

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

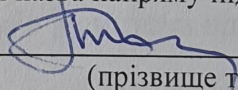
Магістерська кваліфікаційна робота

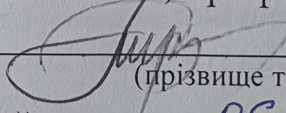
на тему:

«Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод», місто Вінниця»

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

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

 Поліщук С.П.
(прізвище та ініціали)

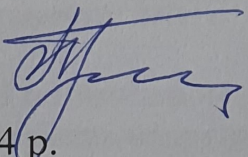
Керівник: к.т.н., професор кафедри ЕСЕЕМ
 Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

« 20 » 06 2024

Опонент к.т.н. доцент кафедри ЕСС
Собчук И.В.
(прізвище та ініціали)

« 20 » 06 2024

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)


« 17 » 06 2024 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.

„11” _____ 2024 р

ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу
Поліщуку Сергію Павловичу

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод», місто Вінниця
керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
затверджені наказом по ВНТУ від «11» березня 2024 року, № 81

2. Строк подання студентом роботи «10» червня 2024 року

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

1. Відомості про ДП «45 Експериментальний механічний завод»

1.1 Історична довідка про підприємство та відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електричні навантаження

2. Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»

2.1 Визначення електричних навантажень підприємства

2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції

2.3 Розрахунок активних втрат потужності в трансформаторах ТП

2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство

2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства

2.6 Оптимізація електричного режиму мережі підприємства шляхом установки конденсаторних батарей

3. Математичне забезпечення керування БСК із врахуванням їх впливу на рівні напуг

3.1 Математична постановка задачі оптимального керування графіком реактивної потужності

3.2 Математичні моделі оптимального управління КУ в системі електропостачання, які контролюють вплив КУ на рівень напруги в вузлі мережі

3.3 Алгоритм обчислення вектора управління для дискретного моменту часу

3.8 Тестовий приклад розрахунку вектора управління для дискретного моменту часу

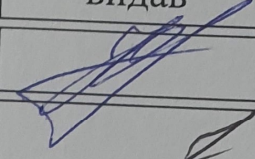
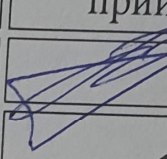
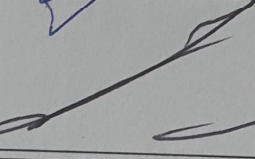
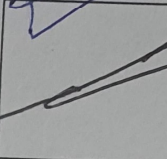
4. Економічна частина кваліфікаційної роботи

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу:

Матеріал, необхідний для висвітлення сутності проведених дослідів впровадження розроблених методик

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання « 15 » березня 2024 року

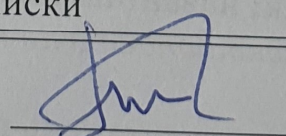
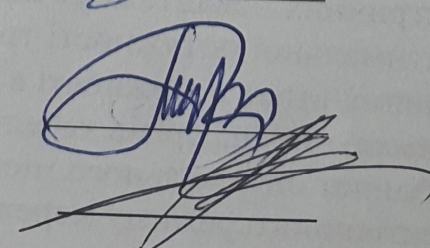
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод».	20.03.2024	<i>вкл</i>
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»	10.04.2024	<i>вкл</i>
3	Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання	25.04.2024	<i>вкл</i>
4	Економічна частина роботи	15.05.2024	<i>вкл</i>
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.05.2024	<i>вкл</i>
6	Написання пояснювальної записки	10.06.2024	<i>вкл</i>

Студент

Керівник магістерської роботи

Нормоконтроль

Поліщук С.П.

Терешкевич Л.Б.

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 Державного
підприємства «45 Експериментальний механічний завод»,
місто Вінниця»

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

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Поліщук С.П._
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., професор кафедри ЕСЕЕМ
_____ Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

«_____» _____ 2024

Опонент _____

_____ (прізвище та ініціали)
«_____» _____ 2024

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

«_____» _____ 2024 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.

„___” _____ 2024 р

ЗАВДАННЯ на магістерську кваліфікаційну роботу Поліщуку Сергію Павловичу

1. Тема роботи: Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод», місто Вінниця
 керівник роботи: Терешкевич Леонід Борисович, к.т.н., професор,
 затверджені наказом по ВНТУ від « 11 » березня 2024 року, № 81
2. Строк подання студентом роботи « 10 » червня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи: відомості про електроприймачі та електричні навантаження, планування підприємства, про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства. Результати дослідження електричних режимів в системі електропостачання підприємства.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.
 1. *Відомості про ДП «45 Експериментальний механічний завод»*
 - 1.1 Історична довідка про підприємство та відомості про технологічні процеси
 - 1.2 Відомості про електричні навантаження
 2. *Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»*
 - 2.1 Визначення електричних навантажень підприємства
 - 2.2 Розрахування оптимальної потужності трансформаторної підстанції
 - 2.3 Розрахунок активних втрат потужності в трансформаторах ТП
 - 2.4 Розрахунок оптимальних перерізів кабельних ліній, що живлять підприємство
 - 2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства
 - 2.6 Оптимізація електричного режиму мережі підприємства шляхом установки конденсаторних батарей
 3. *Математичне забезпечення керування БСК із врахуванням їх впливу на рівні напруг*
 - 3.1 Математична постановка задачі оптимального керування графіком реактивної потужності
 - 3.2 Математичні моделі оптимального управління КУ в системі електропостачання, які контролюють вплив КУ на рівень напруги в вузлі мережі
 - 3.3 Алгоритм обчислення вектора управління для дискретного моменту часу
 - 3.8 Тестовий приклад розрахунку вектора управління для дискретного моменту часу
 4. *Економічна частина кваліфікаційної роботи*
 5. *Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*

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	Шулє Ю.А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. каф. БЖДПБ, д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання « 15 » березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Відомості про ТОВ «Вінницький інструментальний завод».	20.03.2024	
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод»	10.04.2024	
3	Оптимізація несиметрії режиму в розробленій системі електропостачання	25.04.2024	
4	Економічна частина роботи	15.05.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.05.2024	
6	Написання пояснювальної записки	10.06.2024	

Студент _____

Поліщук С.П.

Керівник магістерської роботи _____

Терешкевич Л.Б.

Нормоконтроль _____

Войтюк Ю. П.

УДК 621.316

АНОТАЦІЯ

Поліщук С.П. Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод», місто Вінниця». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2024 – 107 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 39 назв; рис.: 17; табл. 10.

В роботі, використовуючи засоби САПР, проведені розрахунки, пов'язані із вибором оптимальних потужностей трансформаторів 10/0,4 кВ, оптимальних перерізів ліній 10 кВ як живильних, так і розподільчих мереж, оптимальних місць установки трансформаторних підстанцій, а також оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів. Вибрані засоби компенсації реактивної потужності забезпечать виконання всіх вимог енергопостачальної компанії. Розрахунки проведені з використанням реальних даних по підприємству. Розроблена система електропостачання відповідає вимогам надійності.

Розроблено спеціальне математичне забезпечення системи оптимального управління потужністю конденсаторної установки, яка забезпечує мінімальні активні втрати за умови підтримки відхилень напруги в допустимих межах в режимах максимальних та мінімальних навантажень енергосистеми. В години, що не контролюються енергосистемою, не будуть виникати зворотні перетоки реактивної потужності із мереж підприємства в мережі.

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

ABSTRACT

Polishchuk S.P. Optimization of the power supply system of the State Enterprise "45 Experimental Mechanical Plant", Vinnytsia city. Master's qualification thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", educational program - "Electrotechnical systems of electricity consumption". – Vinnytsia, VNTU, 2024 – 107 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 39 titles; Fig.: 17; table 10.

In the work, using CAD tools, calculations related to the selection of optimal capacities of 10/0.4 kV transformers, optimal cross-sections of 10 kV lines of both power and distribution networks, optimal locations for installation of transformer substations, as well as optimal capacities of batteries of static capacitors. The selected means of reactive power compensation will ensure the fulfillment of all the requirements of the energy supply company. Calculations were made using real data for the enterprise. The developed power supply system meets the reliability requirements.

Special mathematical support of the system of optimal power management of the condenser installation has been developed, which ensures minimal active losses under the condition of maintaining voltage deviations within permissible limits in the modes of maximum and minimum loads of the power system. During hours not controlled by the power system, there will be no reverse flows of reactive power from the networks of the network enterprises

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

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	11
1.1 Відомості про ДП «45 Експериментальний механічний завод»	11
1.2 Вихідна інформація для оптимізації системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод»	11
1.3 Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень 45 Експериментального механічного заводу та окремих його виробничих підрозділів	14
2.2 Визначення оптимальної потужності трансформаторів 10/0,4 кВ	17
2.3 Розрахування активних втрат потужності в трансформаторах ТП 45 Експериментального механічного заводу	20
2.4 Розрахування оптимальних перерізів кабельних ліній 10 кВ, якими живиться підприємство в цілому та ТП	22
2.5 Розрахунок центра електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП та ТП	25
2.6 Оптимальна компенсація реактивних навантажень в мережах 10 кВ підприємства	30
2.7 Висновки до розділу 2	31
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ БСК, ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЇХ ВПЛИВУ НА РІВНІ НАПРУГ	32
3.1 Математична постановка задачі оптимального керування графіком реактивної потужності	33
3.2 Математичні моделі оптимального управління КУ в системі електропостачання	35
3.2.1 Математична модель, яка забезпечує необхідне значення реактивної потужності в лінії живлення	40
3.2.2 Математичні моделі, які контролюють вплив КУ на рівень напруги в	

вузлі мережі	43
3.3 Алгоритм обчислення вектора управління для дискретного моменту часу	40
3.4 Розрахунки по формуванню множин M	43
3.5 Розрахунок і реалізація множини $M_1, M_1 \subset M$	47
3.6 Розрахунок і реалізація множини $M_2, M_2 \subset M$	48
3.7 Розрахунок і реалізація множини $M_3, M_3 \subset M$	51
3.8 Тестовий приклад розрахунку вектора управління для дискретного моменту часу t_i	52
3.9 Висновки до розділу 3	58
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ ЕКОНОМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	65
4.1 Оцінка економічного ефекту	65
4.2 Техніко-економічні розрахунки з порівняння різних варіантів вирішення задачі	66
4.3 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень	67
4.4 Висновки до розділу 4	68
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	69
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	69
5.1.2 Електробезпека	72
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	73
5.2.1 Мікроклімат	73
5.2.2 Склад повітря робочої зони	74
5.2.3 Виробниче освітлення	75
5.2.4 Виробничий шум	76
5.2.5 Виробничі вібрації	77
5.2.6 Психофізіологічні фактори	78

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	85
Додаток А. Технічне завдання до магістерської кваліфікаційної роботи	86
Додаток Б. Вихідні дані для виконання магістерської випускної роботи	89
Додаток В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	91
Додаток Г. Демонстраційний матеріал до МКР	92

ВСТУП

Актуальність теми. За час існування підприємства відбувались багато чисельні часткові реконструкції. Тому в діючий систем електропостачання підприємства продовжує використовуватися морально- та фізично застаріле електрообладнання, а електричні мережі підприємства (10 та 0,4 кВ) в ряді випадків не відповідають електричним навантаженням. За таких умов система електропостачання підприємства, що продовжує експлуатуватися, потребує модернізації.

Тому робота, в якій із використанням сучасних автоматизованих технологій та новітніх проектних методик розроблена оптимальна система електропостачання, що виконана із врахуванням зазначених вище обставин, а для управління потужністю конденсаторної установки, яка експлуатується на підприємстві, розроблена система спеціального математичного забезпечення оптимального управління потужністю конденсаторної установки, є *актуальною* для ДП «45 Експериментальний механічний завод».

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

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

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» та таких параметрів її стану як реактивна потужність та відхилення напруги, використовуючи інформаційні технології та сучасні методи оптимізації.

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

- автоматизованими розрахунками оптимальних потужностей цехових трансформаторних підстанцій та підприємства в цілому;
- автоматизованими розрахунками оптимальних перерізів живильних та розподільних ліній 10 кВ підприємства;
- розрахунками оптимальної потужності конденсаторних батарей;

– розробкою спеціального математичного забезпечення системи керування потужністю батарей статичних конденсаторів, яка забезпечує зменшення активних втрат за умови допустимих відхилень напруги.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

Предмет дослідження – мережі 10 кВ та режими реактивної потужності та відхилення напруги.

Новизна одержаних результатів. Підвищена ефективність системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» в результаті оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній, потужності конденсаторних установок.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» та зменшити долю енерговитрат в собівартості продукції.

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

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

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Результати роботи на конференції не доповідались

Публікації.: Публікацій по роботі немає

Обсяг і структура магістерської кваліфікаційної роботи. Робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 107 сторінок, з яких основний зміст викладений на 82 сторінках друкованого тексту, містить 17 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел із 28 найменувань.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про ДП «45 Експериментальний механічний завод»

Вінницький 45 Експериментальний механічний завод – державне підприємство з повним виробничим циклом виготовлення виробів і з великим об'ємом експериментальних і дослідних робіт.

Володіючи унікальним обладнанням (преси зусиллям до 2500 т., верстати з ЧПУ та ін.), великою документально-технічною базою, підприємство приймає індивідуальні замовлення на виготовлення різних виробів по ескізам або кресленнями замовника з чорних та нержавіючих сталей, а також з кольорових металів.

З метою розширення ринків збуту завод налагоджує тісні взаємини з організаціями, які безпосередньо займаються продажем продукції машинобудівельного виробництва.

З недавнього часу ще одним пріоритетним напрямком діяльності ДП "45 ЕМЗ" є заготівля і переробка брухту чорних металів, а так само продаж виробів з металу.

1.2 Вихідна інформація для оптимізації системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод»

Переважна більшість виробничих цехів підприємства, а також і саме підприємство відносяться до другої категорії за надійністю електропостачання.

Живлення підприємства може здійснюється від ТП «Північна» 110/10, яка знаходиться на відстані 3,3 км від підприємства, на напрузі 10 кВ. Потужність короткого замикання на ТП «Північна» 50 МВА.

Енергопостачальною кампанією визначено значення для вхідної реактивної потужності в години максимальних навантажень в енергосистемі 300 квар

Підприємство споживає електроенергію по тарифу першого класу (пряме включення від живлячого центру) напругою 10 кВ.

Інформація про електричні навантаження всіх об'єктів наведена в таблиці 1.1, а генплан підприємства на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Генплан ДП «45 Експериментальний механічний завод»

Таблиця 1.1 – Відомості про основні об'єкти підприємства

№ на плані	Назва об'єкту (цеху)	Р _н , кВт
1	Відділи: технічний, технологічний та виробничо-диспетчерський, а також ковальсько-пресова дільниця	200
2	Заводоуправління	50
3	Відділення виготовлення деталей із пластмас та гуми	220
4	Компресорна підприємства	250
5	Цех 1	200
6	Цех 2	300
7	Склад металу	60
8	Відділення плазмового різання	120
9	Субабонент 1	40
10	Субабонент 2	50
11	Субабонент 3	180
12	Субабонент 4	120
13	Субабонент 5	140
14	Субабонент 6	180

Для підприємства актуальною є задача зменшення активних втрат шляхом використання батарей статичних конденсаторів. Як свідчить практика в результаті використання конденсаторів на підприємстві в деяких вузлах мережі виникають недопустимі за значеннями відхилення напруги. Такі негативні явища можна усунути, якщо здійснювати управління потужністю батарей статичних конденсаторів із врахуванням їх впливу на рівні напруг, що в свою чергу потребує розробки спеціального математичного забезпечення для реалізації його в системі керування

1.3 Висновки до розділу 1

1. Підвищити техніко-економічні характеристики електротехнічної частини підприємства та зменшити долю енерговитрат підприємства в собівартості продукції можна шляхом модернізації системи електропостання

2. Для усунення такого негативного явища, як вплив конденсаторних установок на рівні напруги в деяких вузлах мережі необхідно розробити систему керування, яка забезпечить прийняття рішень із врахуванням згаданого ефекту.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Багато технічних рішень, що доводиться приймати в процесі розробки системи електропостачання, мають ряд можливих варіантів своєї реалізації, і кожне з технічної точки зору є можливим. Однак, з інших міркувань (економічності, надійності і т.п.) ці варіанти відрізняються. В роботі проведені оптимізаційні розрахунки з вибору трансформаторів оптимальних потужностей, перерізів кабельних ліній 10 кВ, місця установки трансформаторів та потужностей батарей статичних конденсаторів. Вибір здійснюється за економічним критерієм – річними приведеними капітальним витратам, всі обрахунки у відповідності з діючими нормами проектування виконані за допомогою САПР.

2.1 Розрахунок електричних навантажень 45 Експериментального механічного заводу та окремих його виробничих підрозділів

Для проведення зазначених розрахунків попередньо мають бути визначені максимальні (розрахункові) потужності. Для такого розрахунку є ряд методів, які рекомендовані провідними проектними інститутами [5]. Найбільше поширення має метод коефіцієнта попиту. Для поставленої задачі потрібно знати розрахункові потужності (як силового так і освітлювального) по підприємству в цілому (для вибору перерізу лінії живлення) та окремих цехів (для вибору перерізів ліній розподільчої мережі 10 кВ та потужності трансформаторів 10 кВ).

Сутність методу коефіцієнта попиту в наступному:

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

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

де K_{poi} – коефіцієнт попиту для освітлювального навантаження i -го об'єкту 45 Експериментального механічного заводу;

$P_{\text{пит}i}$ – питома густина освітлювального навантаження для i -того об'єкту 45
Експериментального механічного заводу, кВт/м²;

F_i – площа i -того об'єкту 45 Експериментального механічного заводу, м²;

$K_{\text{пра}i}$ – коефіцієнт, враховує втрати в пуско-регулюючій апаратурі i -того
об'єкту 45 Експериментального механічного заводу;

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

$$Q_{\text{poi}} = F_i \cdot K_{\text{poi}} \cdot p_{\text{пит}i} \cdot \text{tg} \varphi_{oi}, \quad (2.2)$$

де $\text{tg} \varphi_{oi}$ – коефіцієнт реактивної потужності освітлювального навантаження i -
того об'єкту 45 Експериментального механічного заводу.

– середнє активне силове навантаження i -того об'єкту 45
Експериментального механічного заводу розраховується так:

$$Q_{\text{poi}} = F_i K_{\text{poi}} K_{\text{пра}i} \text{tg} \varphi_{oi}, \quad (2.3)$$

де $P_{\text{ном}i}$ – номінальна потужність i -того об'єкту 45 Експериментального
механічного заводу, кВт;

$K_{\text{в}i}$ – коефіцієнт використання для i -того об'єкту 45 Експериментального
механічного заводу;

– середнє реактивне силове навантаження i -того об'єкту 45
Експериментального механічного заводу розраховується за формулою:

$$Q_{ci} = P_{\text{ном}} K_{\text{в}i} \text{tg} \varphi_i + Q_{\text{poi}} \quad (2.4)$$

де $\text{tg} \varphi_i$ – коефіцієнт реактивної потужності i -того об'єкту 45
Експериментального механічного заводу.

– повне середнє навантаження i -того об'єкту 45 Експериментального
механічного заводу розраховується так:

$$S_{ci} = \sqrt{P_{ci}^2 + Q_{ci}^2} \quad (2.5)$$

Розрахункове активне навантаження будь-якого i -того об'єкту 45
Експериментального механічного заводу заводу.

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

де $K_{\text{п}i}$ – коефіцієнт попиту i -того цеху.

Розрахункове реактивне навантаження i -того об'єкту 45 Експериментального механічного заводу:

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

Розрахункове повне навантаження i -того об'єкту 45 Експериментального механічного заводу:

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

Розрахунковий струм i -того об'єкту 45 Експериментального механічного заводу:

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

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

Складовими навантаження об'єктів 45 Експериментального механічного заводу є силові та освітлювальне навантаження.

Розрахуємо середні та розрахункові навантаження об'єктів 45 Експериментального механічного заводу та підприємства в цілому:

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

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

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

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

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

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

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

N – кількість підрозділів 45 Експериментального механічного заводу.

Повне навантаження підприємства в цілому:

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

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

Сумарний струм розрахуємо так:

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

Питома густина навантаження і-того об'єкту 45 Експериментального механічного заводу:

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

Питома густина навантаження по 45 Експериментальному механічному заводу:

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

Результати автоматизованого розрахунку, виконані в повному обсязі, згаданих вище навантажень 45 Експериментального механічного заводу, як в цілому так і по всіх його виробничих об'єктах, що виконані за допомогою електронних таблиць Excel, зведені до однієї таблиці (рис. 2.1).

2.2 Визначення оптимальної потужності трансформаторів 10/0,4 кВ

Задача вибору потужності трансформаторів 10/0,4 кВ має варіанти для вибору і тому її можна вирішувати як оптимізаційну. Для вирішення такої оптимізаційної задачі попередньо необхідно:

- сформулювати навантаження трансформаторів, що здійснюється на основі інформації про розташування окремих підрозділів на плані підприємства та про установлену потужність кожного;

2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						

Рисунок 2.1 – Результати автоматизованого розрахунку навантажень

45 Експериментального механічного заводу

- визначити категорію надійності електропостачання, що треба забезпечити
- знати питому густину навантаження (якщо питома густина навантаження до $0,2 \text{ (кВА/м}^2\text{)}$, то потрібно обирати трансформатори, потужність яких менша 1000 (кВА));
- враховуючи експлуатаційні особливості слід забезпечити живлення об'єктів підприємства від трансформаторів однієї потужності

Дотримуючись зазначених вимог установку на 45 Експериментальному механічному заводі трьох двотрансформаторних ТП. Формування навантаження кожної ТП та результати розрахунку їх потужностей наведена в табличній формі, рис. 2.2.

№ ТП	Номер цеху	Розрахункова активна потужність P_p , кВт	Розрахункова реактивна потужність Q_p , квар	Повна розрахункова потужність S_p , кВА	Середня активна потужність P_c , кВт	Середня реактивна потужність Q_c , квар	Повна середня потужність S_c , кВА	Кількість трансформаторів в ТП
ТП1	9	28,77	26,77	39,30	16,77	14,53	22,19	2
	10	56,22	33,27	65,33	38,72	22,43	44,75	
	11	135,86	99,23	168,24	90,86	65,48	111,99	
	12	106,16	76,88	131,07	34,16	22,88	41,11	
	13	133,04	81,47	156,00	77,04	46,76	90,12	
	14	128,34	95,63	160,05	47,34	34,88	58,80	
	Всього по ТП1	588,39	413,25	719,01	304,89	206,95	368,49	
ТП2	1	143,07	140,33	200,41	43,07	41,15	59,57	2
	2	41,42	47,45	62,98	21,42	24,06	32,21	
	3	199,41	149,18	249,03	111,41	83,18	139,03	
	4	151,68	73,46	168,53	89,18	43,19	99,09	
	Всього по ТП2	535,58	410,41	674,74	265,08	191,57	327,06	
ТП3	5	173,51	126,49	214,72	123,51	88,99	152,23	2
	6	244,21	150,76	287,00	154,21	94,98	181,12	
	7	45,47	33,16	56,28	30,47	21,91	37,53	
	8	83,79	59,66	102,86	95,79	68,66	117,85	
	Всього по ТП3	546,98	370,07	660,41	403,98	274,54	488,44	

Рисунок 2.2 – Розподілення виробничих підрозділів 45 Експериментального механічного заводу між трансформаторними підстанціями

Для вирішення задачі вибору потужності трансформаторів скористаємось методами дослідження операцій [24]. Цільова функція математичної моделі, яку використовуємо для розв'язування поставленої задачі, описує річні приведені затрати на підстанцію. Математична модель дискретна оскільки результат

знаходиться із ряду стандартних значень потужності трансформаторів, що випускаються промисловістю

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

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

E_e – коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень;

E_a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

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

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

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

Керована змінна математичної моделі за своїм змістом це потужність трансформаторів – S_T , що належить ряду стандартних (тих, що випускаються промисловістю) трансформаторів. Сутність процесу вирішення задачі полягає в тому, що із множини потужностей трансформаторів формується підмножина потужностей, які за технічними характеристиками можуть бути використаними. Із цієї множини за приведеними річними витратами вибирається до установки трансформатор оптимальної потужності.

Результати розрахунків оптимальної потужності трансформаторів для всіх трансформаторних підстанцій наведені на рис. 2.3 – 2.5.

Економічні характеристики														
Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895			
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1			
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =	0,036			
ТП1														
Дані нормального режиму														
Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	719,01			
Середня потужність ТП, кВА										Sc=	368,49			
Кількість трансформаторів										кт=	2			
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Kn=	1			
Дані післяаварійного режиму														
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Kпа =	1,3			
Доля навантаження в післяаварійному режимі										Kнпа =	0,8			
*	Ст кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*Ст ≥Sc	кпа*Ст≥ кнпа*Sp	*
	63	1,28	0,24	95,78	13,02608	83,36199	0,48	83,84199	47,02655	-	-	-	-	
	100	1,97	0,33	101,71	13,83256	50,922	0,66	51,582	28,93208	-	-	-	-	
	160	3,1	0,51	109,45	14,8852	31,3012	1,02	32,3212	18,1288	-	-	-	-	
	250	4,2	0,74	119,46	16,24656	17,37035	1,48	18,85035	10,57306	-	+	-	-	
	400	5,9	0,95	143,38	19,49968	9,531719	1,9	11,43172	6,411994	-	+	-	-	
V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	5,535757	2,62	8,155757	4,574523	26,2706	630	+	+	V
	1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,714117	4,2	6,914117	3,878093	29,47737	1000	+	+	
	1600	18	2,8	234	31,824	1,817489	5,6	7,417489	4,160432	35,98443	1600	+	+	
	2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,971912	7,7	8,671912	4,864032	41,27531	2500	+	+	
Мінімальні затрати, грн										Зmin=	26,2706			
Оптимальна потужність трансформатора, кВА										Ст*=	630			
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*=	0,570642			

Рисунок 2.3 – Результати вибору потужності трансформаторів для ТП1

Економічні характеристики														
Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895			
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1			
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =	0,036			
						ТП2								
Дані нормального режиму														
Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	674,74			
Середня потужність ТП, кВА										Sc=	327,06			
Кількість трансформаторів										кт=	2			
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Kn=	1			
Дані післяаварійного режиму														
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Кпа =	1,3			
Доля навантаження в післяаварійному режимі										Кпап =	0,8			
*	Ст кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*Ст ≥Sc	кпа*Ст≥ кпап*Sp	*
	63	1,28	0,24	95,78	13,02608	73,41383	0,48	73,89383	41,44668		-	-	-	
	100	1,97	0,33	101,71	13,83256	44,84512	0,66	45,50512	25,5236		-	-	-	
	160	3,1	0,51	109,45	14,8852	27,56581	1,02	28,58581	16,03364		-	-	-	
	250	4,2	0,74	119,46	16,24656	15,29742	1,48	16,77742	9,410372		-	+	-	
	400	5,9	0,95	143,38	19,49968	8,394233	1,9	10,29423	5,773984		-	+	-	
V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	4,875137	2,62	7,495137	4,203985	25,90006	630	+	+	V
	1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,390222	4,2	6,590222	3,696423	29,2957	1000	+	+	
	1600	18	2,8	234	31,824	1,600595	5,6	7,200595	4,038778	35,86278	1600	+	+	
	2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,855927	7,7	8,555927	4,798977	41,21026	2500	+	+	
Мінімальні затрати, грн										Зmin=	25,90006			
Оптимальна потужність трансформатора, кВА										Ст*=	630			
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*=	0,535512			

Рисунок 2.4 – Результати вибору потужності трансформаторів для ТП2

Економічні характеристики															
Питома вартість втрат, грн/кВт											Bo =	560,895			
Коефіцієнт ефективності капітоловкладень											Ee =	0,1			
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea =	0,036			
ТПЗ															
Дані нормального режиму															
Розрахункова потужність ТП, кВА											Sp=	660,41			
Середня потужність ТП, кВА											Sc=	488,44			
Кількість трансформаторів											кт=	2			
Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											Кн=	1			
Дані післяаварійного режиму															
Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											Кпа =	1,3			
Доля навантаження в післяаварійному режимі											Кппа =	0,8			
*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*St ≥Sc	кпа*St≥ кппа*Sp	*	
	63	1,28	0,24	95,78	13,02608	70,32686	0,48	70,80686	39,71522		-	-	-		
	100	1,97	0,33	101,71	13,83256	42,95944	0,66	43,61944	24,46593		-	-	-		
	160	3,1	0,51	109,45	14,8852	26,4067	1,02	27,4267	15,3835		-	-	-		
	250	4,2	0,74	119,46	16,24656	14,65418	1,48	16,13418	9,049583		-	+	-		
	400	5,9	0,95	143,38	19,49968	8,041265	1,9	9,941265	5,576006		-	+	-		
V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	4,670143	2,62	7,290143	4,089005	25,78508	630	+	+	V	
	1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,289716	4,2	6,489716	3,640049	29,23933	1000	+	+		
	1600	18	2,8	234	31,824	1,533292	5,6	7,133292	4,001028	35,82503	1600	+	+		
	2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,819936	7,7	8,519936	4,77879	41,19007	2500	+	+		
Мінімальні затрати, грн												Зmin=	25,78508		
Оптимальна потужність трансформатора, кВА												St*=	630		
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора												кз*=	0,524132		

Рисунок 2.5 – Результати вибору потужності трансформаторів для ТПЗ

2.3 Розрахування активних втрат потужності в трансформаторах ТП 45 Експериментального механічного заводу

В трансформаторах мають місце втрати активної потужності, які складаються із втрат холостого ходу (втрат на намагнічування) і втрат короткого замикання (втрати в обмотках). Втрати активної потужності в трансформаторах потрібно враховувати при виборі перерізів ліній 10 кВ. Їх неврахування приводить до додаткового перегріву ліній, що може вплинути на надійність їх роботи [28]. Тому для підвищення точності прийнятих рішень розрахуємо втрати в трансформаторах і рахуємо їх при виборі перерізів ліній електропередач.

Значення активних втрат в вибраних трансформаторах розрахуємо за формулою [5]:

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

де n - кількість трансформаторів в ТП;

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

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

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

Отримані результати такого розрахунку, а також уточнені потужності трансформаторів із врахуванням зазначених втрат в трансформаторах представлені на рис. 2.6.

$\Delta P_{\text{кз}}$, 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
8,5	2	5,5	588,3885	413,2476	719,0095	8,155757	47,76635	48,45762	596,5442	461,014
8,5	2	5,5	535,5795	410,4083	674,7447	7,495137	45,07335	45,69228	543,0747	455,4817
8,5	2	5,5	546,9788	370,0685	660,4063	7,290143	44,2377	44,83437	554,2689	414,3062
			1670,947	1193,724		22,94104	137,0774	138,9838	1693,888	1330,802

Рисунок 2.6 – Результати розрахунку потужностей трансформаторів ТП, із
врахуванням втрати потужності в них

2.4 Розрахування оптимальних перерізів кабельних ліній 10 кВ, якими живиться підприємство в цілому та ТП

Оскільки 45 Експериментальний механічний завод – відноситься до споживачів другої категорії за надійністю електропостачання то для забезпечення необхідної надійності передбачимо живлення підприємства двома кабельними лініями. З цієї причини живлення ЦРП підприємства здійснюється двома кабельними лініями 10 кВ. Двома кабельними лініями під'єднаємо всі ТП підприємства до ЦРП. Конструктивно лінії електропередач виконаємо кабельними оскільки 45 Експериментального механічного заводу знаходиться на території великого міста [5].

Із стандартного ряду перерізів кабельної продукції виберемо кабель допустимого по навантаженню перерізом, що забезпечує мінімум річних приведених затрат. Вирішення оптимізаційної задачі вибору оптимального перерізу кабельних ліній виконаємо за допомогою математичної моделі, яка забезпечує знаходження оптимального перерізу за умови виконання вимог нормативних документів (по допустимим втратам напруги та по термічній стійкості).

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

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

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

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

I_l – струм лінії, відповідає розрахунковій потужності;

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

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

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

ΔU_{don} – допустимі втрати напруги, яким відповідають допустимі відхилення напруги [8];

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

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

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

k_c – коефіцієнт середовища;

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

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

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

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

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

Цільова функція математичної моделі описує річні приведені затрати. Множина можливих рішень утворюється множиною всіх стандартних перерізів кабелів 10 кВ. Змінна X (мм²) позначає переріз кабельної лінії. Розрахунком

визначається числове значення X . Цьому значенню має відповідати мінімум цільової функції.

Система обмежень математичної моделі (2.23) забезпечує допустимі втрати напруги в лініях в режимах нормальних та післяаварійних та допустиму термічну дію струмів короткого. Результати, що отримуються в результаті розрахунку, наведені в таблицях, рис. 2.7 – рис. 2.10.

Отримані результати розрахунку:

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

2.5 Розрахунок центра електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП та ТП

Важливим рішенням, від якого залежать активні втрати в мережах підприємства 10 кВ, – вибір місця розташування ЦРП та ТП. Така задача є оптимізаційною оскільки існує безліч варіантів для прийняття рішення. Найменші втрати в мережах будуть мати місце у разі установки ЦРП (РП) в центрі електричних навантажень (ЦЕН). Координати ЦЕН можна розрахувати.

У разі, якщо встановити ЦРП (РП) безпосередньо в ЦЕН не можливо, то їх встановлюють поблизу в зручному місці. Скористаємось методикою розрахунку ЦЕН та картограми електричних навантажень, яка рекомендована для практичних розрахунків [5]. Її сутність полягає в наступному:

Визначення координат ЦЕН потребує побудови картограми електричних навантажень [10], яка здійснюється в певному масштабі, спільному для всіх об'єктів підприємства.

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

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

P_p – розрахункова активна потужність цеха, (кВт);

r – радіус кола навантаження, см.

Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ																	
Економічні характеристики																	
Питома вартість втрат, грн/кВт													Bo=	560,895			
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень													Ee=	0,1			
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію													Ea=	0,04			
Дані нормального режиму																	
Напруга, кВ													U =	10			
Активна розрахункова потужність споживача, кВт													P =	1693,8878			
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр													Q =	1330,8018			
Розрахунковий струм окремого кабелю, А													Ip =	62,18			
Коефіцієнт допустимого навантаження													Kдоп =	1,00			
Допустима втрата напруги в КЛ, %													dUдоп =	5			
Кількість кабелів													k =	2			
Довжина лінії, км													L =	3,2			
Дані аварійного режиму																	
Струм КЗ на початку лінії, кА													Iкз =	3,0386856			
Приведений час КЗ, с													tn =	1,5			
Тепловий коефіцієнт C, (A*c^(1/2))/мм^2													C =	90			
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2													Fкз =	41,35			
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі													Kпа =	1,25			
Доля навантаження в післяаварійному режимі													Kппа =	0,8			
Допустима втрата напруги в КЛ, %													dUpадоп =	5			
F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	K0, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп оп >= Ip	n*Iдоп >= Kппа*k*	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUpадоп	F >= Fкз
10	3,1	0,122	9,5381	65	8,66	13,86	230,16	61,04	8,55	129,09	-	-----	+	-	-	-	-
16	1,94	0,113	13,784	75	5,50	8,80	144,03	88,22	12,35	80,79	-	-----	+	-	-	-	-
25	1,24	0,099	19,854	90	3,57	5,71	92,06	127,07	17,79	51,64	-	-----	+	+	+	-	-
35	0,89	0,095	25,953	115	2,61	4,18	66,08	166,10	23,25	37,06	-	-----	+	+	+	+	-
v 50	0,62	0,09	36,927	140	1,87	3,00	46,03	236,33	33,09	25,82	58,91	50	+	+	+	+	+
70	0,443	0,086	50,501	165	1,38	2,21	32,89	323,21	45,25	18,45	63,70	70	+	+	+	+	+
95	0,326	0,083	65,451	205	1,06	1,70	24,20	418,89	58,64	13,58	72,22	95	+	+	+	+	+
120	0,258	0,081	82,823	240	0,87	1,39	19,16	530,07	74,21	10,74	84,95	120	+	+	+	+	+
150	0,206	0,079	102,11	275	0,73	1,16	15,29	653,50	91,49	8,58	100,07	150	+	+	+	+	+
185	0,167	0,077	137,48	310	0,62	0,99	12,40	879,87	123,18	6,95	130,14	185	+	+	+	+	+
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	58,91						
Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт	50						

Рисунок 2.7 – Вибрані перерізи кабельних ліній, які живлять підприємство

Вибір оптимального перерізу КЛ1																		
Економічні характеристики																		
Питома вартість втрат, грн/кВт																В ₀ =	560,895	
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																Е _е =	0,1	
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																Е _а =	0,04	
Дані нормального режиму																		
Напруга, кВ																U =	10	
Активна розрахункова потужність споживача, кВт																P =	596,5442	
Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр																Q =	461,014	
Розрахунковий струм окремого кабелю, А																I _p =	21,76	
Коефіцієнт допустимого навантаження																K _{доп} =	0,92	
Допустима втрата напруги в КЛ, %																dU _{доп} =	5	
Кількість кабелів																k =	2	
Довжина лінії, км																L =	0,5	
Дані аварійного режиму																		
Струм КЗ на початку лінії, кА																I _{кз} =	2,001777	
Приведений час КЗ, с																t _n =	1,5	
Тепловий коефіцієнт C, (А ² с ^{1/2})/мм ²																C =	90	
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм ²																F _{кз} =	27,24	
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																K _{па} =	1,2	
Доля навантаження в післяаварійному режимі																K _{па} =	0,8	
Допустима втрата напруги в КЛ, %																dU _{падоп} =	5	
F, мм ²	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км	K ₀ , т.грн/км	I _{доп} , А	dU _n , %	dU _{па} , %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	В _е , т.грн	З, т.грн	X	K _{доп} *I _{доп} ≥ I _p	K _{па} *K _{доп} *I _{доп} ≥ I _p	dU _n ≤ dU _{доп}	dU _{па} ≤ dU _{падоп}	F ≥ F _{кз}	
10	3,1	0,122	9,5381	65	0,48	0,76	4,41	9,54	1,34	2,47	-	-----	+	+	+	+	-	
16	1,94	0,113	13,784	75	0,30	0,48	2,76	13,78	1,93	1,55	-	-----	+	+	+	+	-	
25	1,24	0,099	19,854	90	0,20	0,31	1,76	19,85	2,78	0,99	-	-----	+	+	+	+	-	
35	0,89	0,095	25,953	115	0,14	0,23	1,26	25,95	3,63	0,71	4,34	35	+	+	+	+	+	
50	0,62	0,09	36,927	140	0,10	0,16	0,88	36,93	5,17	0,49	5,66	50	+	+	+	+	+	
70	0,443	0,086	50,501	165	0,08	0,12	0,63	50,50	7,07	0,35	7,42	70	+	+	+	+	+	
95	0,326	0,083	65,451	205	0,06	0,09	0,46	65,45	9,16	0,26	9,42	95	+	+	+	+	+	
120	0,258	0,081	82,823	240	0,05	0,08	0,37	82,82	11,60	0,21	11,80	120	+	+	+	+	+	
150	0,206	0,079	102,11	275	0,04	0,06	0,29	102,11	14,30	0,16	14,46	150	+	+	+	+	+	
185	0,167	0,077	137,48	310	0,03	0,05	0,24	137,48	19,25	0,13	19,38	185	+	+	+	+	+	
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	4,34							
Оптимальний переріз КЛ, мм ²										Х _{опт}	35							

Рисунок 2.8 – Вибрані перерізи кабельних ліній, що живлять ТП1

Вибір оптимального перерізу КЛ2																			
Економічні характеристики																			
Питома вартість втрат, грн/кВт														Bo=	560,895				
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень														Ee=	0,1				
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію														Ea=	0,04				
Дані нормального режиму																			
Напруга, кВ														U =	10				
Активна розрахункова потужність споживача, кВт														P =	543,0747				
Реактивна розрахункова опухність споживача, кВАр														Q =	455,4817				
Розрахунковий струм окремого кабелю, А														Ip =	20,46				
Коефіцієнт допустимого навантаження														Kдоп =	0,92				
Допустима втрата напруги в КЛ, %														dUдоп =	5				
Кількість кабелів														k =	2				
Довжина лінії, км														L =	0,5				
Дані аварійного режиму																			
Струм КЗ на початку лінії, кА														Iкз =	1,902689				
Приведений час КЗ, с														tn =	1,5				
Тепловий коефіцієнт C, (A*s^(1/2))/мм^2														C =	90				
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2														Fкз =	25,89				
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі														Kпа =	1,25				
Доля навантаження в післяаварійному режимі														Kпа =	0,8				
Допустима втрата напруги в КЛ, %														dUпадоп =	5				
F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	KO, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Be, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	Kпа*Kдоп*Iдоп >= Kпа*K*Iр	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUпадоп	F >= Fкз		
10	3,1	0,122	9,5381	65	0,43	0,70	3,89	9,54	1,34	2,18	-	-----	+	+	+	+	-		
16	1,94	0,113	13,784	75	0,28	0,44	2,44	13,78	1,93	1,37	-	-----	+	+	+	+	-		
25	1,24	0,099	19,854	90	0,18	0,29	1,56	19,85	2,78	0,87	-	-----	+	+	+	+	-		
35	0,89	0,095	25,953	115	0,13	0,21	1,12	25,95	3,63	0,63	4,26	35	+	+	+	+	+		
50	0,62	0,09	36,927	140	0,09	0,15	0,78	36,93	5,17	0,44	5,61	50	+	+	+	+	+		
70	0,443	0,086	50,501	165	0,07	0,11	0,56	50,50	7,07	0,31	7,38	70	+	+	+	+	+		
95	0,326	0,083	65,451	205	0,05	0,09	0,41	65,45	9,16	0,23	9,39	95	+	+	+	+	+		
120	0,258	0,081	82,823	240	0,04	0,07	0,32	82,82	11,60	0,18	11,78	120	+	+	+	+	+		
150	0,206	0,079	102,11	275	0,04	0,06	0,26	102,11	14,30	0,15	14,44	150	+	+	+	+	+		
185	0,167	0,077	137,48	310	0,03	0,05	0,21	137,48	19,25	0,12	19,36	185	+	+	+	+	+		
Мінімальні затрати, тис.грн											Змін	4,26							
Оптимальний переріз КЛ, мм^2											Хопт	35							

Рисунок 2.9 – Вибрані перерізи кабельних ліній, що живлять ТП2

Вибір оптимального перерізу КЛЗ																		
Економічні характеристики																		
Питома вартість втрат, грн/кВт													Bo= 560,895					
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень													Ee= 0,1					
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію													Ea= 0,04					
Дані нормального режиму																		
Напруга, кВ													U = 10					
Активна розрахункова потужність споживача, кВт													P = 554,2689					
Реактивна розрахункова потужність споживача, кВАр													Q = 414,3062					
Розрахунковий струм окремого кабелю, А													Ip = 19,98					
Коефіцієнт допустимого навантаження													Kдоп = 0,92					
Допустима втрата напруги в КЛ, %													dUдоп = 5					
Кількість кабелів													k = 2					
Довжина лінії, км													L = 0,5					
Дані аварійного режиму																		
Струм КЗ на початку лінії, кА													Ikз = 1,902689					
Приведений час КЗ, с													tn = 1,5					
Тепловий коефіцієнт C, (A*s^(1/2))/мм^2													C = 90					
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2													Fкз = 25,89					
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі													Kпа = 1,25					
Доля навантаження в післяаварійному режимі													Kппа = 0,8					
Допустима втрата напруги в КЛ, %													dUпадоп = 5					
	F, мм^2	R0, Ом/км	X0, Ом/км	K0, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Вв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	Kпа*Kдоп >= Kппа*K*Iдоп >= Ip	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUпадоп	F >= Fкз
	10	3,1	0,122	9,5381	65	0,44	0,71	3,71	9,54	1,34	2,08	-	-----	+	+	+	+	-
	16	1,94	0,113	13,784	75	0,28	0,45	2,32	13,78	1,93	1,30	-	-----	+	+	+	+	-
	25	1,24	0,099	19,854	90	0,18	0,29	1,48	19,85	2,78	0,83	-	-----	+	+	+	+	-
v	35	0,89	0,095	25,953	115	0,13	0,21	1,07	25,95	3,63	0,60	4,23	35	+	+	+	+	+
	50	0,62	0,09	36,927	140	0,10	0,15	0,74	36,93	5,17	0,42	5,59	50	+	+	+	+	+
	70	0,443	0,086	50,501	165	0,07	0,11	0,53	50,50	7,07	0,30	7,37	70	+	+	+	+	+
	95	0,326	0,083	65,451	205	0,05	0,09	0,39	65,45	9,16	0,22	9,38	95	+	+	+	+	+
	120	0,258	0,081	82,823	240	0,04	0,07	0,31	82,82	11,60	0,17	11,77	120	+	+	+	+	+
	150	0,206	0,079	102,11	275	0,04	0,06	0,25	102,11	14,30	0,14	14,43	150	+	+	+	+	+
	185	0,167	0,077	137,48	310	0,03	0,05	0,20	137,48	19,25	0,11	19,36	185	+	+	+	+	+
	Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	4,23						
	Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Xопт	35						

Рисунок 2.10 – Вибрані перерізи кабельних ліній, що живлять ТПЗ

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

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

Прийmemo масштаб для побудови картограми:

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

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

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

Сектор освітлювального навантаження для деякого об'єкту розраховується:

$$\alpha_i = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{P_{pi}}.$$

Розрахунки по всім виробничим об'єктам підприємства зведені до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку картограми електричних навантажень окремих об'єктів 45 Експериментального механічного заводу

№ за планом	Найменування цехів	$P_{p\Sigma,}$ кВт	$P_{po,}$ кВт	$R, \text{мм}$	$\alpha_{осв,}$ град
1	Відділи: технічний, технологічний та виробничо-диспетчерський, а також ковальсько-пресова дільниця	143,1	3,07	76,2	7,72
2	Заводоуправління	41,42	1,42	40,99	12,34
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	199,4	1,41	89,9	2,53
4	Компресорна	151,7	1,68	78,45	4,0

5	Цех 1	173,5	13,51	83,89	28,3
6	Цех 2	244,2	4,21	99,53	6,2
7	Склад металу	45,47	3,47	42,9	27,5
8	Відділення плазмового різання	83,79	11,8	58,2	50,7
9	Субабонент 1	28,77	4,77	34,16	59,6
10	Субабонент 2	56,22	11,22	47,75	71,87
11	Субабонент 3	135,7	9,86	74,2	26,1
12	Субабонент 4	106,2	10,16	25,6	34,5
13	Субабонент 5	133,0	7,04	82,0	18,9
14	Субабонент 6	128,3	2,34	72,1	6,56

Координати ЦЕН визначаємо за такими формулами [1]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{pi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^3 P_{pi}} = 9.37 \text{ (см)},$$

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

X_i – координати абсциси i -ої ТП, см.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{pi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^3 P_{pi}} = 7.21 \text{ (см)},$$

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

Результати такого розрахунку картограми та центру електричних навантажень показані на рис. 2.11.

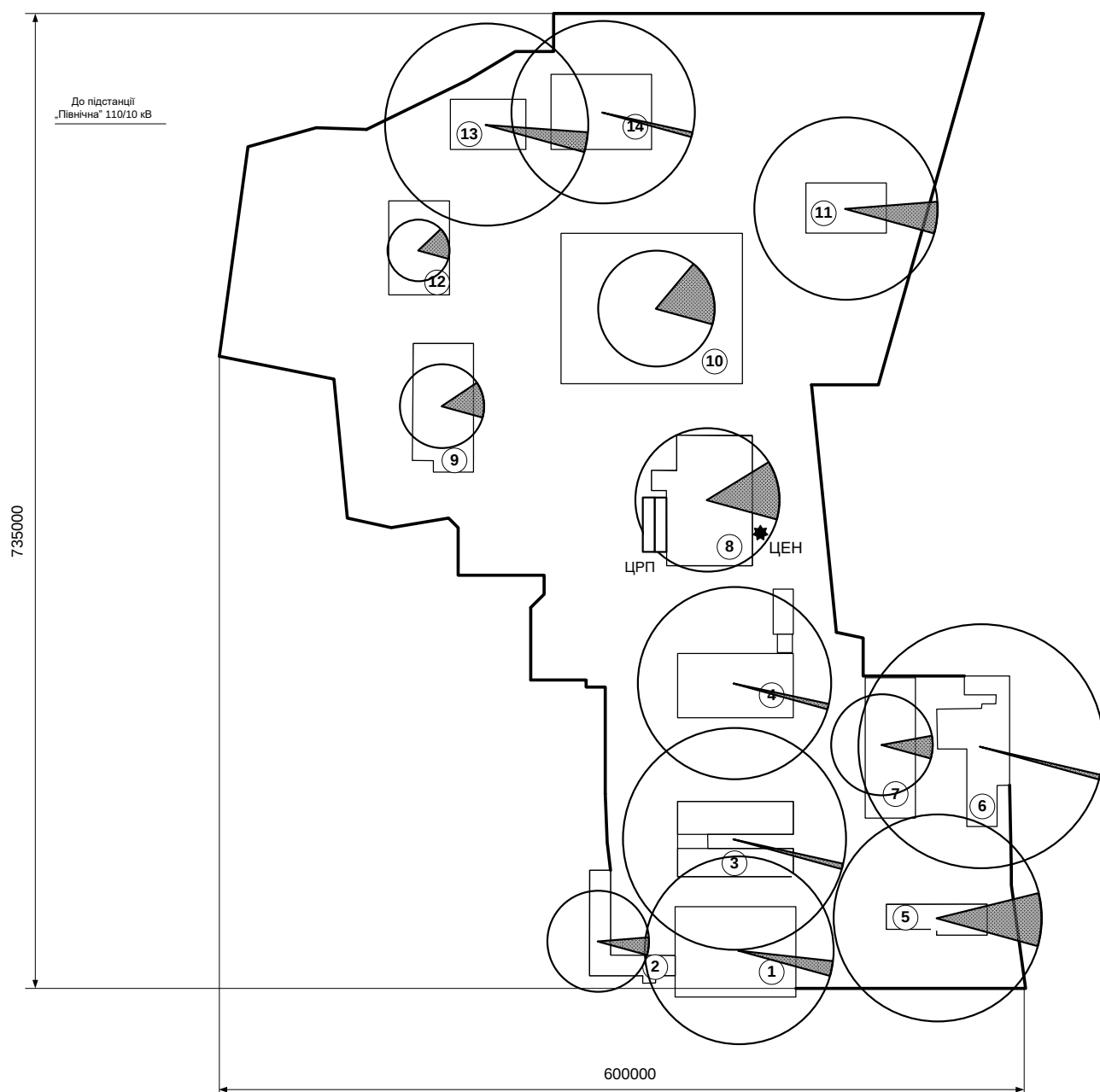


Рисунок 2.11 – Картограма, центри електричних навантажень груп споживачів та прийняті місця установки ЦРП (ТП)

2.6 Оптимальна компенсація реактивних навантажень в мережах 10 кВ підприємства

Для мереж 10 кВ будь-якого підприємства актуальною задачею є задача зниження активних втрат. Суттєвого зниження можна досягти шляхом

компенсації реактивної потужності. Для цього можуть бути використані різні технічні засоби. Найбільшого поширення для компенсації реактивної потужності знайшли батареї статичних конденсаторів (БСК). Установки БСК можна виконати в розподільчих пристроях 0,4 трансформаторних підстанцій. За таких умов зменшення активних втрат можна в силовому трансформаторі, в мережах 10 кВ підприємства та в лінії 10 кВ, що живить підприємство. Приймати рішення з установки БСК торібно із врахуванням вимог енергопостачальної компанії [28].

Для 45 Експериментального механічного заводу енергопостачальною коопанією встановлено значення вхідної реактивної потужності 300 квар, а також є недопустимим поява зворотних перетоків реактивної потужності із мереж підприємства в мережі енергопостачальної компанії. Оскільки споживана підприємством реактивна потужність змінюється протягом доби необхідно встановлювати конденсасторні установки з можливістю регулювання їх потужності.

Розробляючи систему необхідно здійснити оптимальний розподіл вхідної реактивної потужності між ТП та вибрати потужності БСК для кожної із ТП. Задача розподілу вхідної реактивної потужності за своєю сутністю є оптимізаційною. Критерієм для її вирішення можуть бути сумарні втрати активної потужності зумовлені передачею реактивної мережах 10 кВ підприємства.

Знайти розв'язок цієї задачі можна використавши таку математичну модель:

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

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

U_H – номінальна напруга мережі;

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

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

Вирішення цієї задачі можна виконати методом невизначених множників Лагранжа [35].

Оптимальне значення долі вхідної реактивної потужності – Q_e , яку економічно доцільно передати в деякий i -й вузол мережі за умови мінімальних активних втрат в мережах 10 кВ підприємства [7]:

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

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

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

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

Потужність БСК, для встановлення [1]:

$$Q_{KY} \geq Q_M - Q_e = 1139,87 - 300 = 839,87 \text{ квар.}$$

Розрахунок Q_{ei} виконаємо використовуючи схему заміщення, рис 2.12.

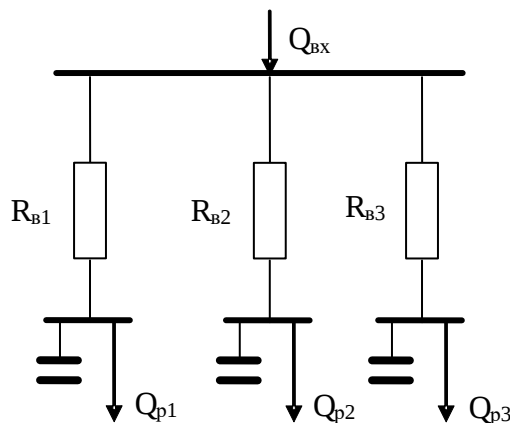


Рисунок 2.12 – R - схема заміщення мережі 10 кВ підприємства

Числове значення еквівалентного опору розподільної мережі 10 кВ рзрахуємо, використовуючи інформацію, що наведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Опори діляниць кабельних ліній 10 кВ

Дільниця	Довжина (L), км	Опір ($R_{лі}$, Ом
ЦРП- ТП1	0,4	0,38
ЦРП- ТП2	0,06	0,057
ЦРП- ТП	0,45	0,43

Розраховуючи розподіл вхідної реактивної потужності враховувати опори трансформаторів немає потреби, оскільки на ТП підприємства встановлені трансформатори однакової потужності та однакової кількості

$$\Sigma \frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{e1}} + \frac{1}{R_{e2}} + \frac{1}{R_{e3}} = 22,49 \text{ См.}$$

Множник Лагранжа:

$$\lambda = \frac{2 * 10^{-5} * 250}{22,49} = 22,23 * 10^{-5}.$$

Долі $Q_{вх.}$, які доцільно передавати у вузли схеми 10 кВ:

$$Q_{e1} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 22,32 * 10^{-5}}{2 * 0,38} = 29,36 \text{ квар;}$$

$$Q_{e2} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 22,32 * 10^{-5}}{2 * 0,057} = 195,8 \text{ квар;}$$

$$Q_{e3} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 22,32 * 10^{-5}}{2 * 0,43} = 25,95 \text{ квар.}$$

Потужності конденсаторних батарей по кожній i -тій ТП – Q_{BK_i} , розрахуємо так::

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

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

$$Q_{BK1} = 461 - 29,4 = 431,6 \text{ квар};$$

$$Q_{BK2} = 459,6 - 195,8 = 263,8 \text{ квар};$$

$$Q_{BK3} = 414,3 - 25,95 = 388,35 \text{ квар};$$

До установки приймемо комплектні, керовані конденсаторні установки серії ККУ-0,4 [28]. Результати вибору зведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Комплектні конденсаторні установки, що мають бути встановлені на ТП підприємства

ТП	Тип ККУ	Кількість	Потужність, квар	Кількість секцій керування	Загальна потужність по ТП, квар
1	ККУ-0,4-200/10-25-21УЗ	2	200	2×10	430
	ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ	2	15	2×6	
2	ККУ-0,4-120/12-10-21УЗ	2	120	2×12	270
	ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ	2	15	2×6	
3	ККУ-0,4-150/8-10-21УЗ	2	150	2×8	390
	ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ	2	45	2×9	

Реактивна потужність, що споживається підприємством змінюється в часі. Тому виникає потреба в керуванні потужністю конденсаторних батарей протягом доби. Конструкція ККУ передбачає можливість «ручного» або автоматичного керування. Саме з цієї причини вибрані саме керовані конденсаторні установки.

2.7 Висновки до розділу 2

1. Оптимальним варіантом для системи електропостачання ДП «45 Експериментального механічного заводу» є установка трьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА кожна.

2. Кабельні мережі 10 кВ економічно доцільно виконати такими перерізами:

- підстанція «Північна» – ЦРП підприємства 2(3×50);
- ЦРП підприємства – ТП1 2(3×35);
- ЦРП підприємства – ТП2 2(3×35);
- ЦРП підприємства – ТП3 2(3×35).

3. Оптимальним рішенням по зниженню втрат активної потужності в мережах 10 кВ та трансформаторах є установка таких ККУ:

– на ТП1:

2×ККУ-0,4-200/10-25-21УЗ та 2×ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ;

– на ТП2:

2×ККУ-0,4-120/12-10-21УЗ та 2×ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ;

– на ТП3:

2×ККУ-0,4-150/8-10-21УЗ та 2×ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ.

РОЗДІЛ 3.

МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ БСК, ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЇХ ВПЛИВУ НА РІВНІ НАПРУГ

Актуальною задачею для електроенергетичних систем будь-якого рівня є задача зменшення активних втрат на передачу електроенергії як в живильних, так і в розподільних мережах. Одним із ефективніших і найбільш розповсюджених технічних заходів зменшення активних втрат в електричних мережах є компенсація реактивних навантажень шляхом включення БСК.

Установка засобів компенсації реактивної потужності і регулювання реактивних навантажень промислових підприємств вигідна як енергопостачальній компанії, так і споживачам. На підприємствах виникає ряд технічних задач, пов'язаних із експлуатацією встановлених БСК. При регулювання реактивної потужності за допомогою БСК необхідно забезпечити:

- встановлені енергопостачальною компанією вимоги до споживання реактивної потужності в характерні моменти часу, а для всіх інших – недопустимість зворотних її перетоків;
- встановлені стандартом вимоги до якості електроенергії (відхилення напруги, симетрування електричного режиму, зменшення несинусоїдальності);
- умови, що забезпечують стійку роботу навантаження.

В даному розділі роботи розроблено математичний апарат, який дозволяє провести розрахунки і вийти на результати, які погоджують вимоги енергосистеми, потребу в забезпечення допустимих відхилень напруги в узлах споживання і умови стійкості роботи навантаження.

Матеріал, наведений в даному розділі, актуальний для системи електропостачання, що розробляється.

3.1 Математична постановка задачі оптимального керування графіком реактивної потужності

Графік реактивних навантажень це залежність реактивної потужності від часу - $Q(t)$. Для управління такими об'єктами існує класичний математичний апарат - теорія оптимального управління. Однак, сам процес $Q(t)$ свої особливості, що вимагає особливої математичної постановки задачі оптимального управління для такого випадку. Ці особливості об'єкту управління та можливості технічних засобів управління полягають в наступному.

1.— Реактивна потужність, як керуючий параметр стану ϵ , складною залежністю від часу та не піддається аналітичному опису і представляється ступінчатою залежністю.

2. Енергопостачальна компанія контролює графік реактивної потужності для характерних моментів часу. При необхідності крок дискретності може бути вибраний іншим [5, 6]. Для інших інтервалів часу не допускаються зворотні перетоки реактивної потужності.

3. Найбільш поширеним технічним засобом для управління є КУ, які дозволяють комутувати окремі секції і при цьому здійснювати дискретне керування [7, 9].

4. Режимми комутації ємнісних струмів пов'язані із виникненням перенапруг в контактній системі, що зменшує термін роботи комутаційних апаратів [7, 9]. З цих позицій необхідно потрібно прагнути до мінімізації загальної кількості комутацій і особливо до комутації найбільш потужних ступенів КУ. Саме комутація цих секцій супроводжується найбільшими ємнісними струмами.

5. Приймати технічні рішення з управління КУ потрібно з позицій системного підходу, враховуючи всі можливі наслідки управління, наприклад, впливи на рівні напруги у вузлах системи електропостачання, на втрати активної потужності в мережах, на стійкість навантажень і т.д. [4, 10]

6. Для переважної частини виробництв процес $Q(t)$ характеризується повільною зміною, що обумовлено особливістю технології, і для його фіксації використовуються разові виміри, які проводяться з частотою, наприклад, 1 раз на годину. В проміжках часу між замірами вважається, що стан системи незмінний, [7].

Залежність $Q(t)$ описується рівнянням:

$$Q = f[Q'(t) \mathbf{x}(t)], \quad (3.1)$$

де Q - реактивна потужність вводу;

Q' - реактивна потужність воду, що відповідає природному споживанню реактивної потужності (без урахування впливу КР на значення реактивних навантажень);

$\mathbf{x}$ - вектор управління;

t – час.

За показник якості управління, яким оцінюється ефективність управління на певному проміжку часу $t_1 - t_N$, де t_1 - початковий момент часу, а t_N - кінцевий не фіксований момент часу, може бути прийнятий цільовий функціонал[7]:

$$J = \int_{t_1}^{t_N} Q[Q'(t), \mathbf{x}(t)] dt \rightarrow \min. \quad (3.2)$$

Оптимальне керування відповідно до показника якості (3.2) забезпечує задану енергопостачаючою організацією значення реактивної потужності (залежність $Q[Q'(t), \mathbf{x}(t)]$ за умови виконання певних обмежень.

Втрати активної потужності в мережах підприємства, рівні напруги у вузлах системи електропостачання і т.д забезпечуються шляхом установки на них порогових значень і формування відповідних технічних обмежень

Вирішувати задачу доводиться з урахуванням технічних обмежень різного змісту. Серед них, наприклад, технічні обмеження, що подаються у виді нерівностей:

- порогові значення напруги в i -ом вузлі мережі, $i = 1, 2, \dots, I$

$$U_{\min.\text{dop}} \leq U_i[U'_i(t), \mathbf{x}(t)] \leq U_{\max.\text{dop}}, \quad (3.3)$$

де U_i – діюче значення напруги у вузлі i ;

U'_i – природна значення напруги в вузлі i (за умови, що КУ відключені);

$U_{\min.\text{dop}}$, $U_{\max.\text{dop}}$ – граничні допустимі значення напруги в вузлі i , які забезпечують допустимі відхилення напруги у приймачів електроенергії, які встановлені стандартом [85];

– допустимі значення реактивної потужності в вузлі j , $j = 1, 2, \dots, J$, при яких забезпечується стійка робота вузла навантаження:

$$Q_j[Q'_j(t), \mathbf{x}(t)] \geq Q_{\text{кр}}(t), \quad (3.4)$$

де Q_j – реактивна потужність, що споживається у вузлі j при наявності включених засобів компенсації;

Q'_j – природне споживання реактивної потужності в вузлі j ;

$Q_{\text{кр}}$ – критична величина реактивної потужності вузла j , яка забезпечує умови стійкості [12].

Обмеження у вигляді нерівностей формують вектор-функцію, яку позначимо:

$$\mathbf{q}[Q'(t), \dots, \mathbf{x}(t)] \geq 0 \quad (3.5)$$

Крім того, можуть бути встановлені обмеження, що аналітично записуються у вигляді рівності. Наприклад:

– допустиме значення реактивної потужності вводу живлення підприємства, що відповідає узгодженим з енергопостачальною організацією споживанням реактивної потужності на деякому інтервалі часу:

$$Q[Q'(t), \mathbf{x}(t)] = Q_{\text{dop}}(t), \quad (3.6)$$

де Q_{dop} – узгоджене з енергопостачальною організацією споживання реактивної потужності.

Обмеження-рівності формують вектор-функцію, яку позначимо:

$$\mathbf{h}[Q'(t), \dots, \mathbf{x}(t)] = 0. \quad (3.7)$$

Узагальнивши наведене, можна записати задачу оптимального управління графіком реактивної потужності:

$$\min \left\{ \int_{t_1}^{t_N} Q[Q'(t), \mathbf{x}(t)] dt \mid \mathbf{q}[Q'(t), \dots, \mathbf{x}(t)] \geq 0; \mathbf{h}[Q'(t), \dots, \mathbf{x}(t)] = 0 \right\}. \quad (3.8)$$

Цьому запису рівноцінний запис в дискретному вигляді:

$$\min \left\{ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N Q[Q'(t_i), \mathbf{x}(t_i)] \Delta t \mid \mathbf{q}[Q'(t_i), \dots, \mathbf{x}(t_i)] \geq 0; \mathbf{h}[Q'(t_i), \dots, \mathbf{x}(t_i)] = 0 \right\}. \quad (3.9)$$

Враховуючи, що графік реактивної потужності апроксимується ступінчатою залежністю з тривалістю ступенів Δt , справедливим буде запис завдання оптимального управління у вигляді:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^N Q[Q'(t_i), \mathbf{x}(t_i)] \Delta t \mid \mathbf{q}[Q'(t_i), \dots, \mathbf{x}(t_i)] \geq 0; \mathbf{h}[Q'(t_i), \dots, \mathbf{x}(t_i)] = 0 \right\}. \quad (3.10)$$

Один із можливих підходів у вирішення задачі полягає в тому, що задача оптимального управління зводиться до вирішення послідовності завдань математичного програмування. При цьому для дискретних моментів часу t_i на основі інформації про стан системи, звернувшись до відповідної математичної моделі (або моделей) знаходиться, а потім реалізується послідовність векторів керування. Процес оптимального управління, який забезпечує всі умови, що стосуються споживання реактивної потужності, може здійснюватись за алгоритмом, рис. 3.1.

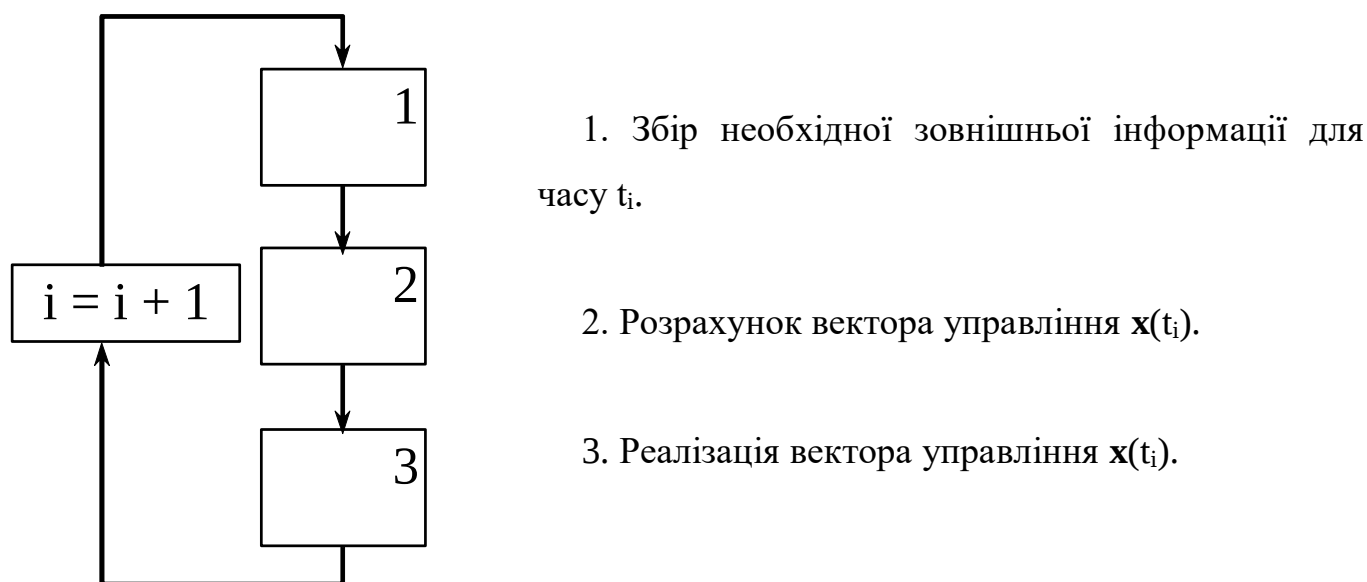


Рисунок 3.1 – Алгоритм оптимального управління реактивною потужністю

Реалізація такого підходу потребує розробки множини математичних моделей, проведення дослідження, що спрямоване на обґрунтування найбільш ефективного методу їх аналізу, синтезу алгоритму розрахунку вектора управління для дискретних моментів часу – t_i .

3.2 Математичні моделі оптимального управління КУ в системі електропостачання

Необхідний вплив КУ на режим в системі електропостачання в залежності від ситуації, яка склалась, може дуже різноманітним [7, 9, 15]. У випадках, якщо фактор, що впливає виявляється істотним, його слід враховувати в процесі прийняття рішення. Це є аргументом на користь того, що немає потреби синтезувати єдину математичну модель, яка придатна для прийняття рішення у всіх можливих випадках так як, постановка кожної додаткової умови істотно збільшує обсяг обчислень. Доцільно розробити необхідну кількість математичних моделей, якими охоплюються всі випадки, що можуть скластися в процесі управління графіком реактивної потужності в конкретній системі електропостачання. Звернення до необхідної математичної моделі має забезпечуватися алгоритмом знаходження вектора керування для дискретного моменту часу.

Вектор управління, розрахований для моменту прийняття рішення що до КУ, повинен містити інформацію в якому стані ("увімкнено" або "вимкнено") повинна знаходитися кожна з секцій КУ. Це можна забезпечити лише цілочисельною математичною моделлю.

За керовані змінні математичних моделей приймемо булеві невідомі, які можуть бути рівними 1 або 0. Якщо в результаті рішення змінна прийняла значення 1, то це реалізується увімкненням відповідної секції КУ, а якщо 0, то відповідна секція має бути вимкненою. Керовані змінні утворюють вектор управління - x .

3.2.1 Математична модель, яка забезпечує необхідне значення реактивної потужності в лінії живлення

Математична модель застосовується для прийняття рішення на рівні підприємства, ТП, у випадках коли слід забезпечити стійкість вузла навантаження [16].

Знаходити рішення відповідно до згаданого критерію ефективності і особливостей конструктивного виконання КУ можна використовуючи цілочислову математичну модель (3.11).

$$\begin{cases} Q' - \Delta Q \mathbf{x} \rightarrow \min \\ \mathbf{x} + \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{n} \\ Q' - \Delta Q \mathbf{x} \geq Q_{\text{dop}} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases}, \quad (3.11)$$

де $\bar{\mathbf{x}}$ – вектор, кожна компонента якого $\bar{x}_i$ пов'язана з відповідною компонентою вектора $\mathbf{x}$ як $x_i + \bar{x}_i = 1$;

ΔQ – матриця потужностей ступенів окремих секцій КУ вимірністю $1 \times m$;

$\mathbf{n}$ – одинична стовпцева матриця вимірністю $m \times 1$;

$\forall$ – символ логічної операції "АБО".

Одне з обмежень моделі (3.11) забезпечує те, що кожна із ступенів КУ може перебувати або у включеному або відключеному стані. Інше обмеження контролює залишкову реактивну потужність вводу.

Якщо управління проводиться з метою забезпечення заданого енергопостачальною компанією значення реактивної потужності, то Q_{dop} – це потужність, яку слід споживати (або генерувати) на момент прийняття рішення. В іншому випадку Q_{dop} має бути прирівняною до нуля і тоді буде забезпечуватись максимальне зменшення споживання реактивної потужності не допускаючи її зворотних перетоків з мереж підприємства в мережі енергосистеми. При

управлінні КУ, використовуючи математичну модель (3.11), протягом доби забезпечується мінімум споживання реактивної енергії і відповідно – мінімальна плата за неї.

Ступінь наближення до заданих значень Q_{dop} залежить від наявних ресурсів.

3.2.2 Математичні моделі, які контролюють вплив КУ на рівень напруги в вузлі мережі

БСК використовуються також як засіб місцевого регулювання напруги. Якщо у вузлі навантаження, де встановлені КУ, занижений рівень напруги, то їх слід використовувати з позицій регулювання напруги [6, 13].

В таких випадках рівень напруги в вузлі можна контролювати якщо встановити відповідне обмеження в моделі управління. Для розрахунку вектора управління в режимах максимальних навантажень (і близьких до них) потрібно скористатися математичною моделю:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q \mathbf{x} \rightarrow \min \\ \mathbf{x} + \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{n} \\ U' + \Delta U \mathbf{x} \leq U_{\text{min.dop}} + \varepsilon \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (3.12)$$

де U' – напруга на шинах ТП за умови, що всі БСК відключені;

$U_{\text{min.dop}}$ – мінімально допустимий рівень напруги відповідно до стандарту;

ΔU – матриця добавок напруги, які мають місце при включенні відповідної ступені КУ ТП;

ε – зона нечутливості КУ ТП по напрузі.

Елементи матриці ΔU розраховуються на підставі інформації про відповідні параметри схеми, а також в допущенні, що напруга на КУ номінальна.

Математична модель (3.12) забезпечує таку степінь компенсації реактивної потужності у вузлі ТП засобами, які там встановлені, забезпечуючи мінімально допустимий рівень напруги. Величина залишкової реактивної потужності не контролюється. В результаті допустими можуть бути режими, коли виникають зворотні перетоки реактивної потужності від споживачів ТП в розподільні мережі підприємства, якщо це доцільно для регулювання напруги [18].

Знак нерівності, проставлений в обмеженні на величину напруги в вузлі навантаження, надає можливість для пошуку оптимального рішення починати з варіанту, коли всі ступені КУ відімкнені. Це дає можливість в алгоритмі аналізу математичної моделі виключити блок пошуку опорного рішення і тим самим спростити алгоритм. Отримане рішення забезпечує необхідний рівень напруги - $U_{\min.dop}$ в усіх випадках, якщо це дозволяють параметри мережі та КУ.

У години мінімальних навантажень можливі електричні режими, із недопустимо високим рівнем напруги на ТП де встановлені КУ. В цьому випадку можна скористатися такою математичною моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q \mathbf{x} \rightarrow \min \\ \mathbf{x} + \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{n} \\ U' + \Delta U \mathbf{x} \leq U_{\max.dop} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right., \quad (3.13)$$

де $U_{\max.dop}$ — максимально допустимий рівень напруги на шинах ТП.

Математичні моделі (3.11) - (3.13) відносяться до класу лінійних і для вирішення задачі можна використовувати класичний алгоритм симплекс-методу лінійного програмування [19]. Таке ж рішення за технічною реалізацією можна знаходити також і за схемою методу динамічного програмування. Обчислювальна процедура методу динамічного програмування, як відомо, простіше [22]. Цей метод використовується для вирішення багатоетапних завдань, але існують складності в моделі є технічні обмеження.

3.3 Алгоритм обчислення вектора управління для дискретного моменту часу

Процес пошуку оптимального вектора керування по всім ТП підприємства для дискретного моменту часу t_i можна здійснити за єдиним алгоритмом, основні ідеї якого полягають в наступному [13].

Процес обчислення вектора управління проводиться в кілька етапів. Рішенням першого етапу є множина потужностей секцій КУ - M , які повинні бути включеними з міркувань забезпечення встановленого енергопостачальною організацією значення вхідної реактивної потужності на момент часу прийняття рішення. Подальшими етапами визначається оптимальна реалізація множини M .

На другому етапі знаходиться множина M_1 , $M_1 \subset M$, яке реалізується на ТП, де необхідно забезпечити необхідний рівень напруги.

Етап третій передбачає обчислення підмножини M_2 , $M_2 \subset M$, що реалізовується на ТП, де необхідно врахувати стійкість вузла навантаження при управлінні КУ.

На останньому, четвертому етапі, реалізується підмножина M_3 , $M_3 \subset M$, на всіх інших ТП підприємства з міркувань мінімальних втрат активної потужності в електричних мережах від перетоків реактивних навантажень.

Кожен з етапів другого – четвертого рівнів, де вирішується питання реалізації множини M , має місце тільки в разі його актуальності для діючої системи електропостачання в момент часу знаходження вектора керування. Перетин множин $M_1 \cap M_2$; $M_1 \cap M_3$; $M_2 \cap M_3$ - порожня множина, а їх об'єднання $(M_1 \cup M_2) \cup M_3 = M$, що забезпечує основну мету управління, виходячи з якої визначено множина M .

3.4 Розрахунки по формуванню множин M

Рішення, отримані за допомогою математичної моделі (3.11), формують множину M . При цьому Q' - природне споживання реактивної потужності по лінії

живлення підприємства; ΔQ - матриця потужностей секцій КУ підприємства в цілому; m - загальна кількість всіх секцій КУ підприємства; Q_{dop} - реактивна потужність, що виначена до споживання енергопостачальної компанією на момент прийняття рішення з КРП.

Отриманий результат – це секції КУ підприємства із загального їх переліку (не залежно, де вони встановлені) мають бути включеними, щоб забезпечити вимогу енергопостачальної компанії. Розрахунки проведені на даному етапі безпосередньо не реалізуються, вони використовуються для формування множини M , що потрібно для виконання розрахунків на етапах другого рівня.

3.5 Розрахунок і реалізація множини M_1 , $M_1 \subset M$

Для вузлів навантаження, для яких характерні незадовільні значення напруги, пріоритетним є використання КУ для саме регулювання напруги, що в одному випадку дозволяє забезпечити мінімально допустимі її значення, а в іншому - не допустити коли напруга перевищує максимально допустимі значення.

Керуючі рішення для КУ ТП, де рівні напруги низького значення, знаходиться за допомогою математичної моделі (3.12). Отриманий вектор управління вказує, які ступені КУ слід включити.

Якщо на ТП можливе перевищення напруги гранично допустимих значень в результаті включення конденсаторних батарей, то знаходження керуючого рішення здійснюється за математичною моделлю (3.13). Знайдене рішення фіксується і подальшій корекції не підлягає [21].

Рішення, знайдені за математичними моделями (3.12) і (3.13), реалізуються на відповідних ТП. Позначимо їх як $\mathbf{x}_1^t = (\mathbf{x}_{11}^t \ \mathbf{x}_{12}^t \ \dots \ \mathbf{x}_{1k}^t)$, де t - індекс транспонування матриці, а k - загальна кількість ТП, де рішення слід приймати з урахуванням рівня напруги в вузлі. Формування множини M_1 здійснюється шляхом запису в нього потужностей ступенів, які мають бути включені в відповідності з вектором управління $\mathbf{x}_1$.

3.6 Розрахунок і реалізація множини M_2 , $M_2 \subset M$

Множини M_2 містить секції КУ, які включаються на ТП підприємства, де вибір рішення необхідно здійснювати з урахуванням умови забезпечення стійкості вузла навантаження. Вектор управління тут знаходиться за допомогою математичної моделі (3.11), де під Q_{dop} слід розуміється критичне значення реактивної потужності, яке визначене з умови стійкості вузла навантаження. Знайдені таким чином управлінські рішення, реалізуються і корекції в подальшому не підлягають.

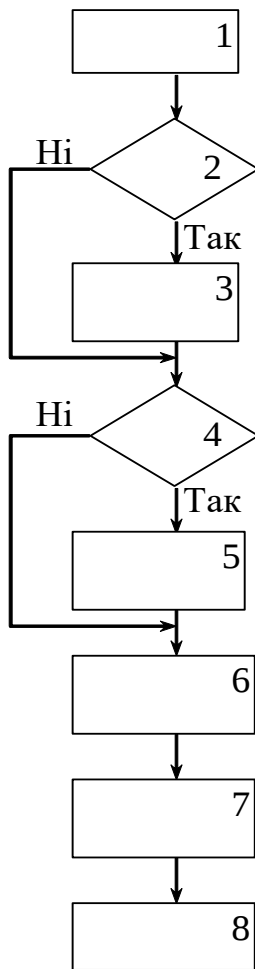
Вектора управління, знайдені за даною умовою, складають блоки вектора x_2 , $x_2^t = (x_{21}^t \ x_{22}^t \ \dots \ x_{2l}^t)$, де l - загальне число вузлів, для яких керуюче рішення знаходилося з урахуванням стійкості. Формування множини M_2 здійснюється шляхом запису в нього потужностей ступенів КУ, які мають бути включені при реалізації вектора x_2 .

3.7 Розрахунок і реалізація множини M_3 , $M_3 \subset M$

Розрахунок M_3 виконується на останньому етапі. При цьому розраховується оптимальна реалізація для множини секцій M_3 , M_3 , $M_3 = (M \setminus M_1) \setminus M_2$, за умовою мінімуму втрат активної потужності в розподільних мережах підприємства від перетоків реактивної потужності.

Виконати оптимальний розподіл елементів множини M_3 по згаданому критерію доцільно за алгоритмом, що враховує всі можливі випадки, використовуючи математичну модель (3.11), де $Q_{\text{dop}} = 0$

Блок-схема алгоритму розрахунку вектора управління x_2 для моменту часу t_i зображена на рис.3.2.



1. Розрахунок вектора z і формування множини M .
2. Вузли, де необхідно приймати рішення з урахуванням рівнів напруги, ϵ ?
3. Розрахунок вектора x_1 , $x_1^t = (x_{11}^t \ x_{12}^t \ \dots \ x_{1k}^t)$ і формування множини M_1 , $M_1 \subset M$.
4. Вузли, де необхідно приймати рішення з урахуванням стійкості, ϵ ?
5. Розрахунок вектора x_2 , $x_2^t = (x_{21}^t \ x_{22}^t \ \dots \ x_{2l}^t)$ і формування множини M_2 , $M_2 \subset M$.
6. Формування множини M_3 ; $M_3 = (M \setminus M_1) \setminus M_2$.
7. Розрахунок вектора управління x_3 , $x_3^t = (x_{31}^t \ x_{32}^t \ \dots \ x_{3m}^t)$, відповідного оптимальної реалізації M_3 .
Визначення $x(t_i)$, $x^t(t_i) = (x_1^t \ x_2^t \ x_3^t)$.

Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритму розрахунку вектора управління для деякого дискретного моменту часу $t_i - x(t_i)$

3.8 Тестовий приклад розрахунку вектора управління для дискретного моменту часу t_i

Виконаємо розрахунок управління КУ для підприємства, електрична схема якого та вся необхідна для цього інформація наведена на рисунку 3.3.

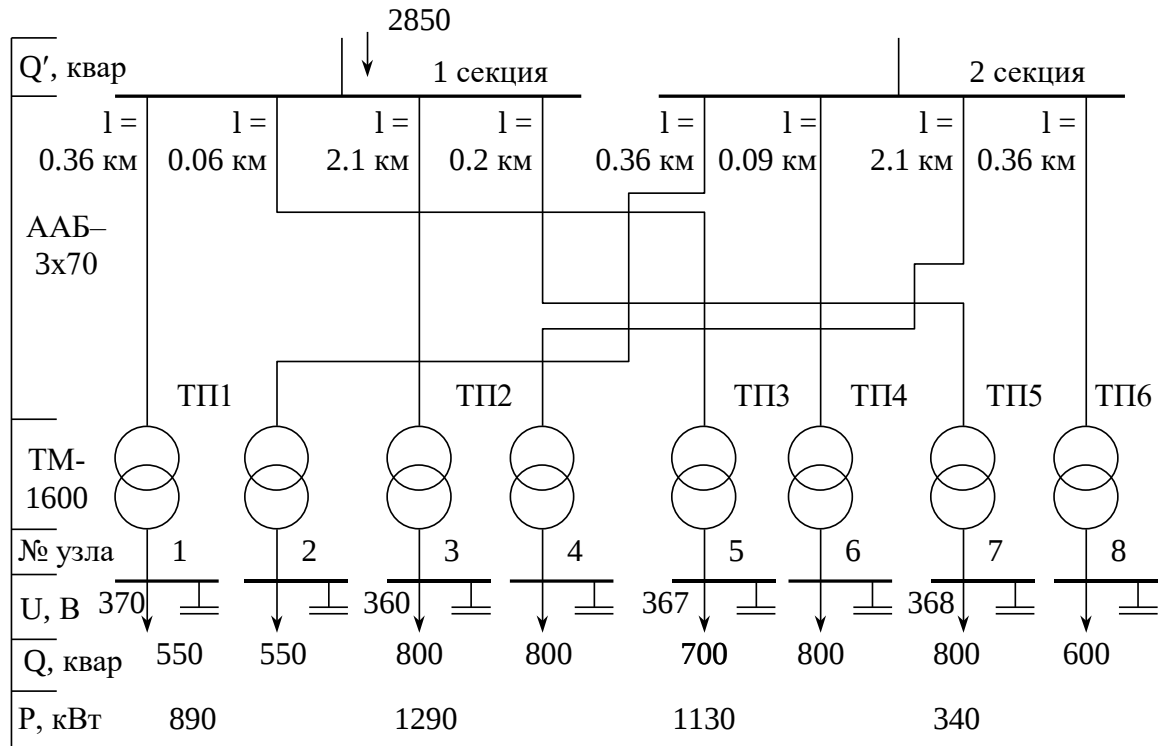


Рисунок 3.3 – Схема електропостачання підприємства

Розрахунки виконаємо для першої секції збірних шин ЦРП підприємства.

Потужності ступенів КУ для першої секції збірних шин:

- вузол 1: 200 квар, 200 квар, 100 квар, 25 квар;
- вузол 3: 300 квар, 400 квар, 150 квар, 50 квар, 25 квар;
- вузол 5: 300 квар, 200 квар, 100 квар, 50 квар;
- вузол 7: 300 квар, 400 квар, 150 квар, 50 квар, 25 квар.

Реактивна потужність, яка повинна споживати підприємство на даний момент часу, $Q_{\text{доп}} = 0$ квар.

Розрахунок виконаємо за алгоритмом, рис. 3.2.

Етап 1

Розрахуємо які ступені КУ слід включити, для забезпечення вимоги, встановленої енергопостачальною компанією.

Складемо математичну модель (3.11) в числовому вигляді для розрахунку елементів масиву M_1 :

$$\begin{cases} 2850 - (200 \ 200 \ 100 \ 25 \ 300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25 \ 300 \ 200 \ 100 \ 50 \ 300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) x_{11} \rightarrow \min \\ x_{11} + \bar{x}_{11} = n \\ 2850 - (200 \ 200 \ 100 \ 25 \ 300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25 \ 300 \ 200 \ 100 \ 50 \ 300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) x_{11} \geq 0 \\ x_i, \bar{x}_i \in \{1; 0\} \end{cases}$$

де $x^t = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10} \ x_{11} \ x_{12} \ x_{13} \ x_{14} \ x_{15} \ x_{16} \ x_{17} \ x_{18})$;

$\bar{x}^t = (\bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ \bar{x}_3 \ \bar{x}_4 \ \bar{x}_5 \ \bar{x}_6 \ \bar{x}_7 \ \bar{x}_8 \ \bar{x}_9 \ \bar{x}_{10} \ \bar{x}_{11} \ \bar{x}_{12} \ \bar{x}_{13} \ \bar{x}_{14} \ \bar{x}_{15} \ \bar{x}_{16} \ \bar{x}_{17} \ \bar{x}_{18})$;

$n^t = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)$.

Розрахунки виконаємо методом динамічного програмування.

В результаті отримаємо множину потужностей КУ, що необхідно включити:

$$M_1 = (200 \ 200 \ 100 \ 300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 300 \ 200 \ 100 \ 300 \ 400 \ 150);$$

Загальна потужність секцій, які треба виключити, становить 2850 квар. В результаті цих ввімкнень отримаємо реактивну потужність по лінії живлення:

$$Q_{\text{дор}} = 0 \text{ квар.}$$

Етап 2

Розрахуємо секції КУ, які необхідно ввімкнути міркувань забезпечення допустимих рівнів напруги у вузлах мережі підприємства. Таким вузлом є шини ТП 3 (вузол 3). В цьому вузлі недопустимий низький рівень напруги – 360 В. Всі наявні засоби КРП в цьому вузлі, використовуємо для регулювання напруги.

Вектор управління для КУ вузла 3 знайдемо за допомогою математичної моделлю (3.12). Модель (3.12) для умов прикладу формалізується наступним чином:

$$\begin{cases} 800 - (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25)\mathbf{x}_{11} \rightarrow \min \\ \mathbf{x}_{11} + \bar{\mathbf{x}}_{11} = \mathbf{n} \\ 360 + (4.35 \ 5.8 \ 2.2 \ 0.73 \ 0.36)\mathbf{x}_{11} \leq 368 + 0.36 \\ \mathbf{x}_i, \bar{\mathbf{x}}_i = 1 \forall 0 \end{cases} \quad (3.15)$$

де $\mathbf{x}_{11}^t = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5)$;

$\bar{\mathbf{x}}_{11}^t = (\bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ \bar{x}_3 \ \bar{x}_4 \ \bar{x}_5)$;

$\mathbf{n}^t = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)$.

Розрахунки виконуються також за методом динамічного програмування.

В результаті аналізу математичної моделі (3.15) отримаємо:

$$\mathbf{x}_1^t = \mathbf{x}_{11}^t = (0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1).$$

Отриманий вектор управління вимагає включення в вузлі 3 ступенів потужністю 400, 150 і 25 квар. Так як потужності ступені 25 квар в масиві М немає, то виконаємо узгодження компонент вектора управління x_1 і згаданої множини. Прийmemo:

$$\mathbf{x}_1^t = \mathbf{x}_{11}^t = (0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0).$$

Тоді:

$$\mathbf{M}_1 = (400 \ 150);$$

$$\mathbf{M}_3 = \mathbf{M}\mathbf{M}_1 = (200 \ 200 \ 100 \ 300 \ 50 \ 300 \ 200 \ 100 \ 300 \ 400 \ 150).$$

Етап 3

Із умови мінімуму активних втрат від передачі реактивних навантажень в розподільних мережах підприємства розрахуємо оптимальну реалізацію для потужностей секцій множини M_3 .

Значення реактивної потужності, яка має споживатися (або генеруватися) ТП відповідно до (3.15)

$$Q_e = 0 - 450 = -450 \text{ квар.}$$

Згідно з алгоритмом, рис.3.2, (крок 4), так як $Q_e < 0$, то за допомогою математичної моделі (3.11), в якій $Q_{\text{дор}} = 0$, визначимо:

- для вузла 1 – $x_{31}^t = (1 \ 1 \ 1 \ 1)$;
- для вузла 5 – $x_{32}^t = (1 \ 1 \ 1 \ 1)$;
- для вузла 7 – $x_{33}^t = (1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$;
- $x_3^t = ((1 \ 1 \ 1 \ 1)(1 \ 1 \ 1 \ 1)(1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1))$.

Секцій потужністю 25; 50; 25 квар в масиві M_3 немає, отже виконаємо корекцію вектора x_3

$$x_3^t = ((1 \ 1 \ 1 \ 0)(1 \ 1 \ 1 \ 1)(1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)).$$

З множини M_3 виключимо потужності ступенів, які необхідно включити у відповідності з отриманим на даному етапі розрахунку вектором x_3 . В результаті маємо:

$$M_3 = (300 \ 150).$$

Множина M_3 не порожня і тому переглядаємо варіанти реалізації ступені потужністю 300 квар. Така ступінь, рішення про включення якої ще не прийнято, є тільки в вузлі 3. Проведемо остаточне коректування вектора x_1 :

$$x_1^t = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0).$$

Переглядаємо варіанти реалізації ступені потужністю 150 квар. Така ступінь, рішення про включення якої ще не прийнято, є тільки в вузлі 7. Проведемо остаточну корекцію вектора x_{33} :

$$x_{33}^t = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0).$$

В результаті проведених обчислень остаточно отримаємо вектор управління:

$$x^t(t_i) = ((1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)(1 \ 1 \ 1 \ 0)(1 \ 1 \ 1 \ 1)(1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)),$$

який реалізується в такий спосіб:

- у вузлі 1 включити секції КУ потужностей 200 квар, 200 квар, 100 квар; залишкова потужність по вводу вузла 50 квар;
- у вузлі 3 включити секції КУ потужностей 300 квар, 400 квар, 150 квар; залишкова потужність по вводу вузла -50 квар; напруга у вузлі забезпечується на рівні 372,35 В;
- у вузлі 5 включити секції КУ потужностей 300 квар, 200 квар, 100 квар, 50 квар; залишкова потужність по вводу вузла 50 квар;
- у вузлі 7 включити секції КУ потужностей 300 квар, 400 квар, 150 квар; залишкова потужність по секції КУ ввід вузла -50 квар.

3.9 Висновки до розділу 3

1. Рішення задачі оптимальної компенсації реактивної потужності може бути зведено до вирішення послідовності задач математичного програмування для дискретних моментів часу.

2. Розроблені математичні моделі управління КУ забезпечують: вимоги енергопостачальної компанії що до споживання реактивної потужності на момент

часу прийняття керуючого рішення; допустимі рівні напруги; стійкість навантаження в окремих вузлах; мінімум активних втрат в розподільній мережі. У процесі управління кількість комутацій найбільш потужних секцій КУ буде мінімальним.

3. Вектор управління слід розраховувати відповідно до розробленого алгоритму, який передбачає посилення до відповідних математичних моделей в залежності від електричного режиму, сформованого на момент прийняття рішення.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОДИ ЕКОНОМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Оцінка економічного ефекту

Будь-який технічний захід і особливо такий, що потребує капітальних вкладень для своєї реалізації, має бути економічно обґрунтованим. Як видно, врахування додаткових факторів (в тому числі і таких, що потребують додаткових витрат) в математичних моделях оптимальної компенсації реактивної потужності впливає на кінцеві результати.

Поняття "економічний ефект" — це загальне поняття, що в нього вкладається все: від чистого прибутку до національного доходу, від доходу окремого підприємства до доходу держави.

Показники прибутку можуть бути різними, що зумовлено передовсім необхідністю відрахування з валового прибутку різних податків і зборів, а також розрахунком прибутку за різні проміжки часу: за місяць, рік або за весь період виробництва продукції, освоєної за допомогою інвестиції. Для розрахунку показників прибутку застосовують формули:

$$П = Ц - С; \quad (5.1)$$

$$П = (Ц - С)A; \quad (5.2)$$

$$П = Ц - Н - С; \quad (5.3)$$

$$П = Ц - Н - С, \quad (5.4)$$

де Π — прибуток;

Π — ціна;

C — собівартість одиниці продукції;

A — обсяг виробництва за весь термін служби (застосування) продукції;

H — податки та обов'язкові платежі в розрахунку відповідно на одиницю продукції і весь її обсяг за весь термін служби.

В нашому випадку прибуток можна отримати завдяки збереженню електричної енергії, зменшенням збитків та виконання норм поставлених енергопостачальною організацією.

Ефективність проекту характеризується системою показників, які виражають співвідношення вигід і витрат проекту.

4.2 Техніко-економічні розрахунки з порівняння різних варіантів вирішення задачі

Для розрахунку прибутку який отримується при встановленні КУ в мережі можна порівняти два варіанти. В першому подати прибуток від застосування мережі з врахуванням втрати енергії без застосування розрахованого методу, коли оператор приймає рішення по відключенню електроприймачів без розрахунків. В другому подати прибуток від застосування мережі з врахуванням втрат енергії з застосуванням поданого методу.

За другим методом розрахунки проводяться з застосування розрахункового методу, яке розраховується за формулою:

$$B = E \cdot K + O \quad (5.5)$$

де B – річні приведені затрати;

E - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди;

К - коефіцієнт, який враховує тип програмного забезпечення (вартість програмного забезпечення);

О - експлуатаційні витрати (збитки від втрат електроенергії).

4.3 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень

Виконання наукової роботи потребує поточних витрат – П, пов'язаних з оплатою праці наукових працівників, відряджень, придбанням експериментального обладнання, впровадження даного методу в роботу існуючого підприємства і т.д., а якщо її результати передбачають установку деякого пристрою або розробку прикладного програмного забезпечення, то необхідні ще капітальні вкладення – К.

Щоб оцінити термін окупності грошових витрат треба:

- скласти кошторис поточних витрат капітальних вкладень;
- порахувати річний економічний ефект, який буде мати місце у різі впровадження виконаної розробки – Е.

Термін окупності грошових витрат на дослідження, на виготовлення пристроїв організації праці даного методу, на розробку програмного забезпечення розраховується:

$$T_{ок} = \frac{K + П}{E}. \quad (5.6)$$

Для робіт, пов'язаних із впровадженням інформаційних технологій, термін окупності може бути розрахований так:

$$T_{ок} = \frac{B}{E}, \quad (5.7)$$

де B – вартість програмного забезпечення.

Для задачі керування графіком реактивної потужності, яка вирішувалася в магістерській роботі, економічний ефект полягає у зменшенні збитків, пов'язаних з компенсації реактивної потужності.

Для оцінки середнього значення зменшення збитків, необхідно провести порівняння збитків в мережі у випадку коли оператор приймає рішення без розрахунків даним методом та збитків у випадку коли оператор користується методом розрахунку і приймає рішення згідно розрахунку. Дослідження збитків можна проводити за день, за місяць або за рік. Для максимально точного результату рекомендується дослідження проводити не менше місяця. Отримавши результати обох випадків знаходять середнє значення за день, а потім за місяць. Порівнявши результати можна оцінити рівень зменшення збитків з застосуванням методу динамічного програмування для компенсації реактивної потужності.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

2. Проаналізувавши отримані результати, можна стверджувати, що оптимальне використання наявної потужності КУ споживача електроенергії може зменшити втрати активної потужності, підвищити рівень напруги в вузлах та покращити параметри мережі, що є досить ефективно.

3. Технічні рішення з КРП, отримані за розробленими в роботі математичними моделями для умов виробництва, характеризуються високими економічними показниками.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, що стосуються робіт з оптимізації системи електропостачання державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», м. Вінниця. Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Отже, основна мета охорони праці – зведення до мінімуму імовірності травматизму та захворювань працівників. Це здійснюється за рахунок забезпечення нормальних умов праці.

На оперативно-ремонтний електротехнічний персонал, що здійснює модернізацію та експлуатацію електричної мережі підприємства, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [45, 46].

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

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час модернізації та обслуговування обладнання електромонтажники повинні дотримуватися правил охорони праці [3], за якими перед початком монтажу електрообладнання потрібно змонтувати постійні настили з огорожами відповідно до ГОСТ 12.4.059, ГОСТ 23407, ГОСТ 24258. За правилами з охорони праці під час виконання робіт на висоті потрібно перебувати на раніше встановлених і надійно закріплених конструкціях чи засобах підмоцнування. Забороняється перебування людей на елементах конструкцій і обладнання під час їх піднімання та переміщення.

Навісні монтажні площадки, сходи та інші пристосування, що необхідні для виконання робіт на висоті, потрібно встановлювати на конструкціях, які монтуються до їх піднімання. Для переходу монтажників з однієї конструкції на іншу необхідно застосовувати драбини, перехідні містки і трапи, що мають огорожі. Забороняється перехід монтажників по встановлених конструкціях та їх елементах (фермах, ригелях тощо), на яких неможливо забезпечити необхідну ширину проходу при встановлених огорожах, без застосування спеціальних запобіжних пристроїв (натягнутого уздовж ферми чи ригеля каната для закріплення карабіна запобіжного поясу). Місця і способи кріплення каната повинні бути зазначені в ПВР. Спосіб стропування елементів конструкцій та обладнання повинен забезпечувати їх подавання до місця розміщення в положенні, близькому до проектного.

До робіт на висоті і верхолазних робіт допускаються навчені особи, стан здоров'я яких має відповідати медичним вимогам, встановленим для даних видів робіт («Положення про медичний огляд працівників певних категорій»). Працівники, які виконують верхолазні роботи, повинні мати відповідний запис в посвідченні про перевірку знань. До самостійних верхолазних робіт допускаються особи віком не молодші 18 років, які мають стаж верхолазних робіт не менше

одного року і кваліфікаційний розряд не нижче четвертого. Робітники, які вперше допускаються до верхолазних робіт, протягом одного року повинні працювати під безпосереднім наглядом досвідчених спеціалістів, призначених наказом керівника підприємства. Працівники мають бути навчені безпеці праці до початку виконання верхолазних робіт.

Драбини, риштування, помости, кігті, лази та інші пристосування, що застосовуються для виконання робіт на висоті і верхолазних робіт, повинні бути сертифіковані, а також відповідати вимогам «Правил безпеки під час роботи з інструментом і пристроями».

Під час виконання робіт, коли немає можливості закріпити строп запобіжного поясу за конструкцію або опору, слід користуватися страхувальним канатом, що є відповідним до вимог ГОСТ 12.4.107. В цьому разі строп запобіжного паска заводиться за конструкцію, деталь опори тощо. Виконувати цю роботу повинні дві особи, друга особа в міру необхідності попускає чи натягує канат.

Під час роботи на конструкціях, під якими розташовані струмопровідні частини, що перебувають під напругою, ремонтні пристосування і інструмент прив'язуються для запобігання їх падінню. Застосовувати в цих випадках монтерські запобіжні паски зі стропами з металевого ланцюга забороняється.

Подавати деталі на конструкції чи устаткування слід за допомогою «нескінченного» канату. Працівник, який стоїть внизу, повинен утримувати канат для запобігання його розгойдуванню і наближенню до струмопровідних частин. Працівники, які виконують роботи на висоті або верхолазні роботи, повинні бути в спецодязі, що не заважає рухам. Особистий інструмент слід зберігати в сумці. Працівники, що здійснюють нагляд за членами бригади, які виконують верхолазні роботи або роботи на висоті, можуть розташовуватися на землі. Обслуговування освітлювальних пристроїв, розташованих на стелі машинних залів і цехів підприємств, з візків мостового крану слід провадити не менш ніж двома

працівниками, один з яких з групою III. Під час виконання робіт з використанням крану ремонтникам має бути виданий наряд-допуск.

Ручний електрифікований інструмент повинен відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 60745-1:2010 «Інструмент ручний електромеханічний. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги».

Номінальна напруга електроінструменту класів I та II не повинна перевищувати: 220 В – для електроінструменту постійного струму; 380 В – для електроінструменту змінного струму.

Електроінструмент, що живиться від електричної мережі, повинен бути оснащений незнімним гнучким кабелем (шнуром) із штепсельною вилкою.

Незнімний гнучкий кабель електроінструменту класу I повинен мати жилу, що з'єднує заземлювальний затискач електроінструменту із заземлювальним контактом штепсельної вилки.

Кабель у місці введення в електроінструмент класу I необхідно захищати від стирань та перегинань еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубку необхідно закріплювати в корпусних деталях електроінструменту таким чином, щоб вона виступала за їх межі на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Трубка на кабелі не повинна закріплюватись поза електроінструментом.

Для приєднання однофазного електроінструменту шланговий кабель повинен мати три жили: дві – для живлення, одна – для заземлювання. Для приєднання трифазного електроінструменту необхідно застосовувати чотирижильний кабель, одна з жил якого призначена для заземлювання. Це стосується тільки електроінструменту із заземленим корпусом.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструменту класу I, які можуть потрапити під напругу в разі пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем. Електроінструменти класів II і III не підлягають заземленню. Заземлення корпусу електроінструменту необхідно виконувати за допомогою спеціальної жили кабелю живлення, яка не повинна одночасно бути

провідником робочого струму. Не дозволяється використовувати для заземлення корпусу електроінструменту нульовий робочий провід.

Штепсельна вилка електроінструменту повинна мати відповідну кількість робочих і один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати випереджувальне замикання заземлювального контакту при ввімкненні та більш запізніле розмикання при вимкненні. Конструкція штепсельних вилок електроінструменту класу III повинна передбачати унеможливлення зчленування їх з розетками на напругу вище 42 В.

Переносні понижувальні трансформатори, роздільні трансформатори та перетворювачі повинні бути оснащені на стороні вищої напруги кабелем зі штепсельною вилкою для приєднання до електричної мережі. Довжина кабелю не повинна перевищувати 2 м, а його кінці необхідно закріплювати до затискачів трансформатора за допомогою паяння (зварювання) або болтового з'єднання. На стороні нижчої напруги трансформатора повинні бути передбачені гнізда під штепсельну вилку.

Кабель електроінструменту повинен бути захищений від випадкового пошкодження і зіткнення його з гарячими, вологими та масляними поверхнями.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання для монтажу та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [4, 5] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції,

органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [6]. Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відотною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Допустимі норми температури, відотної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 6.1. Робота з монтажу системи опалення та її обладнання відноситься до категорії Пб по важкості праці.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	Пб	13-23	75	не більше 0,4
Теплий		15-29	70 при 25 °С	0,2-0,5

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [6].

Під час монтажу системи опалення виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [6] наведено в таблиці 6.2.

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [7]:

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

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

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

5.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення

працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

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

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [38] розряд зорової роботи V, підрозряд «а». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5. 3.

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

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	а	малий	темний	400	200	3,0-	1,8

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

5.2.4 Виробничий шум

Під час монтажу системи опалення на будівництві джерелом шуму є будівельне обладнання, машини, механізми та переносний електроінструмент – 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 – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності. Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за походженням – пневматичний. Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [9] і наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	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
---	-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [10] і наведені в таблиці 6.5.

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

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

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

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

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [1]. Робота монтажника технологічного обладнання системи забезпечення мікроклімату потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

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

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання

інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності. Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25. Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших. Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – одностійна (без нічної зміни).

ВИСНОВКИ

1. Оптимальним варіантом для системи електропостачання ДП «45 Експериментального механічного заводу» є установка трьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА кожна.
2. Кабельні мережі 10 кВ економічно доцільно виконати перерізами: 50 мм² підприємства (до підприємства) та 35 мм² (до ТП);
3. Оптимальним рішенням по зниженню втрат активної потужності в мережах 10 кВ та трансформаторах встановлення ККУ загальною потужністю 1090 квар.
4. Синтезовані цілочислові моделі багатокритеріального управління реактивною потужністю, використання яких забезпечить рівні напруги та мінімальні активні втрати в мережах 10 кВ підприємства за умови виконання вимог енергопостачальної компанії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

14. В. А. Попов, В. В. Ткаченко, Ярмолюк О. С. Проектування систем забезпечення споживачів електричною енергією. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 222 с.
15. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.
16. Терешкевич Л.Б , Терешкевич Н.В. Волоцький А.М. Проектування цехових електричних мереж і освітлювальних установок, Вінниця, ВНТУ 2006.
17. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання. / Маліновський А.А. Хохулі Б.К. – Львів.: Львівська політехніка, 2007. – 379 с.
18. Терешкевич Л. Б. АСУ режимами систем електропостачання. Навчальний посібник / Вінниця:ВДТУ, 1998. – 119 с.
19. Милосердов В.О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. Навчальний посібник / . Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 120 с.
20. Бабенко О.В. Квазірівноважені вимірювальні канали для установок симетрування навантажень вузлів електричних мереж: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.14.02. / Бабенко О.В. – Вінниця, 2007. – 183с.
21. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник для студентів вузів / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – К.: Либідь, 2007. – 556 с.
22. Терешкевич Л.Б. Симетрування електричного режиму шляхом зсуву в часі графіків навантаження електроприймачів однофазного виконання / Л.Б. Терешкевич, О.О. Хоменко // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. Наук. Праць. Вип. 34. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. Держ. Техн. Ун-т» 2017. – С. 132-139.
- 24 Терешкевич Л.Б. Внутрішнє симетрування однофазних електроприймачів та вирівнювання їх групового графіка навантажень/_Л.Б. Терешкевич, О.О. Хоменко, І.О.Бандура // Вісник Вінницького політехнічного

інституту. – 2018. №1. – С. 12-17. Retrieved із

<https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2171>

25 Терешкевич Л. Б. Метод обмеженого перебору варіантів для задач внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів / Л. Б. Терешкевич, О.О. Хоменко // Технічна електродинаміка 2: 48–53, 2019 DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.02.048>

26. Терешкевич Л. Б. Метод розрахунку внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів у вузлах чотирипровідної мережі / Л. Б. Терешкевич, І. О. Бандура, О. О. Хоменко // Наукові нотатки. - 2019. - Вип. 65. - С. 249-253. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_40

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

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

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

30. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Додатки

ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

“ ” 2017р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
“ ” 2017 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

«Оптимальне керування графіком реактивної потужності
підприємства»

08-17.МКР.007.00.000 ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., проф. Терешкевич Л.Б.

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 16м

Ніколюк Ю.В.

(підпис)

Вінниця 2017 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № ____ від ____ . ____ .17р.

Дата початку роботи ____ . ____ .17р.

Дата закінчення роботи ____ . ____ .18р.

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

а) мета - додаткове зниження втрат активної енергії в електричних мережах і забезпечення нормованих відхилень напруги біля електроприймачів шляхом впровадження розроблених моделей та методів комплексного використання КУ, що, на відміну від, відомих дозволяють ще і забезпечити заданий, енергопостачальною компанією, графік РН.;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

схема розподільної електричної мережі з заданими параметрами; схема електропостачання підприємства; відомості про джерела живлення; основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,

3.2 Рогальський Б. С., Нанака О. М., Праховник А. В., Денисенко М. А., Божко В. М. Концепція компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів та енергопостачальних компаній // Энергетика и электрификация. – 2005. – №6 – 23-30 с.

3.3 Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова // – М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.

3.4 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) – видання третє, перероблене і доповнене, - 2017 р.

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

3.5 ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

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

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження		
4.2 Проведення дослідних розрахунків		
4.3 Розробка робочих креслень		
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи		

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

Визначення оптимальної потужності ТП підприємства

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{TP}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{xz}(S_T) \cdot \frac{S_{TP}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{CT}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{TPCM} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТПР} \cdot k_{ппа}, \\ S_T \in S_{CT} \end{array} \right.$$

Показник ефективності вибору трансформаторів ТП - річні приведені затрати на підстанцію

Керована змінна - потужність трансформаторів – S_T

Множина доступних значень – всі стандартні потужності трансформаторів S_T .

Визначення оптимальної кількості та потужності цехових ТП

•	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*St >=Sc	кпа*St>= кпа*Sp	•
					8	13,02608	83,36199	0,48	83,84199	47,02655	-	-	-	
					1	13,83256	50,922	0,66	51,582	28,93208	-	-	-	
					5	14,8852	31,3012	1,02	32,3212	18,1288	-	-	-	
	250	4,2	0,74	119,46	16,24656	17,37035	1,48	18,85035	10,57306	-	+	-	-	
	400	5,9	0,95	143,38	19,49968	9,531719	1,9	11,43172	6,411994	-	+	-	-	
V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	5,535757	2,62	8,155757	4,574523	26,2706	630	+	+	V
	1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,714117	4,2	6,914117	3,878093	29,47737	1000	+	+	
	1600	18	2,8	234	31,824	1,817489	5,6	7,417489	4,160432	35,98443	1600	+	+	
	2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,971912	7,7	8,671912	4,864032	41,27531	2500	+	+	
Мінімальні затрати, грн									Зmin=	26,2706				
Оптимальна потужність трансформатора, кВА									St*=	630				
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора									кз*=	0,570642				

ТП2

Мінімальні затрати, грн	3min=	25,90006
Оптимальна потужність трансформатора, кВА	St*=	630
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора	kз*=	0,535512

ТПЗ

Мінімальні затрати, грн						3min=	25,78508
Оптимальна потужність трансформатора, кВА						St*=	630
Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора						kз*=	0,524132

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = \left[(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_{\text{л}}^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_{\text{л}} \rightarrow \min_{x \in X_{\text{ст}}} \\ x \geq x_{\text{доп}} \equiv k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(x) \geq I_{\text{л}} \\ x \geq x_{\text{доп}} \equiv k_{\text{на}} \cdot I_{\text{доп}}(x) \geq I_{\text{л}} \cdot k_{\text{л}} \cdot k_{\text{на}} \\ \Delta U_{\text{н}}(x) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ \Delta U_{\text{на}}(x) \leq \Delta U_{\text{доп}} \\ x \geq x_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{н}}}}{C} \\ x \in X_{\text{ст}} \end{array} \right.$$

Керована змінна: переріз кабельних ліній (мм²).

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

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Вибрані перерізи кабельних ліній, які живлять підприємство

	$F, \text{мм}^2$	$R_0, \text{Ом/км}$	$X_0, \text{Ом/км}$	$K_0, \text{т.грн/км}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$d_{\text{Un}}, \%$	$d_{\text{Una}}, \%$	$dP, \text{кВт}$	$K, \text{т.грн}$	$E^*K, \text{т.грн}$	$B_0, \text{т.грн}$	$Z, \text{т.грн}$	X	$K_{\text{доп}} * I_{\text{доп}} \geq I_p$	$n * I_{\text{доп}} \geq K_{\text{нпа}} * k^*$	$d_{\text{Un}} \leq d_{\text{Unдоп}}$	$d_{\text{Una}} \leq d_{\text{Unадоп}}$	$F \geq F_{\text{кз}}$
	10	3,1	0,122	9,5381	65	8,66	13,86	230,16	61,04	8,55	129,09	-	-----	+	-	-	-	-
	16	1,94	0,113	13,784	75	5,50	8,80	144,03	88,22	12,35	80,79	-	-----	+	-	-	-	-
	25	1,24	0,099	19,854	90	3,57	5,71	92,06	127,07	17,79	51,64	-	-----	+	+	+	-	-
	35	0,89	0,095	25,953	115	2,61	4,18	66,08	166,10	23,25	37,06	-	-----	+	+	+	+	-
v	50	0,62	0,09	36,927	140	1,87	3,00	46,03	236,33	33,09	25,82	58,91	50	+	+	+	+	+
	70	0,443	0,086	50,501	165	1,38	2,21	32,89	323,21	45,25	18,45	63,70	70	+	+	+	+	+
	95	0,326	0,083	65,451	205	1,06	1,70	24,20	418,89	58,64	13,58	72,22	95	+	+	+	+	+
	120	0,258	0,081	82,823	240	0,87	1,39	19,16	530,07	74,21	10,74	84,95	120	+	+	+	+	+
	150	0,206	0,079	102,11	275	0,73	1,16	15,29	653,50	91,49	8,58	100,07	150	+	+	+	+	+
	185	0,167	0,077	137,48	310	0,62	0,99	12,40	879,87	123,18	6,95	130,14	185	+	+	+	+	+
Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	58,91							
Оптимальний переріз КЛ, мм ²										Хопт	50							

Вибрані перерізи кабельних ліній, що живлять ТП1

Мінімальні затрати, тис.грн	Змін	4,34
Оптимальний переріз КЛ, мм ²	Хопт	35

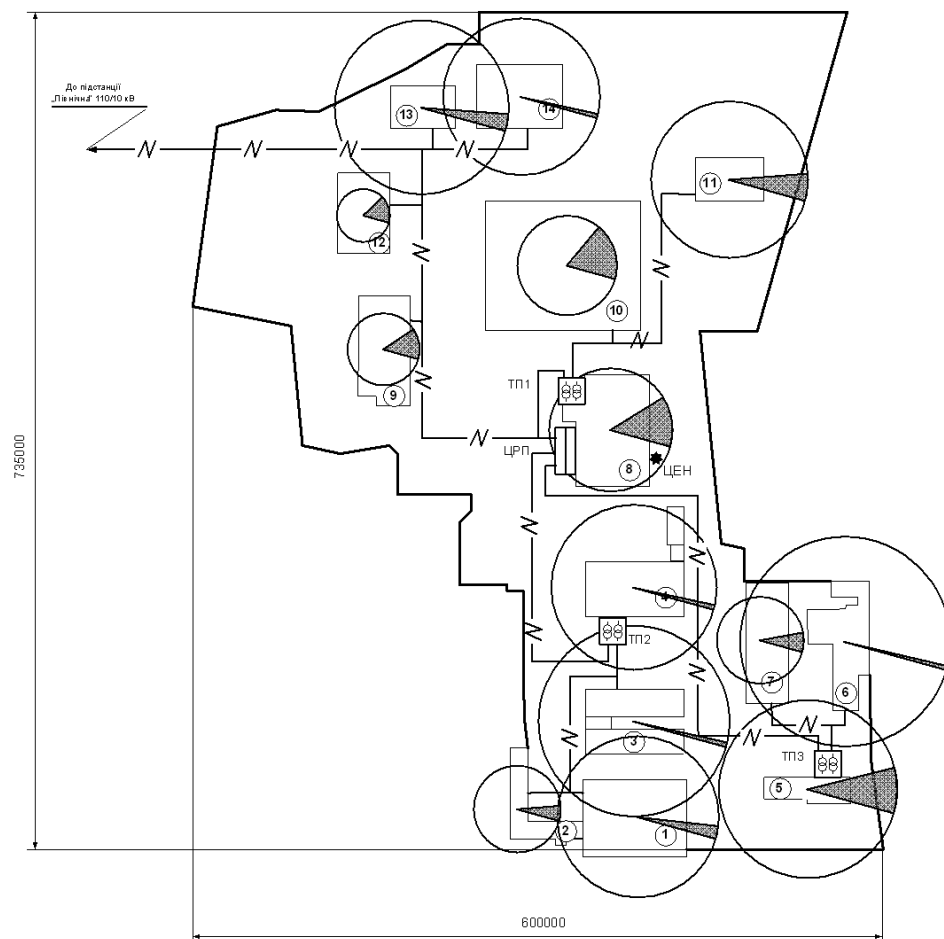
Вибрані перерізи кабельних ліній, що живлять ТП2

Мінімальні затрати, тис.грн	Змін	4,26
Оптимальний переріз КЛ, мм ²	Хопт	35

Вибрані перерізи кабельних ліній, що живлять ТП3

Мінімальні затрати, тис.грн	Змін	4,23
Оптимальний переріз КЛ, мм ²	Хопт	35

План підприємства з електричними мережами



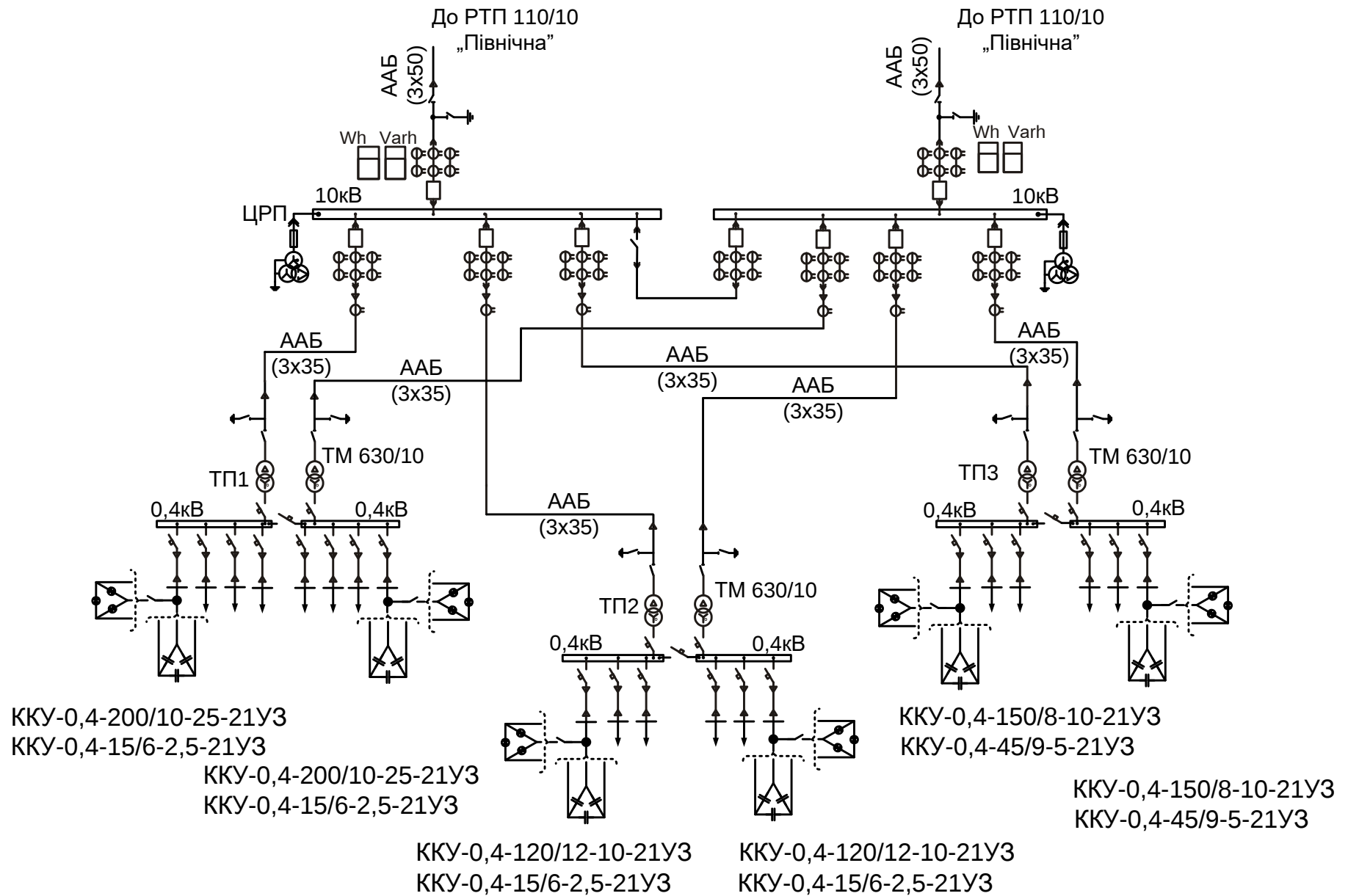
Умовні позначення

—N—N - Кабельна траншея

ЦЕН - Центр електричних навантажень

№ на плані	Назва об'єкту (цеху)	Рн, кВт
1	Відділи: технічний, технологічний та виробничо-диспетчерський, а також ковальсько-пресова дільниця	200
2	Заводоуправління	50
3	Відділення виготовлення деталей із пластмас та гуми	220
4	Компресорна підприємства	250
5	Цех 1	200
6	Цех 2	300
7	Склад металу	60
8	Відділення плазмового різання	120
9	Субабонент 1	40
10	Субабонент 2	50
11	Субабонент 3	180
12	Субабонент 4	120
13	Субабонент 5	140
14	Субабонент 6	180

Однолінійна схема електропостачання



Математичне забезпечення керування БСК, із рахуванням їх впливу на рівні напруг

Розроблено математичний апарат, який дозволяє провести розрахунки і вийти на результати, які забезпечують вимоги енергосистеми, мінімальні активні втрати в мережах підприємства, допустимі відхилення напруги у вузлах споживання і умови стійкості роботи навантаження.

**Математична модель, яка забезпечує необхідне значення
реактивної потужності в лінії живлення**

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q \mathbf{x} \rightarrow \min \\ \mathbf{x} + \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{n} \\ Q' - \Delta Q \mathbf{x} \geq Q_{dop} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right.$$

Математична модель застосовується для прийняття рішення на рівні підприємства, ТП, у випадках коли слід забезпечити стійкість вузла навантаження

Математичні моделі, які контролюють вплив КУ на рівень напруги в вузлі мережі

БСК використовуються також як засіб місцевого регулювання напруги. Якщо у вузлі навантаження, де встановлені КУ, занижений рівень напруги, то їх слід використовувати з позицій регулювання напруги

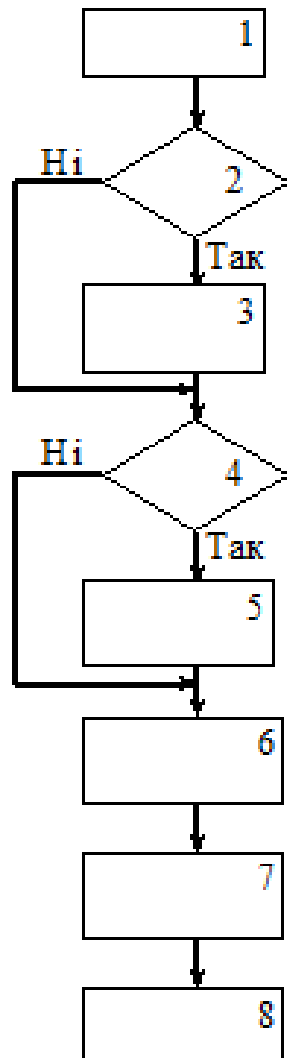
У години максимальних навантажень можна скористатися такою математичною моделлю

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q \mathbf{x} \rightarrow \min \\ \mathbf{x} + \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{n} \\ U' + \Delta U \mathbf{x} \leq U_{\min.dop} + \varepsilon \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right.$$

У години мінімальних навантажень можна скористатися такою математичною моделлю

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q \mathbf{x} \rightarrow \min \\ \mathbf{x} + \bar{\mathbf{x}} = \mathbf{n} \\ U' + \Delta U \mathbf{x} \leq U_{\max.dop} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right.$$

Алгоритм обчислення вектора управління для дискретного моменту часу



1. Розрахунок вектора z і формування множини M .

2. Вузли, де необхідно приймати рішення з урахуванням рівнів напруги, ϵ ?

3. Розрахунок вектора x_1 , $x_1^t = (x_{11}^t \ x_{12}^t \ \dots \ x_{1k}^t)$ і формування множини M_1 , $M_1 \subset M$.

4. Вузли, де необхідно приймати рішення з урахуванням стійкості, ϵ ?

5. Розрахунок вектора x_2 , $x_2^t = (x_{21}^t \ x_{22}^t \ \dots \ x_{2l}^t)$ і формування множини M_2 , $M_2 \subset M$.

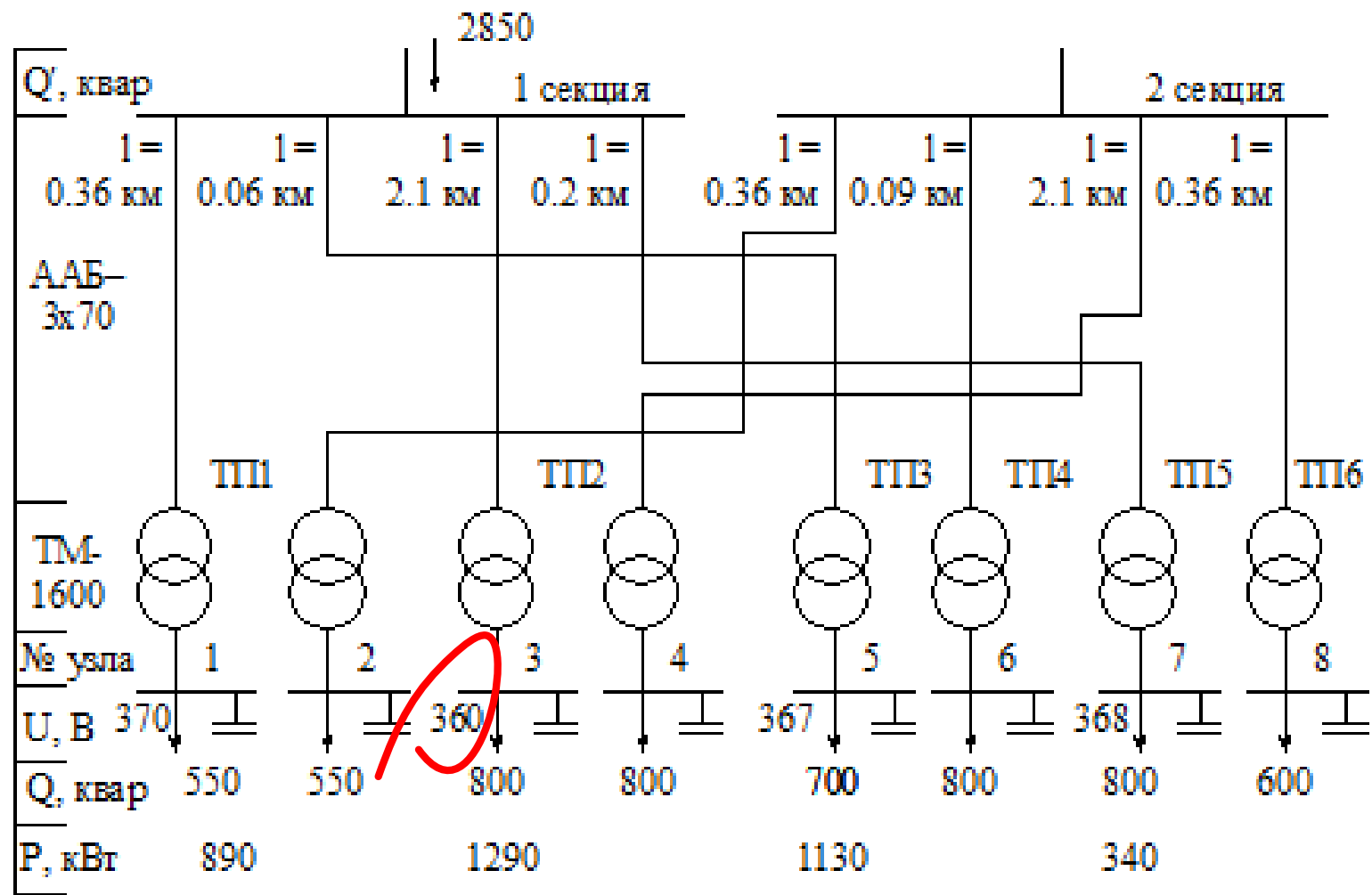
6. Формування множини M_3 ; $M_3 = (M \setminus M_1) \setminus M_2$.

7. Розрахунок вектора управління x_3 , $x_3^t = (x_{31}^t \ x_{32}^t \ \dots \ x_{3m}^t)$, відповідного оптимальної реалізації M_3 .

Визначення $x(t_i)$, $x^t(t_i) = (x_1^t \ x_2^t \ x_3^t)$.

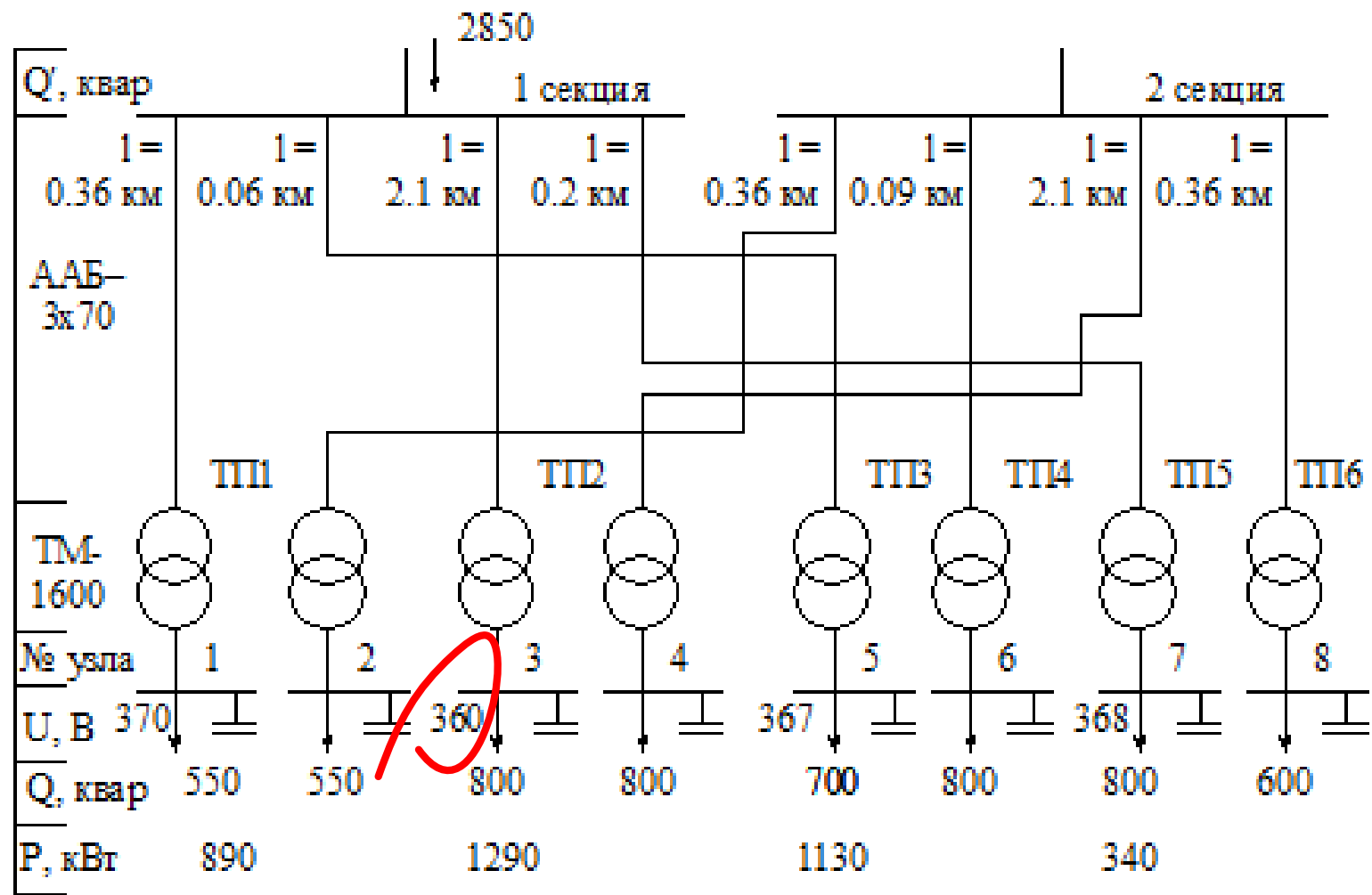
ПРИКЛАД

Схема електропостачання підприємства



ПРИКЛАД

Схема електропостачання підприємства



В результаті проведених обчислень остаточно отримаємо вектор управління:

$$\mathbf{x}^t(t_i) = ((1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)(1 \ 1 \ 1 \ 0)(1 \ 1 \ 1 \ 1)(1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)),$$

який реалізується в такий спосіб:

- у вузлі 1 включити секції КУ потужностей 200 квар, 200 квар, 100 квар; залишкова потужність по вводу вузла 50 квар;
- у вузлі 3 включити секції КУ потужностей 300 квар, 400 квар, 150 квар; залишкова потужність по вводу вузла -50 квар; напруга у вузлі забезпечується на рівні 372,35 В;
- у вузлі 5 включити секції КУ потужностей 300 квар, 200 квар, 100 квар, 50 квар; залишкова потужність по вводу вузла 50 квар;
- у вузлі 7 включити секції КУ потужностей 300 квар, 400 квар, 150 квар; залишкова потужність по секції КУ ввід вузла -50 квар.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Оптимальним варіантом для системи електропостачання ДП «45 Експериментального механічного заводу» є установка трьох двотрансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 630 кВА кожна.
2. Кабельні мережі 10 кВ економічно доцільно виконати перерізами: 50 мм² (до підприємства) та 35 мм² (до ТП);
3. Оптимальним рішенням по зниженню втрат активної потужності в мережах 10 кВ та трансформаторах встановлення ККУ загальною потужністю 1090 квар.
4. Синтезовані цілочислові моделі багатокритеріального управління реактивною потужністю, використання яких забезпечить рівні напруги та мінімальні активні втрати в мережах 10 кВ підприємства за умови виконання вимог енергопостачальної компанії.

Додаток Г

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод», місто Вінниця

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	94,7 %
Схожість	5,3 %

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 _____ Поліщук С.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

