розрахувати, є величина X (мм²) – переріз кабельної лінії, що вибирається.

Допустимі втрати напруги в кабельній лінії та допустимість термічної дії струмів короткого замикання забезпечуються відповідними обмеженнями математичної моделі. Результати автоматизованого розрахунку, що виконується за допомогою електронних таблиць Excel, наведено в таблиці, рис. 2.4.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Вибір оптимального перерізу зовнішньої жилычої КЛ																		
Економічні характеристики																		
1																		
2																		
3	Питома вартість втрат, грн/кВт																	
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																	
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																	
6	Дані нормального режиму																	
7	Напруга, кВ																	
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт																	
9	Реактивна розрахункова опухність споживача, кВАр																	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А																	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження																	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %																	
13	Кількість кабелів																	
14	Довжина лінії, км																	
15	Дані аварійного режиму																	
16	Струм КЗ на початку лінії, кА																	
17	Приведений час КЗ, с																	
18	Тепловий коефіцієнт $C, (A^2 \cdot s^{1/2}) / \text{мм}^2$																	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм ²																	
20																		
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі																	
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %																	
24																		
25	$F, \text{мм}^2$	$R_0, \text{Ом/км}$	$X_0, \text{Ом/км}$	$\rho_0, \text{кОм/км}$	$\rho_0, \text{кОм/км}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$dU_n, \%$	$dU_{\text{доп}}, \%$	$dF, \text{кВт}$	$E^* \cdot C, \text{т.грн}$	$E^* \cdot C, \text{т.грн}$	$V_3, \text{т.грн}$	X	$K_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}} \geq I_p$	$n^* I_{\text{доп}} \geq n_{\text{кнл}} \cdot k^*$	$dU_n \leq dU_{\text{доп}}$	$dU_{\text{доп}} \leq F \geq F_{\text{кз}}$	
26	10	3,1	0,122	90,5381	65	2,93	4,69	37,06	452,69	63,38	20,78	-	-	+	+	+	-	
27	16	1,94	0,113	130,784	75	1,86	2,98	23,19	653,92	91,55	13,01	-	-	+	+	+	-	
28	25	1,24	0,099	190,854	90	1,21	1,94	14,82	954,27	133,60	8,31	-	-	+	+	+	-	
29	35	0,89	0,095	250,953	115	0,89	1,42	10,64	1254,77	175,67	5,97	-	-	+	+	+	-	
30	50	0,62	0,09	360,927	140	0,64	1,02	7,41	1804,64	252,65	4,16	256,81	50	+	+	+	+	
31	70	0,443	0,086	500,501	165	0,47	0,76	5,30	2503,51	350,35	2,97	353,32	70	+	+	+	+	
32	95	0,326	0,083	650,451	205	0,37	0,58	3,90	3252,26	455,32	2,19	457,50	95	+	+	+	+	
33	120	0,258	0,081	820,823	240	0,30	0,48	3,08	4104,12	574,58	1,73	576,31	120	+	+	+	+	
34	150	0,206	0,079	1020,11	275	0,25	0,40	2,46	5100,55	714,08	1,38	715,46	150	+	+	+	+	
35	185	0,167	0,077	1370,48	310	0,22	0,34	2,00	6852,40	959,34	1,12	960,46	185	+	+	+	+	
36	Мінімальні затрати, тис. грн																	
37	Оптимальний переріз КЛ, мм ²																	
	Змін																	
	Хопт																	
	50																	

Рисунок 2.4 – Результати розрахунку перерізу кабельної лінії живлення

За результатами, що отримані, для ділянки районна трансформаторна підстанція «Липовець» – трансформаторна підстанція ТОВ «Продмова» приймаємо кабель ААБ (3*50).

2.5 Обґрунтування оптимального розміщення трансформаторних підстанцій

В лініях розподільних мереж 0,4 кВ мають місце втрати активної потужності, які залежать від місця розташування трансформаторної підстанції. Але вибір місця її розташування є оптимізаційною задачею, яке має вибиратися із врахуванням трас прокладки по території підприємства інших комунікацій, технологічного розміщення його виробничих підрозділів, зручністю комунікацій. Зазначені умови аналітично описати не можна і мають забезпечуватися людиною-проектувальником.

Тому по-суті зазначена технічна задача є оптимізаційною. Розв'язок такої задачі можна виконати, скориставшись методикою [2], яка знайшла широке використання в проектній практиці і рекомендована для використання провідними проектними організаціями. Саме цією методикою скористаємось для обґрунтування місця розташування трансформаторної підстанції.

За цією методикою місце розташування трансформаторної підстанції приймається людиною, користуючись результатами розрахунку центра електричних навантажень (ЦЕН). ЦЕН – це точка на плані підприємства, установка трансформаторної підстанції в якій забезпечує мінімальні втрати активної потужності в мережах 0,4 кВ.

Для розрахунку ЦЕН попередньо слід побудувати картограму електричних навантажень. Картограма електричних навантажень являє собою кола, які наносяться на генплані підприємства, а їх площа пропорційна потужності кожного із виробничих підрозділів. На площі кіл виділяються сектори, що відображають долі силового та освітлювального навантажень в загальному навантаженні того або іншого виробничого підрозділу.

Діаметри кіл картограми зображується в певному масштабі. Їх можна розрахувати так:

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

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 $m_p = 1,0$ кВт/см². Проведемо розрахунки картограми електричних навантажень для ТОВ «Продмова».

Визначимо радіуси кіл картограми навантажень в даному масштабі для всіх виробничих об'єктів підприємства та сектори освітлювального навантаження, що відображають його долю від загальної активної потужності цеху. Отримані результати наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку картограми електричних навантажень об'єктів ТОВ «Продмова»

Виробничий об'єкт	Координати		P _м , кВт	P _{мо} , кВт	α _к	Γ _к , см
	X _к , см	Y _к , см				
1.Адміністративний корпус	7,2	1,7	32,10	13,06	152	3,2
2.Хлібопекарський цех	12,8	5,8	153,32	13,32	30,5	7,0
3. Кондитерський цех	10,2	5,6	88,07	19,07	77,7	5,2
4.Млин	17,0	11,2	61,90	15,90	92,9	4,4
5. Упаковочний цех	12,6	8,5	54,31	14,31	94,8	4,1
6.Субабонент	3,5	8,0	71,13	11,13	55,7	4,7
7.Об'єкт перспективного будівництва	16,9	5,7	65,49	1,49	8,2	4,5
8.Котельня	18,2	1,3	28,44	4,44	57,0	2,9
9.Комунально-побутове навантаження						
10. Склад муки	7,6	8,8	10,73	6,73	242,1	1,8
11. Електроцех	6,2	5,2	27,97	2,97	38,1	3,0
12.Гараж	14,8	1,5	28,40	10,40	128,5	3,1
13. Магазин	1,7	1,5	10,39	7,39	256,0	1,8
14. Їдальня	5,7	1,5	53,62	8,62	57,9	4,1

Розрахунком визначимо координати X та Y ЦЕН підприємства за формулою

[1]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{pi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^3 P_{pi}} = 97,6, \text{ см}$$

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

X_i – координати абсциси i -ої ТП, см.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{pi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^3 P_{pi}} = 50,1, \text{ см}$$

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

Картограма та центр електричних навантажень, що отримані за проведеним розрахунком, зображені на рис. 2.5.

Безпосередньо в ЦЕН розташувати трансформатору підстанцію немає можливості, оскільки він знаходиться на території виробничого приміщення: кондитерського цеху, де встановлено технологічне обладнання. Тому встановимо трансформаторну підстанцію, зсунувши її в сторону районної підстанції 110/10 кВ «Липовець». Розташування трансформаторної підстанції показано на рисунку 2.5.

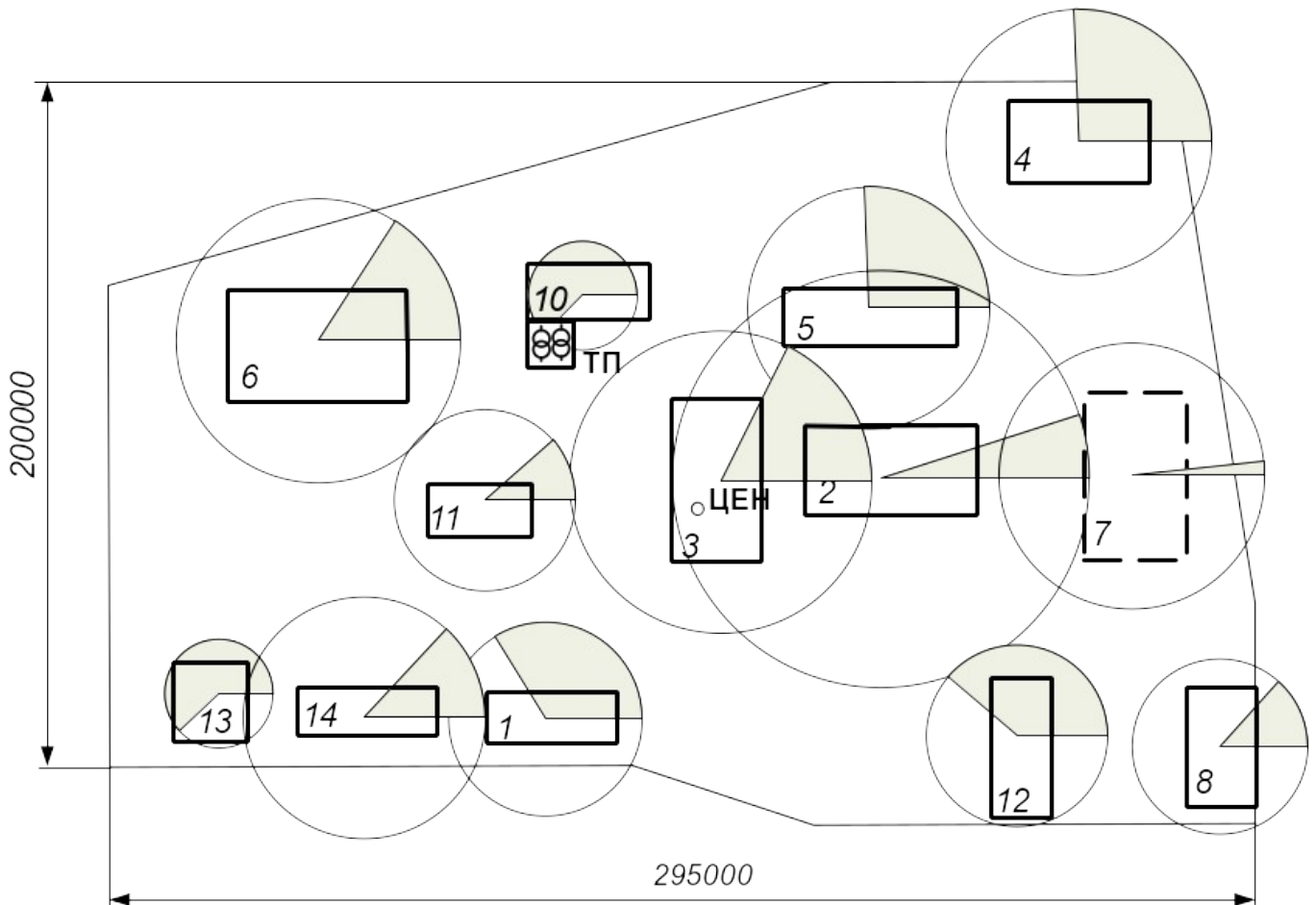


Рисунок 2.5 – Координати розташування ТП, що прийняті, користуючись результатами розрахунку

2.6 Компенсація реактивної потужності в мережах підприємства та перевірка деяких із прийнятих рішень

Самим ефективним енергозберігаючим технічним засобом для зменшення активних втрат в електричних мережах є компенсація реактивної потужності [5, 16]. Енергопостачальна компанія може встановлювати ряд умов, серед яких значення вхідної реактивної потужності, яку можна споживати з мереж енергосистеми, недопустимість зворотних перетоків реактивної потужності з мереж підприємства в мережі енергосистеми та інші.

Компенсацію реактивної потужності можна здійснювати шляхом установки батарей статичних конденсаторів, які одночасно проявляють цілий ряд

супроводжувальних ефектів. Одним із таких ефектів є зменшення потужності, що споживається, за рахунок зменшення реактивної складової струму. В результаті зменшується завантаження окремих елементів системи електропостачання.

Практичну установку конденсаторних батарей, максимально наблизивши їх до електроприймачів, в мережах ТОВ «Продмова» можна здійснити на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції. Оптимізаційна задача розподілу вхідної реактивної потужності [7] для системи електропостачання, де встановлена одна трансформаторна підстанція немає смислу. При цьому потужність конденсаторних батарей, що треба встановити, має дорівнювати:

$$Q_{\text{БК}} = Q_p - Q_e = 630,07 - 150 = 480,07 \text{ квар}, \quad (2.25)$$

Q_e – вхідна реактивна потужність, що задана енергосистемою.

До установки виберемо комплектну конденсаторну установку ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ номінальної напруги 0,4 кВ, потужністю 240 (квар) в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин). Кожна установка має по 12 секцій керування по 20 квар. Загальна потужність встановлених батарей становить: (480) квар.

Тим самим вимоги енергосистеми забезпечуються.

З метою оцінки можливості вибору трансформаторів меншої потужності і ліній живлення 10 кВ меншого перерізу виконані необхідні розрахунки, результати яких представлені в таблицях, рис. 2.6 та 2.7.

З отриманих результатів видно, що у випадку ТОВ «Продмова» внаслідок установки конденсаторних батарей зменшувати потужність трансформаторів та перерізи кабельних недоцільно.

Вибір оптимальної потужності ЦТП2 за мінімум затрат	
Економічні характеристики	
Питома вартість втрат, грн/кВт	Bo = 560,895
Коефіцієнт ефективності капітовкладень	Ee = 0,1
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	Ea = 0,036
	ТП2
Дані нормального режиму	
Розрахункова потужність ТП, кВА	Sp= 720,00
Середня потужність ТП, кВА	Sc= 691,00
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	Кпа = 0,8

•	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРух кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	χ	Кт*Кн*St >=Sc	Кпа*St =Кпа*S р	*
	63	1,28	0,24	950,78	129,306	83,5918	0,48	84,0718	47,1555	-	-	-	-	-
	100	1,97	0,33	1010,71	137,457	51,0624	0,66	51,7224	29,0108	-	-	-	-	-
	160	3,1	0,51	1090,45	148,301	31,3875	1,02	32,4075	18,1772	-	-	-	-	-
	250	4,2	0,74	1190,46	161,903	17,4182	1,48	18,8982	10,5999	-	-	-	-	-
	400	5,9	0,95	1430,38	194,532	9,558	1,9	11,458	6,42673	-	-	-	-	-
V	630	8,5	1,31	1590,53	216,312	5,55102	2,62	8,17102	4,58308	220,895	630	+	+	V
	1000	10,5	2,1	1880,23	255,711	2,7216	4,2	6,9216	3,88229	259,594	1000	+	+	-
	1600	18	2,8	2340	318,24	1,8225	5,6	7,4225	4,16324	322,403	1600	+	+	-
	2500	23,5	3,85	2670,73	363,219	0,97459	7,7	8,67459	4,86554	368,085	2500	+	+	-
Мінімальні затрати, грн										Зmin=	220,895			
Оптимальна потужність трансформатора, кВА										St*#	630			
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*#	0,57143			

Рисунок 2.6 – Результати розрахунку, який проведено для уточнення потужності трансформаторів

Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ

Економічні характеристики	
Питома вартість втрат, грн/кВт	В _{вт} = 560,895
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	Е _е = 0,1
Коефіцієнт відраховувань на амортизацію	Е _а = 0,04
Дані нормального режиму	
Напруга, кВ	U = 10
Активна розрахункова потужність споживача, кВт	P = 730,8
Реактивна розрахункова опухність споживача, кВАр	Q = 150
Розрахунковий струм окрамової кабелю, А	I _p = 21,54
Коефіцієнт допустимого навантаження	K _{доп} = 1,00
Допустима втрата напруги в КЛ, %	dU _{доп} = 5
Кількість кабелів	k = 2
Довжина лінії, км	L = 2,5
Дані аварійного режиму	
Струм КЗ на початку лінії, кА	I _{кз} = 3,0386856
Приведений час КЗ, с	t _п = 1,5
Тепловий коефіцієнт C, (А ² ·с ² ·I _п ²)/мм ²	C = 90
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм ²	F _{кз} = 41,35
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі	
Доля навантаження в післяаварійному режимі	K _{па} = 1,25
Допустима втрата напруги в КЛ, %	K _{падоп} = 0,8
	dU _{падоп} = 5

F, мм ²	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км	K ₀ , т.грн/км	I _{доп} , А	dU _{па} , %	dF, кВт	K, т.грн	E* _к , т.грн	В _{вт} , т.грн	З, т.грн	X	K _{доп} *I _{доп} >= I _p	n*I _{доп} >= K _{па} *k*I _п	dU _{па} <= dU _{падоп}	F >= F _{кз}	
10	3,1	0,122	90,5381	65	2,85	4,57	21,57	452,69	63,38	12,10	-	+	+	+	-	
16	1,94	0,113	130,784	75	1,79	2,87	13,50	653,92	91,55	7,57	-	+	+	+	-	
25	1,24	0,099	190,854	90	1,15	1,84	8,63	954,27	133,60	4,84	-	+	+	+	-	
35	0,89	0,095	250,953	115	0,83	1,33	6,19	1254,77	175,67	3,47	-	+	+	+	-	
50	0,62	0,09	360,927	140	0,58	0,93	4,31	1804,64	252,65	2,42	255,07	50	+	+	+	
70	0,443	0,086	500,501	165	0,42	0,67	3,08	2502,51	350,35	1,73	352,08	70	+	+	+	
95	0,326	0,083	650,451	205	0,31	0,50	2,27	3252,26	455,32	1,27	456,59	95	+	+	+	
120	0,258	0,081	820,823	240	0,25	0,40	1,79	4104,12	574,58	1,01	575,58	120	+	+	+	
150	0,206	0,079	1020,11	275	0,20	0,32	1,43	5100,55	714,08	0,80	714,88	150	+	+	+	
185	0,167	0,077	1370,48	310	0,17	0,27	1,16	6852,40	959,34	0,65	959,99	185	+	+	+	
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	255,07					
Оптимальний переріз КЛ, мм ²										Холт	50					

Рисунок 2.7 – Результати розрахунку, який проведено для уточнення перерізу кабельної лінії 10 кВ

1. В системі електропостачання ТОВ «Продмова» оптимальним рішенням є установка підстанції з двома трансформаторами потужністю 630 кВА кожний.

2. За мінімумом річних приведених витрат доцільним є виконання лінії живлення від районної підстанції «Липовець» двома кабельними лініями перерізами (3×50);

3. Для зниження активних втрат в лініях 10 кВ і трансформаторах, а також для забезпечення вимог енергосистеми до шин 0,4 кВ з боку 0.4 кВ трансформаторної підстанції слід під'єднати комплектні конденсаторні батареї ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ в кількості в кількості 2шт (по одній до кожної секції збірних шин).

РОЗДІЛ 3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ

Напруга в мережах ТОВ «Продмова» характеризується певною несиметрією. Така обставина змінює умови компенсації реактивної потужності за допомогою БСК. Існуючі методики розрахунку потужності БСК зазначену обставину не враховують. В результаті цього несиметрія напруги посилюється, а показники стандарту, що оцінюють її рівень, можуть перевищити допустимі значення.

В зв'язку з цим виникає потреба в розрахунку таких керувальних впливів для БСК, які у разі їх реалізації не допустять порушення стандарту по зазначеному показнику.

В даному розділі вирішена зазначена технічна задача. Для її вирішення використані методи дослідження операцій.

3.1 Результати експериментальних досліджень, що свідчать про випадки несиметрії напруг в вузлах під'єднання БСК в мережах виробництв, в яких відсутнє несиметричне навантаження

15 вересня на підстанції 10/0,4 кВ підприємства з боку низької напруги проводились разові вимірювання фазних та лінійних напруг при вимкнених БСК. За цими результатами розраховані значення фазних її відхилень та коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній послідовності (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних досліджень на підприємстві

№ експерименту	Параметри, що вимірювались						Розраховані значення параметрів якості електроенергії			
	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$\delta U_{yA}, В$	$\delta U_{yB}, В$	$\delta U_{yC}, В$	$k_{2U}, \%$
1	219,1	232,2	222,0	390,9	388,8	397,4	0,9	12,2	2,0	2,36
2	225,7	231,2	226,5	398,4	400,1	394,8	5,7	11,2	6,5	1,42
3	231,0	232,1	228,0	403,3	402,2	401,2	11,0	12,1	8,0	0,55
4	224,0	227,0	225,0	405,0	404,0	399,0	4,0	7,0	5,0	1,68

Позначення, використані в табл. 3.1: δU_{yA} , δU_{yB} , δU_{yC} – відхилення напруги по фазах А, В, С; k_{2U} – коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності.

З наведених результатів досліджень можна зробити такі висновки:

1. В системах електропостачання, які не мають потужних несиметричних електроприймачів несиметричного виконання, можуть мати місце режими, коли k_{2U} сягає суттєвих величин (експеримент №2 та №4) та величин, які перевищують нормовані значення (експеримент №1).

2. При несиметрії режиму δU_y по фазах мають різні значення. В такому випадку δU_y допустимого значення може мати місце лише по одній із фаз (експеримент №1 - №3). Тому в процесі керування, коли здійснюється вплив на δU_y , необхідно контролювати кінцеві результати по кожній фазі.

3.2 Властивості БСК та особливості їх роботи при несиметричній нарузі

3.2.1 Вплив електричних режимів мережі на БСК. Будь-яке відхилення умов роботи БСК позначається на їх стані. Дуже важливо знати про такі впливи, щоб забезпечити нормальні терміни роботи БСК і тим самим виключити можливість їх передчасного виходу із ладу, що деяких випадках може привести до аварійних ситуацій.

Використання БСК супроводжується такими ефектами.

1. Зменшення активних втрат [2, 8,], що виникають в усіх елементах системи електропостачання внаслідок передачі реактивної потужності.

2. Додавка напруги, що створюється при ввімкненні БСК, дозволяє здійснювати регулювання напруги у вузлі їх під'єднання [12] і дозволяє забезпечити допустимі відхилення напруги на затискачах окремих електроприймачів, тобто використовувати їх як засіб місцевого регулювання напруги.

3. Зниження розмахів коливання напруги за допомогою швидкодіючих БСК [2]. Кінцева ефективність залежить від швидкодії, з якою пристрій керування відслідковує зміну навантаження і в залежності від цього змінює їх потужність. Для зниження коливань напруги особливо ефективними є БСК повздовжнього ввімкнення [6].

4. Зниження несиметрії напруг [22], яка обумовлена електроприймачами несиметричного виконання, з використанням спеціальних симетруючих пристроїв на базі БСК.

5. Забезпечення нормованих значень показників несинусоїдальності напруг за допомогою фільтрів вищих гармонік. Вони в своїй схемі містять реактори та послідовно з ними з'єднаної БСК [2, 18]. Параметри реактора і БСК мають бути такими, щоб їх результуючий опір на частоті відповідної гармоніки дорівнював нулю.

Характеристики БСК у зазначених вище випадках 2, 3, 4 та 5 змінюються і, як наслідок, їх вплив на живильні мережі також буде дещо іншим в порівнянні із тим, яким би він був в ідеальному випадку, коли напруга симетрична, синусоїдальна та номінального значення.

Питання впливу умов роботи БСК на їх характеристики досліджувались в роботах [21, 28].

За результатами проведених досліджень, де вивчалися характеристики БСК симетричного виконання в умовах несиметрії напруг встановлено:

1. Додаткові втрати активної потужності – ΔP_2 в БСК симетричного виконання в умовах несиметричних режимів становлять:

$$\Delta P_2 = Q_n \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot k_{2U}^2, \quad (3.1)$$

де $\operatorname{tg} \delta$ – коефіцієнт діелектричних втрат по основній частоті;

k_{2U} – фактичний коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності.

Проведені розрахунки засвідчили [21], що активні втрати ΔP_2 в БСК не суттєві. При $k_{2U} = 10\%$ вони складають менше 0,01% від загальних втрат.

2. Оскільки БСК окремих фаз при несиметрії напруг знаходяться під різними напругами, то це може призвести до їх перевантаження або до недовантаження. Потужність БСК в таких умовах визначається [28]:

$$Q = Q_n \cdot \left(\frac{U_1}{U_n} \right)^2 (1 + k_{2U}^2), \quad (3.2)$$

де U_1 – напруга прямої послідовності;

U_n – номінальна напруга БСК.

3. Має місце додаткове нагрівання ізоляції БСК в фазах, де напруга є підвищеною. Ці втрати розраховуються так [29]:

$$\Delta \tau_{\phi} = \tau_n \left[k_{2U}^2 + 2k_{2U} \cos f(\psi_2) \right], \quad (3.3)$$

де τ_n – температура нагрівання ізоляції БСК при симетричній номінальній напрузі;

ψ_2 – кут між відповідними міжфазними напругами систем прямої та зворотної послідовностей;

$f(\psi_2)$ – деяка функціональна залежність від ψ_2 .

4. Підвищена напруга на конденсаторах призводить до посилення іонізаційних процесів в ізоляції, що помітно позначається на термінах її служби. Скорочення терміну служби ізоляції внаслідок посилення іонізаційних процесів при несиметричній напрузі на БСК описується аналітичною залежністю [29]:

$$\Delta t_U = \frac{2|k_{2U}^2 + 2k_{2U} \cos f(\psi_2)|}{1 + \frac{\pi}{2} k_{п.і.}}, \quad (3.4)$$

де $k_{п.і.} = 0,15 - 0,2$ – коефіцієнт, який характеризує відношення номінальної напруги БСК до напруги початку іонізації.

При $k_{2U} = 2\%$ скорочення служби ізоляції БСК складає 20 – 25%.

3.2.2 Вплив БСК на режими в електричній мережі. БСК, будучи під'єднаними до мережі, де має місце відхилення параметрів, що визначають якість електроенергії, здійснюють вплив на параметри режиму, який має особливості. Іноді тим або іншим впливом можна нехтувати, а за певних обставин його обов'язково треба брати до уваги особливо при оперативному керуванні електричним режимом.

Дослідження впливів БСК, що під'єднана до несиметричної напруги, на параметри режиму в електричній мережі майже не проводились. Відомо лише те, що конденсатори, на яких «міжфазні напруги не однакові» (тобто напруга не симетрична), створюють неоднакові добавки напруги по фазах. В результаті несиметрія напруг зростає [9].

В [4] зазначено те, що ввімкнення симетричної БСК за умови несиметрії напруг призведе до зростання напруги зворотної послідовності. Робиться пропозиція вирішувати дану задачу в два етапи. На першому – розв'язується задача компенсації реактивної потужності незважаючи на несиметрію напруг. На другому етапі у вузлах, в яких несиметрія напруг перевищить допустиме значення вирішується задача синтезу пристрою на базі БСК. Його потужність дорівнює потужності, яка розрахована на першому етапі. Такий пристрій має зменшувати несиметрію напруг до допустимих норм, а ефект по компенсації реактивної потужності залишиться незмінним.

Можна припустити, що можуть скластися в електричній мережі такі режими, коли несиметрія, яка знаходиться в межах допустимих норм, визначених

ГОСТ 13109-97, в результаті під'єднання БСК вийде за межі нормованих значень. В таких ситуаціях необхідно виконувати вибір керуючих рішень із врахуванням обмеження на значення напруги зворотної послідовності, що буде мати місце після реалізації керування. Тому необхідно обмежувати напругу зворотної послідовності такими значеннями, які відповідають нормованому коефіцієнту несиметрії напруги по зворотній послідовності. Іноді напруга зворотної послідовності може обмежуватись, виходячи із специфічних умов технологічного процесу.

3.3 Необхідність врахування несиметрії напруги в електричній мережі при керуванні БСК

3.3.1 Забезпечення показників якості електроенергії, що нормують несиметрію напруги. При несиметрії напруг в трифазній мережі потужності плечей БСК будуть мати неоднакові значення, оскільки до них прикладена різна за величиною напруга. В результаті цього добавки напруги, які створюються БСК по фазах трифазної системи, будуть різними. Причому, для найбільшої за значенням напруги буде і добавка найбільшою і навпаки [37]. Тому при під'єднанні БСК в умовах несиметрії напруги остання буде посилюватись, рис. 3.1.

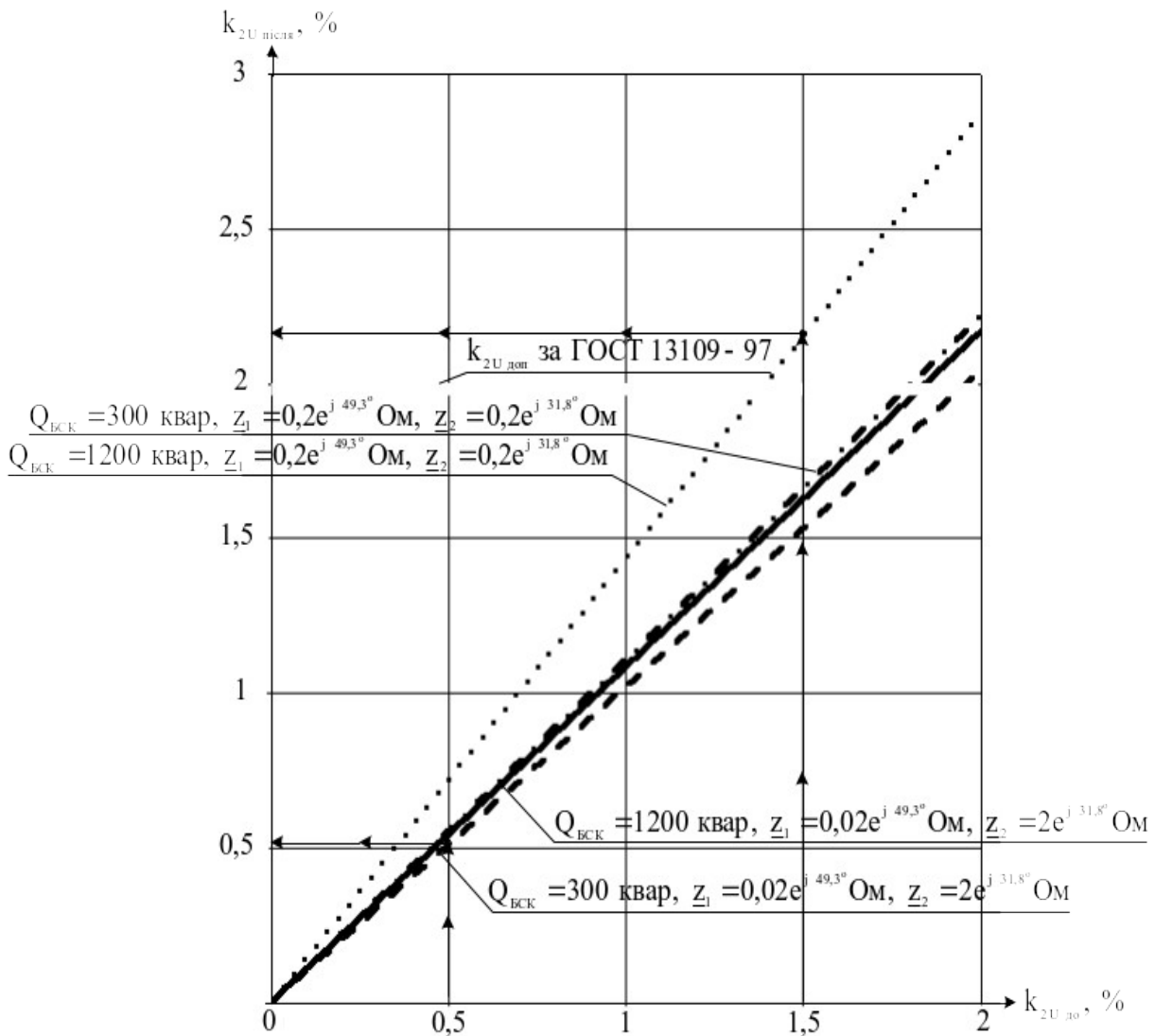


Рисунок 3.1 – Зміна коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності в залежності від всіх можливих факторів

Тому можливі такі режими, коли несиметрія, яка знаходиться в межах допустимих за ГОСТ 13109-97 норм в результаті реалізації керуючих рішень з компенсації реактивних навантажень вийде за допустимі межі. В таких ситуаціях виникає потреба здійснювати їх вибір із врахуванням технічного обмеження на значення напруги зворотної послідовності, що буде в результаті реалізації вектора керування. В таких напругу зворотної послідовності слід обмежити значеннями, які відповідають нормованому коефіцієнту несиметрії напруги по зворотній послідовності. Можливі випадки, коли напругу зворотної послідовності потрібно обмежити, виходячи із умов технологічного процесу.

3.3.2 Контроль відхилень напруги по фазах. За умови передачі реактивної потужності мають місце додаткові втрати напруги. Такі втрати особливо суттєві в мережах, 0,4 кВ, що живлять промислові виробництва. Передача потужностей P і Q в мережі з активним опором R і реактивним X супроводжується спадом напруги, яка визначається за формулою:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\text{ном}}} = \frac{P \cdot R}{U_{\text{ном}}} + \frac{Q \cdot X}{U_{\text{ном}}} = \Delta U_a + \Delta U_p, \quad (3.5)$$

де ΔU_a - складова спаду напруги в мережі в результаті передачі активної потужності;

ΔU_p - складова спаду напруги в мережі в результаті передачі реактивної потужності.

Спад напруги ΔU_p збільшує відхилення напруги на затискачах електроприймача від номінального значення.

При ввімкненні БСК потужністю $Q_{\text{БСК}}$ величина спаду напруги зменшується, оскільки створюється постійна добавка напруги $\Delta U_{\text{рк}}$. Враховуючи, що БСК мають керовані секції, то дискретні значення $\Delta U_{\text{рк}}$ залежить від потужності відповідної секції $Q_{\text{БСК}}$:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + (Q - Q_{\text{БСК}}) \cdot X}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p - \Delta U_{\text{рк}}. \quad (3.6)$$

Оцінюючи вплив БСК на напругу слід враховувати залежність потужності батареї від напруги у вузлі її під'єднання [32]:

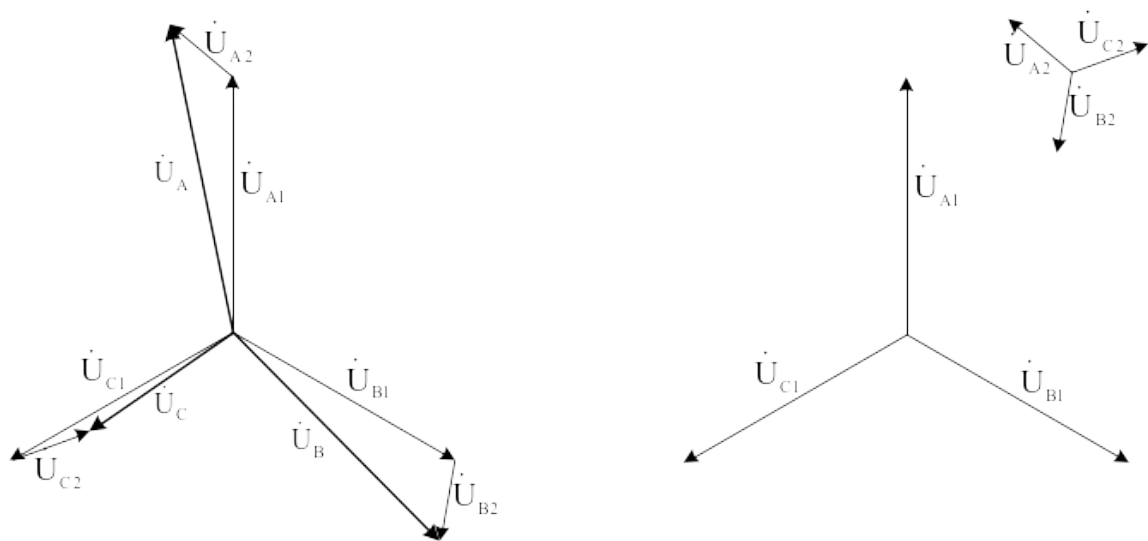
$$Q_{\text{БСК факт}} = Q_{\text{БСК ном}} \left(\frac{U_{\text{факт}}}{U_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (3.7)$$

де $Q_{\text{БСК ном}}$, $Q_{\text{БСК факт}}$ - номінальна і фактична потужності БСК відповідно;

$U_{\text{ном}}$, $U_{\text{факт}}$ - номінальна і фактична напруги на затискачах БСК відповідно.

Аналіз рівняння (3.7) свідчить, що при відхиленні напруги в межах $\pm 5\%$, (що регламентовано ГОСТ 13109-97) потужність БСК змінюється на $\pm 10\%$ [10]. Фактично, відхилення напруги у вузлі під'єднання БСК може підтримуватись більшим за 5%. Це пов'язано зі спадом напруги на ділянці мережі від вузла живлення до електроприймача.

Узагальнивши це на випадок несиметричного режиму, можна стверджувати: добавки напруги по фазах, які створюються в результаті увімкнення БСК симетричного виконання при несиметрії напруг виявляються різними за значеннями. При цьому добавка по тій міжфазній напрузі, значення якої найбільше за модулем, буде найбільшою (потужність плеча БСК, яка під'єднана до цієї фази буде найбільшою) і навпаки. В зв'язку з цим задача контролю відхилення напруги полягає в тому, що контролювати необхідно її лише по міжфазній напрузі, яка має найбільше вихідне значення. Саме це зображено на рис. 3.2. Виходячи із фізичної сутності, необхідно остерігатися лише порушення верхньої допустимої межі відхилення напруги. Вимоги стандарту на якість електроенергії повинні мати пріоритетне значення при прийнятті рішення про увімкнення секцій керування БСК. Тому керуючий вплив, який порушує встановлені стандартом нормативи, слід вважати недопустимим.



a)

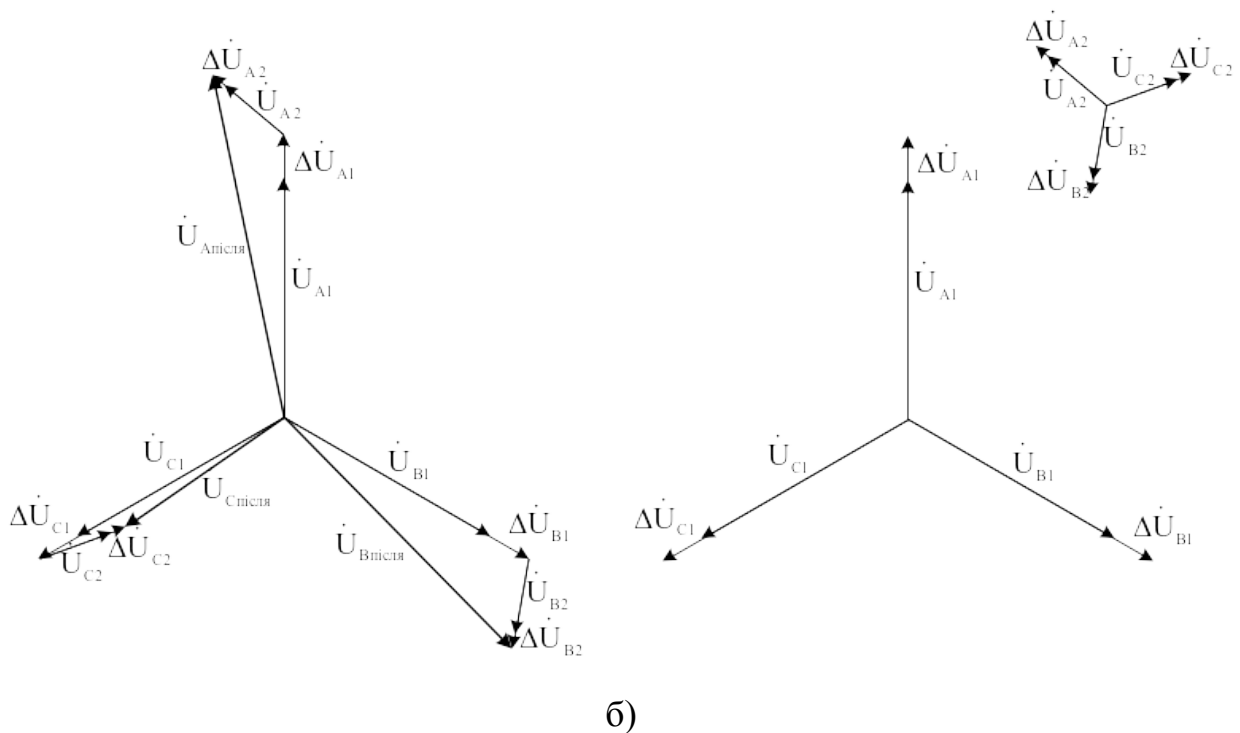


Рисунок 3.2 – Векторні діаграми фазних напруг трифазної системи: а) до ввімкнення БСК; б) після ввімкнення:

- $\dot{U}_{A1}; \dot{U}_{B1}; \dot{U}_{C1}$ - система фазних напруг прямої послідовності;
- $\dot{U}_{A2}; \dot{U}_{B2}; \dot{U}_{C2}$ - те ж, зворотної послідовності;
- $\Delta\dot{U}_{A1}; \Delta\dot{U}_{B1}; \Delta\dot{U}_{C1}$ - система добавок фазних напруг прямої послідовності при ввімкненні секції БСК;
- $\Delta\dot{U}_{A2}; \Delta\dot{U}_{B2}; \Delta\dot{U}_{C2}$ - те саме, зворотної послідовності.

3.4 Математична модель оптимальної компенсації реактивної потужності, що забезпечує допустимі значення несиметрії напруги

3.4.1 Обґрунтування критерію ефективності математичної моделі. БСК, що використовуються для компенсації реактивних навантажень, здійснюють складний вплив на електричні режими. Оптимізаційною дана задача є оскільки вона має багато розв'язків і вирішувати її оптимізаційними методами можна лише за умови наявності кількісного критерію оптимальності. Крім того, дана задача є багатокритеріальною. Для даного випадку можна окреслити декілька критеріїв оптимальності:

- мінімум величини реактивної потужності в мережах живлення, що рівноцінно мінімуму активних втрат активної потужності, що зумовлені реактивним навантаженням;

- мінімум величини відхилення напруги в вузлах розподільчої мережі;

- мінімум величини активних втрат, які зумовлені несиметрією режиму в мережі, що рівноцінно мінімуму модулів параметрів режиму зворотної послідовності та інші.

Скористаємось методом субоптимізації [38] Сутність методу в тому, що один із можливих критеріїв визначається як головний і описується аналітично. Отримана при цьому функція використовується як цільова функція математичної моделі. Для інших критеріїв встановлюються порогові значення. Будучи описані аналітично, вони використовуються як обмеження математичної моделі.

Основне призначення БСК в практичній задачі, що розглядається, є компенсація реактивної потужності і тому виберемо значення реактивної потужності в лінії живлення. Необхідна для цього постійна інформація - потужності секцій БСК, які відповідають номінальній напрузі, а оперативна – значення реактивної потужності, що споживається, та реальна напруга в вузлі під'єднання БСК.

Повній компенсації реактивної потужності ($Q_{\text{дон}} = 0$) відповідає мінімум втрат на передачу в мережах живлення активної потужності.

Прийнятий критерій ефективності можна описати цільовою функцією такого вигляду:

$$Q' - X^T \cdot \Delta Q(U) \rightarrow \min, \quad (3.8)$$

де Q' – значення реактивної потужності, що споживається по вузлу навантаження у випадку коли всі секції БСК вимкнені;

$\Delta Q(U)$ - стовпцева матриця потужностей секцій БСК, які відповідають реальним напругам, вимірністю $(m \times 1)$, де m – кількість секцій БСК;

\mathbf{X} - вектор керування вимірністю $(m \times 1)$, кожна його компонента описує стан комутаційного апарату, що здійснює комутацію відповідної секції; якщо $x_i = 1$, то секція "i" має бути ввімкнена, а якщо $x_i = 0$, то навпаки;

T - індекс транспонування.

3.4.2 Обмеження математичної моделі та загальна схема прийняття керуючого рішення. Математична модель має містити систему обмежень, які є актуальними в момент часу прийняття керуючого рішення. При цьому враховуються найбільш суттєві фактори. Врахування всіх факторів в рамках однієї математичної моделі збільшує трудомісткість обчислень.

Характерні обмеження для найбільш поширених випадків.

1. Мінімальні втрати активної потужності мають місце при мінімальному значенні $|Q|$. Його додатне значення пов'язане з напрямком реактивної потужності до електроприймачів, а від'ємне – із зворотнім. І в тому і в іншому випадку мають місце ΔP_p .

Математичний опис умови, коли мають місце мінімальні втрати активної потужності потребує обмеження „знизу” для критерію ефективності. Іноді енергопостачальна компанія стимулює до споживання реактивної потужності деякого значення (наприклад, в режимі мінімальних навантажень в енергосистемі). Для будь-якого випадку можна використати такий аналітичний опис цього обмеження:

$$Q' - \mathbf{X}^T \cdot \Delta Q(U) \geq Q_{\text{доп}}, \quad (3.9)$$

де $Q_{\text{доп}}$ - допустиме значення реактивної потужності, що може споживатися.

Обмеження є справедливим для всіх зазначених випадків (режимів мінімальних та максимальних навантажень, а також режимів, що не контролюються енергопостачальною компанією) Природньо, що необхідні

значення реактивної потужності будуть забезпечені лише у випадках достатніх потужностей БСК.

2. Рівень несиметрії напруги за результатами увімкнення потужностей БСК можна забезпечити технічним обмеженням вигляду:

$$\left| (\operatorname{Re} \dot{U}_2 + \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{A}) + j \cdot (\operatorname{Im} \dot{U}_2 + \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{B}) \right| \leq U_{2\text{доп}}, \quad (3.10)$$

де \dot{U}_2 - вектор напруги зворотної послідовності в вузлі під'єднання БСК (до реалізації керуючого рішення із її увімкнення);

\mathbf{A} , \mathbf{B} - стовпцеві матриці відповідно дійсних та уявних складових добавок напруги зворотної послідовності, що мають місце в результаті ввімкнення відповідних секцій БСК, їх вимірність $(m \times 1)$;

$U_{2\text{доп}}$ - допустимий рівень напруги зворотної послідовності.

3. В процесі керування може виникнути потреба забезпечення допустимого значення відхилення напруги в вузлах приєднання БСК. Враховуючи, що приріст напруги в даному випадку пропорційний її вихідному рівню (для напруги найбільшої за її модулем добавка буде найбільшою і навпаки), то достатньо ввести обмеження для фази з її найбільшим вихідним значенням:

$$\left| \dot{U}_s + \mathbf{X}^T \cdot \Delta \dot{U}_s(\dot{U}_s) \right| \leq U_{\text{макс.доп}}, \quad (3.11)$$

де \dot{U}_s - напруга у вузлі під'єднання БСК у фазі де її значення найбільше за умови, що всі БСК вимкнені;

s - індекс, що визначає фазу з найбільшим вихідним значенням напруги;

$\Delta \dot{U}_s(\dot{U}_s)$ - матриця добавок напруги по фазі s , що мають місце внаслідок ввімкнення відповідних секцій БСК, її вимірність $(m \times 1)$;

$U_{\text{макс.доп}}$ - рівень напруги, який відповідає максимально допустимому значенню її відхилення.

4. Особливість даної задачі полягає в тому, що фізично секції БСК мають лише такі можливі стани: «ввімкнено» або «вимкнено». Аналітично це можна описати таким чином:

$$\mathbf{X} + \bar{\mathbf{X}} = \mathbf{n}, \quad (3.12)$$

де $\bar{\mathbf{X}}$ - фіктивний (такий, що не має фізичного змісту) вектор вимірністю $(m \times 1)$, кожна його компонента \bar{x}_i пов'язана із змінною x_i вектора \mathbf{X} так, що коли $\bar{x}_i = 1$, то $x_i = 0$ і навпаки;

\mathbf{n} - одинична стовпцева матриця вимірність якої $(m \times 1)$.

Математичне забезпечення, яке розробляється в даній роботі, передбачає реалізацію керування реактивною потужністю в реальному масштабі часу. При цьому через певні його проміжки збирається оперативна інформація про параметри стану об'єкта керування, розраховується, а згодом реалізовується вектор керування.

Виконані в роботі розробки передбачають таку схему прийняття рішень:

- збирається необхідна інформація про параметри електричного режиму;
- здійснюється попередня оцінка та визначаються фактори, які є актуальними для моменту часу прийняття рішення;
- розраховується вектор керування, за відповідною математичною моделлю, яка охоплює всю множину суттєвих факторів, що склалися на момент прийняття рішення.

Тому в роботі розроблено дві математичні моделі, кожна з яких має використовуватись за певних умов, які складаються в процесі керування реактивною потужністю.

3.4.3 Математична модель, для випадку, коли можливе перевищення допустимого значення несиметрії напруги при керуванні БСК. Якщо зроблені оцінки свідчать про те, що рівень несиметрії може сягнути недопустимих значень,

то для визначення вектора керування можна скористатись математичною моделлю:

$$(3.13)$$

Математична модель (3.13) є дискретною, з причини конструктивного виконання БСК.

В математичній моделі цільова функція аналітично описує значення реактивної потужності в лінії живлення. Перше обмеження забезпечує контроль значення реактивної потужності, що буде мати місце за результатом практичної реалізації вектора керування. Друге обмеження забезпечує напругу $U_2 \leq U_{2\text{доп}}$ електричного режиму, що встановиться в результаті реалізації вектора керування. Третє обмеження вказує, що очікуваний ефект отримується шляхом увімкнення деяких секцій БСК та вимкнення інших.

Для отримання ефекту в мережі кожна із секцій БСК може бути ввімкненою або вимкненою.

Розв'язок задачі не можна виконати жодним із класичних методів оптимізації, оскільки друге із обмежень описується не скалярною функцією дійсного змінного, а коефіцієнти цільової функції змінюються в залежності від прийнятого на попередній ітерації рішення. Це не дозволяє застосувати жоден з класичних алгоритмів. Відомі методи аналізу таких моделей [23,39,40], де за основу взято метод динамічного програмування. Цей метод є найменш трудоемним для вирішення таких задач.

3.4.4 Тестовий приклад розрахунку з використанням розробленої математичної моделі. Приклад демонструє працездатність математичної моделі (3.13).

Приклад 3.1.

У деякому вузлі навантаження чотирипровідної електричної мережі промислового підприємства, рис. 3.3, встановлено кероване БСК. Зміна потужності виконується шляхом комутації дискретних секцій симетричного виконання. Потужності секцій, що відповідають номінальній напрузі, 450, 300, 225, 150, 105, 60, 30 кВар. Фазні напруги в вузлі під'єднання БСК $\dot{U}_A = 225,51e^{-j1,73^\circ}$ В, $\dot{U}_B = 217,59e^{-j118,41^\circ}$ В, $\dot{U}_C = 217,08e^{j120,21^\circ}$ В. Вихідний режим відповідає вимкненим секціям БСК.

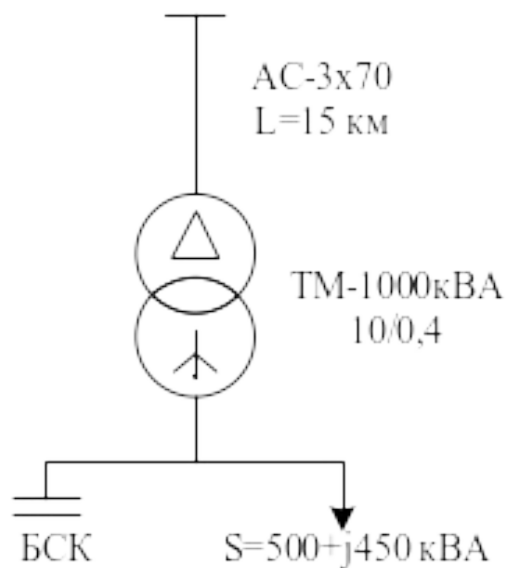


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема і вихідні дані для вирішення задачі

Знайти вектор керування для увімкнення окремих секцій БСК, за таких умов:

- 1) допустиме значення реактивної потужності на вводі $Q_{\text{доп}} = 0$ кВар;
- 2) коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності не повинен перевищувати допустимого значення $k_{2U_{\text{доп}}} = 1,65\%$ (згідно вимог технологічного процесу виробництва).

Розв'язування

Схема заміщення для розрахункової ділянки електричної мережі, рис. 3.4, а її параметри в іменованих одиницях, які приведені до напруги 0,4кВ.

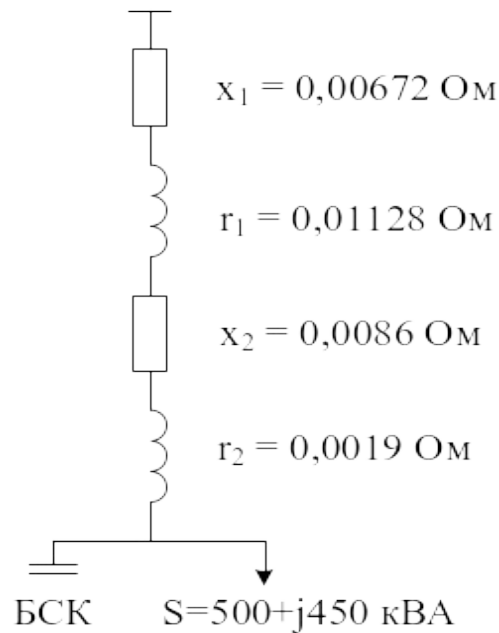


Рисунок 3.4 – Схема заміщення розрахункової ділянки електричної мережі

Визначимо сумарне значення опорів:

$$x_{\Sigma} = x_1 + x_2 = 0,0067 + 0,0085 = 0,01542 \text{ Ом},$$

$$r_{\Sigma} = r_1 + r_2 = 0,01127 + 0,002 = 0,01318 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо системи напруг прямої, зворотної і нульової послідовностей і коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності, які є характеристиками вихідного режиму у вузлі під'єднання БСК:

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3} \cdot \left(225,51e^{-j1,73^\circ} + a \cdot 217,59e^{-j118,41^\circ} + a^2 \cdot 217,08e^{j120,21^\circ} \right) = 220e^{j0^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3} \cdot \left(225,51e^{-j1,73^\circ} + a^2 \cdot 217,59e^{-j118,41^\circ} + a \cdot 217,08e^{j120,21^\circ} \right) = 3,5e^{-j70^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_0 = \frac{1}{3} \cdot \left(225,51e^{-j1,73^\circ} + 217,59e^{-j118,41^\circ} + 217,08e^{j120,21^\circ} \right) = 5,5e^{-j40^\circ} \text{ В},$$

$$k_{2U} = \frac{3,5}{220} \cdot 100\% = 1,59\%.$$

Оскільки $k_{2U} < k_{2U_{\text{доп}}}$, то за алгоритмом [28] виконаємо розрахунки, спрямовані на поліпшення стану системи.

В цілому результати вирішення задачі (як проміжні, так і кінцеві) по окремим етапам представлений в табл. 3.1. Там же наведені результати вирішення тієї ж задачі керування за моделлю в якій відсутнє обмеження, що контролює рівень несиметрії напруг.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків компенсації реактивної потужності з врахуванням несиметрії напруг за розробленою математичною моделлю та без її врахування

Враховуючи несиметрію напруг					Не враховуючи несиметрію напруг			
Етапи вирішення задачі	Вектор керування X	Q, квар	U ₂ , В	k _{2U} , %	Вектор керування X	Q, квар	U ₂ , В	k _{2U} , %
Вих. стан	(0 0 0 0 0 0)	450	3,5	1,59	(1 0 0 0 0 0)	6,56	3,64	1,657
1	(0 1 0 0 0 0)	162,6	3,59	1,632				
2	(0 1 0 0 1 0)	54,5	3,62	1,647				

Порівнюючи отримані результати видно, що прийняття керуючого рішення, за розробленою математичною моделлю (3.13), забезпечує допустиме значення напруги зворотної послідовності в процесі керування реактивною потужністю в мережі.

3.4.5 Математична модель, яка дозволяє забезпечити допустимі значення відхилень напруг по фазах в процесі керування БСК. Внаслідок ввімкнення секцій БСК рівень напруги, що збільшується, може перевищити допустимі межі. Такі випадки можуть трапитись на підприємствах. Якщо це явище стає актуальним для моменту часу прийняття керуючого рішення, то система прийняття рішення має звернутися до відповідної математичної моделі. Здійснювати контроль рівня напруги та забезпечувати його допустимі значення слід лише в одній фазі, у фазі, де вихідне значення напруги має найбільше (з трьох напруг в мережі) значення. Математична модель, що розроблена, забезпечує розрахунки оптимального вектора компенсації реактивної потужності в умовах несиметрії напруги мережі із урахуванням рівня відхилення напруги, має наступний вигляд [35]:

(3.14)

Такі властивості математична модель (3.14) має завдяки відповідному технічному обмеженню, яке контролює та забезпечує відхилення напруги допустимого значення в одній із фаз.

Введення в математичну модель (3.13) зазначеного обмеження не скалярного характеру збільшує трудомісткість обчислень. Розрахунок вектора керування можна виконати за алгоритмом, який наведено в [25]

3.4.6 Тестовий розрахунок вектора керування за математичною моделлю, що розроблена. Працездатність математичної моделі (3.14) продемонструємо на числовому прикладі.

Приклад 3.2.

Для умов попереднього прикладу визначити вектор керування при врахуванні, що фазна напруга на збірних шинах трансформаторної підстанції не повинна перевищувати $U_{\max, \text{доп}} = 231 \text{ В}$ (в цьому випадку відхилення напруги на затискачах наблизчого електроприймача буде в допустимих межах).

Вихідний стан системи характеризується вектором параметрів:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \\ k_{2U} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 225,51e^{-j1,73^\circ} \\ 220e^{j0^\circ} \\ 3,5e^{-j70^\circ} \\ 5,5e^{-j40^\circ} \\ 1,59 \end{pmatrix}.$$

Розв'язування

Оскільки $k_{2U} < k_{2U\text{доп}}$ та $U_A < U_{\max, \text{доп}}$, то за алгоритмом [35] виконаємо розрахунки, реалізація результатів яких покращать стан системи.

Етап I

Крок 1. Приймається значення всіх елементів вектора \mathbf{X} такими, що дорівнюють нулю:

$$\mathbf{x}^T = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

Крок 2. Складемо матриці $\Delta Q^I(U)$, $\Delta \dot{U}_1^I$, $\Delta \dot{U}_2^I$ для вихідного стану системи:

$$\Delta Q^I(U) = \begin{pmatrix} 408,47 \\ 272,31 \\ 204,23 \\ 136,16 \\ 95,31 \\ 54,46 \\ 27,23 \end{pmatrix} \text{ квар}; \Delta \dot{U}_1^I = \begin{pmatrix} 8,99 + j10,47 \\ 5,99 + j6,96 \\ 4,49 + j5,22 \\ 2,99 + j3,48 \\ 2,1 + j2,44 \\ 1,2 + j1,39 \\ 0,6 + j0,7 \end{pmatrix} \text{ В}; \Delta \dot{U}_2^I = \begin{pmatrix} 0,205 - j0,078 \\ 0,136 - j0,052 \\ 0,102 - j0,039 \\ 0,068 - j0,026 \\ 0,048 - j0,018 \\ 0,027 - j0,01 \\ 0,014 - j0,005 \end{pmatrix} \text{ В}.$$

Множина допустимих до ввімкнення потужностей секцій БСК - D^I (визначена виходячи із вихідних параметрів стану системи):

$$D^I \{ 408,47 \ 272,31 \ 204,23 \ 136,16 \ 95,31 \ 54,46 \ 27,23 \}.$$

Крок 3. Оскільки множина D^I не пуста, то використовуючи рекурентні співвідношеннями методу динамічного програмування [28], виберемо секцію БСК, ввімкнення якої забезпечить максимальний ефект.

$$\begin{aligned} f^I &= \min((450 - 408,47)(450 - 272,31)(405 - 204,23)(450 - 136,16)(450 - 95,31) \\ &(450 - 54,46)(450 - 27,23)) = \\ &= \min(41,53 \ 177,69 \ 245,77 \ 313,84 \ 354,69 \ 395,54 \ 422,77) = 41,53 \text{ квар}. \end{aligned}$$

На I етапі такою секцією є перша секція, $x_1 = 1$. Отримаємо вектор керування $\mathbf{X}^T = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$.

Крок 4. За умови реалізації отриманого вектора \mathbf{X} напруга зворотної послідовності у вузлі де під'єднана БСК отримає значення:

$$\dot{U}_2^I = 3,5e^{-j70^\circ} + (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \cdot \begin{pmatrix} 0,205 - j0,078 \\ 0,136 - j0,052 \\ 0,102 - j0,039 \\ 0,068 - j0,026 \\ 0,048 - j0,018 \\ 0,027 - j0,01 \\ 0,014 - j0,005 \end{pmatrix} = 3,64e^{-j67,45^\circ} \text{ В},$$

$$\text{та } k_{2U}^I = \frac{3,64}{220} \cdot 100\% = 1,655\%.$$

Ця секція вилучається з множини D^I , як на цьому так і на наступних етапах, оскільки $k_{2U}^I = 1,655\% > k_{2U_{\text{дон}}} = 1,65\%$, та здійснюється перехід до кроку 3.

$$D^I \{ 272,31 \ 204,23 \ 136,16 \ 95,31 \ 54,46 \ 27,23 \}.$$

Крок 3. Із множини D^I , що скорегована, використовуючи рекурентні співвідношення, визначаємо секцію БСК для ввімкнення:

$$f^I = \min((450 - 272,31)(405 - 204,23)(450 - 136,16)(450 - 95,31)(450 - 54,46) \\ (450 - 27,23)) = \min(177,69 \quad 245,77 \quad 313,84 \quad 354,69 \quad 395,54 \quad 422,77) = \\ = 177,69 \text{квар.}$$

Попередньо на I етапі виберемо другу секцію, $x_2 = 1$., Цьому відповідає вектор керування $X^T = (0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)$.

Крок 4. Визначаємо напругу зворотної послідовності та коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності у вузлі під'єднання БСК за умови реалізації отриманого вектора X :

$$\dot{U}_2^I = 3,5e^{-j70^\circ} + (0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \cdot \begin{pmatrix} 0,205 - j0,078 \\ 0,136 - j0,052 \\ 0,102 - j0,039 \\ 0,068 - j0,026 \\ 0,048 - j0,018 \\ 0,027 - j0,01 \\ 0,014 - j0,005 \end{pmatrix} = 3,59e^{-j68,29^\circ} \text{ В,}$$

$$\text{та } k_{2U}^I = \frac{3,59}{220} \cdot 100\% = 1,632\%.$$

Обмеження на величину $k_{2U_{\text{доп}}}$ за умови реалізації уточненого вектора X виконується:

$$k_{2U}^I = 1,632\% < k_{2U_{\text{доп}}} = 1,65\%.$$

Розраховуємо напругу прямої послідовності за умови реалізації отриманого вектора X :

$$\dot{U}_1^I = 220e^{j0^\circ} + (0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \cdot \begin{pmatrix} 8,99 + j10,47 \\ 5,99 + j6,96 \\ 4,49 + j5,22 \\ 2,99 + j3,48 \\ 2,1 + j2,44 \\ 1,2 + j1,39 \\ 0,6 + j0,7 \end{pmatrix} = 226,1e^{j1,77^\circ} \text{ В.}$$

Перевіримо умови забезпечення допустимого відхилення напруги в по фазі А (саме по цій фазі найбільше вихідне значення наруги):

$$\dot{U}_A^I = \dot{U}_1^I + \dot{U}_2^I + \dot{U}_0 = 226,1e^{j1,77^\circ} + 3,59e^{-j68,29^\circ} + 5,5e^{-j40^\circ} = 231,53e^{j0,03^\circ} \text{ В.}$$

Перша секція вилучається з множини D^I , як на цьому так і на наступних етапах, оскільки $U_A^I = 231,53\text{В} > U_{\text{макс.доп}} = 231\text{В}$.

$$D^I \{ 204,23 \quad 136,16 \quad 95,31 \quad 54,46 \quad 27,23 \}.$$

Відповідно до алгоритму повертаємось до кроку 3.

Крок 3. Із скорегованої множини D^I визначаємо секцію БСК для її увімкнення:

$$f^I = \min((405 - 204,23)(450 - 136,16)(450 - 95,31)(450 - 54,46)(450 - 27,23)) = \\ = \min(245,77 \quad 313,84 \quad 354,69 \quad 395,54 \quad 422,77) = 245,77 \text{квар.}$$

На I етапі попередньо вибраною є третя секція, $x_3 = 1$ Цьому відповідає такий вектор керування $\mathbf{X}^T = (0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)$.

Крок 4. За умови реалізації отриманого вектора \mathbf{X} розраховується напруга зворотної послідовності та коефіцієнт несиметрії напруги у вузлі під'єднання БСК:

$$\dot{U}_2^I = 3,5e^{-j70^\circ} + (0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \cdot \begin{pmatrix} 0,205 - j0,078 \\ 0,136 - j0,052 \\ 0,102 - j0,039 \\ 0,068 - j0,026 \\ 0,048 - j0,018 \\ 0,027 - j0,01 \\ 0,014 - j0,005 \end{pmatrix} = 3,56e^{-j68,73^\circ} \text{ В,}$$

$$\text{та } k_{2U}^I = \frac{3,56}{220} \cdot 100\% = 1,62\%.$$

З отриманих результатів видно що обмеження на величину $k_{2U\text{доп}}$ виконується:

$$k_{2U}^I = 1,62\% < k_{2U\text{доп}} = 1,65\%.$$

Проведемо розрахунок напруги прямої послідовності за умови реалізації отриманого вектора \mathbf{X} :

$$\dot{U}_1^I = 220e^{j0^\circ} + (0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \cdot \begin{pmatrix} 8,99 + j10,47 \\ 5,99 + j6,96 \\ 4,49 + j5,22 \\ 2,99 + j3,48 \\ 2,1 + j2,44 \\ 1,2 + j1,39 \\ 0,6 + j0,7 \end{pmatrix} = 224,55e^{j1,34^\circ} \text{ В.}$$

Проведемо розрахунки, що підтверджують умову забезпечення допустимого відхилення напруги по фазі А:

$$\dot{U}_A^I = 224,55e^{j1,34^\circ} + 3,56e^{-j68,73^\circ} + 5,5e^{-j40^\circ} = 230e^{-j0,41^\circ} \text{ В.}$$

Оскільки, $U_A^I = 230\text{В} < U_{\text{max. доп}} = 231\text{В}$, тому рішення щодо ввімкнення третьої секції приймається як остаточне. Проведені розрахунки виконані виходячи з того, що потужності секцій БСК відповідають напругам, що мали місце до реалізації отриманого вектора \mathbf{X} .

Уточнимо стан системи врахувавши післядію за умови ввімкнення другої секції (розрахунки обмежимо першим наближенням):

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB}^I &= 224,55e^{j1,34^\circ} \cdot (1 - a^2) + 3,56e^{-j68,73^\circ} \cdot (1 - a) = 384,99e^{j30,63^\circ} \text{ В}, \\ \dot{U}_{BC}^I &= 224,55e^{j1,34^\circ} \cdot (a^2 - a) + 3,56e^{-j68,73^\circ} \cdot (a - a^2) = 386,87e^{-j87,81^\circ} \text{ В}, \\ \dot{U}_{CA}^I &= 224,55e^{j1,34^\circ} \cdot (a - 1) + 3,56e^{-j68,73^\circ} \cdot (a^2 - 1) = 395,02e^{j151,18^\circ} \text{ В},\end{aligned}$$

$$\Delta Q^I(U^I) = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} 450 \\ 300 \\ 225 \\ 150 \\ 105 \\ 60 \\ 30 \end{pmatrix} \cdot \frac{384,99^2 + 386,87^2 + 395,02^2}{400^2} = \begin{pmatrix} 425,55 \\ 283,7 \\ 212,78 \\ 141,85 \\ 99,3 \\ 56,74 \\ 28,37 \end{pmatrix} \text{ квар},$$

$$\Delta \dot{U}_2^I = \frac{1}{3} \cdot \frac{3,56e^{-j68,73^\circ}}{220^2} \cdot (0,01318 + j \cdot 0,01532) \cdot \begin{pmatrix} 450 \\ 300 \\ 225 \\ 150 \\ 105 \\ 60 \\ 30 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,211 - j0,074 \\ 0,14 - j0,05 \\ 0,105 - j0,037 \\ 0,07 - j0,025 \\ 0,049 - j0,017 \\ 0,028 - j0,01 \\ 0,014 - j0,005 \end{pmatrix} \text{ В},$$

$$\dot{U}_2^I = 3,5e^{-j70^\circ} + (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \cdot \begin{pmatrix} 0,211 - j0,074 \\ 0,14 - j0,05 \\ 0,105 - j0,037 \\ 0,07 - j0,025 \\ 0,049 - j0,017 \\ 0,028 - j0,01 \\ 0,014 - j0,005 \end{pmatrix} = 3,56e^{-j68,67^\circ} \text{ В},$$

$$k_{2U}^I = \frac{3,56}{220} \cdot 100\% = 1,62\%,$$

$$\Delta \dot{U}_2^I = \frac{1}{3} \cdot \frac{224,55e^{j1,34^\circ}}{220^2} \cdot (0,01318 + j \cdot 0,01532) \cdot \begin{pmatrix} 450 \\ 300 \\ 225 \\ 150 \\ 105 \\ 60 \\ 30 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8,92 + j10,87 \\ 5,95 + j7,25 \\ 4,46 + j5,44 \\ 2,97 + j3,62 \\ 2,08 + j2,54 \\ 1,19 + j1,45 \\ 0,6 + j0,73 \end{pmatrix} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_1^I = 224,55e^{j1,34^\circ} + (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \cdot \begin{pmatrix} 8,92 + j10,87 \\ 5,95 + j7,25 \\ 4,46 + j5,44 \\ 2,97 + j3,62 \\ 2,08 + j2,54 \\ 1,19 + j1,45 \\ 0,6 + j0,73 \end{pmatrix} = 224,55e^{j1,39^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_A^I = 224,55e^{j1,39^\circ} + 3,56e^{-j68,67^\circ} + 5,5e^{-j40^\circ} = 230e^{-j0,35^\circ} \text{ В.}$$

Оскільки виконуються всі обмеження математичної моделі, то можна вважати, що за результатами I етапу отримано такий вектор керування:

$$\mathbf{x}^T = (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

Відмінність алгоритму розрахунку вектора керування за математичною моделлю (3.14) полягає в наступному:

- множина D^k має формуватися з елементів, які додатково задовольняють обмеження на значення відхилення напруги;
- при перевірці допустимості попередньо прийнятого рішення необхідно додатково переконатися, чи забезпечуються умови на допустиме відхилення напруги. Трудомісткість розрахунків за цих умов збільшується.

Процес вирішення задачі за окремими етапами в цілому наведено в табл. 3.2. В цій же таблиці представлені результати розрахунків для тієї ж задачі керування, але за умови відсутності в математичній моделі (3.14) обмеження на значення відхилення напруги.

Порівнюючи отримані результати розрахунків за моделями (3.13) та (3.14), видно, що отримані кінцеві вектори керування мають відмінності. У випадку

першому забезпечується допустиме значення k_{2U} та залишкової реактивної потужності (інші обмежувальні умови в моделі відсутні), а в другому додатково забезпечено значення напруги у фазі А. Результатом розв'язування тієї ж задачі, але не враховуючи несиметрію режиму є відмінний вектор керування. В останньому випадку отримані k_{2U} та U_A , що перевищують допустимі величини. Слід вважати випадковістю той факт, що за моделями (3.13) і (3.14) задача вирішується в два етапи.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Проведені експериментальні дослідження на виробництві харчової промисловості свідчать, що такий показник якості електроенергії як коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності у вузлах встановлення БСК, може перевищувати нормовані значення.

2. Ввімкнення БСК, яке здійснюється для компенсації реактивної потужності, збільшує значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності та рівня відхилення напруги. Можливі випадки порушення вимог ГОСТ 13109-97.

3. У випадках незначних відхилень напруги у вузлі під'єднання БСК, малого опору живильної мережі та невеликих потужностей БСК врахування впливу несиметрії режиму на результати керування не має сенсу.

4. Негативних наслідків, що виникають при компенсації реактивних навантажень в умовах несиметрії режиму в мережі, можна уникнути, приймаючи рішення про увімкнення секцій БСК за розробленими математичними моделями.

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 ТОВ «Продмова» 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. Планова трудомісткість відповідного виду робіт T' ($T_{пр}$, $T_{огл}$) визначається:

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

де Π – число ремонтів даного виду за рік, що приходиться на одиницю обладнання;

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

h – кількість обладнання даного виду.

Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування виконується :

$$T_{то} = 12 * t_{норм} * k_{ср} \quad (4.2)$$

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

$k_{ср}$ – 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. Силовий трансформатор ТМ630/10	2	0,33	60	118,8	12	4,5	324	147,6
3.Батарей конденсаторів ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ	2	1	20	80	12	8,4	403,2	204,2
Всього				273,8			727,72	531,8

Потреба в ремонтному персоналі визначається за формулою:

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

де $\Phi_{\text{Д}}$ – дійсний фонд робочого часу за рік, $\Phi_{\text{Д}}=1850-1900$ (год);

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

$K_{\text{ВН}}=1,05$ – для експлуатаційного,

$$N_{\text{ПР}} = \frac{273,8}{1850 * 1,1} = 0,134 \text{ (людини)}.$$

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].

Прийmemo кількість ремонтного персоналу 2 чол.

Розрахуємо потребу в експлуатаційному персоналі:

$$N_{\text{обсл}} = \frac{T_{\text{огл}} + T_{\text{то}}}{\Phi_{\text{д}} * K_{\text{вн}}} = \frac{727 + 531,8}{1850 * 1,05} = 0,64 \text{ (людини)}. \quad (4.4)$$

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

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

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

$t_{\text{ч.е}}$ - годинна тарифна ставка, що відповідає середньому тарифному розряду експлуатаційних робочих, що дорівнює 15 (грн/год).

$$\Phi_{\text{п}} = 2 * 0,9 \cdot 15 * 1850 = 49950 \text{ (грн.)}.$$

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

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

де $t_{\text{г.в}}$ - годинна тарифна ставка відрядників, що відповідає середньому розряду ремонтних робіт, $t_{\text{г.в}} = 20,5$ (грн/год).

$$\Phi_{\text{в}} = 2 * 690,2 * 20,5 = 28298,2 \text{ (грн.)}.$$

Фонд основної заробітної плати:

– на експлуатацію та обслуговування

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

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

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

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

$$\Phi_{\text{о.п}} = 49950 (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 62937 \text{ (грн.)};$$

– на поточний ремонт електрообладнання та мереж

$$\Phi_{\text{о.в}} = \Phi_{\text{в}} (1 + 0,05 + 0,01 + \alpha) = 28298,2 (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 35655,7 \text{ (грн.)}.$$

Величина сумарного фонду заробітної плати з врахуванням додаткової заробітної плати:

$$\Phi_{\text{об.п}} = 62937 \cdot (1 + 0,075) = 67657,2 \text{ (грн/рік);}$$

$$\Phi_{\text{об.в}} = 35655,7 \cdot (1 + 0,075) = 38329,9 \text{ (грн/рік),}$$

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

$$C_{\text{зп.т.о}} = \Phi_{\text{об.п}} (1+0,04+0,015+0,32+) = 139543,1 \text{ (грн.);}$$

$$C_{\text{зп.п.р.}} = \Phi_{\text{об.в}} (1+0,04+0,015+0,32+) = 52703,6 \text{ (грн.)}$$

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. 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.)
Силові трансформатори			
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
ВСЬОГО			23077
Кабельна лінія			
Сталь сортова, кг	166	2	332
Електроди, кг	77,2	0,1	7,7
ВСЬОГО			340

Вартість матеріалів для поточного ремонту:

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

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;

C_{mj} - ціна одиниці матеріалу, грн.

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

Планова вартість матеріалів для технічного обслуговування

$$C_{M \text{ т.о.}} = 0,01 \sum_{i=1}^f T_{т.о.i} \sum_{j=1}^g m_{пр.j} \cdot C_{mj}, \quad (4.8)$$

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

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

Витрати на обслуговування

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

Витрати на поточний ремонт

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

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

$$\begin{aligned} C_i &= 0,25(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a) = \\ &= 0,25 (208475,1 + 625226 + 793000) = 406675,2 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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
ВСЬОГО	2033376	

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.

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

Загальна потреба підприємства в електроенергії

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

Плата за електроенергію, що спожита підприємством. Тариф на електроенергію становить 3,48 грн/кВт*год [].

$$\text{Ц} = C_0 * E = 3,48 * 10^{-3} * 3287107 = 11439132,4 \text{ (тис грн)}. \quad (4.12)$$

4.6 Собівартість електроенергії

Собівартість однієї корисно спожитої кіловатт*години електроенергії розраховується за формулою:

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

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

$$C_{\text{сум}} = \text{Ц} + C_n = 11439132 * 10^3 + 2033,376 * 10^3 = 11441165,38 * 10^3 \text{ (грн.)};$$

$$S = \frac{11441165,38 * 10^3}{3213690} = 3,56 \text{ (грн/кВт*год)}.$$

4.7 Висновки до розділу 4

1. За умови, що тариф на електроенергію 3,48 (грн/кВт*год), собівартість електроенергії для ТОВ «Продмова» становить 3,56 (грн/кВт*год).

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розробляються заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в процесі оптимізації системи електропостачання ТОВ «Прод-Мова», м. Липовець.

Охорона праці належить до соціально-економічних систем, головним завданням яких є врахування громадських та особистих інтересів людей. Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це забезпечить не лише безпечність умов праці, а й створить відповідний настрій всередині колективу.

Отже, на електротехнічний персонал, який здійснює модернізацію та подальше обслуговування електрообладнання ТОВ «Прод-Мова», м. Липовець, впливають такі 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); іонізація повітря.

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'єкта проектування

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць. Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, слід вжити у вказаному порядку таких технічних заходів:

- здійснити необхідні відключення і вжити заходів, що перешкоджають помилковому або самочинному ввімкненню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, які слід заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;
- встановити заземлення (ввімкнути заземлювальні ножі, встановити переносні заземлення);
- обгородити, за необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов, струмопровідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Під час оперативного обслуговування електроустановки двома і більше працівниками в зміну перелічені в цьому пункті заходи мають виконувати два працівники. В разі одноособового обслуговування їх може виконувати одна особа, крім накладання переносних заземлень і здійснення перемикань, що проводяться на двох і більше приєднаннях в електроустановках напругою понад 1000 В, які не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій.

Перевіряти відсутність напруги необхідно показчиком напруги заводського виготовлення, справність якого перед застосуванням слід перевірити за допомогою призначених для цього спеціальних приладів або наближенням до струмовідних частин, розташованих поблизу, які явно перебувають під напругою.

В електроустановках напругою понад 1000 В користуватися показчиком напруги необхідно в діелектричних рукавичках.

Якщо показчик напруги падав або був підданий механічним ударам, то користуватися ним без повторної перевірки забороняється.

У ВРУ напругою до 220 кВ перевіряти відсутність напруги показчиком дозволяється тільки в суху погоду.

Під час туману, дощу, снігопаду відсутність напруги допускається перевіряти ретельним простежуванням схеми в натурі. У цьому випадку відсутність напруги на лінії, що відходить, підтверджується оперативними працівниками.

Якщо під час перевірки схеми будуть помічені ознаки наявності напруги (корона на ошиновці та іншому устаткуванні, або іскріння під час комутації роз'єднувачів), то схему слід перевірити повторно, про свої зауваження щодо стану устаткування повідомити оперативних працівників.

Замінювання ламп і чищення арматури світильників будь-якої конструкції, встановлених на опорах всіх типів або на кронштейнах, а також підвішених на тросах, в разі проведення роботи з телескопічної вишки з ізолювальною секцією допускається виконувати за розпорядженням без зняття напруги з проводів.

У світильниках, встановлених нижче фазних проводів, роботу допускається проводити з опори або з приставної драбини, виготовленої з ізоляційних матеріалів. Ця робота провадиться керівником робіт з одним або кількома членами бригади з групою II.

Заміна ламп та очищення арматури світильників будь-якої конструкції, встановлених на залізобетонних та металевих опорах і на кронштейнах, в разі проведення роботи з телескопічної вишки без ізолювальної секції або з опори, приставної драбини із ізоляційних матеріалів виконуються за нарядом зі зняттям напруги з усіх підвішених на опорі проводів і обов'язковим їх заземленням.

Підніматися до світильників під час виконання робіт, зазначених в цьому пункті, дозволяється тільки керівнику робіт або члену бригади з групою III.

Під час роботи на пускорегулювальній апаратурі ламп до відключення її від загальної схеми світильника необхідно заздалегідь від'єднати від мережі живлення.

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). Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що реконструюються та будуються, є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх потрібно захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями – 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів.

Забороняється для освітлення робіт під час розбирання, демонтажу

користуватися електричною мережею будівлі, що розбирається. Для освітлення цих робіт повинна бути влаштована спеціальна тимчасова електромережа і встановлені освітлювальні прилади.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат виробничого приміщення. Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99.

Мікроклімат приміщення характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Електромонтажні роботи відносяться до категорії Пб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією становлять – до 140-174 Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Пб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

5.2.2 Склад повітря робочої зони. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При здійсненні будівельно-монтажних робіт виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні в приміщення може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при оздоблювальних технологічних

процесах в будівництві, що знаходяться в повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно наведено в таблиці 4.2.

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.004 проектом передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	0,5	0,15	4

5.2.3 Виробниче освітлення. При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Характеристика зорових робіт – середньоїточності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристики зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Енпр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп [E27 LED 15W NW A60 "SG"](#). Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

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.

5.2.4 Виробничий шум. Джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум. Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвіну вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Під час виконання будівельно-монтажних робіт виникає виробничий шум з такими характеристиками: за характером спектру – широко смуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – механічний і гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23 і наведені в таблиці 5.4.

Для зменшення рівня шуму до допустимого двигуни будівельних машин і механізмів виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують проти шумні навушники, які закривають вушну раковину.

Таблиця 5.4– Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

5.2.5 Фактори трудового процесу. Робота електротехнічного персоналу є достатньо складною і потребує різних навичок та характеристик працюючого, тому і впливи від робіт різні і визначаються за Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [1].

Важкість праці визначається за дод. 15 [1], звідки видно, що даний вид робіт за показниками важкості умов праці характеризується як допустимі умови праці.

- енергозатрати організму: при регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) – до 7800;

- загальні енергозатрати організму, Вт – до 290;

- робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної);

- нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: 51-100;

Напруженість праці визначається за дод. 16 [1], робота відноситься до інтелектуальної, і має наступні характеристики:

- зміст роботи: відсутня необхідність прийняття рішення;

- сенсорні навантаження : 51-75;

- розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни: 5,0-1,1 мм більше 50% часу;

- тривалість робочого дня, год. – 8 годин;

- змінність роботи - однозмінна робота (без нічної зміни).

Дані характеристики вказуються на те, що за напруженістю робота інженера-проектувальника (цивільне будівництво), який здійснює чисельне моделювання перерозподілу зусиль між елементами кущового пальового фундаменту в залежності від кількості палей відноситься до другого класу з допустимими умовами напруженості праці (напруженість праці середнього ступеня).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Електричні мережі та електрообладнання системи електропостачання ТОВ «Продмова» не відповідають електричним навантаженням, оскільки останнім часом вони змінилися у зв'язку із змінами в технології та технологічного обладнання на виробництві, номенклатури та обсягів продукції, яка виготовляється на підприємстві.

2. Проведені оптимізаційні розрахунки свідчать, що в системі електропостачання ТОВ «Продмова» доцільна установка трансформаторної підстанції з двома трансформаторами потужністю 630 кВА кожний, а її живлення виконати від підстанції «Липовець» двома кабельними лініями перерізами (3×50)

3. Негативних наслідків (перевищення норм стандарту на якість електроенергії по несиметрії режиму та відхиленням напруги), що виникають при компенсації реактивних навантажень в мережі ТОВ «Продмова», можна уникнути, приймаючи рішення про увімкнення секцій БСК за розробленими математичними моделями.

4. За умови, що тариф на електроенергію 3,48 (грн/кВт*год), її собівартість для ТОВ «Продмова» в результаті реалізації виконаних розробок, становитиме 3,56. (грн/кВт*год).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник з дисципліни «Електропостачання». – Вінниця: ВДТУ. 2002. – 140с.
2. Основы построения промышленных сетей / Г.М. Каялов, Є.А. Каждан, И.Н. Ковалев, Э.Г. Куренный – М.: Энергия, 1978. – 320с.
3. Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 576 с.
4. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - Х .: Міненерговугілля України, 2014.
5. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання Київ Освіта України , 2013. – 286 с
6. ГОСТ 13109-97.Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения
8. Рогальський Б.С. Проблеми енергозбереження. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах: [навчальний посібник] - Вінниця: ВДТУ, 1996. – 112 с.
9. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов – .М.: ЭААС, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-93196-958-9.
- 11 Тарифы на электроэнергию для предприятий в 2021 году. Режим доступа: <https://delaenergy.systems/ru/articles/tarify-na-elektroenergiyu-dlya-predpriyatij-v-2021-godu/>
12. Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. – Вінниця.: ВНТУ, 2004. – 120 с.
13. Аввакумов В. Г. Симметрирование и компенсация реактивной мощности несимметричных промышленных нагрузок //Промышленная энергетика.- 1967.- №7. – С. 1 – 5.

14. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Данилюк В.Б. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях. - К.: Наукова думка, 1992. - 240 с.
15. Мельников А.А., Электрические сети и системы. М.: Энергия, 1969. - 456с.
16. Электрические системы. Электрические сети/ В.А.Веников, А.А.Глазунов, Л.А.Жуков, Л.А.Солдаткина/ Под. ред. В.А. Веникова М.: Высшая школа, 1971. - 440 с.
17. Кузнецов В.Г. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях с несимметричными нагрузками // Электричество. – 1983. - №2. - С. 64-67.
18. Шидловский А.К., Борисов Б.П. Симметрирование однофазных и двухплечевых электротехнологических установок. - К.: Наукова думка, 1977. - 160с
19. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 336 с.
20. Аввакумов В.Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения. К.: Вища школа, 1990. - 188 с.
21. Шидловский А.К., Музыченко О.Д. Симетруючі пристрої. К.: Техніка, 1970.- 164с
22. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. К.: Наукова думка, 1985.- 286 с.
23. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Боженко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. К., Техніка, 1981, - 160 с.
24. Pirog S. : Kompensacia mocy biernejj i symetzyzacja cheiazeia odbioznikow tzojfazowych. Zeszyty Naukowe Akademia Gorniczo-Hutnicza im. Stanislaw Staszica, №784, pp. 97-114, 1980.
25. Аввакумов В.Г., Багиев Г.Л., Воскобойников Д.М. Технико-экономическая оценка качества электроэнергии в промышленности. –Л.:Изд-во ЛГУ, 1977. - 132 с.

26. Терешкевич Л.Б. АСУ режимами систем электропоставления: Навчальний посібник – Вінниця; ВДТУ/ - 1998. - 119 с.
27. Григорьев А., Лысенко А. Емкостные симметрокомпенсирующие устройства для изменяющихся несимметричных электротехнологических нагрузок. В к.н. YAKOSC ENERGIJ ELEKTRYCZNEJ, Spala, 1991,-с. 53-59.
28. Винославский В.Н., Аввакумов В.Г., Терешкевич Л.Б. Математические модели оперативного управления несимметрией режима электрической сети и алгоритм их решения // Техническая электродинамика. – 1985.- №5. - С. 83-86.
29. Терешкевич Л.Б. Принятие решения по симметрированию режима системы электроснабжения на основе статистической информации // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1989. - №6. - С. 40-43.
30. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С, Лысенко А.Г. Симметро-компенсирующие устройства для изменяющихся несимметричных электротехнологических нагрузок // Промышленная энергетика.- 1992.- №8-9.- С. 37-41.
31. Винославский В.Н., Терешкевич Л.Б. Оптимизация электропотребления в сетях с несимметричными нагрузками // Промышленная энергетика. - 1983. - №4. - С. 32-34.
32. Винославский В.Н., Терешкевич Л.Б. Управление несимметричным режимом сети на основе принципов системного подхода // Известия вузов СССР. Электромеханика. - 1983. - №12. - С.18-20.
33. Терешкевич Л.Б., Хінді Айман Тахер. Алгоритм управління конденсаторними батареями симетруючого пристрою// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. - №4, - С.70-73.
34. Веников В.А, Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. - М.: Энергоатомиздат, 1981.-464 с.
35. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы – М.: Мир, 1973. – 302 с.
36. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. –Вильнюс, 2007. – 912 с. – ISBN 0-13-032374-8.

37. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Ч.1. – М.: Мир, 1986. – 347 с.
38. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Ч.2 – М.: Мир, 1986. – 318 с.
39. Калихман И.Л., Войтенко М.А. Динамическое программирование в примерах и задачах – М.: Высшая школа, 1979. – 125 с.
40. 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.
41. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.[Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.
42. 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. [Чинний від 2007-12-01]. 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->
43. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.
44. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
45. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01].URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
46. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

47. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

48. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

49. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

50. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

ДОДАТКИ

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

“ ____ ” _____ 2022 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
“ ____ ” _____ 2022 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

**«ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ПРОДМОВА», МІСТО ЛИПОВЕЦЬ»
08-17.МКР.002.05.100 ТЗ**

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. _____
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 20м

Добровольський Ю.П. _____
(підпис)

Вінниця 2022 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 203 від 14 вересня 2022 р.

Дата початку роботи 1 вересня 2022 р.

Дата закінчення роботи 10 грудня 2022 р.

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

а) *мета* – Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Продмова». та таких параметрів її стану як реактивна потужність в елементах мережі в умовах несиметрії електричних режимів, використовуючи інформаційні технології та сучасні методи оптимізації.

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.	10.09.2022	
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Продмова»	31.09.2022	
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	15.10.2022	
4	Економічна частина роботи	10.11.2022	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2022	
6	Написання пояснювальної записки	10.12.2022	

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.

План підприємства, зображено на рис. Б.1.

Таблиця Б.1 – Дані про електроспоживачів підприємства

Назва підрозділу	P_n , (кВт)	S , (m^2)	Категорійність за надійністю
1.Адміністративний корпус	34	800	2
2.Хлібопекарський цех	250	950	2
3. Кондитерський цех	150	1275	2
4.Млин	100	1000	3
5. Упаковочний цех	80	900	3
6.Субабонент	200	850	2
7.Об'єкт перспективного будівництва	160	100	2
8.Котельня	40	360	2
9.Комунально-побутове навантаження	80	900	3
10. Склад борошна	10	600	3
11. Електроцех	50	200	3
12.Гараж	30	600	3
13. Магазин	10	525	3
14. Їдальня	50	700	3

План підприємства зображено на рис. Б.2.

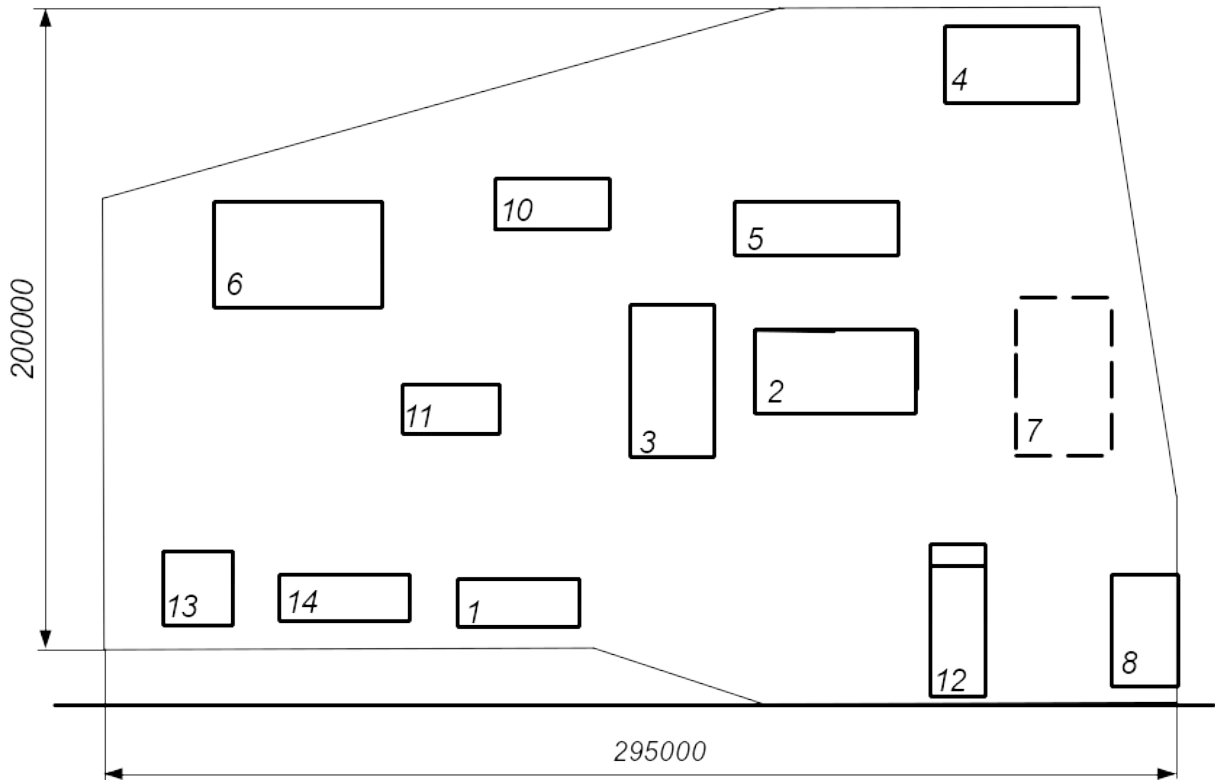


Рисунок Б.1 – План підприємства

Джерелом живлення підприємства є системна підстанція 110/10 кВ «Липовець», яка знаходиться на віддалі 4,2 (км).

Потужність короткого замикання в точці приєднання системи складає 100 (МВА). Вхідна реактивна потужність для підприємства, що задана енергосистемою, становить 150 (квар).

Додаток В
ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДО РОБОТИ

Визначення оптимальної потужності ТП підприємства

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{\text{ТП}}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{\text{ХХ}}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{\text{КС}}(S_T) \cdot \frac{S_{\text{ТП}}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{\text{СТ}}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_{\text{Н}} \geq S_{\text{ТП}}^{\text{СМ}} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{\text{ПА}} \geq S_{\text{ТП}}^{\text{Р}} \cdot k_{\text{НПА}}, \\ S_T \in S_{\text{СТ}} \end{array} \right.$$

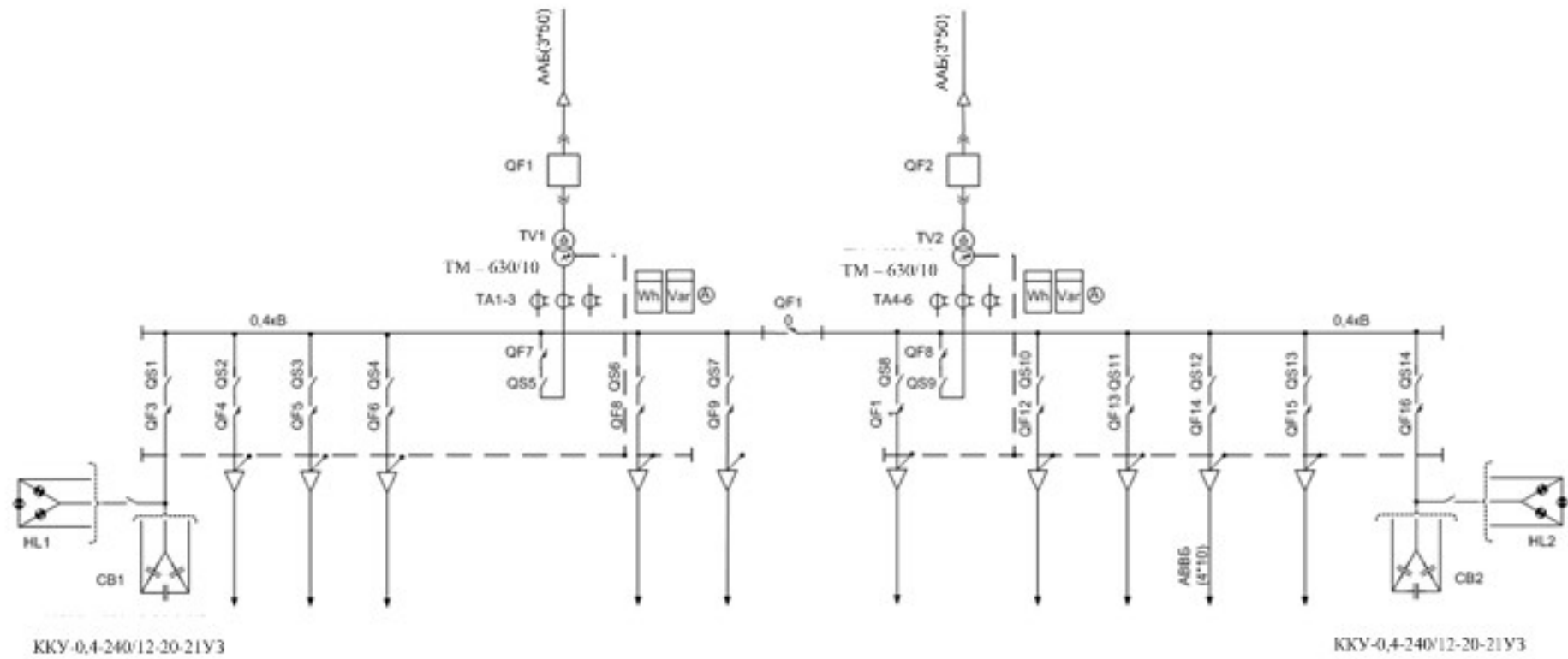
Показник ефективності вибору трансформаторів ТП - річні приведені затрати на підстанцію

Керована змінна - потужність трансформаторів – S_T

Множина доступних значень – всі стандартні потужності трансформаторів S_T .

Однолінійна схема електропостачання

8



Результати експериментальних досліджень на одному із підприємств харчової промисловості

№ експерименту	Параметри, що вимірювались						Розраховані значення параметрів якості електроенергії			
	$U_A,$ В	$U_B,$ В	$U_C,$ В	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$\delta U_{yA},$ В	$\delta U_{yB},$ В	$\delta U_{yC},$ В	$k_{2U},$ %
1	219,1	232,2	222,0	390,9	388,8	397,4	0,9	12,2	2,0	2,36
2	225,7	231,2	226,5	398,4	400,1	394,8	5,7	11,2	6,5	1,42
3	231,0	232,1	228,0	403,3	402,2	401,2	11,0	12,1	8,0	0,55
4	224,0	227,0	225,0	405,0	404,0	399,0	4,0	7,0	5,0	1,68

Результати розрахунків компенсації реактивної потужності

Враховуючи несиметрію напруг					Не враховуючи несиметрію напруг			
Етапи вирішен ня задачі	Вектор керування X	Q, квар	U ₂ , В	k _{2U} , %	Вектор керування X	Q, квар	U ₂ , В	k _{2U} , %
Вих. стан	(0 0 0 0 0 0 0)	450	3,5	1,59	(1 0 0 0 0 0 0)	6,56	3,64	1,657
1	(0 1 0 0 0 0 0)	162,6	3,59	1,632				
2	(0 1 0 0 1 0 0)	54,5	3,62	1,647				

У відповідності до вимог технологічного процесу $k_{2U\text{доп}} = 1,65$

Наукова новизна одержаних результатів. Підвищена ефективність системи електропостачання ТОВ «Продмова» в результаті оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній, потужності конденсаторних установок, та керуванні їх потужністю враховуючи несиметрію напруг в мережах підприємства.

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

Додаток Г

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Продмова», місто Липовець

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	87,8%
Схожість	12,2%

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 _____ Добровольський Ю.П.

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 ЕСЕМ