

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту**

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

_____ Сергій БАЛЮТА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» грудня 2024 р.

«__» грудня 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання»
на тему: «Розробка СЕП Кам'янець-Подільського кабельного заводу та задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 2-5М

_____ Фрінгош Валентин Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник Балюта Сергій Миколайович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Рецензент Василь ЛИЗАНЕЦЬ
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
 Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту
 Освітній ступінь магістр
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
 Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ЕПЕМ
/Сергій БАЛЮТА/
 « 01 » жовтня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Фрінгоша Валентина Івановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка СЕП Кам'янець-Подільського кабельного заводу та задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення

керівник роботи Балюта Сергій Миколайович, д.т.н., проф.
 затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » жовтня 2024 р. № 860-кс.

2. Строк подання здобувачем роботи 28 листопада 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план Кам'янець-Подільського кабельного заводу; встановлена потужність цехів заводу; план розташування електрообладнання ремонтно-механічного цеху та його характеристики; відомості про джерела живлення заводу; умови проектування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика середовища кабельного заводу. категорії електроприймачів по безперебійності електропостачання; розрахункові навантаження цехів на шини цехових ТП та по цехам кабельного заводу; картограма і визначення центру електричних навантажень; вибір числа і потужності силових трансформаторів цехових ТП; компенсація реактивної потужності на шини 0,4 кВ цехових ТП і уточнення їх навантаження; розрахунок навантажень на шини низької напруги ГПП; наблизений вибір основних параметрів СЕП заводу; розрахунок струмів короткого замикання; вибір основного електрообладнання; техніко-економічне порівняння вибору напруги зовнішнього електропостачання; релейний захист трансформаторів ГПП; заземлення та блискавкозахист ремонтно-механічного цеху; спеціальна частина: задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план заводу з картограмою навантаження і розподільчою мережею. 2. Однолінійна схема електропостачання кабельного заводу. 3. План ремонтно-механічного цеху та однолінійна схема його електропостачання. 4. Релейний захист трансформаторів ГПП. 5. Заземлення та блискавкозахист ремонтно-механічного цеху 6. Керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01 жовтня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на магістерську роботу	01.10.2024 р	
2	Вступ	04.10.2024 р	
3	Характеристика середовища кабельного заводу. Категорії електроприймачів по безперебійності електропостачання.	07.10.2024 р	
4	Розрахункові навантаження цехів на шинах цехових ТП	12.10.2024 р	
5	Визначення розрахункових навантажень по цехам кабельного заводу	15.10.2024 р	
6	Картограма і визначення центру електричних навантажень	18.10.2024 р	
7	Вибір числа і потужності силових трансформаторів цехових ТП	21.10.2024 р	
8	Компенсація реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП і уточнення їх навантаження	24.10.2024 р	
9	Розрахунок навантажень на шинах низької напруги ГПП	28.10.2024 р	
10	Наближений вибір основних параметрів СЕП заводу	02.11.2024 р	
11	Розрахунок струмів короткого замикання	06.11.2024 р	
12	Вибір основного електрообладнання	10.11.2024 р	
13	Техніко-економічне порівняння вибору напруги зовнішнього електропостачання	14.11.2024 р	
14	Релейний захист трансформаторів ГПП	18.11.2024 р	
15	Заземлення та блискавкозахист ремонтно- механічного цеху	20.11.2024 р	
16	Спеціальна частина. Задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення	24.11.2024 р	
17	Формулювання рекомендацій та висновків	25.11.2024 р	
18	Оформлення пояснювальної записки	26.11.2024 р	
19	Оформлення графічної частини роботи	27.11.2024 р	
20	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	28.11.2024 р	

Здобувач

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Фрінгош В.І.

(прізвище та ініціали)

Балюта С.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Фрінгош В.І. Розробка СЕП Кам'янець-Подільського кабельного заводу та задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Національний Університет Харчових Технологій

Київ -2024

Кваліфікаційна робота: 114 с.; 12 рис.; 29 табл.; 25 джерел.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективної системи електропостачання Кам'янець-Подільського кабельного заводу та задач керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

До пояснювальної записки надано графічну частину, яка складається із шести креслень: генеральний план заводу з картограмою навантаження і розподільчою мережею; однолінійна схема електропостачання кабельного заводу; план ремонтно-механічного цеху та однолінійна схема його електропостачання; релейний захист трансформаторів ГПП; заземлення та блискавкозахист ремонтно-механічного цеху; керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

У результаті виконання роботи наведено характеристику середовища кабельного заводу та категорії електроприймачів по безперебійності електропостачання; виконано розрахунок електричних навантажень заводу та ремонтно-механічного цеху; визначено число й потужність силових трансформаторів на ГПП та цехових трансформаторних підстанцій; на підставі техніко-економічного порівняння вибрано напругу живлення заводу; розраховано та вибрано високовольтне і низьковольтне електрообладнання та провідники і перевірено їх до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання релейного захисту трансформаторів ГПП та задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

Ключові слова: кабельний завод, електричне навантаження, силовий трансформатор, високовольтний вимикач, автоматичний вимикач, кабель, релейний захист, електроспоживання, графік навантаження.

ANNOTATION

Frinhosh V.I. Development of the SEP of the Kamianets-Podilskyi cable plant and the problem of power consumption management in conditions of shortage of power supply systems.

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

National University of Food Technologies

Kyiv - 2024

Qualification work: 114 p.; 12 Fig.; 29 tables; 25 sources.

The purpose of the qualification work is the development of an effective power supply system of the Kamianets-Podilskyi cable plant and the tasks of power consumption management in conditions of a shortage of power supply systems.

The explanatory note includes a graphic part consisting of six drawings: a general plan of the plant with a load map and a distribution network; single-line power supply scheme of the cable plant; the plan of the repair and mechanical workshop and the single-line scheme of its power supply; relay protection of GPP transformers; grounding and lightning protection of the repair and mechanical shop; power consumption management in conditions of power shortage of power supply systems.

As a result of the work, the characteristics of the environment of the cable plant and the category of power receivers in terms of uninterrupted power supply are given; the calculation of the electrical loads of the plant and repair and mechanical shop was performed; the number and capacity of power transformers at the GPP and workshop transformer substations are determined; on the basis of a technical and economic comparison, the power supply voltage of the plant was selected; calculated and selected high-voltage and low-voltage electrical equipment and conductors and tested them for short-circuit currents; the issue of relay protection of GPP transformers and the problem of power consumption management in conditions of power shortage of power supply systems are considered.

Keywords: cable plant, electric load, power transformer, high-voltage switch, automatic switch, cable, relay protection, power consumption, load schedule.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРЕДОВИЩА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ КАБЕЛЬНОГО ЗАВОДУ. КАТЕГОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ПО БЕЗПЕРЕБІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	12
2. РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ЦЕХІВ НА ШИНАХ ЦЕХОВИХ ТП.....	14
2.1. Розрахункове навантаження ремонтно-механічного цеху.....	15
3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПО ЦЕХАМ КАБЕЛЬНОГО ЗАВОДУ.....	23
3.1. Розрахункові навантаження електродвигунів та печей на напругу 6 кВ.....	25
3.2. Розрахунок навантаження освітлювальних установок.....	30
4. КАРТОГРАМА І ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	32
5. ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП.....	35
5.1. Вибір потужності трансформаторів цехових ТП напругою 10(6)/0,4 кВ.....	35
5.2. Розміщення ТП 6/0,4 кВ по цехам.....	39
6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ШИНАХ 0,4 КВ ЦЕХОВИХ ТП І УТОЧНЕННЯ ЇХ НАВАНТАЖЕННЯ.....	40
7. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ НА ШИНАХ НИЗЬКОЇ НАРУГИ ГПП.....	43
7.1. Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП.....	44
7.2. Баланс реактивної потужності. Компенсуючі пристрої реактивної потужності вище 1000 В.....	45

7.3.	Визначення сумарного навантаження на шинах низької напруги ГПП..	48
8.	НАБЛИЖЕНИЙ ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕП ЗАВОДУ.	51
8.1.	Наближена економічно вигідна напруга зовнішнього електропостачання.....	51
8.2.	Вибір трансформаторів на ГПП по технічним умовам.....	51
8.3.	Вибір повітряної лінії 110/35.....	52
8.4.	Вибір перерізів і марок кабелів внутрішнього електропостачання напругою 6 кВ.....	54
8.5.	Вибір кабелів напругою до 1 кВ поза корпусами.....	56
8.6.	Короткий опис прийнятої схеми електропостачання заводу.....	59
9.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	60
9.1.	Розрахунок струмів короткого замикання на шинах високої напруги..	60
9.2.	Розрахунок струмів короткого замикання на шинах низької напруги..	63
10.	ВИБІР ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....	65
10.1	Вибір високовольтних вимикачів на НН ГПП.....	65
10.2.	Вибір високовольтних вимикачів ліній, що живлять цехові ТП.....	67
10.3.	Вибір вимикачів на високій напрузі ГПП.....	68
10.4.	Вибір автоматичних вимикачів на напругу 0,4 кВ.....	70
11.	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВИБОРУ НАПРУГИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	72
12.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГПП.....	76
12.1.	Максимальний струмовий захист від КЗ.....	76
12.2.	Максимальний струмовий захист із пуском за напругою.....	77
12.3.	Захист від перевантаження.....	78
12.4.	Струмова відсічка.....	78
12.5.	Диференційний захист трансформатора ГПП.....	79

13.	ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ	83
13.1.	Заземлення ремонтно-механічного цеху.....	83
13.2.	Блискавкозахист ремонтно-механічного цеху.....	86
14.	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ.....	90
14.1.	Загальні відомості.....	90
14.2.	Синтез оптимального графіка навантажень.....	91
14.3.	Обмеження навантаження несиметричних електроприймачів у разі дефіциту потужності в енергосистемі.....	104
	ВИСНОВКИ.....	108
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	112

ВСТУП

Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення живлення електроенергією промислових приймачів, до яких відносяться електродвигуни різних машин і механізмів, електричні печі, електролізні установки, апарати й машини для електричного зварювання, освітлювальні установки тощо.

У міру розвитку електроспоживання ускладнюються й системи електропостачання промислових підприємств. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств, здійснювати в широких масштабах диспетчеризацію процесів виробництва із застосуванням телесигналізації й телекерування й вести активну роботу з економії електроенергії.

Важливою особливістю систем електропостачання є неможливість створення запасів електроенергії.

Вся одержувана електроенергія негайно споживається. При непередбачених коливаннях навантаження необхідна точна й негайна реакція системи керування, щоб компенсувати виниклий дефіцит.

Головною проблемою в найближчому майбутньому з'явиться створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств, що зв'язано з наступним:

1) вибором і застосуванням раціонального числа трансформацій. Застосування на промислових підприємствах раціональних систем електропостачання приведе до скорочення числа трансформацій до двох-трьох. У цьому випадку економія електроенергії складе не менш 10-15 % усього її витрати (споживання) промисловим підприємством;

2) вибором і застосуванням раціональних напруг. Застосування раціональних напруг у системах електропостачання промислових підприємств дає значну економію у втратах електроенергії. Нераціональні рішення в цьому напрямку приводять до того, що в експлуатації перебувають системи електропостачання, у яких втрати електроенергії доходять до 35-40 %;

3) правильним вибором місця розміщення цехових і головних розподільчих (знижувальних) підстанцій. Розташування живильних підстанцій у відповідних центрах електричних навантажень забезпечує мінімальні річні приведені витрати. Усякий зсув живильної підстанції із центра електричних навантажень веде до збільшення цих витрат і підвищеній витраті електроенергії;

4) подальшим удосконалюванням методики визначення електричних навантажень. Правильне визначення очікуваних навантажень сприяє рішенню загального завдання оптимізації побудови систем внутрішньозаводського електропостачання;

5) раціональним вибором числа й потужності трансформаторів, а також схем електропостачання і їхніх параметрів, що веде до скорочення втрат електроенергії, підвищенню надійності й сприяє здійсненню загального завдання оптимізації побудови систем електропостачання;

6) принципово новою постановкою для рішення таких завдань, як, наприклад, вирівнювання електричних навантажень.

Підтримка напруги, близької до номінальної, зазвичай проводиться за рахунок регулювання напруги різними додатковими пристроями. При цьому особливо в умовах глибокого регулювання напруги мають місце додаткові втрати електроенергії. У таких випадках ефективніше застосовувати підвищення номінальної напруги, що набагато вигідніше економічно.

Загальне завдання оптимізації систем промислового електропостачання крім зазначених вище положень включає також раціональні рішення на вибір перерізів проводів і жил кабелів, способів компенсації реактивної потужності, автоматизації, диспетчеризації тощо.

Вимоги, що ставляться до схем електропостачання, залежать від багатьох факторів, сутність основних з них зводиться до наступного:

1. Джерела живлення необхідно максимально наближати до електроустановок споживачів.

2. Система електропостачання повинна забезпечувати необхідну надійність живлення підприємства й окремих споживачів відповідно до їхньої категорії за ступенем відповідальності.

3. Схеми електропостачання, як правило, повинні будуватися таким чином, щоб усі їхні елементи постійно знаходилися під напругою.

4. Робота всіх елементів схеми (ліній, трансформаторів) повинна передбачатися, як правило, роздільна, тому що при паралельній роботі збільшуються струми короткого замикання й ускладнюються пристрої релейного захисту.

5. При побудові схем електропостачання необхідно застосовувати глибоке секціонування шин у всіх ланках системи розподілу енергії, починаючи від вузлової підстанції і закінчуючи шинами підстанцій низької напруги.

6. Повинні передбачатися заходи щодо забезпечення необхідних показників якості електроенергії (зокрема стабільність, мінімум коливань і допустимі величини відхилень напруги в нормальних, аварійних і післяаварійних режимах).

7. Система електропостачання як у схемній, так і в конструктивній частині повинна передбачати і забезпечувати можливість зростання електричних навантажень на найближчі 10 років.

8. Система електропостачання підприємства повинна задовольняти економічності, що відповідає мінімуму розрахункових витрат, простоті, зручності і безпеці експлуатації.

Такі найголовніші вимоги до систем електропостачання на всіх її ступенях.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРЕДОВИЩА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ КАБЕЛЬНОГО ЗАВОДУ. КАТЕГОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ПО БЕЗПЕРЕБІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Характеристики зовнішнього середовища (температура, вологість, наявність вибухо- або пожежонебезпечних зон) можуть впливати не тільки на конструктивне виконання розподільчих пристроїв, трансформаторних підстанцій або силових пунктів, але і на вибір марок і перерізів проводів, кабелів та захисної апаратури [2]. Виробничий процес на проєктованому заводі характеризується наявністю горючих речовин, що утворюють пожежонебезпечні суміші. Деякі з відділень цехів кабельного заводу можуть бути віднесені до гарячих приміщень. Характеристика середовища основних виробничих приміщень по цехам кабельного заводу представлена в табл. 1.1. При детальному опрацюванні мереж 0,4 кВ ремонтно-механічного цеху (РМЦ) характеристика відділень цехів та їх ділянок може бути уточнена.

Перерва електропостачання електроприймачів основного виробництва кабельного заводу призводить до значної матеріальної шкоди, розладу складного технологічного процесу і може спричинити небезпеку для життя людей, тому віднесемо їх до першої категорії. Електроприймачі напругою 6 кВ також можна віднести до першої категорії.

Допоміжні цехи і підрозділи, які прямо не беруть участь у створенні продукції підприємства, можна віднести до другої та третьої категорії.

Класифікацію електроприймачів у цехах кабельного заводу по безперебійності електропостачання наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

*Характеристика середовища виробничих приміщень кабельного заводу та
безперебійності електропостачання основних виробництв*

№ п/п	Найменування цеху	Характеристика середовища	Категорія по безперебійності електропостачання основного виробництва
1	Виробництво поліетилену	нормальне	I, II
2	Заготівельний цех	нормальне	II
3	Цех каландрів	нормальне	II
4	Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)	жарке	I, II
5	Цех навивання	нормальне	I, II
6	Експериментальний цех	нормальне	II, III
7	Екструдерний цех (АД з ЧПУ)	нормальне	I, II
8	Компресорна	запилене	I, II
9	Склад і магазин	нормальне	III
10	Склад стислих газів	вибухонебезпечне	II, III
11	Насосна дугого підйому	нормальне	I, II
12	Склад і регенерація оливи	вибухонебезпечне	II, III
13	Склад хімікатів	запилене	II, III
14	Паровозне депо	вологе	III
15	Ідальня	нормальне	III
16	Заводоуправління	нормальне	III
17	Прохідна	нормальне	III
18	Центральна заводська лабораторія	нормальне	II, III
19	Гараж	вологе	III
20	ТЕЦ (власні потреби)	нормальне	II, III
21	Ремонтно-механічний цех (РМЦ)	нормальне	II, III

2. РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ЦЕХІВ НА ШИНАХ ЦЕХОВИХ ТП

Метою розрахунку навантажень цехів є техніко-економічне обґрунтування низки найважливіших питань електропостачання кабельного заводу:

- раціональний вибір трансформаторів цехових ТП та їх розміщення по цехах;

- уточнення фактичного завантаження кожної цехової ТП за активною та реактивною потужністю. Компенсація реактивної потужності на кожній із цехових ТП;

- визначення розрахункових навантажень потужних, зосереджених споживачів до 1000 В. Дугових сталеплавильних печей (ДСП), великих високовольтних електродвигунів насосних або компресорних станцій. Вибір трансформаторів до них;

- визначення центру електричних навантажень кабельного заводу;

- раціональне розміщення приймальних ГПП, РП та цехових ТП.

Слід розрізняти:

- 1) розподілені навантаження, сформовані дрібними споживачами (приблизно, до 100 кВт номінальної потужності), розосередженими більш-менш рівномірно за площею цехів;

- 2) навантаження потужних споживачів (наприклад, понад 100 кВт) з номінальною напругою як до, так і вище 1000 В.

Для електропостачання останніх потрібні окремі лінії, або навіть джерела живлення. Джерелами живлення для них можуть бути окремі РП, трансформаторні (ТП) або перетворювальні підстанції (ПП). На ПП застосовуються спеціалізовані трансформатори, наприклад, пічні, випрямлювальні, з нестандартними рядами потужності, вторинних напруг, виготовлені за особливими технічними умовами. У розрахунку електричних навантажень такі споживачі повинні враховуватися окремими позиціями з метою подальшого розгляду застосування специфічних схем їх електропостачання, наприклад, виходячи з умов пуску СД або АД.

Електроприймачі проектного кабельного заводу переважно належать до першої групи розосереджених споживачів. До другої групи потужних, зосереджених споживачів можна віднести лише електродвигуни у заготівельному цеху та цеху каландрів $2 \times (5 - 500 \text{ кВт})$.

Масляні трансформатори, у тому числі і трансформатори цехових ТП $10(6)/0,4 \text{ кВ}$, мають значний запас міцності, як за систематичними, так і аварійними навантаженнями [2]. У середньому, постійна нагріву часу для трансформаторів цехових підстанцій приймається рівною $T_0 = 2,5 \text{ год}$. Нагрівання масляних трансформаторів до максимальної, граничної температури відбуватиметься не менше ніж за час $3T_0 = 3 \times 2,5 = 7,5 \text{ год}$. Останнє визначає час усереднення максимального розрахункового навантаження, що дорівнює тривалості робочої зміни. Інакше, за розрахункове навантаження трансформаторів цехових ТП слід приймати навантаження, близьке до середнього, за найбільш навантажену зміну [1], або навантаження, визначене за методикою [1].

Для раціонального вибору потужності масляних трансформаторів існує кілька методик визначення еквівалентних, розрахункових навантажень. Остання з них базується на еквівалентному, двоступінчастому графіку навантажень [1]. Відповідно до [1], слід брати до уваги не тільки амплітуду максимального навантаження, а й її тривалість, у контексті з амплітудою та тривалістю мінімальних добових навантажень за найбільш завантажену добу. Оскільки у вихідних даних проекту добові графіки навантажень цехів відсутні, розрахунок навантаження на шинах $0,4 \text{ кВ}$ цехових ТП проведемо за методикою діючих вказівок з розрахунку електричних навантажень [1]. Розрахунок виконаємо по цехам кабельного заводу.

2.1. Розрахункове навантаження ремонтно-механічного цеху

Розрахунок електричних навантажень ремонтно-механічного цеху (РМЦ) на шинах $0,4 \text{ кВ}$ цехових ТП виконуємо за методикою діючих нормативних документів. Розрахункові коефіцієнти електроспоживання будемо приймати за довідковою літературою. За розрахункове навантаження на шинах $0,4 \text{ кВ}$

цехових ТП приймаємо максимальне навантаження добового графіка за найбільш завантажену зміну, тривалістю $3T_o = 3 \times 2,5 = 7,5$ год, де $T_o = 2,5$ год – постійна тривалість нагрівання для цехових трансформаторів.

Групуємо електроприймачі РМЦ за характерними режимами електроспоживання: з однаковими коефіцієнтами використання та коефіцієнтами потужності $\cos \varphi$. Ці значення заносимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Розподіл електроприймачів за режимами роботи

№ п/п	Назва відділення (ділянки) цеху і виробничого облідання	Модель або тип	Кількість, n	ПВ %	Номинальна потужність, кВт		κ_b	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
					Одного ЕП, p_n	Загальна P_n			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Металорізальні верстати								
1	Токарно-гвинторізний	1К62	1		11,125	11,1	0,12	0,4	2,29
2	Токарно-гвинторізний	1Б61	1		4,625	4,6	0,12	0,4	2,29
3	Токарно-гвинторізний	1А616П	1		4,6	4,6	0,12	0,4	2,29
4	Токарно-гвинторізний	1Б3	1		15,125	15,1	0,12	0,4	2,29
5	Токарно-револьверний станок	1П326	1		5,475	5,5	0,17	0,65	1,17
6	Довбальний	7А420	1		3,8	3,8	0,12	0,4	2,29
7	Поперечно-стругальний	7М37	1		11	11	0,12	0,4	2,29
8	Універсально-фрезерний	6В75	1		1,7	1,7	0,12	0,4	2,29
9	Універсально-фрезерний	6Н81	1		6,325	6,3	0,12	0,4	2,29
10	Горизонтально-фрезерний	6М80Г	1		3,525	3,5	0,12	0,4	2,29
11	Вертикально-фрезерний	6М12П	1		12,925	12,9	0,12	0,4	2,29
12	Зубофрезерний	5К301	1		0,725	0,7	0,17	0,65	1,17
13	Універсальний зубофрезерний	5К32	1		7	7	0,17	0,65	1,17
14	Вертикально-сверлильний	2А125	1		2,925	2,9	0,12	0,4	2,29
15	Радіально-сверлильний	2А55	2		6,925	13,9	0,12	0,4	2,29
16	Настільно-сверлильний	2А106	2		0,6	1,2	0,12	0,4	2,29
17	Координатно-разточний	2А450	1		6,52	6,5	0,17	0,65	1,17

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Поліровочний двухшпindelний	C-42A	1		3,2	3,2	0,12	0,4	2,29
19	Обдирочно- точильний	3M634	2		2,8	5,6	0,12	0,4	2,29
20	Відрізний з ножовочною пилою	872A	1		1,95	1,95	0,12	0,4	2,29
	ВСЬОГО		23			123,2			
	Крани								
20	Кран-балка електропідвісна	2Т	2		4,85	9,7	0,05	0,5	1,73
21	Кран мостовий електричний	5Т	1	15	24,2	24,2	0,05	0,5	1,73
22	Кран-балка електропідвісна	2Т	2	15	4,85	9,7	0,05	0,5	1,73
	ВСЬОГО		5			43,6			
	Вентилятори								
23	Вентилятор		1		7	7	0,65	0,8	0,75
24	Вентилятор		2		10	20	0,65	0,8	0,75
25	Вентилятор		2		4,5	9	0,65	0,8	0,75
26	Вентилятор витяжний		3		2,8	8,4	0,65	0,8	0,75
27	Вентилятор приточний		1		7	7	0,65	0,8	0,75
28	Вентилятор		1		2,8	2,8	0,65	0,8	0,75
29	Вентилятор дугтевий		2		1,2	2,4	0,65	0,8	0,75
	ВСЬОГО		12			56,6			
	Кувальне обладнання								
30	Молот пневматичний ккувальний	МБ412	1		10	10	0,2	0,65	1,17
31	Прес правильний	ПА415	1		14	14	0,12	0,4	2,29
32	Прес листогибальний	4135	1		15,7	15,7	0,12	0,4	2,29
33	Прес кривошипний	К217	1		10	10	0,12	0,4	2,29
34	Верстат трубогибальний	C-288	1		7	7	0,12	0,4	2,29
	ВСЬОГО		5			56,7			
	Зварювальні апарати								
35	Перетворювач зварювальний	ПСО- 500	1	25	28	28	0,35	0,5	1,73
36	Машина електрозварювальна шовна, кВА	МШМ- 25	1	15	25	25	0,25	0,7	1,02
37	Трансформатор зварювальний, кВА	СТН350	1	15	25	25	0,35	0,5	1,73
	ВСЬОГО		3			78			

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Електропечі, сушильні шафи								
38	Горн дутьєвий коксівий		1		0,8	0,8	0,7	0,95	0,33
39	Шафа електрична сушильна	Ш-0,5	2		1,1	2,2	0,7	0,95	0,33
40	Електропід опору камерна, щит управління	М- 15,ЩУ- 12	2		15	30	0,7	0,95	0,33
41	Електропід опору двухкамерна зі щитом управління і підним трансформатором (850-1300°C)	ОКБ- 194А, ЩУ-12, ТПТ-350	1		19	19	0,7	0,95	0,33
42	Муфельна піч	П-6	1		2,2	2,2	0,7	0,95	0,33
43	Сушильна шафа електрична		1		10	10	0,7	0,95	0,33
	ВСЬОГО		8			64,2			
	Перетворювачі								
44	Вмпрямляч для гальванічної ванни 2000/1000А, 6/12В	ВСМР	1		22	22	0,7	0,8	0,75
	ВСЬОГО		1			22			

Розрахунок виконуємо з використанням існуючої статистики [1] за індивідуальними коефіцієнтами використання $k_g = p_c / p_n$ силового електрообладнання за найбільш завантажену зміну та коефіцієнтами розрахункової потужності $K_p = P_p / K_g P_n$ [1] для цехових трансформаторів.

Результати розрахунків зводимо до стандартної [1] табличної форми (табл. 2.2). Наприклад, для апаратів ручного дугового зварювання заготівельно-зварювального відділення з довідника знаходимо $k_g = 0,35$ $\cos\varphi = 0,5$. Їх значення заносимо до граф 5,6 табл. 2.1. Підсумовуємо встановлену потужність групи апаратів дугового зварювання

$$P_n = n_1 p_{n1} + n_2 p_{n2}, \quad (2.1)$$

де $n_1 = 1$, $p_{n1} = 28 \text{ кВт}$ – кількість, номінальна потужність і коефіцієнт потужності зварювального перетворювача, ПСО-500;

$n_2 = 1$, $p_{n2} = 25 \text{ кВт}$ – кількість, номінальна потужність і коефіцієнт потужності трансформатора зварювального, СТН350.

$$P_n = 1 \cdot 28 + 1 \cdot 25 = 53 \text{ кВт} .$$

Результат заносимо до графі 4 табл. 2.1. У графу 2 заносимо загальну кількість апаратів ручного дугового зварювання.

Визначаємо мінімальне та максимальне значення $p_{n.\min} / p_{n.\max}$ номінальної потужності окремих електроприймачів. Результат заносимо до графі 3.

У графах 7 та 8 рядково обчислюємо розрахункові величини та (середні навантаження). Наприклад, для металорізальних верстатів знаходимо

$$P_c = k_\epsilon P_n, Q_c = k_\epsilon P_n \operatorname{tg}\varphi, \quad (2.2)$$

де $\operatorname{tg}\varphi = 2,29$ – коефіцієнт реактивної потужності, відповідає $\cos\varphi = 0,4$;

$P_n = 103,5 \text{ кВт}$ – сумарна установлена потужність всіх металорізальних верстатів цеху по всіх відділеннях, обчислена по формулі (2.1).

$$P_c = 0,12 \times 103,5 = 12,42 \text{ кВт} ,$$

$$Q_c = 0,12 \times 103,5 \times 2,29 = 28,46 \text{ квар} .$$

У підсумковому рядку визначаємо суми величин $\sum n = 57$, $\sum P_n = 444,3 \text{ кВт}$, $\sum k_\epsilon P_n = 147,48 \text{ кВт}$, $\sum k_\epsilon P_n \operatorname{tg}\varphi = 143,75 \text{ квар}$.

Визначаємо середньозважений коефіцієнт використання по цеху в цілому:

$$K_\epsilon = \frac{\sum_1^N k_\epsilon P_n}{\sum_1^N P_n}, \quad (2.3)$$

де $N = 10$ – число однотипних груп електроприймачів РМЦ в табл. 2.1.

$$K_\epsilon = \frac{147,48}{444,3} = 0,33 .$$

Заносимо отримане значення середньозваженого коефіцієнта використання у підсумковий рядок 5, табл. 2.1.

При значній кількості ЕП на шинах цехової трансформаторної підстанції РМЦ ($n = 83$, табл. 2.1) ефективно число електроприймачів будемо визначати за спрощеною формулою:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n.\max}}, \quad (2.4)$$

де $\sum P_n = 444,3 \text{ кВт}$ – приймаємо по підсумковому рядку стовбця 4, табл. 2.1;

$p_{н.маx} = 28 \text{ кВт}$ – номінальна потужність найбільшого електроприймача в цеху РМЦ, по підсумковому рядку стовбця 3, табл. 2.1.

$$n_e = \frac{2 \times 444,3}{28} = 31,74.$$

Якщо знайдене за спрощеним виразом число n_e виявиться більше за n , слід приймати $n_e = n$. Якщо $p_{н.маx} / p_{н.мін} \leq 3$, де $p_{н.мін}$ – номінальна потужність найменш потужного ЕП групи, також приймається $n_e = n$.

Перелічені умови для РМЦ як вузла навантаження виконуються.

Крім того, отримане значення ефективного числа електроприймачів повинно бути округлено до найближчого меншого цілого значення. Остаточоно приймаємо $n_e = 31$.

Для значень $K_g = 0,30$ і $n_e = 30$ за табл. 2.1 [1] знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження на шинах 0,4 кВ $K_p = 1$.

Знаходимо розрахункові навантаження трансформаторів РМЦ:

$$P_p = K_p \sum k_g P_n, \quad (2.5)$$

де $\sum k_g P_n = 147,48 \text{ кВт}$ – сумарне розрахункове значення (середнє навантаження) на шинах 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції (значення підсумкового рядка, стовбця 7, табл. 2.1).

$$P_p = 1 \times 147,18 = 147,48 \text{ кВт}.$$

Реактивне навантаження визначається за такою формулою:

$$Q_p = K_p \sum k_g P_n \text{tg}\varphi, \quad (2.6)$$

де $\sum k_g P_n \text{tg}\varphi = 143,75 \text{ квар}$ – сумарне розрахункове значення (середнє реактивне навантаження) на шинах 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції (підсумкового рядка, стовбця 8, табл. 2.1).

$$Q_p = 1 \times 143,75 = 143,75 \text{ квар}.$$

Таким чином, розрахункові навантаження силових електроприймачів РМЦ на шинах 0,4 кВ цехових трансформаторних підстанцій складають $P_p = 147,48 \text{ кВт}$, $Q_p = 143,75 \text{ квар}$.

Повна потужність та розрахунковий струм без урахування компенсації реактивної потужності рівні:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}. \quad (2.7)$$

Результати розрахунку повної потужності і розрахункового струму записуємо в графі 14, 15 підсумкового рядка, табл. 2.1.

$$S_p = \sqrt{147,48^2 + 143,75^2} = 205,95 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{205,95}{\sqrt{3} \times 0,38} = 312,91 \text{ А}.$$

Таблиця 2.2

Розрахунок електричних навантажень РМЦ на шинах 0,4 кВ трансформаторів цехових ТП

Вихідні дані						Розрахункові величини			Ефективне число ЕП, пе	Коеф-т розраху - нкового навантаження Кр	Розрахункова потужність			Розрахун - ковий струм, А
За даними технологів				За довідником		Активна, кВт $KвPн$	Реактивна, квар $KвQн$	$n(Pн)2$			Активна, кВт	Реактивна, квар	Повна, кВА	
Група ЕП	Кіл-сть ЕП, шт., n	Номинальна (встановлена) потужність, кВт		Коефі-цієнт вкорис-тання	Коеф-т реакт. потуж.									
		Одного ЕП, Рн	Загал ь-на Рн											
Металорізальні верстати														
Кв = 0,12	19	0,6/15,125	103,5	0,12	0,4	12,42	28,46							
Кв = 0,17	4	0,725/6,52	19,7	0,17	0,65	3,35	3,92							
Крани														
Кв = 0,05	5	4,86/24,2	43,6	0,05	0,5	2,18	3,78							
Вентилятори														
Кв = 0,65	12	1,2/10,0	56,6	0,65	0,8	36,79	27,59							
Кувальне обладнання														
Кв = 0,12	4	7,0/15,7	46,7	0,12	0,4	5,60	12,84							
Кв = 0,35	1	10,0/10,0	10	0,2	0,65	2,00	2,34							
Зварювальні апарати														
Кв = 0,12	1	25/25	25	0,25	0,7	6,25	6,38							
Кв = 0,2	2	25/28	53	0,35	0,5	18,35	32,13							
Електропечі														
Кв = 0,7	8	0,8/19	64,2	0,7	0,95	44,94	14,77							
Перетворювачі														
Кв = 0,7	1	22,0/22,0	22	0,7	0,8	15,40	11,55							
Всього	57		444,3	0,33	0,72	147,48	143,75		31	1	147,48	143,75	205,95	312,91

3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПО ЦЕХАМ КАБЕЛЬНОГО ЗАВОДУ

Розрахункові навантаження інших цехів кабельного заводу визначаються аналогічно до розрахунку навантаження РМЦ, за формулами (2.1) – (2.7). Різниця полягає лише в тому, що склад електроприймачів заданий менш детально та представлений у табл. 1.1 вихідних даних.

Для цехів та окремих електроприймачів, для яких відомості з електроспоживання не наведені у довідниках, значення коефіцієнтів використання та коефіцієнтів реактивної потужності приймаємо за аналогією їх режимів роботи та електроспоживання з іншими галузями народного господарства. Наприклад, для їдальні кабельного заводу (позиція №15 на плані), за експертними даними, можна розподілити електроприймачі за такими категоріями електроспоживання:

- 1) електропечі для приготування їжі;
- 2) холодильники;
- 3) вентиляція витяжна потужністю 6,4 кВт;
- 4) вентиляція припливна потужністю 6,4 кВт.

За довідниками приймаємо для печей для приготування їжі коефіцієнт використання $k_e = 0,5$ і коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,85$, за аналогією з печами опору для машинобудування.

Для холодильників проектного кабельного заводу приймаємо коефіцієнт використання та коефіцієнт потужності, як для харчової та м'ясомолочної промисловості та для м'ясокомбінатів.

Приймаємо, що режим роботи витяжної та припливної вентиляції їдальні кабельного заводу аналогічний до сантехнічних установок вентиляції в хімічній промисловості. Тоді, коефіцієнти використання та потужності для вентиляційних установок можна прийняти за відповідними таблицями з довідників.

В результаті експертної оцінки розподілу електроприймачів їдальні кабельного заводу отримуємо більш докладні відомості про їх склад і занесемо їх параметри в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Експертний склад електроприймачів ідальні кабельного заводу

Вихідні дані				Розрахункові величини			
За даними технологів			За довідниковими даними		активна, кВт $\sum P_n k_v$	реактивна, квар $\sum P_n k_v \text{tg}\varphi$	
Найменування ЕП	Кількість n	Номінальна (установлена) потужність, кВт		Коефіцієнт використання			Коефіцієнт Реактивної потужності
		одного ЕП, P_n	Загальна, P_n				
1	2	3	4	5	6	7	8
15. Ідальня:	4	6,4/12,7	38,1				
1. - електропечі	1	12,7	12,7	0,5	0,85	6,35	3,94
2. - холодильники	1	12,6	12,6	0,29	0,5	3,65	6,32
3. - вентиляція	1	6,4	6,4	0,64	0,75	4,1	3,62
4. - вентиляція	1	6,4	6,4	0,64	0,75	4,1	3,62
Всього, ідальня	4	6,4/12,7	38,1	0,48	0,72	18,2	17,5

У графах 5, 6 для окремих категорій електроприймачів записуємо значення коефіцієнтів використання та потужності з перерахованих вище таблиць довідників.

За кожною категорією визначаємо середні активні та реактивні потужності (графи 7, 8) за формулами (2.2). Наприклад, для електропечей приготування їжі $P_c = 0,5 \times 12,7 = 6,35 \text{ кВт}$, $Q_c = 0,5 \times 12,7 \times 0,62 = 3,94 \text{ квар}$ і заносимо їх до граф 7, 8.

У підсумковому рядку (Всього, ідальня) підраховуємо суми по стовпцям 2,7,8. У стовпці 3 записуємо, через косу риску мінімальну і максимальну потужності електроприймачів в ідальні (цеху). У підсумковому рядку стовпців 5, 6 підраховуємо середньозважені коефіцієнти використання та реактивної потужності електроприймачів ідальні.

$$k_g = \frac{\sum P_c}{\sum P_n}, \quad \cos\varphi = \frac{\sum P_c}{\sqrt{(\sum P_c)^2 + (\sum Q_c)^2}}. \quad (3.1)$$

Отримані параметри, з точністю до експертної оцінки, можна використовувати для максимальних навантажень кабельного заводу.

$$k_g = \frac{18,2}{38,1} = 0,48, \quad \cos\varphi = \frac{18,2}{\sqrt{18,2^2 + 17,5^2}} = 0,72.$$

Аналогічним чином обчислюємо середньозважені показники електроспоживання для цехів з 7 по 13. Результати розрахунку зводимо до табл. 3.2. Для РМЦ (цех №21) наводимо лише результати розрахунку з табл. 2.2.

3.1. Розрахункові навантаження електродвигунів та печей на напругу 6 кВ

Розрахункові навантаження високовольтних електроприймачів визначаються аналогічно до розрахунку навантаження 0,4 кВ цехових ТП. Використовується стандартна таблична форма та розрахункові формули (2.1) – (2.6). Різниця полягає лише в тому, що ефективна кількість електроприймачів не визначається, а замість коефіцієнта розрахункового навантаження використовується коефіцієнт одночасності максимумів.

Згідно з вихідними даними, в екструдерному цеху встановлено 4 асинхронні електродвигуни потужністю 100 кВт кожен. Для екструдерного цеху) маємо: число робочих синхронних електродвигунів 6 кВ – $n=4$; номінальна потужність одиночного двигуна $p_n=100$ кВт; повна встановлена потужність електродвигунів 6 кВ будівлі вентиляторів – $P_n=np_n=4\times 100=400$ кВт. Коефіцієнт використання $k_g=0,75$ та коефіцієнт потужності $\cos\varphi=0,85$ приймаємо за довідниковими даними.

За таблицями [1] для числа приєднань $n=7$ і $k_g=0,75$ визначаємо коефіцієнт одночасності $K_o=1,0$. Тоді,

$$P_p = 1,0 \times 0,75 \times 400 = 300 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,0 \times 0,75 \times 400 \times 0,62 = 186 \text{ квар}.$$

Навантаження високовольтних електродвигунів кабельного заводу записуємо в табл. 3.2 окремим рядком у цехах.

Таблиця 3.2.

Розрахункові навантаження по цехах кабельного заводу на шинах 0,4 кВ цехових ТП

Вихідні дані						Розрахункові величини			Ефективне число ЕП	Коефіцієнт розрахункового навант.	Розрахункове навантаження			Розрахунковий струм, А
згідно даних технологів				довідникові дані		активна кВт, $\sum P_n K_v$	реактивна квар, $\sum P_n K_{vtgr}$	кВт, $\sum P_n$			активне, кВт	реактивн, квар	поене, кВА	
Група ЕП	Кількість, п	Номинальна (установлена) потужність, кВт		Коефіцієнт використання	коефіцієнт реактивної потужності									
		одного ЕП, P_n	Загальна, P_n											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Виробництво поліетилену														
Елеватори	100	2,8/91	435,2	0,4	0,75	174,08	153,52							
Електричні печі	152	14/78	2756,8	0,5	0,95	1378,4	453,06							
Вентилятори	86	2,2/65	295,7	0,65	0,8	192,205	144,15							
Компресори	32	8,9/199,4	343,5	0,7	0,8	240,45	180,34							
Крани	23	6,1/24	289,3	0,35	0,8	101,255	75,94							
ВСЬОГО	393	2,2/199,4	4120,5	0,51	0,90	2086,39	1007,01		41	1	2086,39	1007,01	2316,70	3519,86
Заготівельний цех														
Металорізальні верстати	146	2,5/48	785,1	0,20	0,65	157,02	183,58							
Елеватори	52	4,8/91	546	0,40	0,75	218,4	192,61							
Компресори	65	60/132,5	951,3	0,70	0,80	665,91	499,43							
Вентилятори	66	1,5/65	176,2	0,65	0,80	114,53	85,90							
Крани	21	6,1/2,4	160,2	0,35	0,80	56,07	42,05							
ВСЬОГО	350	1,5/132,5	2618,8	0,46	0,77	1211,93	1003,57		26	1	1211,93	1003,57	1573,51	2390,70
	5	500	2500	0,7	0,8	1750	1312,5		5	1,03	1802,50	1351,88	2253,13	216,81
Цех каландрів														
Елекватори	10	5,6/12,1	80,2	0,4	0,75	32,08	28,29							
Компресори	17	18/67	530,7	0,7	0,8	371,49	278,62							
Вентилятори	19	6,1/11,8	200	0,65	0,8	130,00	97,50							
ВСЬОГО	46	5,6/90,1	810,9	0,66	0,80	533,57	404,41		18	1	533,57	404,41	669,51	1017,22
	5	500	2500	0,7	0,8	1750	1312,5		5	1,03	1802,50	1351,88	2253,13	216,81

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)														
Елеватори	11	5,6/12,1	85,9	0,4	0,75	34,36	30,30							
Ливарні машини	31	65/98	678,4	0,3	0,8	203,52	152,64							
УВЧ печи	23	190/243,3	732,3	0,35	0,8	256,31	192,23							
Вентилятори	19	4,4/6	95,6	0,65	0,8	62,14	46,61							
ВСЬОГО	84	4,4/243,3	1592,2	0,35	0,80	556,33	421,78		13	1,06	589,70	447,08	740,02	1124,35
	1	2500	2500	0,70	0,75	1750	1543,3549		1	1,14	1995,00	1759,42	2660,00	255,96
Цех навивання														
Металорізальні верстати	52	14,2/25,6	863,9	0,20	0,65	172,78	202,00							
Конвеєри	84	12,3/122,9	1400,1	0,65	0,80	910,07	682,55							
Вентилятори	11	4,2/8,4	63,5	0,65	0,80	41,28	30,96							
ВСЬОГО	147	4,2/122,9	2327,5	0,48	0,78	1124,12	915,51		37	1	1124,12	915,51	1449,76	2202,68
Експериментальний цех														
Металорізальні верстати	10	2,5/48	89,50	0,20	0,65	17,9	20,927419							
Тренувальні стенди	7	12,4/52,1	211,20	0,60	0,80	126,72	95,04							
Лабораторне обладнання	11	12,3/28,4	307,40	0,25	0,80	76,85	57,6375							
Випробувальні камери	5	50,3/189,1	586,30	0,25	0,80	146,575	109,93125							
Компресори	6	18,1/64,2	154,30	0,70	0,80	108,01	81,0075							
Вентилятори	9	9,0/12,1	92,00	0,65	0,80	59,8	44,85							
ВСЬОГО	48	9,0/189,1	1440,70	0,37	0,79	535,86	409,39		23	1	535,86	409,39	674,35	1024,56
Екструдерний цех (АД з ЧПУ)														
Елеватори	18	2,8/85	136,80	0,40	0,75	54,72	48,26							
Ливарні машини	123	8,1/94,7	1083,50	0,30	0,80	325,05	243,79							
Вентилятори	31	1,9/8,4	76,50	0,65	0,80	49,73	37,29							
Крани	5	6,1/24	124,30	0,35	0,80	43,51	32,63							
ВСЬОГО	177	1,9/94,7	1421,10	0,33	0,79	473,00	361,97		30	1	473,00	361,97	595,61	904,93
	4	100	400	0,7	0,8	280	210		4	1,06	296,80	222,60	371,00	35,70

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Компресорна														
Компресори	5	10,1/21,4	65,6	0,7	0,8	45,92	34,44							
Вентилятори	2	7,1/12,3	20,1	0,65	0,8	13,07	9,80							
ВСЬОГО	7	7,1/21,4	85,7	0,69	0,80	58,99	44,24		7	1	58,99	44,24	73,73	112,02
	12	250	3000	0,7	0,8	2100	1575		12	1	2100,00	1575,00	2625,00	252,59
Склад і магазин														
Елеватори	6	9,8/14,1	60,2	0,40	0,75	24,08	21,24							
Вентилятори	4	4,9/8,1	28,4	0,65	0,80	18,46	13,85							
Крани	2	10,1/19,7	29,8	0,35	0,80	10,43	7,82							
ВСЬОГО	12	4,9/19,7	118,4	0,45	0,78	52,97	42,90		12	1,05	55,62	45,05	71,57	108,75
Склад стислих газів														
Елеватори	6	9,8/21,4	109,7	0,40	0,75	43,88	38,70							
Вентилятори	4	7,4/8,1	30,1	0,65	0,80	19,57	14,67							
Крани	2	12,1/24,7	36,8	0,35	0,80	12,88	9,66							
ВСЬОГО	12	7,4/29,4	176,6	0,43	0,77	76,33	63,03		12	1,05	80,14	66,18	103,94	157,92
Насосна другого підйому														
Насоси	3	6,4/12,6	31,6	0,70	0,80	22,12	16,59							
Вентилятори	1	6,3/6,3	6,3	0,65	0,80	4,10	3,07							
ВСЬОГО	4	6,3/12,6	37,9	0,69	0,80	26,22	19,66		4	1,06	27,79	20,84	34,73	52,77
	11	300	3300	0,7	0,8	2310	1732,5		11	1	2310,00	1732,50	2887,50	277,85
Склад і регенерація оливи														
Лабораторне обладнання	5	24,9/39,1	171,8	0,25	0,8	42,95	32,21							
Вентилятори	2	17,2/17,2	34,8	0,65	0,80	22,62	16,97							
Крани	1	51,6/51,6	51,6	0,35	0,80	18,06	13,55							
ВСЬОГО	8	17,2/51,6	258,2	0,32	0,80	83,63	62,72		8	1,19	99,52	74,64	124,40	189,01
Склад хімікатів														
Елеватори	6	8,9/13,8	61,5	0,40	0,75	24,60	21,70							
Вентилятори	4	3,8/3,8	15,2	0,65	0,80	9,88	7,41							
Крани	1	15,3/15,3	15,3	0,35	0,80	5,36	4,02							
ВСЬОГО	11	3,8/15,3	92	0,43	0,77	39,84	33,12		11	1,06	42,23	35,11	54,91	83,43

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Паравозне депо														
Металорізальні верстати	1	14,5/14,5	14,5	0,20	0,65	2,90	3,39							
Вентилятори	1	9,2/9,2	9,2	0,65	0,80	5,98	4,49							
Крани	6	12,3/27,6	114,1	0,35	0,80	39,94	29,95							
ВСЬОГО	8	9,2/27,6	137,8	0,35	0,79	48,82	37,83		8	1,19	58,09	45,01	73,49	111,66
Їдальня														
Електропечі	1	12,7/12,7	12,7	0,5	0,85	6,35	3,94							
Холодильники	1	12,6/12,6	12,6	0,29	0,5	3,65	6,33							
Вентилятори	2	6,4/6,4	12,8	0,64	0,75	8,19	7,22							
ВСЬОГО	4	6,4/12,7	38,1	0,48	0,72	18,20	17,49		4	1,25	22,75	21,86	31,55	47,93
Заводоуправління														
Вентилятори	8	4,9/14,6	73,1	0,65	0,8	47,52	35,64							
ВСЬОГО	8	4,9/14,6	73,1	0,65	0,8	47,52	35,64		8	1,02	48,47	36,35	60,58	92,04
Прохідна														
Вентилятори	1	7,2/7,2	7,2	0,65	0,8	4,68	3,51							
ВСЬОГО	1	7,2/7,2	7,2	0,65	0,8	4,68	3,51		1	1,33	6,22	4,67	7,78	11,82
Центральна заводська лабораторія														
Лабораторне обладнання	4	25,1/39,2	137,1	0,25	0,80	34,28	25,71							
Вентилятори	1	19,6/19,6	19,6	0,65	0,8	12,74	9,56							
ВСЬОГО	5	19,6/39,2	156,7	0,30	0,80	47,02	35,26		5	1,35	63,47	47,60	79,34	120,54
Гараж														
Металорізальні верстати	7	5,1/18,1	44,4	0,20	0,65	8,88	10,38							
Вентилятори	4	4,5/9,8	25,1	0,65	0,80	16,32	12,24							
Тельфери	3	8,4/22,5	65,2	0,05	0,50	3,26	5,65							
ВСЬОГО	14	4,5/22,5	134,7	0,21	0,71	28,46	28,26		11	1,35	38,41	38,16	54,14	82,26
ТЕЦ (власні потреби)	84	5,3/138,3	1601,9	0,45	0,55	720,86	1094,60		23	1	720,86	1094,60	1310,65	1991,32
Ремонтно-механічний цех	57	0,6/28,0	444,3	0,33	0,72	147,48	143,75		31	1	147,48	143,75	205,95	312,91
ВСЬОГО 0,4 кВ	1480	0,6/243,3	17694	0,48	0,77	8474	6957				8575,95	7038,08	11170,61	
ВСЬОГО 6 кВ	38	100/2500	14200	0,70	0,80	9940	7686				10306,80	7993,27	13049,75	

3.2. Розрахунок навантаження освітлювальних установок

Тип джерел світла приймаємо з умов середовища у виробничих приміщеннях і на території кабельного заводу (табл. 1.1). У приміщеннях з нормальним середовищем приймаємо до встановлення люмінесцентні лампи, у приміщеннях зі жарким, запиленим, вологим, пожежонебезпечним та вибухонебезпечним середовищем – світлодіодні лампи. Територію кабельного заводу освітлюємо лампами ДРЛ.

На стадії техніко-економічного обґрунтування електричні навантаження освітлювальних установок знайдемо спрощено, за питомою встановленою потужністю світильників на квадратний метр поверхні і коефіцієнтами попиту освітлення. Питомі навантаження освітлення приймемо за довідником. Площі цехів та території кабельного заводу визначаємо за генпланом.

Наприклад, для приміщення №1, виробництва поліетилену за генпланом, з урахуванням масштабу 1:1000, знаходимо $F = 15000 \text{ м}^2$. Питоме навантаження освітлення приймаємо рівним $15,0 \text{ Вт/м}^2$, як для ливарних і плавильних цехів. Коефіцієнт попиту освітлювальних установок для виробничих будівель, що складаються з окремих великих прольотів, становить $k_{c.o} = 0,95$. Приймаємо до встановлення світильники з лампами люмінесцентного освітлення, з вбудованими конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності до $\cos\varphi = 0,9$.

Активна встановлена потужність освітлення дорівнює:

$$P_{y.o} = p_{y.o} F . \quad (3.2)$$

$$P_{y.o} = 15,0 \times 15000 \times 10^{-3} = 225 \text{ кВт.}$$

Розрахункові навантаження освітлення:

$$P_{p.o} = k_{c.o} P_{y.o} = 0,95 \times 225 = 213,75 \text{ кВт,}$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \operatorname{tg}\varphi = 213,75 \times 0,48 = 103,52 \text{ квар,} \quad (3.3)$$

де $\operatorname{tg}\varphi = 0,48$ – відповідає коефіцієнту потужності $\cos\varphi = 0,9$.

$$P_{p.o} = 0,95 \times 225 = 213,75 \text{ кВт,}$$

$$Q_{p.o} = 213,75 \times 0,48 = 103,52 \text{ квар.}$$

Для інших цехів та території кабельного заводу розрахунки виконуємо аналогічно та зводимо їх у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Розрахункові навантаження освітлювальних установок

№ п/п	Найменування цеху	Характеристика середовища	Площа, F, м ²	Джерело світла	Коефіцієнт попиту, k _{с.о}	Коефіцієнт потужності, cos φ	Навантаження			
							Питоме, P _{у.о} , Вт/м ²	Установлене, P _{у.о} , кВт	Розрахункові	
									Активне, P _{р.о} , кВт	Реактивне, Q _{р.о} , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Виробництво поліетилену	нормальне	15000	Люмінесцентні	0,95	0,9	15	225,00	213,75	103,52
2	Заготівельний цех	нормальне	4400	Люмінесцентні	0,95	0,9	13	57,20	54,34	26,32
3	Цех каландрів	нормальне	4100	Люмінесцентні	0,95	0,9	15	61,50	58,43	28,30
4	Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)	жарке	5542	Світлодіодні	0,95	1	15	83,13	78,97	0,00
5	Цех навивання	нормальне	3971	Люмінесцентні	0,95	0,9	13	51,62	49,04	23,75
6	Експериментальний цех	нормальне	1608	Люмінесцентні	0,6	0,9	18	28,94	17,37	8,41
7	Екструдерний цех (АД з ЧПУ)	нормальне	1909	Люмінесцентні	0,95	0,9	15	28,64	27,20	13,18
8	Компресорна	запилене	768	Світлодіодні	0,6	1	10	7,68	4,61	0,00
9	Склад і магазин	нормальне	1600	Люмінесцентні	0,6	0,9	12	19,20	11,52	5,58
10	Склад стислих газів	вибухонебезпечне	416	Світлодіодні	0,6	1	12	4,99	3,00	0,00
11	Насосна дугого підйому	нормальне	229	Люмінесцентні	0,6	0,9	10	2,29	1,37	0,67
12	Склад і регенерація оливи	вибухонебезпечне	189	Світлодіодні	0,6	1	12	2,27	1,36	0,00
13	Склад хімікатів	запилене	261	Світлодіодні	0,6	1	12	3,13	1,88	0,00
14	Паровозне депо	вологе	132	Світлодіодні	0,6	1	10	1,32	0,79	0,00
15	Ідальня	нормальне	1056	Люмінесцентні	0,6	0,9	10	10,56	6,34	3,07
16	Заводоуправління	нормальне	852	Люмінесцентні	0,6	0,9	18	15,34	9,20	4,46
17	Прохідна	нормальне	182	Люмінесцентні	1	0,9	10	1,82	1,82	0,88
18	Центральна заводська лабораторія	нормальне	902	Люмінесцентні	0,6	0,9	23	20,75	12,45	6,03
19	Гараж	вологе	480	Світлодіодні	0,6	1	10	4,80	2,88	0,00
20	ТЕЦ (власні потреби)	нормальне	13321	Люмінесцентні	0,6	0,9	10	133,21	79,93	38,71

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	Ремонтно-механічний цех (РМЦ)	нормальне	7007	Люмініс-центні	0,6	0,9	17	119,12	71,47	34,62
22	Територія заводу		79855	ДРЛ	1	0,58	0,25	19,96	19,96	28,04
ВСЬОГО			143784		0,81	0,91		911,47	737,68	336,52

4. КАРТОГРАМА І ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для спрощення процедури визначення місць розташування ГПП, РП, а також цехових ТП на генплані підприємства зображуємо навантаження цехів у вигляді картограми електричних навантажень. Картограма являє собою графічне зображенням навантажень цехів у вигляді кіл, площі яких відповідають у вибраному масштабі, розрахунковим навантаженням.

На промислових підприємствах, у тому числі і на кабельному заводі, що проектується, передбачається повна автоматична компенсація реактивної потужності до нормативного коефіцієнта потужності енергосистеми на всіх рівнях електропостачання. Отже, при побудові картограми реактивні навантаження можна не враховувати.

Центри електричних навантажень окремих цехів з розподіленим навантаженням визначатимемо виходячи з того, що в межах цеху електричне навантаження розподілене рівномірно по його площі. Тоді центр електричних навантажень окремого цеху співпадатиме з центром мас плоскої фігури, що зображує цех на генеральному плані.

Значення розрахункових силових і освітлювальних навантажень цехів приймаємо за табл. 3.2 та 3.3 і заносимо їх значення табл. 4.1, в стовпці 3, 4. Значення координат центрів навантаження цехів, визначених генпланом заводу, заносимо в табл. 4.1, у стовпці 7, 8.

Радіуси кіл кожного кола картограми визначаємо з виразу:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi} + P_{p.o.i}}{\pi * m}}, \quad (4.1)$$

де $P_{pi} + P_{p.oi}$ – розрахункові активні силові та освітлювальне навантаження цехів; m – вибраний масштаб. Приймаємо $m=0,25$ кВт/мм².

Освітлювальне навантаження зображаємо у вигляді сектора кола. Кут сектора α_i визначаємо з відношення освітлювального навантаження ($P_{p.oi}$) до сумарного навантаження ($P_{pi} + P_{p.oi}$) цеху

$$\alpha_i = 360 \frac{P_{p.oi}}{P_{pi} + P_{p.oi}}. \quad (4.2)$$

Наприклад, для цеху №1 отримаємо:

$$r_1 = \sqrt{\frac{2637,75 + 213,75}{\pi * 0,25}} = 60,27 \text{ мм};$$

$$\alpha_i = 360 \times \frac{213,75}{2637,75 + 213,75} = 27 \text{ град.}$$

Результати розрахунку зводимо до табл. 4.1, стовпці 5, 6.

Для визначення місця розташування ГПП скористаємося раніше прийнятим припущенням. Центри електричних навантажень цехів зосереджені окремих точках, центрах навантаження цехів. Їхні координати вказані в табл. 4.1, у стовпцях 7, 8.

При цьому припущенні мінімальна протяжність розподільчої мережі 10(6) кВ підприємства (кабельного заводу) матиме місце, при розташуванні понижувальної приймальної підстанції (головної понижувальної підстанції – ГПП) у центрі електричних навантажень. Координати цього центру визначатимуться формулами:

$$x_0 = \frac{\sum [x_i (P_{pi} + P_{p.oi})]}{\sum (P_{pi} + P_{p.oi})}, \quad y_0 = \frac{\sum [y_i (P_{pi} + P_{p.oi})]}{\sum (P_{pi} + P_{p.oi})}. \quad (4.3)$$

Всі результати розрахунку картограми електричних навантажень наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Картограма та визначення центру електричних навантажень на 0,4 кВ

№ п/п	Найменування	Рр, кВт	Рр о, кВт	г, мм	α, Град	х, мм	у, мм	(Рр+Рр о)х	(Рр+Рр о)у
1	Виробництво поліетилену	2086,39	213,75	54,1	33	157,03	248,82	361190,98	572320,83
2	Заготівельний цех	1211,93	54,34	40,2	15	41,35	248,82	52360,26	315073,30
3	Цех каландрів	533,57	58,43	27,5	36	238,11	248,82	140961,12	147301,44
4	Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)	589,70	78,97	29,2	43	129,09	134,87	86318,61	90183,52
5	Цех навівання	1124,12	49,04	38,7	15	321,69	142,93	377393,84	167679,76
6	Експериментальний цех	535,86	17,37	26,5	11	341,11	338,08	188712,29	187036,00
7	Екструдерний цех (АД з ЧПУ)	473,00	27,20	25,2	20	363,11	250,57	181627,62	125335,11
8	Компресорна	58,99	4,61	9,0	26	220,03	152,8	13993,91	9718,08
9	Склад і магазин	55,62	11,52	9,2	62	410,95	248,82	27591,18	16705,77
10	Склад стислих газів	80,14	3,00	10,3	13	47,35	162,3	3936,68	13493,62
11	Насосна другого підйому	27,79	1,37	6,1	17	47,54	128,33	1386,27	3742,10
12	Склад і регенерація оливи	99,52	1,36	11,3	5	454,77	272,39	45877,20	27478,70
13	Склад хімікатів	42,23	1,88	7,5	15	452,24	225,8	19948,31	9960,04
14	Паравозне депо	58,09	0,79	8,7	5	397,46	90,12	23402,44	5306,27
15	Їдальня	22,75	6,34	6,1	78	41,35	338,08	1202,87	9834,75
16	Заводоуправління	48,47	9,20	8,6	57	104,33	335,07	6016,71	19323,49
17	Прохідна	6,22	1,82	3,2	81	156,43	332,6	1257,70	2674,10
18	Центральна заводська лабораторія	63,47	12,45	9,8	59	208,45	335,08	15825,52	25439,27
19	Гараж	38,41	2,88	7,3	25	267,79	334,08	11057,05	13794,16
20	ТЕЦ (власні потреби)	720,86	79,93	31,9	36	248,53	38,5	199020,34	30830,42
21	Ремонтно-механічний цех	147,48	71,47	16,7	118	116,53	38,5	25514,24	8429,58
22	Територія заводу	0,00	19,96	5,0	360	257,81	191,02	5145,89	3812,76
	Центр навантаження	8024,61	727,68			204	206	1789741,03	1805473,08

Обчислення за формулами (4.3) дають координати центру електричних навантажень кабельного заводу

$$X_0=204 \text{ мм}, Y_0=206 \text{ мм},$$

по відношенню до системи координат на генеральному плані заводу.

Центр навантаження припадає між цехами: №№ 1,4,8 виробництво поліетилену, наливальним цехом та компресорним. Розміщуємо ГПП поруч із цехом №12 (Склад та регенерація оливи).

Таблиця 4.2

Картограма навантажень 6,0 кВ по цехам кабельного заводу

№ п/п	Найменування	Рр, кВт	Рр о, кВт	г,мм	α. Град	х, мм	у,мм	(Рр+Рр о)х	(Рр+Рр о)у
2	Заготівельний цех	1802,50	0,00	35,7	0	41,35	248,82	74533,38	448498,05
3	Цех каландрів	1802,50	0,00	35,7	0	238,11	248,82	429193,28	448498,05
4	Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)	1995,00	0,00	37,6	0	129,09	134,87	257534,55	269065,65
7	Екструдерний цех (АД з ЧПУ)	296,80	0,00	14,5	0	363,11	250,57	107771,05	74369,18
8	Компресорна	2100,00	0,00	38,6	0	220,03	152,8	462063,00	320880,00
11	Насосна другого підйому	2310,00	0,00	40,4	0	47,54	128,33	109817,40	296442,30
	Центр навантаження	10306,8	0,00			140	180	1440912,6	1857753,23

5. ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП

5.1. Вибір потужності трансформаторів цехових ТП напругою 10(6)/0,4 кВ

Електроприймачі кабельного заводу належать до споживачів I, II, III категорій по безперебійності електропостачання. У табл. 1.1 вихідних даних досить велика кількість цехів віднесена до споживачів третьої категорії. Однак їх розрахункове навантаження в сумі складає всього 1919,22 кВт (табл.3.2), проти 8576,08 кВт по заводу, або у відсотковому відношенні – 22,4%. Тому всі схеми зовнішнього (від районної підстанції до ГПП) і внутрішнього електропостачання (від ГПП до РП 10(6) кВ і цехових ТП) доцільно вибирати з повним резервуванням розрахункового навантаження.

Вирішення питань резервування окремих споживачів I-II категорій (пожежної, охоронної, аварійної сигналізації, інших малопотужних відповідальних споживачів), на напрузі 0,4 кВ, у цехах з масовим застосуванням електроприймачів III категорії вирішуватиметься окремо, при детальному опрацюванні проектування мереж та розподільчих мереж на напругу 0,4 кВ.

На даному етапі техніко-економічного обґрунтування всі цехові ТП виконуємо з двома робочими трансформаторами. Передбачаємо роздільну роботу трансформаторів із АВР на шинах 0,4 кВ. При виборі числа та потужності силових трансформаторів цехових ТП керуватимемося принципами уніфікації та максимального використання комплектного обладнання.

Сумарне розрахункове навантаження силових споживачів кабельного заводу на шинах 0,4 кВ ТП становить 8576,08 кВт. Сумарне навантаження освітлення з урахуванням території кабельного заводу дорівнює 727,68 кВт.

Визначальними факторами при виборі одиничної потужності трансформаторів ТП 10(6)/0,4 кВ є витрати на мережу живлення 0,4 кВ, втрати потужності в цій мережі та в трансформаторах, витрати на будівельну частину ТП. Для точного обліку перелічених чинників необхідно виконувати варіантні техніко-економічні розрахунки СЕП кабельного заводу. Однак, трудомісткість таких розрахунків дуже висока, тому що вимагає детальних розрахунків, більш ніж у десятці варіантів, зовнішнього, внутрішнього електропостачання і принаймні живильних мереж 0,4 кВ. Дослідженнями численних авторів встановлено, що наближеною оцінкою перелічених параметрів оптимізації є певний узагальнений параметр – густина навантаження на тій території, якою передбачається прокладання ЛЕП 0,4 кВ. Ці дослідження покладено у рекомендації нормативного документа щодо вибору номінальної потужності трансформаторів ТП 10(6)/0,4 кВ.

За цими рекомендаціями, у цехах з більш, менш рівномірно розподіленим навантаженням з порівняно дрібними споживачами, допускається при визначенні одиничної потужності трансформаторів ТП 10(6)/0,4 кВ користуватися наступними критеріями при нарузі мережі живлення 0,4 кВ:

$$S_{н.т} = \begin{cases} 1000, 1600 \text{ кВА}, & \sigma \leq 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 1600 \text{ кВА}, & 0,2 < \sigma \leq 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 2500 \text{ кВА}, & \sigma > 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \end{cases} \quad (5.1)$$

На проектуваному кабельному заводі, споживачі малої (0,6 кВт) і середньої (94,7÷243,3 кВт) потужності розподілені більш, менш рівномірно за площею цехів. Це дозволяє скористатися рекомендаціями та формулою, замість

детальних техніко-економічних розрахунків. Знайдемо густину навантаження 0,4 кВ у кожному з цехів.

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2}, \text{ кВА}, \quad \sigma = \frac{S_p}{F}, \text{ кВА/м}^2, \quad (5.2)$$

де $P_p, P_{p.o}$ – активне силове та освітлювальне навантаження цеху кВт;

$Q_p, Q_{p.o}$ – його реактивні навантаження, квар;

S_p – повне розрахункове навантаження цеху з урахуванням освітлення, кВА;

F – площа цеху, визначена за генпланом кабельного заводу з урахуванням масштабу, м².

Результати розрахунків зведемо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Густина навантаження 0,4 кВ по цехам кабельного заводу

№ п/п	Найменування	Рр, кВт	Рр о, кВт	Qр, кВАр	Qр о, кВАр	Sp, кВА	F, м2	σ, кВА/м2
1	Виробництво поліетилену	2086,39	213,75	1007,01	103,52	2554,20	15000	0,17
2	Заготівельний цех	1211,93	54,34	1003,57	26,32	1632,21	4400	0,37
3	Цех каландрів	533,57	58,43	404,41	28,3	733,28	4100	0,18
4	Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)	589,7	78,97	447,08	0	804,36	5542	0,15
5	Цех навивання	1124,12	49,04	915,51	23,75	1502,84	3971	0,38
6	Експериментальний цех	535,86	17,37	409,39	8,41	693,27	1608	0,43
7	Екструдерний цех (АД з ЧПУ)	473	27,20	361,97	13,18	625,25	1909	0,33
8	Компресорна	58,99	4,61	44,24	0	77,47	768	0,10
9	Склад і магазин	55,62	11,52	45,05	5,58	84,09	1600	0,05
10	Склад стислих газів	80,14	3,00	66,18	0	106,26	416	0,26
11	Насосна другого підйому	29,79	1,37	20,84	0,67	37,86	229	0,17
12	Склад і регенерація оливи	99,52	1,36	74,64	0	125,49	189	0,66
13	Склад хімікатов	42,23	1,88	35,11	0	56,38	261	0,22
14	Паравозне депо	58,09	0,79	45,01	0	74,11	132	0,56
15	Їдальня	22,75	6,34	21,86	3,07	38,31	1056	0,04
16	Заводоуправління	48,47	9,20	36,35	4,46	70,65	852	0,08
17	Прохідна	6,22	1,82	4,67	0,88	9,77	182	0,05
18	Центральна заводська лабораторія	63,47	12,45	47,6	6,03	92,95	902	0,10
19	Гараж	38,41	2,88	38,16	0	56,22	480	0,12
20	ТЕЦ (власні потреби)	720,86	79,93	1094,6	38,71	1387,68	13321	0,10
21	Ремонтно-механічний цех	147,48	71,47	143,75	34,62	282,41	7007	0,04
22	Територія заводу	0	19,96	0	28,04	34,42	79855	0,00
	ВСЬОГО	8026,61	727,68	6267	325,54	11079,49	143780	0,08

Таблиця 5.2

Густина навантаження 6,0 кВ по цехам кабельного заводу

№ п/п	Найменування	Pp, кВт	Pp o, кВт	Qp, кВАр	Qp o, кВАр	Sp, кВА	F, м2	σ, кВА/м2
2	Заготівельний цех	1802,5	0,00	1351,88	0,00	2253,13	4400	0,51
3	Цех каландрів	1802,5	0,00	1351,88	0,00	2253,13	4100	0,55
4	Ливарний цех (УВЧ 0,4 кВ, ДСП 6 кВ)	1995	0,00	1759,42	0,00	2660,00	5542	0,48
7	Екструдерний цех (АД з ЧПУ)	296,8	0,00	222,6	0,00	371,00	1909	0,19
8	Компресорна	2100	0,00	1575	0,00	2625,00	768	3,42
11	Насосна другого підйому	2310	0,00	1732,5	0,00	2887,50	229	12,61
	ВСЬОГО	10306,8	0,00	7993,28	0,00	13049,75	16948	0,77

За підсумковим рядком табл. 5.1 в середньому по кабельному заводу густина навантаження 0,4 кВ складе

$$\sigma = \frac{S_{p\Sigma}}{\Sigma F} \quad (5.3)$$

$$\sigma = \frac{11079,49}{143780} = 0,08 \text{ кВА/м}^2.$$

На складах та в адміністративних будівлях густина навантаження на порядок менша, ніж в основних виробничих цехах: виробництво поліетилену, заготівельний, навивальний, експериментальний, екструдерний цехи. Теоретично варто було б вибрати два типорозміри трансформаторів: більшої потужності – для цехів основного виробництва, меншої – для складів та адміністративних будівель. Однак, враховуючи порівняно невелике сумарне розрахункове навантаження кабельного заводу, $\Sigma P_p + \Sigma P_{p.o} = 8754,29$ кВт, приймемо до встановлення однакові трансформатори на всіх ТП.

За формулою (5.2), виходячи із середньої густини навантаження по основним виробничим цехам заводу від $0,2 < \sigma \leq 0,5$ кВА/м², табл. 5.1, можна прийняти одиничну потужність трансформаторів ТП, що дорівнює 1600 кВА.

Мінімальна кількість трансформаторів на заводі, виходячи з їх прийнятої одиничної потужності та повної компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ, становитиме:

$$N_{\min} = \frac{P_{p,\Sigma}}{k_3 S_{н.м}} + \Delta N, \quad (5.4)$$

де $\Delta N = 0,18$ – добавка до цілого числа трансформаторів;

$P_{p,\Sigma} = 8754,29$ кВт – сумарне навантаження всіх цехів кабельного заводу на шинах 0,4 кВ цехових ТП з урахуванням освітлення цехів і території кабельного заводу;

$k_3 = 0,7$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі;

$$N_{\min} = \frac{8754,29}{0,7 \times 1600} + \Delta N = 7,82 + 0,18 = 8.$$

Таким чином, при кількості цехів, що дорівнює 21, отримуємо 4 двотрансформаторних цехових ТП. Оптимальна кількість трансформаторів ТП визначається економічними міркуваннями. Суперечливими факторами є: різниця в питомій вартості конденсаторних батарей напругою до і вище 1000 В на одиницю виробляємої реактивної потужності, зміна числа трансформаторів або їх номінальної потужності на підстанціях кабельного заводу при зміні числа та потужності компенсуючих пристроїв реактивної потужності до 1000 В, вартість втрат електроенергії, як у трансформаторах ТП, так і в ЛЕП, що їх живлять.

Поставлене завдання є багатопараметричним, а в умовах ринкової економіки, ще й багатокритеріальним. Її наближене рішення, у вигляді номограм наводиться в літературних джерелах. Для $k_3 = 0,7$, $N_{\min} = 8$ і $\Delta N = 0,18$ по номограмі [1, рис. 5.13] знайдемо добавку $m = 0$ до оптимального числа трансформаторів. Остаточно, за оптимальну кількість трансформаторів на всіх цехових ТП кабельного заводу приймаємо:

$$N_{opt} = N_{\min} + m. \quad (5.4)$$

$$N_{opt} = 8 + 0 = 8.$$

5.2. Розміщення ТП 6/0,4 кВ по цехам

За результатами розрахунків, для живлення кабельного заводу отримуємо 4 двотрансформаторні підстанції потужністю 2×1600 кВА. Кожна з ТП може бути завантажена на рівну потужність $S_{ТП} = n \times k_3 S_{н.м} = 2 \times 0,7 \times 1600 = 2240,0$ кВА.

ТП розміщуємо у цехах із найбільшим навантаженням. При виборі місця встановлення додатково враховуємо вплив навколишнього середовища цеху (табл. 1.1) на конструктивне виконання ТП. Розташування робимо так, щоб трансформатори були найбільш повно завантажені на свою номінальну потужність з урахуванням прийнятого коефіцієнта завантаження, а довжина мереж 0,4 кВ між цехами виявилася по можливості мінімальною. Прийнятий варіант розміщення цехових ТП представлений на генплані кабельного заводу.

ТП1 – виробництво поліетилену №1;

ТП2 – заготівельний цех №2;

ТП3 – цех каландрів №3;

ТП4 – ТЕЦ №20.

Розподіл споживачів по ТП і їх розміщення представлено в табл. 6.1.

У відповідності до розташування ТП на генплані кабельного заводу, доцільно здійснити електропостачання ТП1, ТП2, ТП3 за схемою подвійної наскрізної магістралі. Для ТП4, розташованої в іншому напрямку від ГПП, більше підходить блокова радіальна дволанцюгова схема живлення.

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ШИНАХ 0,4 кВ ЦЕХОВИХ ТП І УТОЧНЕННЯ ЇХ НАВАНТАЖЕННЯ

При виборі числа і потужності трансформаторів одночасно вирішуємо питання вибору компенсуючих пристроїв в мережах до 1000 В.

Найбільша реактивна потужність, яку доцільно передавати через трансформатори ТП в мережу напругою до 1000, визначається співвідношенням:

$$Q_{\max} = \sqrt{(nk_3 S_{н.т})^2 - P_p^2}, \quad (6.1)$$

де $n = 2$ – число трансформаторів на ТП;

$k_3 = 0,7$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі;

$S_{н.т}$ – номінальна потужність трансформаторів, що встановлені на ТП;

P_p – розрахункове активне навантаження ТП на шинах 0,4 кВ.

$$Q_{\max} = \sqrt{(2 \times 0,7 \times 1600)^2 - 2086,39^2} = 815,22 \text{ квар.}$$

Наведено чисельні значення для ТП1.

$$Q_{\text{нк1}} = Q_p - Q_{\max}, \quad (6.2)$$

$$Q_{\text{нк1}} = 1007,01 - 815,22 = 191,79 \text{ квар.}$$

Додаткова потужність компенсуючих пристроїв 0,4 кВ, що окупається за рахунок зниженням втрат у трансформаторах ТП і живильних лініях напругою понад 1000 В за рекомендаціями [1] може бути визначена за формулою:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_p - Q_{\text{нк1}} - \gamma S_{\text{н.м}}, \quad (6.3)$$

де $\gamma = f(K_{p1}, K_{p2})$ – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від двох

$K_{p1} = \frac{Z_{\text{нк}} - Z_{\text{вк}}}{C_n} 10^3$ і $K_{p2} = \frac{LS_{\text{н.м}}}{F}$ розрахункових параметрів;

$$Q_{\text{нк2}} = 1007,01 - 191,79 - 0,35 \times 2 \times 1600 = -304,78 \text{ квар,}$$

$Z_{\text{нк}}, Z_{\text{вк}}$ – питомі вартості низьковольтних і високовольтних компенсуючих пристроїв на квар реактивної потужності, що виробляється;

C_n – розрахункова вартість втрат, грн/кВт (тільки для розрахунку компенсуючих пристроїв);

L, F – протяжність і переріз живильної лінії для ТП.

Для практичних розрахунків коефіцієнти K_{p1} , K_{p2} можна приймати за таблицями, наведеними в довідниковій літературі. Для тризмінних підприємств маємо $K_{p1} = 12$. Для $S_{\text{н.м}} = 1600$ кВА і протяжності магістральної ЛЕП L до 0,5 км, маємо $K_{p2} = 3$. Для напруги живильної ЛЕП 6 кВ, при магістральній схемі живлення ТП1 отримаємо $\gamma = 0,35$.

Якщо значення $Q_{\text{нк2}}$ виявиться позитивним, цю потужність слід встановити на ТП1 додатково до $Q_{\text{нк1}}$. Інакше слід прийняти $Q_{\text{нк2}} = 0$ квар.

Остаточо, приймаємо до встановлення на ТП1 одну конденсаторну установку КРМ-0,4-200-15 УЗ на 200 квар.

$$Q_{\text{нк}} = Q_{\text{нк1}} + Q_{\text{нк2}}, \quad (6.4)$$

$$Q_{\text{нк}} = 191,79 + 0,0 = 191,79 \approx 1 \times 200 = 200 \text{ квар.}$$

За незкомпенсованим реактивним навантаженням та розрахунковою активною потужністю ТП1, перевіряємо фактичний коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$k_3 = \frac{\sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{нк})^2}}{nS_{н.м}} \quad (6.5)$$

$$k_3 = \frac{\sqrt{2086,39^2 + (1007,01 - 1 \times 200)^2}}{2 \times 1600} = 0,7.$$

Для інших ТП розрахунки виконуємо аналогічно, результати зводимо в табл. 6.1, з тією різницею, що коефіцієнт $\gamma = 0,45$ для ТП4 визначаємо для радіальних схем живлення ТП.

Таблиця 6.1

Розподіл навантаження між цеховими ТП кабельного заводу

№ ТП	№ цеха	Найменування	Рр, кВт	Qр, кВАр	Qнк, кВАр	Qнк, кВАр	Qр-Qнк, кВАр	пхSнм, кВАр	kз
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП напругою 6/0,4 кВ									
1	1	Виробництво поліетилену	2086,39	1007,01					
		ВСЬОГО ТП2	2086,39	1007,01	191,79	1x200	807,01	2x1600	0,70
2	2	Заготівельний цех	1211,93	1003,57					
	4	Ливарний цех	589,70	447,08					
	10	Склад стислих газів	80,14	66,18					
	11	Насосна другого підйому	27,79	20,84					
	15	Їдальня	22,75	21,86					
	16	Заводоуправління	48,47	36,35					
	17	Прохідна	6,22	4,67					
		ВСЬОГО ТП3	1987,00	1600,55	566,42	1x600	1000,55	2x1600	0,70
3	3	Цех каландрів	533,57	404,41					
	6	Експериментальний цех	535,86	409,39					
	7	Екструдерний цех	473,00	361,97					
	9	Склад і магазин	55,62	45,05					
	12	Склад и регенерація масел	99,52	74,64					
	13	Склад хімікатів	42,23	35,11					
	18	Центральна заводська лабораторія	63,47	47,60					
	19	Гараж	38,41	38,16					
		ВСЬОГО ТП1	1841,68	1416,33	134,24	1x150	1266,33	2x1600	0,70
4	20	ТЕЦ (власні потреби)	720,86	1094,60					
	5	Цех навивання	1124,12	915,51					
	8	Компресорна	58,99	44,24					
	14	Паровозне депо	58,09	45,01					
	21	Ремонтно-механічний цех	147,48	143,75					
		ВСЬОГО ТП4	2109,54	2243,11	1489,82	2x525 + 1x450	743,11	2x1600	0,70

7. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ НА ШИНАХ НИЗЬКОЇ НАРУГИ ГПП

Схема електропостачання для розрахунку електричних навантажень на шинах 10(6) кВ, представлена на рис. 7.1.

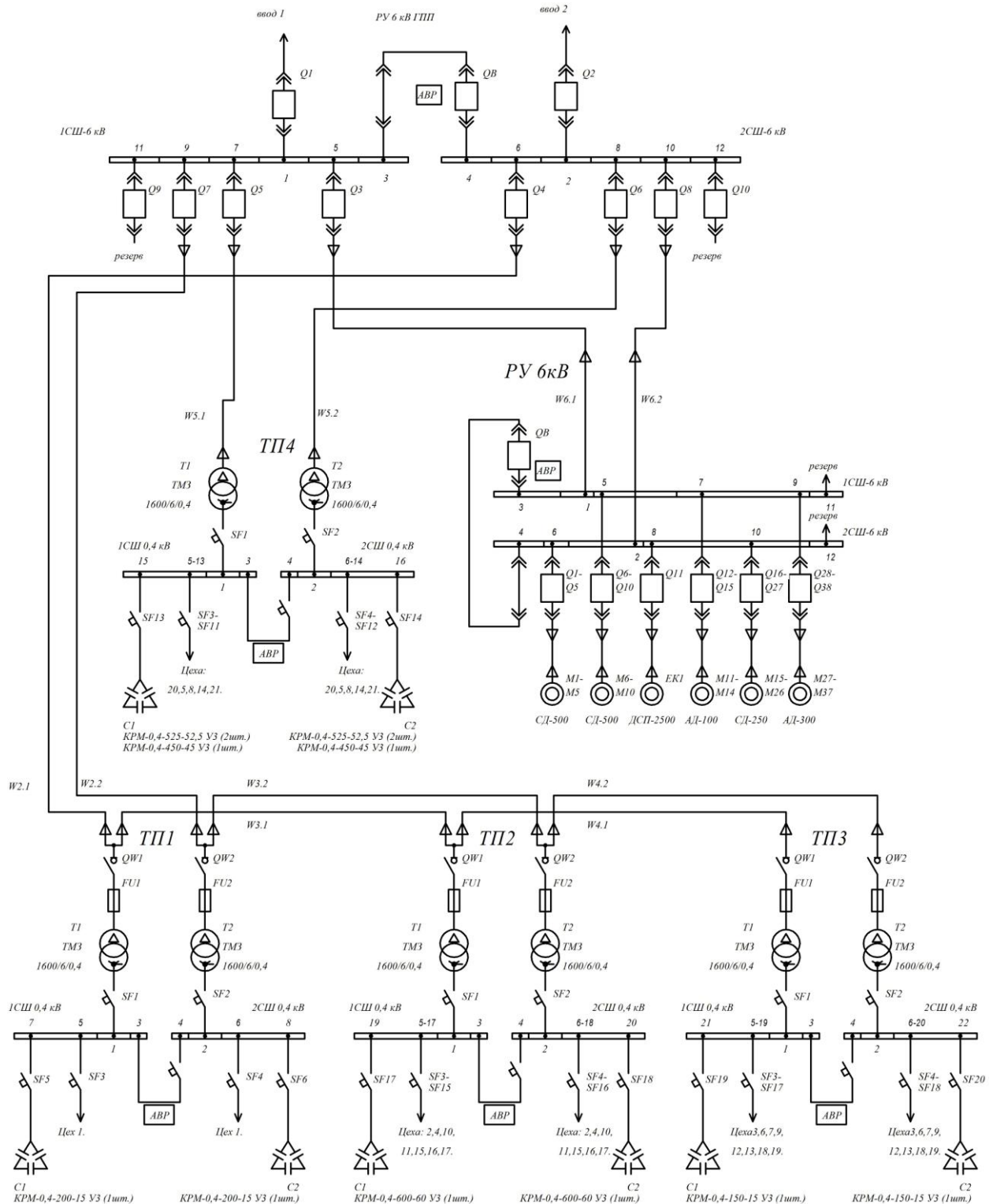


Рис. 7.1. Схема внутрішнього електропостачання кабельного заводу до розрахунку навантажень напругою понад 1 кВ

7.1. Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП

Знайдемо втрати потужності у трансформаторах ТП. Наприклад, для ТП1 отримаємо. На підстанції встановлено $n = 2$ трансформатори типу ТМЗ-1600/6/0,4 з номінальними параметрами: $S_{н.м} = 1600$ кВА, $P_x = 2,65$ кВт, $P_k = 16,5$ кВт, $u_k \% = 6\%$, $I_x \% = 1\%$.

Повне розрахункове навантаження ТП1 на шини 0,4 кВ з урахуванням освітлення та компенсації реактивної потужності складе:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{нк})^2}, \quad (7.1)$$

де $P_p = 2086,39$ кВт, $(Q_p - Q_{нк}) = 807,01$ квар – активне незкомпенсоване реактивне навантаження ТП1.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$k_3 = \frac{S_p}{nS_{н.м}} = \frac{2237,03}{2 \times 1600} = 0,70.$$

Вважаючи, що трансформатори ТП завантажені рівномірно, знайдемо втрати потужності у них за формулами:

$$\Delta P = n(P_x + P_k k_3^2), \quad (7.2)$$

$$\Delta Q = nS_{н.м} \left(\frac{I_x \%}{100} + \frac{u_k \%}{100} k_3^2 \right). \quad (7.3)$$

$$\Delta P = 2 \times (2,65 + 16,5 \times 0,70^2) = 21,47 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = 2 \times 1600 \times \left(\frac{1}{100} + \frac{6}{100} \times 0,70^2 \right) = 126,08 \text{ квар}.$$

Для решти ТП розрахунки виконуємо аналогічно. Результати зводимо до табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП

№ ТП	Тип тр-ра	n	S _{н.м} , кВА	P _x , кВт	P _k , кВт	U _k %	I _x %	S _p , кВА	k ₃	ΔP, кВт	ΔQ, квар
1	ТМЗ-1600/6/0,4	2	1600	2,65	16,5	6	1	2237,03	0,70	21,47	126,08
2	ТМЗ-1600/6/0,4	2	1600	2,65	16,5	6	1	2224,70	0,70	21,47	126,08
3	ТМЗ-1600/6/0,4	2	1600	2,65	16,5	6	1	2235,03	0,70	21,47	126,08
4	ТМЗ-1600/6/0,4	2	1600	2,65	16,5	6	1	2236,60	0,70	21,47	126,08
	ВСЬОГО									85,88	504,32

7.2. Баланс реактивної потужності. Компенсуючі пристрої реактивної потужності вище 1000 В

Для розрахунку компенсуючих пристроїв напругою понад 1000 В необхідно знати втрати потужності в трансформаторах ГПП. Трансформатори ГПП ще не вибрані, тому знайдемо втрати потужності в трансформаторах ГПП приблизно, за очікуваними втратами у трансформаторах вітчизняного виробництва (табл. 7.2).

Сумарне активне навантаження 0,4 кВ у цехах становить $P_{p,0,4} = 8575,95$ кВт. Навантаження 6 кВ (цех 2,3,4,7,8,11) $P_{p,6} = 10306,8$ кВт. Розрахункова потужність освітлення заводу $P_{p,o} = 727,68$ кВт. Втрати потужності у трансформаторах ТП $\Delta P = 85,88$ кВт.

Приблизно, без урахування вирівнювання графіків навантажень на ГПП, активне навантаження на ГПП може бути визначено алгебраїчним підсумуванням $P_{p\Sigma} \approx P_{p,0,4} + P_{p,6} + P_{p,o} + \Delta P = 8575,95 + 10306,8 + 727,68 + 85,88 = 19696,31$ кВт. За реактивне навантаження на ГПП приймемо потужність енергосистеми ($\cos\varphi = 0,95$) $Q_{p\Sigma} \approx Q_e = 6473,86$ квар.

Таблиця 7.2

Очікувані в середньому відносні втрати потужності в трансформаторах ГПП для трансформаторів вітчизняного виробництва щодо розрахункового навантаження трансформаторів

Номинальна напруга трансформатора, кВ	Активні втрати $\Delta P/S_p$, % при коефіцієнті завантаження					Реактивні втрати $\Delta Q/S_p$, % при коефіцієнті завантаження				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
35	0,85	0,88	0,94	1,00	1,07	5,95	6,27	6,70	7,20	7,75
110	0,72	0,72	0,73	0,76	0,80	7,91	8,52	9,25	10,07	10,93
220	0,31	0,31	0,32	0,33	0,35	6,44	7,38	8,37	9,38	10,42
В середньому	0,62	0,64	0,66	0,70	0,74	6,77	7,39	8,11	8,88	9,70

Очікувані втрати активної потужності у трансформаторах ГПП становитимуть:

$$\Delta P_{ГПП} \approx \frac{\Delta P\%}{100} \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}, \quad (7.4)$$

$$\Delta P_{ГПП} \approx \frac{0,66}{100} \times \sqrt{19696,31^2 + 6473,86^2} = 136,84 \text{ кВт.}$$

Очікувані втрати реактивної потужності у трансформаторах ГПП становитимуть:

$$\Delta Q_{ГПП} \approx \frac{\Delta Q\%}{100} \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}, \quad (7.5)$$

$$\Delta Q_{ГПП} \approx \frac{8,11}{100} \times \sqrt{19696,31^2 + 6473,86^2} = 1681,44 \text{ квар,}$$

де $\Delta P\% = 0,66\%$, $\Delta Q\% = 8,11\%$ – середнє значення очікуваних активних, реактивних втрат у трансформаторах 35÷220 кВ за коефіцієнта завантаження 0,7 щодо розрахункової потужності навантаження (табл. 7.2).

Тепер можна скласти баланс реактивної потужності і знайти потужність компенсуючих пристроїв напругою понад 1000 В.

Витратна частина балансу реактивного навантаження складається із споживачів:

- навантаження силових та освітлювальних приймачів електроенергії напругою 0,4 кВ $Q_p = 7038,08 + 325,52 = 7363,6$ квар);
- втрати у трансформаторах цехових ТП $\Delta Q = 504,32$ квар;
- очікувані втрати у трансформаторах ГПП $\Delta Q_{ГПП} = 1681,44$ квар;
- навантаження високовольтних асинхронних електродвигунів, $Q_{p\delta} = (4 \times 100 + 11 \times 300) \times \text{tg} 0,8 = 2775$ квар.

Джерелами реактивної потужності є:

- підстанція енергосистеми $Q_s = 6473,86$ квар $\text{tan} \varphi$ від потужності системи;
- батареї статичних конденсаторів, напругою 0,4 кВ $Q_{нк} = 2500$ квар на цехових шинах ТП.

В якості компенсуючих пристроїв напругою понад 1000 В можна застосувати:

- синхронні електродвигуни (цехи 2,3,8),
- батареї статичних конденсаторів, напругою 10(6) кВ на ГПП.

Можливості генерації реактивної потужності при перезбудженні синхронних двигунів (СД) залежать від конструкції електродвигунів та їх

завантаження по валу (за активною потужністю). Чим вище синхронна частота обертання n_0 СД і менший їх коефіцієнт завантаження β , тим вище можливості СД в якості компенсаторів. У будь-якому випадку, струм статора СД не повинен перевищувати номінальний.

СД з будь-яким (близьким до одиниці $\beta \approx 1,0$) завантаженням валу, і будь-якою частотою обертання n_0 здатний віддати в мережу номінальну реактивну потужність з випереджаючим коефіцієнтом потужності, рівну:

$$Q_{CD} = Q_n = \sum \beta P_n \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (7.6)$$

де $P_n, \operatorname{tg} \varphi_n$ – номінальна потужність та номінальний коефіцієнт реактивної потужності СД.

Якщо, номінальна потужність СД не менше 1000 кВт, а швидкість обертання СД більше $n_0 > 375$ об/хв, його коефіцієнт завантаження $\beta < 1,0$, то з'являється додаткова можливість використовувати СД з більшою, так званою, наявною реактивною потужністю:

$$Q_{CD} = \sum \alpha P_n \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (7.7)$$

де $\alpha = f(\beta, U^*)$ – коефіцієнт перевантажувальної здатності СД щодо реактивної потужності;

$U^* = U/U_n$ – фактична відносна напруга на затискачах СД.

У спрощеному вигляді, у припущенні номінальної напруги на затискачах СД $U^* = U/U_n = 1$, незалежно від типу СД, залежність наводиться у вигляді номограм. Більш точні рекомендації щодо використання СД як компенсатора реактивної потужності, наведені у спеціальній літературі.

На проєктованому заводі, в цехах (2,3) СД потужністю 500 кВт, а в цеху 8 СД потужністю 250 кВт. Їхню реактивну потужність, яку вони можуть віддати в мережу, визначимо за формулою (7.6):

$$Q_{CD} = 2 \times (5 \times 0,7 \times 500 \times 0,75) + (12 \times 0,7 \times 250 \times 0,75) = 4200 \text{ квар},$$

де $\beta \approx k_g = 0,7$ – коефіцієнт завантаження СД, прийнятий рівним його коефіцієнту використання;

$tg\varphi_n = 0,75$ – відповідає номінальному коефіцієнту активної потужності
 $\cos\varphi = 0,8$.

З балансу реактивної потужності знайдемо необхідну потужність високовольтних батарей статичних конденсаторів:

$$Q_{\text{вк}} = Q_p + Q_{\text{АД}} + \Delta Q + \Delta Q_{\text{ГПП}} - Q_{\text{э}} - Q_{\text{нк}} - Q_{\text{СД}}, \quad (7.8)$$

$$Q_{\text{вк}} = 7363,6 + 504,32 + 1681,44 + 2775 - 6473,86 - 2500 - 4200 = -849,5 \text{квар}.$$

Оскільки, розрахункова потужність високовольтних батарей статичних конденсаторів виявилася негативною це означає, що підтримки балансу реактивної потужності існуючих засобів компенсації достатньо.

Уточнимо режим роботи СД, їх необхідну реактивну потужність, з метою забезпечення договірної потужності з енергосистеми $Q_e = 4376$ квар

$$Q_{\text{СД}} = Q_p + Q_{\text{АД}} + \Delta Q + \Delta Q_{\text{ГПП}} - Q_e - Q_{\text{нк}}, \quad (7.9)$$

$$Q_{\text{СД}} = 7363,6 + 504,32 + 1681,44 + 2775 - 6473,86 - 2500 = 3350,5 \text{квар}.$$

7.3. Визначення сумарного навантаження на шинах низької напруги ГПП

Розрахунок електричних навантажень у мережах напругою понад 1 кВ проводиться загалом аналогічно до розрахунку навантажень цехів. Результати розрахунку заносяться у табличну форму (табл. 7.3) з урахуванням наступних особливостей:

1) Розрахункові навантаження цехових трансформаторних підстанцій (з урахуванням освітлювального навантаження, втрат у трансформаторах та вибраних засобів КРМ заносяться до граф 7 та 8.

2) При отриманні від технологів коефіцієнтів, що характеризують реальне завантаження високовольтних електродвигунів, до графі 5 заноситься замість $K_{\text{э}}$ значення β , до графі 7 – значення βP_n .

3) За прийнятою схемою (рис. 7.1) електропостачання визначається кількість приєднань 6 кВ на збірних шинах РП, ГПП (графа 2 підсумкового рядка). Резервні ЕП не враховуються.

4) Ефективна кількість електроприймачів не визначається і графи 9 та 10 не заповнюються.

5) Залежно від числа приєднань на одну секцію та групового коефіцієнта використання $K_{\epsilon} = \sum K_{\epsilon} P_n / \sum P_n = 0,6$, занесеного до граfi 5 підсумкового рядка, за таблицями довідниковим матеріалів визначається значення коефіцієнта одночасності K_o максимумів навантаження приєднань різнорідних споживачів. Значення $K_o = 1,0$ заноситься до граfi 11 (замість K_p).

б) Розрахункова потужність на шинах НН ГПП (графи 12 - 14) визначається за виразами:

$$P_p = K_o \sum K_{\epsilon} P_n ; Q_p = K_o \sum K_{\epsilon} P_n \operatorname{tg} \varphi = P_p \operatorname{tg} \varphi ; S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (7.10)$$

$$P_p = 1,0 \times 0,6 \times 32796,5 = 19696,3 \text{ кВт}; Q_p = 19696,3 \times 0,51 = 10010,7 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{19696,3^2 + 10010,7^2} = 22094,3 \text{ кВА}.$$

Розрахунковий струм (графа 15) визначаємо виходячи з передбачуваної напруги на шинах НН ГПП $U_n = 6 \text{ кВ}$.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} \quad (7.11)$$

$$I_p = \frac{22094,3}{\sqrt{3} \times 6} = 2126 \text{ А}.$$

Таблиця 7.3

Розрахунок навантаження на шинах НН – 6 кВ ГПП

Вихідні дані				за довідниковими даними		Розрахункові величини			Ефективне число ЕП	Коефіцієнт розрахункового навантаження	Розрахункові навантаження			Розрахунковий струм, А
згідно даних технологів				коефіцієнт використання	коефіцієнт реактивної потужності	активна, кВт $\sum P_{нкв}$	реактивна, квар $\sum Q_{нкв} \text{ tg } \varphi$	pRn^2			активне, кВт	реактивне, квар	повне, кВА	
Найменування ЕП	Кількість n	Номинальна (установлена) потужність, кВт												
		одного ЕП, рн	загальна, P_n											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Силів навантаження на шинах 0,4 кВ ТП1-ТП4 (6/0,4 кВ)	8		17694	0,48	0,77	8575,95	7038,08							
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ							-2500							
Освітлення заводу			902,47	0,81	0,91	727,68	325,52							
РУ 6 кВ з урахуванням $Q_{сд}$	2		14200	0,7	0,8	10306,8	4642,77							
Втрати у трансформаторах ТП1-ТП4						85,88	504,32							
Всього на шинах 6 кВ ГПП	10		32796,5	0,60	0,89	19696,3	10010,7			1	19696,3	10010,7	22094,3	2126,0

8. НАБЛИЖЕНИЙ ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕП ЗАВОДУ

8.1. Наближена економічно вигідна напруга зовнішнього електропостачання

Вибір напруги зовнішнього електропостачання ліній, що живлять ГПП, може бути визначена за формулою Іларіонова:

$$U_{\text{ек}} = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P_p}}, \quad (8.1)$$

де L – довжина лінії, км; P_p – потужність, що передається по одній лінії ЛЕП, МВт.

Формула (8.1) дає наближене рішення. Тоді підставимо в чкості розрахунком потужності P_p приблизне значення потужності, що передається по ЛЕП – розрахункове навантаження на шинах НН ГПП без урахування втрат потужності в трансформаторах ГПП.

$$U_{\text{ек}} \approx \frac{1000}{\sqrt{500/19,2 + 2500/(19,7/2)}} = 59,78 \text{ кВ.}$$

Знайдене значення економічно вигідної напруги зовнішнього електропостачання лежить між стандартними напругами 110 і 35 кВ. Відрізняється від стандартної напруги 220 кВ на 54,3%, і на 41,5% – від стандартної напруги 35 кВ. В подальших розрахунках будемо орієнтуватися на ці стандартні напруги зовнішнього електропостачання.

8.2. Вибір трансформаторів на ГПП по технічним умовам

При напрузі зовнішнього електропостачання кабельного заводу 35 кВ необхідно передбачити будівництво ГПП 35/6 кВ.

Повне розрахункове навантаження ГПП на шинах НН складає $S_p = 22094,3$ кВА.

Передбачуємо до установки на ГПП двох масляних трансформаторів, напругою 35 кВ, для яких в післяаварійносу режимі допускається їх

перевантаження на 40% понад номінального на 12 годин максимуму навантаження на протязі 5 діб підряд. Для кабельного заводу з двузмінним режимом роботи, вказані перевантаження являються достатніми для нормального продовження роботи на час заміни трансформатора, що вийшов з ладу. Номінальна потужність трансформаторів має бути не менше:

$$S_{н.т} \geq \frac{S_p}{k_{з.а}}, \quad (8.2)$$

де $k_{з.а} = 1,3$ – коефіцієнт завантаження після аварійного режиму з урахуванням допустимого перевантаження.

$$S_{н.т} = \frac{22094,3}{1,4} = 15781,6 \text{ кВА.}$$

Приймаємо до установки трансформатори типу ТДНС-16000/35. Номінальні параметри трансформаторів представлені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Номінальні параметри трансформаторів ГПП

Тип трансформатора	Номінальна потужність, кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %	Схема і група з'єднань обмоток	Ціна, грн. т. грн.
		ВН	НН	ХХ	КЗ				
ТДНС-16000/35	16000	36,75	6,3	11,5	60	8	0,75	Ун/Д-11	8250

8.3. Вибір повітряної лінії 110/35

Визначаємо економічний переріз кабелю

$$q_{ек} = \frac{S}{\sqrt{3} * U_H * 1,1}, \quad (8.3)$$

Де S – повна потужність, що проходить даний кабель;

U – напруга на цьому кабелі ;

1,1 – економічна густина струму.

Для лінії W1 визначаємо:

Варіант №1 (110 кВ)

$$q_{ек} = \frac{22094,3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 1,1} = 105,42 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо провід АС 95/16 $I_{\text{доп}} = 330 \text{ А}$ [1].

Перевірка струмом після аварійного режиму (у випадку відмови однієї лінії):

$$I_{\text{роб,мак,ВН}} = \frac{\cdot 22094,3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 116 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = 330 \text{ А} > I_{\text{роб,мак,ВН}} = 116 \text{ А}$$

Перевіряємо кабель по допустимій втраті напруги.

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{0,5 \cdot P_p \cdot L \cdot r_0 + 0,5 \cdot Q_p \cdot L \cdot x_0}{U_n^2} \times 100\%; \quad (8.4)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = \left(\frac{0,5 \cdot 19696,3 \cdot 19,2 \cdot 0,35 + 0,5 \cdot 10010,7 \cdot 19,2 \cdot 0,23}{110^2 \cdot 1000} \right) \times 100\% = 0,73\%;$$

Варіант №2 (35 кВ)

$$q_{\text{ек}} = \frac{22094,3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,1} = 331,33 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо провід АС 330/27 $I_{\text{доп}} = 730 \text{ А}$ [1].

Перевірка струмом після аварійного режиму (у випадку відмови однієї лінії):

$$I_{\text{роб,мак,ВН}} = \frac{\cdot 22094,3}{\sqrt{3} \cdot 35} = 364,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = 730 \text{ А} > I_{\text{роб,мак,ВН}} = 364,5 \text{ А}.$$

Перевіряємо кабель по допустимій втраті напруги.

$$\Delta U_{\text{доп}} = \left(\frac{0,5 \cdot 19696,3 \cdot 19,2 \cdot 0,18 + 0,5 \cdot 10010,7 \cdot 19,2 \cdot 0,21}{35^2 \cdot 1000} \right) \times 100\% = 4,4\%;$$

Таблиця 8.2

Вибір перерізу проводів повітряної лінії

Розрахункові дані	Каталожні дані	Умови вибору
Варіант №1		
$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = U_{\text{ном}}$
$I_{\text{роб,мак,ВН}} = 116 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} = 330 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} > I_{\text{роб,мак,ВН}}$
Варіант №2		
$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = U_{\text{ном}}$
$I_{\text{роб,мак,ВН}} = 364,5 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} = 730 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} > I_{\text{роб,мак,ВН}}$

8.4. Вибір перерізів і марок кабелів внутрішнього електропостачання напругою 6 кВ

Знайдемо розрахункові навантаження ТП із боку ВН. Вихідними даними при цьому є навантаження ТП на шинах 0,4 кВ. Причому, розрахункову реактивну потужність приймаємо з урахуванням обраних пристроїв компенсації та втрат потужності в трансформаторах ТП. Наприклад, для ТП1 одержимо

$$P_{p.вн} = 2086,39 + 21,47 = 2107,86 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.вн} = 807,01 + 126,08 = 933,09 \text{ квар}.$$

Для інших ТП розрахунки виконуємо аналогічно. Для РУ 6 кВ вихідні дані беремо з табл. 3.2. Отримані результати заносимо в табл. 8.3.

Таблиця 8.3.

Розрахункові навантаження цехових ТП із боку ВН трансформаторів і

РУ 6 кВ

№ лінії	№ ТП	P_p , кВт	$Q_p - Q_{нк}$, квар	Число і тип трансформаторів	ΔP , кВт	ΔQ , квар	$P_{p.вн}$, кВт	$Q_{p.вн}$, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
W2	ТП1	2086,39	807,01	ТМЗ-1600/6/0,4	21,47	126,08	2107,86	933,09
W3	ТП2	1987	1000,55	ТМЗ-1600/6/0,4	21,47	126,08	2008,47	1126,63
W4	ТП3	1841,68	1266,33	ТМЗ-1600/6/0,4	21,47	126,08	1863,15	1392,41
W29	ТП4	2109,54	743,11	ТМЗ-1600/6/0,4	21,47	126,08	2131,01	869,19
W6	РУ №1 СД 6 кВ	2100	1575				2100	1575
W7	РУ №2 СД 6 кВ	1802,5	1351,88				1802,5	1351,88
W8	РУ №3 АД 6 кВ	296,8	222,6				296,8	222,6
W9	РУ №4 ДСП 6 кВ	1995	1759,42				1995	1759,42
W10	РУ №5 СД 6 кВ	1802,5	1351,88				1802,5	1351,88
W11	РУ №6 АД 6 кВ	2310	1735,5				2310	1735,5

Струм нормального режиму W2:

$$I_p = \frac{S_p}{n_y \sqrt{3} U_n}, \quad (8.5)$$

де $n_y = 2$ – число ланцюгів W2.

$$I_p = \frac{\sqrt{2107,86^2 + 933,09^2}}{2 \times \sqrt{3} \times 6} = 110,9 \text{ А}.$$

Максимальний розрахунковий струм післяаварійного режиму:

$$I_{p.a} = \frac{S_p}{(n_y - 1)\sqrt{3}U_n}, \quad (8.6)$$

$$I_{p.a} = \frac{\sqrt{2107,86^2 + 933,09^2}}{(2-1) \times \sqrt{3} \times 6} = 221,8 \text{ А.}$$

Економічно доцільний переріз:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e}, \quad (8.7)$$

$$F_e = \frac{221,8}{1,4} = 158,44 \text{ мм}^2,$$

де $j_e = 1,4 \text{ А/мм}^2$ економічна щільність струму для кабелів з алюмінієвими жилами із ізоляцією зі зшитого поліетилену для $T_m = 3000$ год [2, табл. 2.1].

Вибір перерізів кабелів слід виконувати виходячи із допустимого нагрівання провідника розрахунковим струмом післяаварійного режиму після виводу одного з ланцюгів дволанцюгової лінії: $I_{\text{дон}} k_a \geq k_e I_{p \text{ max}}$,

де $I_{\text{дон}}$ – допустимий струм для провідника заданого перерізу при обраному перерізі жил кабелю й прийнятому матеріалі ізоляції жил;

I_p – розрахунковий струм у лінії;

$k_e = 1$ – для приміщень із нормальним середовищем; $k_e = 1,25$ – у вибухонебезпечних зонах;

k_a – коефіцієнт перевантаження кабелів на час ліквідації аварії протягом 6 годин на добу на протязі 5 діб підряд, для кабелів до 10 кВ включно з ізоляцією зі зшитого поліетилену $k_a = 1,3$ [2].

1 Вибираємо кабель марки АПвЕгП (3×150) з найближчим до F_e перерізом, що задовільняє умові нагрівання в нормальному й максимальному післяаварійном режимі. Для цього кабелю допустимий струм при прокладці в землі дорівнює $I_{\text{дон}} = 300 \text{ А}$. Для кабелів, що прокладаються у траншеї поруч, знижувальний коефіцієнт $k_{cn} = 0,84$ [1]. Умова допустимості нагрівання максимальним робочим струмом виконується:

$$I_{\text{дон}}k_a = 300 \cdot 1,3 = 390 \geq k_6 I_{pa} = 221,8 \text{ A.}$$

Питомі опори кабелю $r_0=0,276$ Ом/км, $x_0=0,176$ Ом/км приймаємо за довідниковими даними. При довжині кабельної траси $L=0,137$ км опори одного ланцюга рівні

$$r = r_0 L = 0,276 \times 0,137 = 0,038 \text{ Ом}, \quad x = x_0 L = 0,176 \times 0,137 = 0,024 \text{ Ом.}$$

Втрати напруги в лінії в нормальному режимі рівні

$$\Delta U = \frac{rP_p + xQ_p}{n_{\text{ц}} U_n^2} \times 100\%, \quad (8.8)$$

$$\Delta U = \frac{0,038 \times 2,107 + 0,024 \times 0,933}{2 \times 6^2} \times 100\% = 1,42\% < \Delta U_{\text{дон}} = 5\%$$

що значно менше за допустимі втрати напруги.

Для інших ЛЕП 6 кВ перерізи вибираємо аналогічно. Результати вибору заносимо в табл. 8.4.

8.5. Вибір кабелів напругою до 1 кВ поза корпусами

Як видно з генплану, деякі цехи заживлені від ТП за допомогою кабелів напругою 0,4 кВ, прокладених поза корпусами, при цьому можуть застосовуватися як радіальні, так і магістральні кабельні мережі. Умовно, приймаємо, що у цеху, у якому встановлено ТП, у центрі електричних навантажень розташований силовий пункт (СП) цеху. Електричний зв'язок між СП цеху та ТП здійснюється за допомогою кабельної лінії, їх кількість категорією надійності електропостачання цеху.

Для кожної кабельної лінії до споживачів першої та другої категорії вибираємо щонайменше два кабелі, найбільший робочий струм для кожної лінії розраховується з урахуванням ремонту одного з кабелів. Для ліній, якими живляться споживачі третьої категорії, можна обмежитися прокладкою одного кабелю. Вибір перерізу кабелю та їх кількості виконуємо за нагріванням, вибираємо чотирижильні кабелі з прокладкою в траншеї та по стінах на скобах.

Розрахунки виконуємо за аналогією до пункту 8.4. Результати розрахунків заносимо до табл. 8.5.

Таблиця 8.4

Вибір кабелів на напругу 6 кВ

ЛЕП	Початок	Кінець	Спосіб прокладки	Довжина, км	Pp, кВт	Qp, квар	Ip, А	Ip.a, А	Fe, мм ²	Марка	Iдоп, А	каIдоп, А	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
W2	ГПП	ТП1	в траншеї	0,137	2107,86	933,09	110,91	221,81	158,44	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,14
W3	ГПП	ТП2	в траншеї	0,224	2008,47	1126,63	110,80	221,59	158,28	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,23
W4	ГПП	ТП3	в траншеї	0,39	1863,15	1392,41	111,91	223,82	159,87	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,41
W29	ТЭЦ	ТП4	в траншеї	0,076	2131,01	869,19	110,73	221,46	158,18	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,08
W5	ГПП	ТЕЦ	в траншеї	0,453	2131,01	869,19	110,73	221,46	158,18	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,47
W6	ГПП	РУ №1	в траншеї	0,356	2100	1575	126,30	252,59	180,42	АПВЕРП(3х185)	340	442,0	0,222	0,172	0,36
W7	ГПП	РУ №2	в траншеї	0,275	1802,5	1351,88	108,40	216,81	154,86	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,28
W8	ГПП	РУ №3	в траншеї	0,156	296,8	222,6	17,85	35,70	25,50	АПВЕРП(3х25)	105	136,5	1,550	0,230	0,11
W9	ГПП	РУ №4	в траншеї	0,408	1995	1759,42	127,98	255,96	182,83	АПВЕРП(3х185)	340	442,0	0,222	0,172	0,42
W10	ГПП	РУ №5	в траншеї	0,587	1802,5	1351,88	108,40	216,81	154,86	АПВЕРП(3х150)	300	390,0	0,276	0,176	0,60
W11	ГПП	РУ №6	в траншеї	0,61	2310	1735,5	139,01	278,02	198,59	АПВЕРП(3х185)	340	442,0	0,222	0,172	0,69

Таблиця 8.5

Вибір кабелів напругою до 1 кВ поза корпусами

ЛЕП	Поча-ток	Кінець	Спосіб прокладки	Довжина, км	Pp, кВт	Qp, квар	Ip, А	Ip.a, А	Fe, мм2	Марка	Ідоп, А	каІдоп, А	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
W12	ТП 3	Цех 4	відкрито	0,134	589,7	447,08	213,62	267	190,7	5хАПВВГ(4х185)	260	338	0,222	0,172	3,48
W13	ТП 3	Цех 10	відкрито	0,126	80,14	66,18	75,01	150	107,2	2хАПВВГ(4х95)	165	214,5	0,414	0,193	1,81
W14	ТП 3	Цех 11	відкрито	0,169	27,79	20,84	25,07	50,14	35,81	2хАПВВГ(4х35)	95	123,5	1,12	0,214	1,88
W15	ТП 3	Цех 15	відкрито	0,033	22,75	21,86	22,77	45,54	32,53	2хАПВВГ(4х35)	95	123,5	1,12	0,214	0,31
W16	ТП 3	Цех 16	відкрито	0,06	48,47	36,35	43,72	87,45	62,46	2хАПВВГ(4х50)	110	143	0,825	0,208	0,89
W17	ТП 3	Цех 17	відкрито	0,127	6,22	4,67	5,61	11,23	8,02	2хАПВВГ(4х35)	95	123,5	1,12	0,214	0,32
W18	ТП 1	Цех 7	відкрито	0,039	473	361,97	214,92	286,6	204,7	4хАПВВГ(4х185)	260	338	0,222	0,172	1,02
W19	ТП 1	Цех 18	відкрито	0,181	63,47	47,6	57,26	114,5	81,79	2хАПВВГ(4х70)	140	182	0,57	0,199	2,58
W20	ТП 1	Цех 19	відкрито	0,131	38,41	38,16	39,07	78,15	55,82	2хАПВВГ(4х50)	110	143	0,825	0,208	1,62
W21	ТП 1	Цех 6	відкрито	0,087	535,86	409,39	194,67	243,3	173,8	5хАПВВГ(4х185)	260	338	0,222	0,172	2,06
W22	ТП 1	Цех 9	відкрито	0,142	55,62	45,05	51,66	103,3	73,79	2хАПВВГ(4х70)	140	182	0,57	0,199	1,8
W23	ТП 1	Цех 12	відкрито	0,201	99,52	74,64	89,78	179,6	128,3	2хАПВВГ(4х120)	200	260	0,332	0,188	2,96
W24	ТП 1	Цех 13	відкрито	0,243	42,23	35,11	39,63	79,27	56,62	2хАПВВГ(4х50)	110	143	0,825	0,208	3,2
W25	ТП 4	Цех 14	відкрито	0,077	58,09	45,01	53,03	106,1	75,76	2хАПВВГ(4х70)	140	182	0,57	0,199	1,01
W26	ТП 4	Цех 5	відкрито	0,087	1124,1	915,51	261,57	298,9	213,5	8хАПВВГ(4х185)	260	338	0,222	0,172	2,77
W27	ТП 4	Цех 8	відкрито	0,154	58,99	44,24	53,21	106,4	76,02	2хАПВВГ(4х70)	140	182	0,57	0,199	2,04
W28	ТП 4	Цех 21	відкрито	0,169	147,48	143,75	148,63	297,3	212,3	2хАПВВГ(4х185)	260	338	0,222	0,172	3,03

8.6. Короткий опис прийнятої схеми електропостачання заводу

Електропостачання підприємства здійснюється від двох джерел від власної міні-ТЕЦ та підстанції енергосистеми, розташованої на відстані 19,2 км від заводу.

Цехові ТП виконані двотрансформаторними з трансформаторами марки ТМЗ із вторинною напругою 0,4 кВ та роздільним режимом роботи трансформаторів. Шини 0,4 кВ обладнані секційним автоматом із пристроєм автоматичним включенням резерву (АВР). Усі цехові ТП живляться за радіальною схемою. Приймачі електроенергії корпусів із встановленими силовими пунктами (СП), отримують живлення від шин ТП найближчих цехів кабельними лініями 0,4 кВ.

Дві комірки по одній на кожній секції шин призначені для підключення високовольтних конденсаторних батарей.

Внутрішньозаводська система електропостачання виконана на напругу 6 кВ через те, що всередині заводу є міні-ТЕЦ з генераторами на 6 кВ, на 6 кВ споживачів припадає понад 50% всього навантаження і споживачі 6 кВ рівномірно розподілені по території заводу.

9. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Розрахунок струмів КЗ здійснюється для вибору (перевірки) електричних апаратів, шин, кабелів та ізоляторів в аварійному режимі, вибору засобів обмеження струмів КЗ (ректорів), а також проектування та налаштування пристроїв релейного захисту та автоматики.

Розрахунковий час КЗ $t_{розр}$, згідно з ПУЕ, оцінюють залежно від мети розрахунку. При перевірці електрообладнання на термічну стійкість $t_{розр}$ приймається рівним сумі часу дії основного захисту найближчого вимикача та повного часу відключення цього вимикача:

$$t_{розр} = t_{зах} + t_B ,$$

де $t_{зах} = 0,01с$; $t_B = 0,09с$

З урахуванням дійсних характеристик сучасних вимикачів отримаємо розрахунковий час КЗ 0,1 с.

Для заданої схеми мережного району складається однолінійна схема заміщення, в яку вводяться всі джерела живлення, що беруть участь у живленні місця КЗ, та всі елементи електропостачання (трансформатори, повітряні та кабельні лінії, реактори), розташовані між ними та місцем КЗ. При цьому елементи зв'язків замінюють відповідними опорами у відносних одиницях із зазначенням порядкових номерів індуктивних опорів та їх величин, приведених до базової потужності.

Застосуємо метод розрахункових кривих. Методика розрахунку викладена у [15].

9.1. Розрахунок струмів короткого замикання на шинах високої напруги

Складемо схему заміщення для розрахунку трифазного КЗ на шинах ВН ГПП.

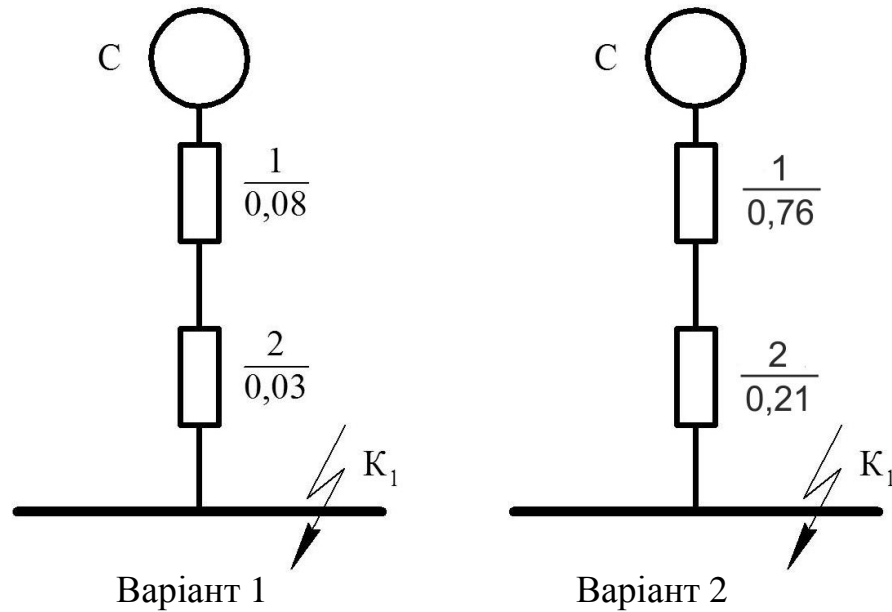


Рис. 9.1. Схема заміщення (варіант 1 – при напрузі 110 кВ;
варіант 2 – при напрузі 35 кВ)

Варіант №1

$$S_{\bar{6}}=100 \text{ МВА}, U_{61}=115 \text{ кВ}, U_{62}=6,5 \text{ кВ}.$$

$$C: X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2}, \quad (9.1)$$

$$W: X_2 = X_0 \cdot l \cdot 0,5 \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{CP.CT.}^2}. \quad (9.2)$$

$$C: X_1 = 10,2 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,08,$$

$$W: X_2 = 0,4 \cdot 19,2 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,03.$$

Еквівалентуємо схему заміщення (рис. 9.1), отримаємо:

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 = 0,08 + 0,03 = 0,11.$$

Для С:

$$I_{n,t}^{(3)} = \frac{1}{X_{\Sigma}}, \quad (9.3)$$

$$C: I_{n,t}^{(3)} = \frac{1}{0,11} = 9,1.$$

Переведемо до номінальних одиниць:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}; C \times I_{П,К}, \quad (9.4)$$

$$I_B = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}; C \times I_{П,К} = 9,1 \cdot 0,5 = 4,55 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ

$$i_y^{(3)} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{П,К,t}, \quad (9.5)$$

$$i_y^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 4,55 \cdot 1,8 = 11,58 \text{ кА}.$$

де $K_{уд}=1,8$; $T_a=0,042$ с взяті з довідникових матеріалів.

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{П,К,t} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (9.6)$$

$$i_{a,\tau=0,1} = \sqrt{2} \cdot 11,58 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,042}} = 1,51 \text{ кА}.$$

Варіант №2

$$S_6=100 \text{ МВА}, U_{61}=36,75 \text{ кВ}, U_{62}=6,5 \text{ кВ}.$$

$$C: X_1 = 10,2 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,76,$$

$$W: X_2 = 0,3 \cdot 19,2 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,21.$$

Еквівалентуємо схему заміщення (рис. 9.1), отримаємо:

$$X_\Sigma = X_1 + X_2 = 0,76 + 0,21 = 0,97,$$

Для С:

$$I_{n,t}^{(3)} = \frac{1}{0,97} = 1,03;$$

Переведемо до номінальних одиниць:

$$I_B = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 1,57 \text{ кА} \quad C: I_{П,К} = 1,03 \cdot 1,57 = 1,62 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ

$$i_y^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,62 \cdot 1,8 = 4,12 \text{ кА}$$

де $K_{уд}=1,8$; $T_a=0,042$ с взяті з довідникових матеріалів.

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{a,\tau=0,1} = \sqrt{2} \cdot 4,12 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,042}} = 0,54 \text{ кА}.$$

Результати розрахунку зведено табл. 9.1.

9.2. Розрахунок струмів короткого замикання на шинах низької напруги

Схема заміщення, враховуючи попереднє еквівалентування, набуде вигляду (рис. 9.2).

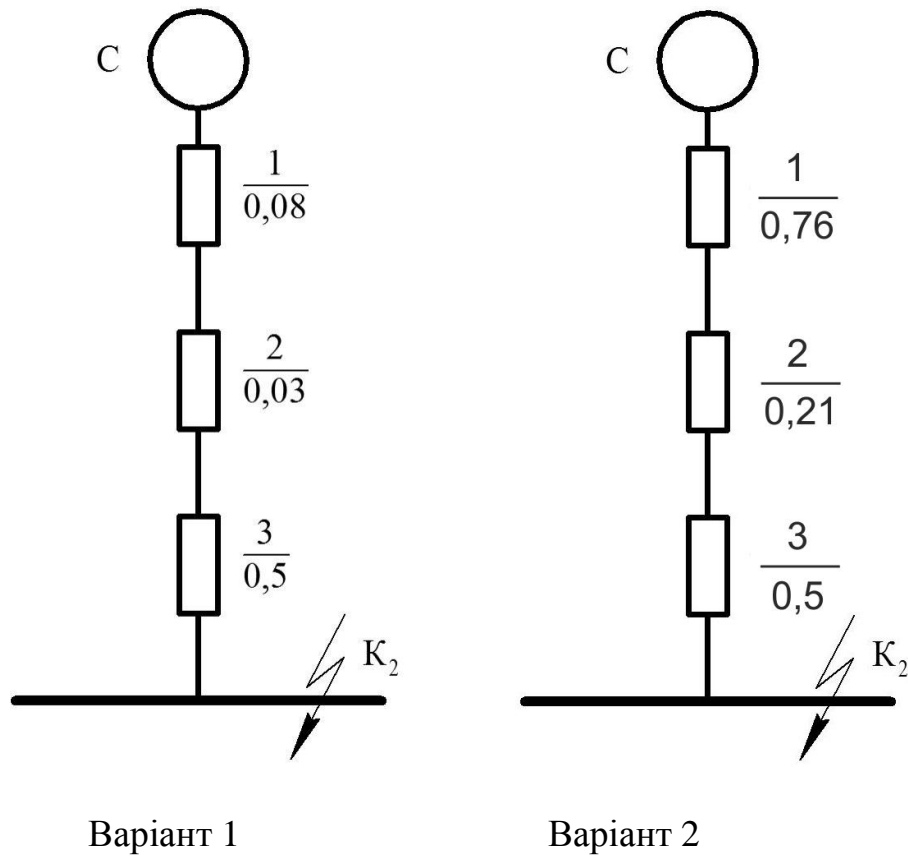


Рис. 9.2. Схема заміщення (варіант 1 – при напрузі 110 кВ;
варіант 2 – при напрузі 35 кВ)

$$T : X_3 = \frac{U_{B\%}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{ном}}, \quad (9.7)$$

$$T : X_3 = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,5,$$

де X_3 – опір обмотки ВН і НН трансформатора.

Еквівалентуємо схему заміщення (рис. 9.2), отримаємо:

Варіант №1

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + X_3 = 0,08 + 0,03 + 0,5 = 0,61.$$

Для С:

$$I_{n,t}^{(3)} = \frac{1}{0,61} = 1,64; \quad I_B = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,5} = 8,88 \text{ кА}.$$

$$C : I_{II,K} = 8,88 \cdot 1,64 = 14,56 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ

$$i_y^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 14,56 \cdot 1,8 = 37,06 \text{ кА}.$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{a,\tau=0,1} = \sqrt{2} \cdot 37,06 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,042}} = 4,85 \text{ кА}.$$

Варіант №2

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + X_3 = 0,76 + 0,21 + 0,5 = 1,47$$

Для С:

$$I_{n,t}^{(3)} = \frac{1}{1,47} = 0,68;$$

$$I_B = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,5} = 8,88 \text{ кА}.$$

$$C : I_{II,K} = 8,88 \cdot 0,68 = 6,04 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ

$$i_y^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 6,04 \cdot 1,8 = 15,38 \text{ кА}.$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{a,\tau=0,1} = \sqrt{2} \cdot 15,38 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,042}} = 2,01 \text{ кА}.$$

Результати розрахунку зведено табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Результати розрахунку струмів КЗ

Розташування точки КЗ	I _п , кА		i _{а,Т=0,1с} ,кА	i ⁽³⁾ _у ,кА
	t=0 с	t=0,1 с		
Варіант №1 (напруга 110 кВ)				
на шинах ВН	4,55	4,55	1,51	11,58
на шинах НН	14,56	14,56	4,85	37,06
Варіант №2 (напруга 35 кВ)				
на шинах ВН	1,62	1,62	0,54	4,12
на шинах НН	6,04	6,04	2,01	15,38

10. ВИБІР ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Високовольтний вимикач – це апарат, призначений для оперативної та аварійної комутації на підстанції, для виконання операції увімкнення та відключення окремих ланцюгів при ручному та автоматичному керуванні.

10.1. Вибір високовольтних вимикачів на НН ГПП

Вибираємо вакуумні вимикачі ВБЭ-10-31,5(40)/630-3150 УХЛ2 з електромагнітним приводом.

$$I_{роб.мах\ НН} = 2126\ А\ (табл.\ 7.3).$$

Перевірка вимикачів:

- 1) За номінальною напругою: $U_{ном.вим} = 10\ кВ \approx U_{ном.уст.} = 6\ кВ.$
- 2) За номінальним струмом: $I_{роб.мах.НН} = 2126\ А \leq I_{ном.выкл.} = 3150\ А.$
- 3) За конструкцією та родом установки: викатного типу.
- 4) Перевірка на відмикаючу здатність:

Відключення симетричного струму КЗ:

$$I_{ном.відм} = 31,5\ кА \geq I_{п,t=0,1с} = 4,85\ кА.$$

Відключення повного струму КЗ:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.відкл}} (1 + \beta_{\text{ном}}) \geq \sqrt{2} \cdot I_{n,\tau} + i_{a,\tau}, \quad (10.1)$$

де $\beta_{\text{ном}}$ – відносний вміст аперіодичного струму в струмі відключення.

$$\beta_{\text{ном}} = \frac{i_{a,\text{ном}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.відкл}}}. \quad (10.2)$$

$\beta_{\text{ном}}$ визначаємо за кривими довідникової літератури. $\beta_{\text{ном}} = 0,3$ при $\tau = 0,05$ с.

$$\sqrt{2} \cdot 31,5(1 + 0,3) = 57,91 \text{ кА} > \sqrt{2} \cdot 14,56 + 4,85 = 25,44 \text{ кА}.$$

5) Перевірка електродинамічну стійкість:

$$i_{\text{пр.скв}} = 80 \text{ кА} \geq i_{\text{уд}}^{(3)} = 37,06 \text{ кА}.$$

$$I_{\text{пр.скв}} = 31,5 \text{ кА} \geq I_{n,0} = 4,85 \text{ кА}.$$

6) Перевірка на термічну стійкість:

$$I_{\text{т.ст}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}. \quad (10.3)$$

де $B_{\text{к}} = (I'')^2 \cdot (t_{\text{розр}} + T_a)$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ – інтеграл Джоуля (тепловий імпульс);

$t_{\text{розр}}$ – розрахункова тривалість КЗ,

T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ.

$$31,5^2 \cdot 3 = 2976 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 4,85^2 \cdot (0,07 + 0,016) = 2,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Електромагнітний привід входить у комплект. Струм споживання електромагнітом включення 50 А, відключення – 2 А. Номінальна напруга приводу 220 В. Струм постійний.

Подано вибір вимикача в табличній формі (табл. 10.1).

Таблиця 10.1

Вибір секційного вимикача і вимикачів на вводах 6 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані	Умова вибору
	ВБЭ-10-20/1600 УЗ	
$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = U_{\text{ном}}$
$I_{\text{роб,мак,НН}} = 2126 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$	$I_{\text{роб,мак,НН}} < I_{\text{ном}}$
$I_{\text{п,}\tau=0,1} = 4,85 \text{ кА}$	$I_{\text{ном,відкл}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{ном,відкл}} > I_{\text{п,}\tau=0,1}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{п,}\tau=0,1} + i_{a,\tau=0,1} = 25,44 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном,відкл}} \cdot (1 + \beta) = 57,91 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{п,}\tau=0,1} + i_{a,\tau=0,1} < < \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном,відкл}} \cdot (1 + \beta)$
$i_y^{(3)} = 37,06 \text{ кА}$	$i_{\text{елд.ст}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{елд.ст}} > i_y^{(3)}$
$B_{\text{к}} = 2,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_t^2 \cdot t = 2976 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_t^2 \cdot t > B_{\text{к}}$

10.2. Вибір високовольтних вимикачів ліній, що живлять цехові ТП

Вибір вимикачів проведемо аналогічно до попереднього підpunkту. Оскільки коефіцієнт завантаження трансформаторів цехових ТП практично однаковий, а також у зв'язку з вимогами уніфікації електроустаткування приймемо до установки для приєднань 6 кВ ГПП вимикачі одного типу. У цьому випадку вимикач вибиратимемо за максимальним робочим струмом найбільш завантаженої лінії. Найбільш завантаженою лінією є W11 (табл. 8.3).

Розрахунковий струм можна визначити за виразом:

$$I_{роб.маx.W11} = \frac{\sqrt{(P_{W11}^2 + Q_{W11}^2)}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.W11}} \text{ А}, \quad (10.4)$$

де P_{W11}, Q_{W11} – значення потужності, що передається по кабелю від ГПП до РУ №6, визначається як сума навантаження W11 та втрат в цьому кабелі.

$$\Delta P_{W11} = \frac{S^2}{U_n^2 \times 10^3} \times l \times r_{0W11} \text{ кВт}; \quad (10.5)$$

$$\Delta Q_{W11} = \frac{S^2}{U_n^2 \times 10^3} \times l \times x_{0W11} \text{ квар}; \quad (10.6)$$

$$P_{W11} = P + \Delta P_{W11}, \text{ кВт}; \quad (10.7)$$

$$Q_{W11} = Q + \Delta Q_{W11}, \text{ квар}; \quad (10.8)$$

$$\Delta P_{W11} = \frac{\sqrt{(2310^2 + 1735,5^2)^2}}{6^2 \times 10^3} \times 0,61 \times 0,222 = 31,4 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{W11} = \frac{\sqrt{(2310^2 + 1735,5^2)^2}}{6^2 \times 10^3} \times 0,61 \times 0,172 = 24,33 \text{ квар};$$

$$P_{W11} = 2310 + 31,4 = 2341,4, \text{ кВт};$$

$$Q_{W11} = 1735,5 + 24,33 = 1759,83, \text{ квар};$$

$$I_{роб.маx.W11} = \frac{\sqrt{(2341,4^2 + 1759,83^2)}}{\sqrt{3} \cdot 6} = 281,82 \text{ А}.$$

Вибираємо вакуумний вимикач ВБЭ-10-20/630, перевірка зроблена у табл. 10.2.

Таблиця 10.2

Вибір високовольтних вимикачів ліній, що живлять цехові ТП

Розрахункові дані	Каталожні дані		Умова вибору
	ВБЭ-10-20/630 УЗ		
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$		$U_{уст} = U_{ном}$
$I_{роб, max} = 281,82 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$		$I_{роб, max, НН} < I_{ном}$
$I_{П, \tau=0,1} = 4,85 \text{ кА}$	$I_{ном, відк} = 20 \text{ кА}$		$I_{ном, відк} > I_{П, \tau=0,1}$
$\sqrt{2} \cdot I_{П, \tau=0,1} + i_{a, \tau=0,1} = 25,44 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{ном, відк} \cdot (1 + \beta) = 45,03 \text{ кА}$		$\sqrt{2} \cdot I_{П, \tau=0,1} + i_{a, \tau=0,1} < < \sqrt{2} \cdot I_{ном, відк} \cdot (1 + \beta)$
$i_y^{(3)} = 37,06 \text{ кА}$	$i_{э, л. ст} = 51 \text{ кА}$		$i_{э, л. ст} > i_y^{(3)}$
$B_k = 2,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_t^2 \cdot t = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$		$I_t^2 \cdot t > B_k$

10.3. Вибір вимикачів на високій напрузі ГПП

Варіант №1

Визначаємо струм за формулою (10.4)

$$I_{роб, max, ВН} = \frac{22094,3}{110 \cdot \sqrt{3}} = 116 \text{ А};$$

Вибираємо вакуумні вимикачі GL 312 F1/4031.

Перевірка вимикачів:

- 1) За номінальною напругою: $U_{ном, вим} = U_{ном, уст.} = 110 \text{ кВ}$.
- 2) За номінальним струмом: $I_{роб, max, ВН} = 116 \text{ А} \leq I_{ном, відкл.} = 630 \text{ А}$.
- 3) За конструкцією та родом установки стаціонарного виконання.
- 4) Перевірка на відмикаючу здатність:

Відключення симетричного струму КЗ:

$$I_{ном, відкл} = 25 \text{ кА} \geq I_{П, t=0,1с} = 1,51 \text{ кА}.$$

Відключення повного струму КЗ:

$$\sqrt{2} \cdot I_{ном, відкл} (1 + \beta_{ном}) \geq \sqrt{2} \cdot I_{п, \tau} + i_{a, \tau},$$

де $\beta_{ном}$ – відносний вміст аперіодичного струму в струмі відключення.

$$\beta_{ном} = \frac{i_{a, ном}}{\sqrt{2} \cdot I_{ном, відкл}}.$$

 $\beta_{ном}$ визначаємо за кривими довідникової літератури. $\beta_{ном} = 0,3$ при $\tau = 0,05 \text{ с}$.

$$\sqrt{2} \cdot 25(1+0,3) = 45,96 \text{ кА} > \sqrt{2} \cdot 4,55 + 1,51 = 7,94 \text{ кА}.$$

5) Перевірка електродинамічну стійкість:

$$i_{\text{пр.скв}} = 64 \text{ кА} \geq i_{\text{уд}}^{(3)} = 11,58 \text{ кА}.$$

$$I_{\text{пр.скв}} = 25 \text{ кА} \geq I_{\text{n,0}} = 4,55 \text{ кА}.$$

6) Перевірка на термічну стійкість:

$$I^2_{\text{m.ст}} \cdot t_{\text{m}} \geq B_{\text{к}}.$$

де $B_{\text{к}} = (I'')^2 \cdot (t_{\text{розр}} + T_a)$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ – інтеграл Джоуля (тепловий імпульс);

$t_{\text{розр}}$ – розрахункова тривалість КЗ,

T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ.

$$25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 4,55^2 \cdot (0,07 + 0,01) = 1,66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Електромагнітний привід входить у комплект. Струм споживання електромагнітом включення 40 А, відключення – 2,6 А. Номінальна напруга приводу 220 В. Струм постійний.

Подамо вибір вимикача в табличній формі (табл. 10.3).

Варіант №2

$$I_{\text{роб.мах.ВН}} = \frac{22094,3}{35 \cdot \sqrt{3}} = 365 \text{ А};$$

Вибираємо вакуумні вимикачі ВБ-35-25/630.

Перевірка вимикачів:

1) За номінальною напругою: $U_{\text{ном.вим}} = U_{\text{ном.уст.}} = 35 \text{ кВ}.$

2) За номінальним струмом: $I_{\text{роб.мах.ВН}} = 365 \text{ А} \leq I_{\text{ном.відк.}} = 630 \text{ А}.$

3) За конструкцією та родом установки стаціонарного виконання.

4) Перевірка на відмикаючу здатність:

Відключення симетричного струму КЗ:

$$I_{\text{ном.відк}} = 25 \text{ кА} \geq I_{\text{П,t=0,1с}} = 0,54 \text{ кА}.$$

Відключення повного струму КЗ:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.відк}} (1 + \beta_{\text{ном}}) \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{n,т}} + i_{\text{а,т}},$$

де $\beta_{\text{ном}}$ – відносний вміст аперіодичного струму в струмі відключення.

$$\beta_{ном} = \frac{i_{a,ном}}{\sqrt{2} \cdot I_{ном.відк}}$$

$\beta_{ном}$ визначаємо за кривими довідникової літератури. $\beta_{ном} = 0,3$ при $\tau = 0,05$ с.

$$\sqrt{2} \cdot 25(1 + 0,3) = 45,96 \text{ кА} > \sqrt{2} \cdot 1,62 + 0,54 = 2,83 \text{ кА.}$$

5) Перевірка електродинамічну стійкість:

$$i_{пр.скв} = 64 \text{ кА} \geq i_{уд}^{(3)} = 4,12 \text{ кА.}$$

$$I_{пр.скв} = 25 \text{ кА} \geq I_{н,0} = 1,62 \text{ кА.}$$

б) Перевірка на термічну стійкість:

$$I^2_{m.ст} \cdot t_m \geq B_k.$$

де $B_k = (I'')^2 \cdot (t_{розр} + T_a)$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ – інтеграл Джоуля (тепловий імпульс);

$t_{розр}$ – розрахункова тривалість КЗ,

T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ.

$$25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 1,62^2 \cdot (0,07 + 0,01) = 0,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Електромагнітний привід входить у комплект. Струм споживання електромагнітом включення 40 А, відключення – 2,6 А. Номінальна напруга приводу 220 В. Струм постійний.

Подамо вибір вимикача в табличній формі (табл. 10.3).

10.4. Вибір автоматичних вимикачів на напругу 0,4 кВ

Визначаємо максимальний робочий струм за формулою:

$$I_{роб,мак ВН} = \frac{K_{ав} \cdot S_{ном.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}; \quad (10.9)$$

$$I_{роб,мак ВН} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3403,33 \text{ А};$$

Вибираємо автоматичний вимикач "Електрон" типу Э25 [1, табл. 3.6].

$U_{ном} = 0,38$ кВ; $I_{ном} = 2500$ А; $I_{ном.відк} = 45$ кА; $I_{дин} = 100$ кА; $I_{терм} \cdot t_{терм} = 4500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$

Дані вимикача зведемо в табл. 10.4.

Таблиця 10.3

Вибір високовольтних вимикачів на ВН ГПП

Розрахункові дані	Каталожні дані		Умова вибору
	GL 312 F1/4031		
Варіант №1			
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{уст} = U_{ном}$	
$I_{роб, max} = 116 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{роб, max, ВН} < I_{ном}$	
$I_{П, \tau=0,1} = 1,51 \text{ кА}$	$I_{ном, відк} = 25 \text{ кА}$	$I_{ном, відк} > I_{П, \tau=0,1}$	
$\sqrt{2} \cdot I_{П, \tau=0,1} + i_{a, \tau=0,1} = 7,94 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{ном, отк} \cdot (1 + \beta) = 45,96 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{П, \tau=0,1} + i_{a, \tau=0,1} < < \sqrt{2} \cdot I_{ном, відк} \cdot (1 + \beta)$	
$i_y^{(3)} = 11,58 \text{ кА}$	$i_{елд.см} = 64 \text{ кА}$	$i_{елд.см} > i_y^{(3)}$	
$B_k = 1,66 \text{ кА}^2 \cdot c$	$I_t^2 \cdot t = 1875 \text{ кА}^2 \cdot c$	$I_t^2 \cdot t > B_k$	
Варіант №2			
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{уст} = U_{ном}$	
$I_{роб, max} = 365 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{роб, max, ВН} < I_{ном}$	
$I_{П, \tau=0,1} = 0,54 \text{ кА}$	$I_{ном, відк} = 25 \text{ кА}$	$I_{ном, відк} > I_{П, \tau=0,1}$	
$\sqrt{2} \cdot I_{П, \tau=0,1} + i_{a, \tau=0,1} = 2,83 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{ном, відк} \cdot (1 + \beta) = 45,96 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{П, \tau=0,1} + i_{a, \tau=0,1} < < \sqrt{2} \cdot I_{ном, відк} \cdot (1 + \beta)$	
$i_y^{(3)} = 4,12 \text{ кА}$	$i_{елд.см} = 64 \text{ кА}$	$i_{елд.см} > i_y^{(3)}$	
$B_k = 0,21 \text{ кА}^2 \cdot c$	$I_t^2 \cdot t = 1875 \text{ кА}^2 \cdot c$	$I_t^2 \cdot t > B_k$	

Таблиця 10.4

Автоматичні вимикачі на напругу 0,4 кВ

Умова вибору	Каталожні дані		Розрахункові дані	
	Параметр	Значення	Параметр	Значення
$U_{ном} \geq U_{уст}$	$U_{ном}, \text{ кВ}$	0,38	$U_{ном}, \text{ кВ}$	0,38
$I_{ном} > I_{норм} \text{ ВН}$	$I_{ном}, \text{ кА}$	2,5	$I_{норм}, \text{ кА}$	2,43
$I_{ном, відк} > I_{роб. max} \text{ ВН}$	$I_{ном, відк}, \text{ кА}$	45	$I_{роб. max}, \text{ кА}$	3,4

11. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВИБОРУ НАПРУГИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАННЯ

Вихідні дані:

Варіант №1

- АС 95/16 дволанцюгова
- довжина лінії 19,2 км
- вимикачі на лінії вакуумні ВБ-110-25/630 2 шт.
- РУ ВН вакуумні ВБ-110-25/630 2 шт.
- трансформатори ГПП ТДНС 16000/110/6 2 шт.

Варіант №2

- АС 330/27 дволанцюгова
- довжина лінії 19,2 км
- вимикачі на лінії елегазові GL 312 F1/4031 P 2 шт.
- РУ ВН елегазові GL 312 F1/4031 P 2 шт.
- трансформатори ГПП ТДНС 16000/35/6 2 шт.

Варіант 110/6

Вартість трансформаторів на ГПП:

$$K_{TP} = 2шт. \times 18164,92 = 36329,84 \text{ тис.грн.}$$

Вартість вимикачів на ВН РУ:

$$K_{вим.ВН} = 2шт. \times 2112,2 = 4224,4 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{ГПП} = 36329,84 \text{ тис.грн.} + 4224,4 \text{ тис.грн.} = 40553,4 \text{ тис.грн.}$$

Вартість вимикачів на ЛЕП:

$$K_{вим.ЛЕП.} = 2шт. \times 2112 = 4224,4 \text{ тис.грн.}$$

Вартість живильної ЛЕП:

$$K_{ЛЕП.} = 19,2км \times 17500 \frac{\text{тис.грн.}}{\text{км}} = 33600 \text{ тис.грн.}$$

де 1750 тис.грн./км – вартість 1км дволанцюгової ЛЕП.

Таким чином,

$$K_{110/6} = 405534 \text{ тис.грн.} + 33600 \text{ тис.грн.} + 4224,4 \text{ тис.грн.} = 78377,8 \text{ тис.грн.}$$

Втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за формулою:

$$\Delta W_{тр.} = \Delta P_{тр.} \times \tau \quad (11.1)$$

$$\tau = (0,124 + T_{\max} * 10^{-4})^2 \times 8760 \frac{\text{год}}{\text{рік}} \quad (11.2)$$

$$\tau = (0,124 + 0,3)^2 \times 8760 = 1575 \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

$$\Delta W_{тр.} = 80,13 \text{ кВт} \times 1575 \frac{\text{год}}{\text{рік}} = 126205 \text{ кВт} \times \text{год} = 126,21 \text{ МВт} \times \text{рік}$$

Втрати електроенергії в ЛЕП визначаються за формулою:

$$\Delta W_{ЛЕП} = \Delta P_{ЛЕП} \times \tau \quad (11.3)$$

$$\Delta W_{ЛЕП} = 217,2 \text{ кВт} \times 1575 \frac{\text{год}}{\text{рік}} = 342,09 \text{ МВт} \times \text{год}$$

Сумарні втрати електроенергії в системі електропостачання:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{тр.} + \Delta W_{ЛЕП} = 126,21 + 342,09 = 468,3 \text{ МВт} \times \text{год}.$$

Варіант 35/6

Вартість трансформаторів на ГПП:

$$K_{ТР} = 2 \text{ шт.} \times 11617,1 = 23234,2 \text{ тис.грн.}$$

Вартість вимикачів на ВН РУ:

$$K_{\text{вим.ВН}} = 2 \text{ шт.} \times 844,8 = 1689,76 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{ГПП} = 23234,2 \text{ тис.грн.} + 1689,76 \text{ тис.грн.} = 24923,96 \text{ тис.грн.}$$

Вартість вимикачів на ЛЕП:

$$K_{\text{вим.ЛЕП.}} = 2 \text{ шт.} \times 844,8 = 1689,76 \text{ тис.грн.}$$

Вартість живильної ЛЕП:

$$K_{ЛЕП.} = 19,2 \text{ км} \times 1180 \frac{\text{тис.грн.}}{\text{км}} = 22656 \text{ тис.грн.}$$

де 1180 тис.грн./км – вартість 1 км дволанцюгової ЛЕП.

Таким чином,

$$K_{35/6} = 24923,96 \text{ тис.грн.} + 22656 \text{ тис.грн.} + 1689,76 \text{ тис.грн.} = 42269,72 \text{ тис.грн.}$$

Втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за формулами (11.1) та (11.2):

$$\tau = (0,124 + T_{\max} \cdot 10^{-4})^2 \times 8760 \frac{\text{год}}{\text{рік}} = (0,124 + 0,3)^2 \times 8760 = 1575 \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

$$\Delta W_{\text{тр.}} = 80,13 \text{кВт} \times 1575 \frac{\text{год}}{\text{рік}} = 126205 \text{кВт} \times \text{год} = 126,21 \text{ МВт} \times \text{год}$$

Втрати електроенергії в ЛЕП визначаються за формулою (11.3):

$$\Delta W_{\text{ЛЕП}} = \Delta P_{\text{ЛЕП}} \times \tau = 1104,68 \text{кВт} \times 1575 \frac{\text{год}}{\text{рік}} = 1739,87 \text{ МВт} \times \text{рік}$$

Сумарні втрати електроенергії в системі електропостачання:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\text{тр.}} + \Delta W_{\text{ЛЕП}} = 126,21 + 1739,87 = 1866,08 \text{ МВт} \times \text{год}$$

Визначимо очікувані техніко-економічні показники за варіантами, виходячи з результатів розрахунку, проведемо техніко-економічне обґрунтування за методом приведених витрат.

Приведені річні витрати визначаються за формулою:

$$Z_i = C_i + E_n \cdot K_i, \quad (11.4)$$

де C_i – експлуатаційні витрати i -го варіанту;

E_n – коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень, приймаємо рівним 0,15;

K_i – капітальні затрати i -го варіанта.

Експлуатаційні витрати складаються із суми річних втрат електроенергії та амортизаційних витрат, тобто:

$$C_i = C_{\text{в}} + C_a \quad (11.5)$$

Вартість втрат електроенергії по варіантах визначається за формулою:

$$C_{\text{в}} = \Delta W_i \cdot C_0, \quad (11.6)$$

де C_0 – вартість одного кВт·год, приймаємо на даний період $C_0 = 6$ грн/кВт·год.

Тоді,

$$C_{\text{в}110/6} = W_{\Sigma 110/6} \cdot C_0 = 468300 \cdot 6 = 2809,8 \text{ тис.грн},$$

$$C_{W35/6} = \Delta W_{\Sigma 35/6} \cdot C_0 = 1866080 \cdot 6 = 1119648 \text{ тис.грн.}$$

Щорічні амортизаційні витрати приймаємо 10 % від вартості капіталовкладень:

$$C_{a110/6} = 0,1 \cdot K_{110/6} = 0,1 \cdot 78377,8 = 7837,78 \text{ тис.грн.};$$

$$C_{a35/6} = 0,1 \cdot K_{35/6} = 0,1 \cdot 42269,72 = 4226,972 \text{ тис.грн.}$$

Тоді,

$$C_{110/6} = C_{W110/6} + C_{a110/6} = 2809,8 + 7837,78 = 10647,58 \text{ тис.грн.};$$

$$C_{35/6} = C_{W35/6} + C_{a35/6} = 1119648 + 4226,972 = 15423452 \text{ тис.грн.};$$

$$Z_{110/6} = C_{110/6} + 0,15 \cdot K_{110/6} = 10647,58 + 0,15 \cdot 78377,8 = 22404,25 \text{ тис.грн.};$$

$$Z_{35/6} = C_{35/6} + 0,15 \cdot K_{35/6} = 15423452 + 0,15 \cdot 42269,72 = 2176391 \text{ тис.грн.}$$

Із наведених розрахунків видно, що приведені витрати по варіантам різняться між собою менше ніж на 3 %, то приймаємо варіант у якого менші експлуатаційні витрати, оскільки вони щороку зростатимуть через тенденцію здорожчання вартості електричної енергії. Тобто, остаточно приймаємо напругу зовнішнього електропостачання кабельного заводу 110 кВ.

12. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГПП

12.1. Максимальний струмовий захист від КЗ

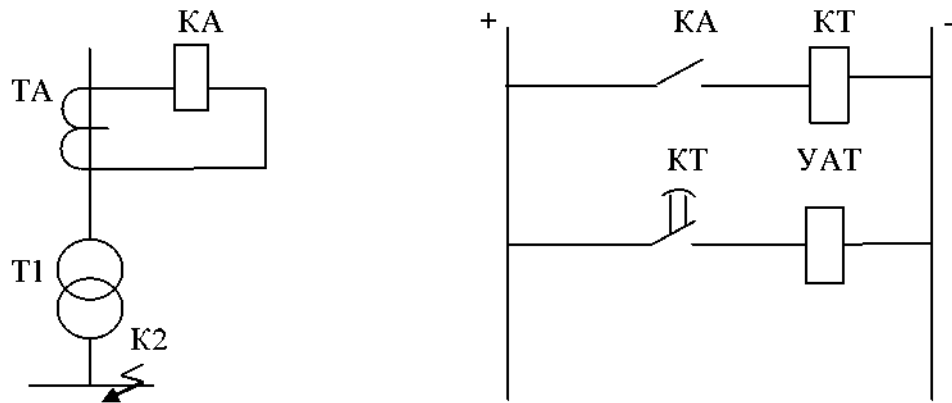


Рис. 12.1. Схема максимального струмового захисту

Струм спрацьовування захисту визначаємо за формулою:

$$I_{cз} \geq \frac{K_{нал} \cdot K_{сзн}}{K_{в}} \cdot I_{ном}, \text{ А}; \quad (12.1)$$

де $K_{нал} = 1,2$ – коефіцієнт налаштування, $K_{сзн} = 2,5$ – коефіцієнт самозапуску, $K_{в} = 0,8$ – коефіцієнт повернення.

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 84 \text{ А.}$$

$$I_{cз} \geq \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,8} \cdot 84 = 315 \text{ А.}$$

$$I_{сп} = \frac{I_{cз} \cdot K_{сх}}{n_{ТА}} = \frac{315 \cdot 1}{40} = 7,875 \text{ А.}$$

Вибираємо реле РТ 40/20 з межею уставок 5-10 А та послідовним з'єднанням котушок.

Перевіряємо захист на чутливість до двофазних коротких замикань на стороні низької напруги:

$$K_{ч} = \frac{I_{\min}^{(2)}}$$
(12.2)

де $I_{\min}^{(2)'} -$ двофазне коротке замикання на стороні низької напруги, приведене до сторони високої напруги.

$$I_{\min}^{(2)'} = \frac{I_{\min}^{(2)}}{n_{T1}} = \frac{6500}{18,33} = 355 \text{ A}, \quad (12.3)$$

де $I_{\min}^{(2)}$ – приймається за розрахунками; n_{T1} – коефіцієнт трансформації трансформатора ГПП, що захищається.

Тоді,

$$K_{\text{ч}} = \frac{355}{315} = 1,13.$$

Якщо $K_{\text{ч}} > 1,5$, залишаємо МСЗ, якщо $K_{\text{ч}} < 1,5$, тобто захист по чутливості не проходить, встановлюємо МСЗ з пуском по напрузі.

12.2. Максимальний струмовий захист із пуском за напругою

Струм спрацьовування захисту вибираємо за формулою:

$$I_{\text{сз}} \geq \frac{K_{\text{нал}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}}, \quad (12.4)$$

Напругу спрацьовування захисту вибираємо за формулою:

$$U_{\text{сз}} = 0,5 \cdot U_{\text{ном}}. \quad (12.5)$$

$$I_{\text{сз}} \geq \frac{1,2}{0,8} \cdot 84 = 126 \text{ A}.$$

$$U_{\text{сз}} = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ кВ}.$$

$$I_{\text{сп}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_{TA}} = \frac{126 \cdot 1}{40} = 3,15 \text{ A}.$$

Вибираємо реле РТ 40/10 з послідовним з'єднанням котушок та межею уставок 2,5-5 А.

$$U_{\text{сп}} = \frac{U_{\text{сз}}}{n_{TV}} = \frac{3000}{\frac{6000}{100}} = 50 \text{ В}.$$

де n_{TV} – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

Вибираємо реле РН 54/160 з межею уставок 40-160.

12.3. Захист від перевантаження

Встановлюємо максимальний струмовий захист на реле КА2 та реле часу КТ2.

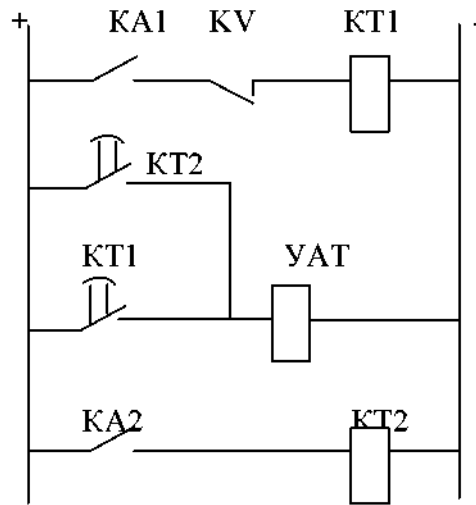


Рис. 12.2. Схема МСЗ з пуском по напрузі і МСЗ від перевантаження

Струм спрацювання захисту

$$I_{сз} \geq \frac{K_{нал}}{K_{\epsilon}} \cdot I_{ном}$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,05}{0,8} \cdot 84 = 110,25 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле

$$I_{сп} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{ТА}} = \frac{110,25 \cdot 1}{40} = 2,76 \text{ А.}$$

Вибираємо реле РТ 40/10 з послідовним з'єднанням котушок та межею уставок 2,5-5 А.

12.4. Струмова відсічка

Струм спрацювання відсічки визначаємо по формулі:

$$I_{св} \geq K_{нал} \cdot I_{тах}^{(3)} = 1,4 \cdot 780 = 1092 \text{ А.}, \quad (12.6)$$

де $K_{\text{нал}} = 1,4$ – коефіцієнт налаштування, $I_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальний струм трифазного КЗ на стороні низької напруги, приведений до сторони високої напруги.

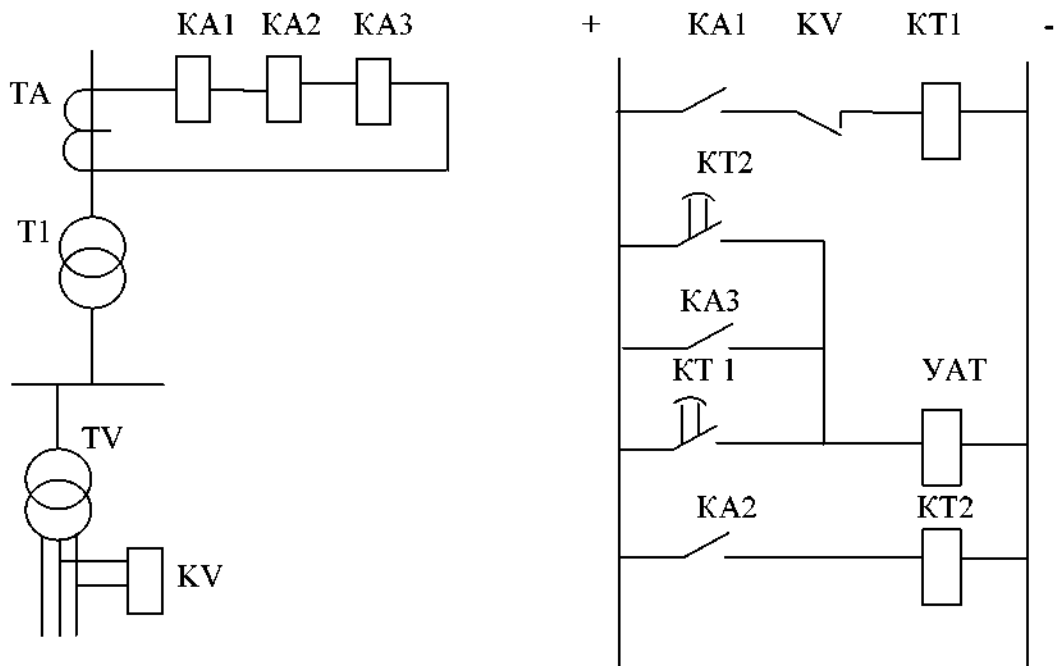


Рис. 12.3. Схема МСЗ з пуском по напрузі, МСЗ від перевантаження та струмової відсічки

$$I_{\text{max}}^{(3)} = \frac{I_{\text{max}}^{(2)}}{n_{T1}} = \frac{14360}{18,33} = 780 \text{ А.}$$

n_{T1} – коефіцієнт трансформації трансформатора ГПП, що захищається.

$$I_{\text{сп}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_{TA}} = \frac{1092 \cdot 1}{40} = 27,3 \text{ А.}$$

Вибираємо реле РТ 40/200 з послідовним з'єднанням котушок та межею уставок 25-100 А.

12.5. Диференційний захист трансформатора ГПП

Визначаємо струм небалансу:

$$I_{\text{нб}} = I_{\text{нб}}^I + I_{\text{нб}}^{II} + I_{\text{нб}}^{III}, \quad (12.7)$$

$$I_{\text{нб}}^I = K_{\text{одн}} \cdot K_{\text{анер}} \cdot \varepsilon + I_{\text{max}}^{(3)}, \quad (12.8)$$

де $K_{\text{одн}}=1$ – коефіцієнт однотипності; $K_{\text{апер}}$ – коефіцієнт аперіодичної складової; $\varepsilon = 0,1$ – відносна похибка трансформатора струму; $I_{\text{max}}^{(3)'} –$ приведений струм максимального короткого замикання зі сторони низької напруги до сторони високої напруги трансформатора, що захищається.

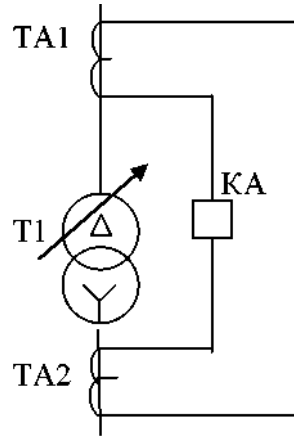


Рис. 12.4. Схема диференційного захисту трансформатора

$$I_{\text{max}}^{(3)'} = \frac{I_{\text{max}}^{(3)}}{n_{T1}} = \frac{12100}{18,33} = 660 \text{ A.}$$

$$I_{\text{нб}}^I = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 660 = 66 \text{ A.}$$

$$I_{\text{нб}}^{II} = \Delta U_{\text{рпн}^*} \cdot I_{\text{max}}^{(3)'} = 0,16 \cdot 660 = 105,6 \text{ A.}$$

$\Delta U_{\text{рпн}^*}$ для трансформаторів з ВН 110 кВ дорівнює 0,16 (для трансформаторів з ВН 35 кВ 0,09). $I_{\text{нб}}^{III}$ попередньо дорівнює нулю, оскільки не вибрано реле диференційного захисту.

$$I_{\text{нб}} = 66 + 105,6 + 0 = 171,6 \text{ A.}$$

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{нал}} \cdot I_{\text{нб}} = 1,3 \cdot 171,6 = 223,08 \text{ A,}$$

де $K_{\text{нал}} = 1,3$

Таблиця 12.1

Вторинні струми у плечах захисту

Параметр	ВН	НН
$I_{ном}, A$	84	1540
Коефіцієнт трансформації ТС	200/5	1600/5
Схема з'єднання ТС	Δ	Y
Вторинний струм I_2, A	3,64	4,81

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot K_{cx}}{n_{ТС}} = \frac{84 \cdot \sqrt{3}}{40} = 3,64 \text{ A.}$$

$$I_{2НН} = \frac{1540 \cdot 1}{320} = 4,81 \text{ A.}$$

$$I_{\min}^{(2)'} = \frac{I_{\min}^{(2)}}{n_{Т1}} = \frac{6500}{18,33} = 355 \text{ A}$$

$$K_v = \frac{I_{\min}^{(2)'}}{I_{сз}} = \frac{355}{223,08} = 1,59.$$

12.5.1. Розрахунок диференційного захисту на реле РНТ-565

Розрахунок виконаємо у табличній формі (табл. 12.2)

Таблиця 12.2

Розрахунок диференційного захисту на реле РНТ-565

№	Найменування	Розрахунок
1	2	3
1	Струм спрацювання реле $I_{cp} = \frac{I_{сз} \cdot K_{cx}}{n_{ТС}}$	$I_{cp} = \frac{223,08 \cdot \sqrt{3}}{200/5} = 9,66 \text{ A}$
2	Визначаємо число витків реле ДЗ на неосновній стороні (неосновна сторона - сторона ВН, основна – сторона НН) $\omega_{неосн.роз} = \frac{F}{I_{cp}},$ де F – стандартне значення $100 \text{ A} \cdot \text{витків}$	$\omega_{неосн.роз} = \frac{100}{9,66} = 10,35 \text{ витків}$

Продовження табл. 12.2

1	2	3
3	Стандартну кількість витків на неосновній стороні приймаємо найближче ціле найменше число	$\omega_{неосн.ст} = 10$ витків
4	Уточнюємо струм спрацювання реле на неосновній стороні $I_{cp} = \frac{F}{\omega_{неосн.ст}}$	$I_{cp} = \frac{100}{10} = 10$ А
5	Перераховуємо струм спрацювання захисту $I_{сз} = \frac{I_{cp} \cdot n_{ТС}}{K_{сх}}$	$I_{сз} = \frac{10 \cdot 200/5}{\sqrt{3}} = 231$ А
6	Визначаємо струм спрацювання захисту на основній стороні $I_{сз.осн} = I_{сз.неосн} \cdot n_T$	$I_{сз.осн} = 231 \cdot 110/6 = 4235$ А
7	$\omega_{осн.роз} = \frac{\omega_{осн.ст} \cdot I_{2неосн}}{I_{2осн}}$	$\omega_{осн.роз} = \frac{10 \cdot 3,64}{4,81} = 7,56$
8	За $\omega_{осн.ст}$ приймаємо найближче ціле число	$\omega_{осн.ст} = 8$ витків
9	$I_{нб}^{III} = \frac{ \omega_{осн.роз} - \omega_{осн.ст} }{\omega_{осн.роз}} \cdot I_{max}^{(3)}$	$I_{нб}^{III} = \frac{ 7,56 - 8 }{7,56} \cdot 660 = 38,4$ А
10	$I_{нб} = I_{нб}^I + I_{нб}^{II} + I_{нб}^{III}$	$I_{нб} = 66 + 105,6 + 38,4 = 210$ А
11	$I_{сз} = K_{нал} \cdot I_{нб}$	$I_{сз} = 1,3 \cdot 210 = 273$ А
<p>Порівняємо отримані значення пункта 11 зі значенням пункта 5 $273 > 231$</p> <p>Якщо значення в пункті 11 менше ніж у пункті 5, то розрахунок зупиняємо, якщо більше, то робимо 2-ю ітерацію.</p>		
12	$I_{cp} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{ТС}}$	$I_{cp} = \frac{273 \cdot \sqrt{3}}{200/5} = 11,82$ А
13	$\omega_{неосн.роз} = \frac{F}{I_{cp}}$	$\omega_{неосн.роз} = \frac{100}{11,82} = 8,46$ витків
14	$\omega_{неосн.ст}$	$\omega_{неосн.ст} = 8$ витків
15	$I_{cp} = \frac{F}{\omega_{неосн.ст}}$	$I_{cp} = \frac{100}{8} = 12,5$ А
16	$I_{сз} = \frac{I_{cp} \cdot n_{ТС}}{K_{сх}}$	$I_{сз} = \frac{12,5 \cdot 200/5}{\sqrt{3}} = 288,7$ А
17	$I_{сз.осн} = I_{сз.неосн} \cdot n_T$	$I_{сз.осн} = 288,7 \cdot 110/6 = 5292,8$ А
18	$\omega_{осн.роз} = \frac{\omega_{осн.ст} \cdot I_{2неосн}}{I_{2осн}}$	$\omega_{осн.роз} = \frac{8 \cdot 3,64}{4,81} = 6,05$

Продовження табл. 12.2

1	2	3
19	$\omega_{\text{осн ст}}$	$\omega_{\text{осн.ст}} = 6 \text{ витків}$
20	$I_{\text{нб}}^{\text{///}} = \frac{ \omega_{\text{осн.роз}} - \omega_{\text{осн.сп}} }{\omega_{\text{осн.роз}}} \cdot I_{\text{max}}^{(3)}$	$I_{\text{нб}}^{\text{///}} = \frac{ 6,05 - 6 }{6,05} \cdot 660 = 5,5 \text{ A}$
21	$I_{\text{нб}} = I_{\text{нб}}^{\text{I}} + I_{\text{нб}}^{\text{II}} + I_{\text{нб}}^{\text{///}}$	$I_{\text{нб}} = 66 + 105,6 + 5,5 = 117,7 \text{ A}$
22	$I_{\text{сз}} = K_{\text{нал}} \cdot I_{\text{нб}}$	$I_{\text{сз}} = 1,3 \cdot 117,7 = 153 \text{ A}$

Оскільки, $153 < 288,7$ – отже розрахунок зупиняємо.

13. ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА БЛИСКАВКОЗАХИСТ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

13.1. Заземлення ремонтно-механічного цеху

Заземленням називають навмисне гальванічне з'єднання металевих частин електроустановки із заземлюючим пристроєм. Розрізняють такі види заземлень: захисне – виконують з метою забезпечення електробезпеки при замиканні струмопровідних частин на землю; робоче – призначене для забезпечення нормальних режимів роботи установки; блискавкозахисне – для захисту електрообладнання від перенапруг та блискавкозахисту будівель та споруд. Найчастіше одне й те саме заземлення виконує кілька функцій, тобто. одночасно є захисним, робочим тощо.

Заземлювальний пристрій – це сукупність заземлювача та заземлюючих провідників.

Заземлювачем називають металевий провідник чи групу провідників, що перебувають у контакті з землею. Розрізняють природні та штучні заземлювачі.

Природні заземлювачі – це різні конструкції та улаштування, які за своїми властивостями одночасно можуть виконувати функції заземлювачів: водопровідні та інші металеві трубопроводи (крім трубопроводів горючих або вибухових рідин і газів, а також трубопроводів, покритих ізоляцією від корозії), металеві та залізобетонні конструкції будівель та споруд, що мають надійне з'єднання із землею. Під штучним заземлювачем розуміють закладені в землю

металеві електроди, спеціально призначені для улаштування заземлювачів. В якості штучних заземлювачів застосовують для вертикального закладання в землю – сталеві стержні діаметром 12-16 мм, кутову сталь з товщиною стінки не менше 4 мм або сталеві труби (некондиційні) з товщиною стінки не менше 3,5 мм. А для горизонтальних застосовують сталеві смуги завтовшки не менше 4 мм або круглу сталь діаметром 6 мм.

Розрахунок заземлення:

Розрахунок заземлення зводиться до визначення числа заземлювачів та довжини з'єднувальної смуги виходячи з допустимого опору заземлення.

Таблиця 13.1

Вихідні дані

Вид заземлення	виносне
Довжина заземлювача, м	2,7
Глибина закладання заземлювача в ґрунт h, м	0,65
Коефіцієнт сезонності, K _с	2
Питомий опір ґрунту ρ, Ом*м	70
Діаметр заземлювача d, мм	55
Ширина з'єднувальної смуги b, мм	50
Допустимий опір системи заземлення згідно ПУЕ, Ом	4

В якості заземлювача вибираємо сталеву трубу діаметром $d = 55\text{мм}$, а як з'єднувальний елемент – сталеву смугу шириною $b = 50\text{мм}$.

Вибираємо значення питомого опору ґрунту відповідне або близьке за значенням питомого опору ґрунту в заданому районі розміщення проектованої установки.

Визначаємо значення електричного опору розтіканню струму в землю з одиночного заземлювача:

$$R_s = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (13.1)$$

де $\rho = 70\text{Ом}$ – питомий опір ґрунту,

$K_c = 2,0$ – коефіцієнт сезонності,

$l = 2,7$ м – довжина заземлювача,

$d = 55$ мм – діаметр заземлювача,

$t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2$ м – відстань від поверхні ґрунту до середини заземлювача.

$$R_3 = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 40,62 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо кількість заземлювачів без урахування взаємних перешкод, що передаються заземлювачами один на одного, так званого явища взаємного “екранування”:

$$n' = \frac{R_3}{R_{3н}}, \quad (13.2)$$

$$n' = \frac{40,62}{4} = 10,15 \approx 10.$$

Розраховуємо кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n = \frac{n'}{\eta_3}, \quad (13.3)$$

$$n = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18,$$

де $\eta_3 = 0,58$ – коефіцієнт екранування.

Приймаємо відстань між заземлювачами $a = l = 2,7$ м.

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$l_{II} = 1,05 \cdot n \cdot a. \quad (13.4)$$

$$l_{II} = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51,03 \text{ м.}$$

Обчислюємо повне значення опору розтіканню струму із з'єднувальної смуги:

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l_{II}} \lg \frac{2 \cdot l_{II}^2}{b \cdot h}. \quad (13.5)$$

$$R_{II} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51,09} \lg \frac{2 \cdot 51,03^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,2 \text{ Ом.}$$

Обчислюємо повне значення опору системи заземлення:

$$R_{3y} = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_3 \cdot n} \quad (13.6)$$

$$R_{3y} = \frac{40,62 \cdot 5,2}{40,62 \cdot 0,51 + 5,2 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,82 \text{ Ом.}$$

де $\eta_n = 0,51$ – коефіцієнт екранування смуги.

Опір $R_{3y} = 2,82$ Ом менше за допустимий опір 4 Ом. Отже, діаметр заземлювача $d = 55$ мм при числі заземлювачів $n = 18$ є достатнім для забезпечення захисту при виносній схемі розташування заземлювачів.

13.2. Блискавкозахист ремонтно-механічного цеху

Найбільш небезпечним проявом блискавки з точки зору ураження будівель і споруд є прямий удар.

Очікуване число уражень блискавкою в рік будівель і споруд заввишки не більше 60 м, не обладнаних блискавкозахистом, що мають незмінну висоту, визначають за формулою:

$$N = (B + 6 \cdot h_x) \cdot (L + 6 \cdot h_x) \cdot n \cdot T^6, \quad (13.7)$$

де B – ширина об'єкта, що захищається, м;

L – довжина об'єкта, що захищається, м;

h_x – висота об'єкта, що захищається, по його боковим сторонам, м;

n – середня кількість уражень блискавкою 1 км земної поверхні на рік, значення якого визначаються залежно від інтенсивності грозової діяльності.

Для проектуваного об'єкта інтенсивність згідно з ПУЕ дорівнює 20-40 годин на рік, отже число n дорівнює 3.

Проведемо розрахунок блискавкозахисту ремонтно-механічного цеху. Його сукупні розміри дорівнюють 77x91 м, а висота з боків не перевищує 5 м.

$$N = (77 + 5 \times 6) \times (91 + 5 \times 6) \times 3 \times 10^{-6} = 0,034.$$

Відповідно до ПУЕ аналізовані об'єкти, що захищаються, можна віднести до зони В 1г за класифікацією вибухонебезпечних зон. Отже, пристрої захисту

від блискавки повинні забезпечувати ступінь надійності 95%, характерну для зони захисту Б.

Для зони Б необхідно застосовувати стержневі блискавковідводи. Стрижневий блискавковідвід складається з наступних частин: блискавкоприймача, що безпосередньо сприймає прямий удар блискавки; несучої конструкції, призначеної для встановлення блискавкоприймача; струмовідводу, що забезпечує відведення струму блискавки в землю, і заземлювача, що відводить струм блискавки в землю і забезпечує контакт із землею блискавкоприймача і струмовідводу.

Для захисту об'єктів приймаємо 4 шт. стержневих блискавковідводів висотою 40 м. Розташування блискавковідводів показано рис. 13.1.

Визначаємо для зони Б параметри зони захисту за такими формулами. Радіус захисту на рівні землі для одиночного блискавковідводу r_0 , визначимо за формулою:

$$r_0 = 1,5 \times h, \quad (13.8)$$

де h – висота блискавкоприймача;

$$r_0 = 1,5 \times 40 = 60 \text{ м.}$$

Зони захисту будуємо для двох рівнів $h_{x1} = 5$ м і $h_{x2} = 12$ м за формулою:

$$r_x = 1,5 \times \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right), \quad (13.9)$$

де r_x – радіус зони захисту на висоті h_x , м.

$$r_{x1} = 1,5 \times \left(40 - \frac{5}{0,92} \right) = 51,8 \text{ м;}$$

$$r_{x2} = 1,5 \times \left(40 - \frac{12}{0,92} \right) = 40,4 \text{ м.}$$

Вершину конуса зони захисту одиночного блискавковідводу h_0 , визначимо за формулою:

$$h_0 = 0,92 \times h, \quad (13.10)$$

$$h_0 = 0,92 \times 40 = 36,8 \text{ м.}$$

У разі виконання блискавкозахисту багатократним блискавковідводом стрижневого типу зону захисту визначають як зону захисту попарно взятих блискавковідводів. Умовою захищеності об'єктів висотою h_x з надійністю, що відповідає зонам захисту А та Б, є виконання умови $r_{cx} > 0$ для всіх попарно взятих блискавковідводів.

Зона захисту подвійного стержневого блискавковідводу визначається за формулами: для зони А, яка має місце при $L < 3h$:

при $L < 1,5h$

$$h_c = h_0; r_{cx} = r_x; r_c = r_0. \quad (13.11)$$

при $1,5h < L < 5h$

$$h_c = h_0 - 0,14 \times (L - 1,5 \times h); r_{cx} = r_x \times \left(\frac{h_c - h_x}{h_c} \right); r_c = r_0. \quad (13.12)$$

За наведеними формулами проведемо обчислення розмірів зон захисту попарно взятих блискавковідводів, результати занесені до табл. 13.2.

Таблиця 13.2

Розміри зон захисту блискавковідводів

Відстань між блискавковідводами L , м	Висота зони захисту між блискавковідводами h_c , м	Границі зони зазахисту r_{cx1} , м на рівні $h_{x1} = 5$ м	Границі зони захисту r_{cx2} , м на рівні $h_{x2} = 12$ м
70	35,4	44,48	34,24
80	34	44,18	33,52

Зона захисту (план) багатократного блискавковідводу наведений на рис. 13.1. Блискавкозахист ремонтно-механічного цеху та заземлення представлені на листі графічної частини магістерської роботи.

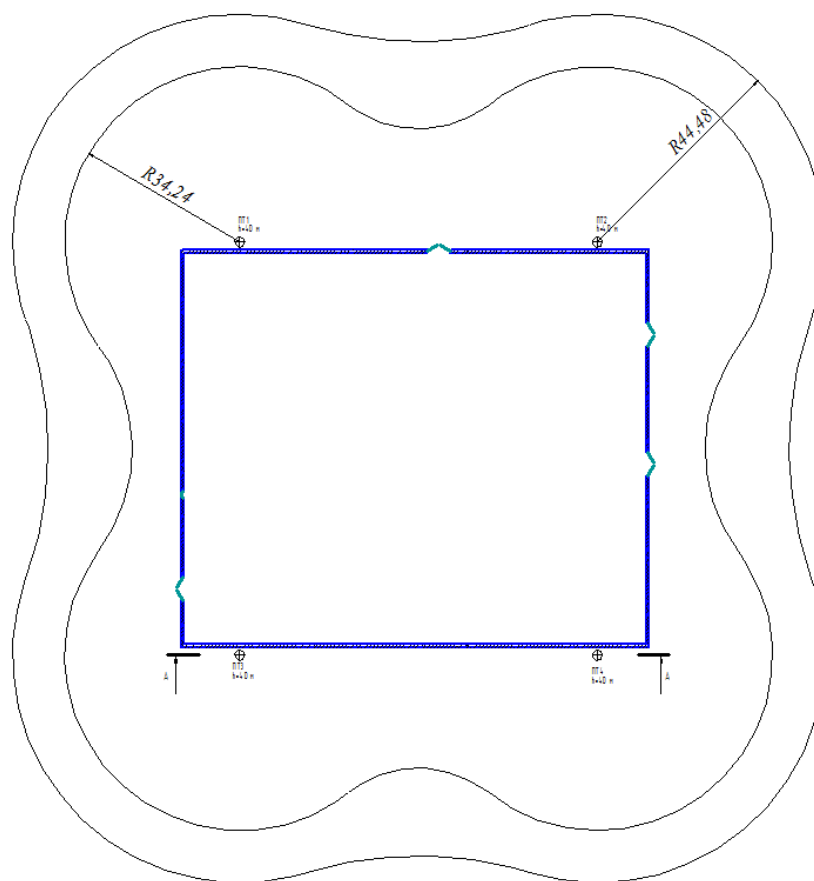


Рис. 13.1. Зона захисту (план) багакратногоо блискавковідводу

14. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ

14.1. Загальні відомості

Графіки навантаження електричної системи мають нерівномірний характер і складаються з графіків споживання електроенергії різними споживачами, зокрема промисловими підприємствами. Енергосистема зобов'язана забезпечити покриття всього графіка навантаження електроспоживачів, включно з його піковими значеннями. Для покриття цих нерівномірностей необхідні значні витрати на спорудження додаткових генерувальних агрегатів та електричних станцій, а також на збільшення витрат на паливо та експлуатацію. Отже, питання вирівнювання графіка навантаження має надзвичайно актуальне значення з економічної точки зору для енергетики будь-якої держави. Основні шляхи вирішення цієї проблеми включають:

1. Об'єднання енергосистем. Вирівнювання графіків досягається завдяки часовим поясам, кліматичним особливостям та різній структурі споживачів. Однак це рішення приймається на рівні, вищому за рівень підприємства, тому детально розглядати його не будемо.

2. Організаційні заходи. Основні заходи передбачають зміщення часу початку та закінчення робочих змін, організацію нічних змін для потужного енергетичного обладнання, що працює з перервами, та різні вихідні дні для окремих структурних підрозділів підприємства.

3. Синтезу графіка навантаження з потрібними параметрами. Досягнення цих параметрів можливе завдяки зміні режимів роботи обладнання, а також зміні часу роботи енергоємних пристроїв. Ці заходи можуть призводити до збитків для підприємства і є індивідуальними для кожного виробництва через специфіку технології. Оптимізувати графік можна також завдяки певному порядку включення електроприймачів у групі. Цей підхід не зачіпає технологічний процес. На підприємствах намагаються створити такий графік,

щоб мінімізувати вартість спожитої енергії. Коли пікові навантаження підприємства та енергосистеми співпадають, бажаного результату можна досягти за допомогою рівномірного розподілу навантаження. Це можливо завдяки заходам, які не впливають на технологічний процес і можуть виконати заплановані завдання без фінансових втрат. Якщо всі доступні можливості використані, але потрібно зменшити витрати, можуть бути застосовані методи, пов'язані з певними збитками. У такому випадку постає оптимізаційна задача управління, де різним рішенням відповідає окремий рівень збитків.

4. Використання підприємств-регуляторів. До таких належать енергоємні та автоматизовані підприємства, які здатні знижувати пікові навантаження. У разі дефіциту потужності, диспетчер електропостачальної компанії може зобов'язати диспетчера підприємства зменшити споживання потужності на певне значення. Це розпорядження має бути виконане безумовно, а варіанти виконання можуть бути різними.

На таких підприємствах одночасно вирішуються дві задачі: оптимізація графіка навантаження та пошук оптимального способу виконання вимог щодо обмеження потужності. Зазвичай, ці задачі вирішуються окремо одна від одної.

14.2. Синтез оптимального графіка електричних навантажень

Розглянемо можливість синтезу групового графіка навантаження $P(t)$, без впливу на індивідуальні, тобто при сталому технологічному процесі. Така задача не вирішується без критерію ефективності.

14.2.1. Критерії оцінки нерівномірності групового графіка навантажень

Груповий графік навантаження формується способом накладання індивідуальних графіків, що визначаються технологічним процесом:

$$P(t) = \sum_{i=1}^m p_i(t),$$

де $P(t)$ – груповий графік;

$p_i(t)$ – індивідуальний графік навантаження для i -го споживача;

m – кількість споживачів електричної енергії з яких формується груповий графік.

З точки зору теорії ймовірності, графіки навантажень можна розглядати як випадкові процеси. Груповий процес $P(t)$ та індивідуальні процеси $p_i(t)$ можуть бути подані послідовностями випадкових величин P та p_i .

Для оцінки цих процесів будемо використовувати параметри розподілу: математичне сподівання – середнє значення величини, що визначається як $M(P)$ для групового графіка та $M(p_i)$ для індивідуальних графіків; дисперсія – кількісна характеристика розкиду значень відносно середнього, яка позначається $D(P)$ для групового графіка та $D(p_i)$ для індивідуальних.

Математичне очікування для значення p_i можна визначити за формулою:

$$M(p_i) = \frac{\sum_{j=1}^n (p_i)_j}{n},$$

де n – загальне число спостережень випадкової величини p_i .

Для величини P , математичним сподіванням є сума індивідуальних випадкових величин і його можна виразити через математичні сподівання складових:

$$M(P) = \sum_{i=1}^m M(p_i).$$

Коефіцієнт форми графіка оцінює його нерівномірність, але ще одним із важливих показників є дисперсія. Вона дозволяє оцінити відхилення графіка від його середнього значення. Маючи відповідну базу статистичного матеріалу, дисперсію величини p_i можна визначити за формулою:

$$D(p_i) = \frac{\sum_{j=1}^n [(p_i)_j - M(p_i)]^2}{n}.$$

Дисперсію величини P можна виразити через дисперсії її складових величин p_i , враховуючи кореляційні зв'язки між ними:

$$D(P) = \sum_i D(p_i) + 2 \sum_{i < s} K_{is},$$

де K_{is} – кореляційний момент між значеннями величин p_i і p_s , який знаходиться за формулою:

$$K_{is} = \frac{\sum_{j=1}^n [(p_i)_j - M(p_i)_j][[(p_s)_j - M(p_s)_j]]}{n};$$

$$\sum_{i < s} K_{is} = K_{12} + K_{13} + K_{23} + K_{14} + K_{24} + K_{34} + \dots + K_{1m} + K_{2m} + \dots + K_{(m-1)m}.$$

Змінити значення дисперсії $D(p_i)$ можливо лише при корекції індивідуального графіка, що, в свою чергу, можливе тільки за рахунок змін у технологічному процесі. Відтак, відповідно до умов задачі, будемо розглядати $D(p_i)$ як сталу величину. Щоб визначити вплив другої складової, розглянемо це на конкретному прикладі.

Приклад, розглянемо формування групового графіку навантаження двома електричними споживачами, які підключені до мережі за схемою (рис. 14.1 *a*) і працюють за індивідуальними графіками $p_1(t)$ і $p_2(t)$, як показано на рис. 14.1, *б*. Графіки $p_1(t)$ і $p_2(t)$ можуть бути зміщені у часі (рис. 14.1, *в*) [20].

Залежності $p_1(t)$ і $p_2(t)$ для певних моментів часу t_i , подані у табл. 14.1, де представлені два можливі варіанти.

Обчислимо дисперсію $D(P)$ для групових графіків електричного навантаження, що сформовані у кожному з варіантів 1 і 2.

Таблиця 14.1

Графіки індивідуальних навантажень

Перерізи часу	Варіант 1		Варіант 2	
	$p_1(t)$, кВт	$p_2(t)$, кВт	$p_1(t)$, кВт	$p_2(t)$, кВт
t_1	10	0	10	20
t_2	20	20	20	30
t_3	30	30	30	0

1. Дисперсії величин p_1 і p_2

$$D(p_1) = 66,6 \text{ кВт}^2; \quad D(p_2) = 155,55 \text{ кВт}^2.$$

2. Кореляційні моменти для варіантів 1 і 2 відповідно

$$K_{12} = - 11,06 \text{ кВт}^2; \quad K_{12} = - 66,66 \text{ кВт}^2.$$

3. Дисперсії групових графіків електричного навантаження, отриманих у варіантах 1 і 2

$$D(P) = 66,6 + 155,55 - 2 \times 11,06 = 200 \text{ кВт}^2;$$

$$D(P) = 66,6 + 155,55 - 2 \times 66,66 = 88,83 \text{ кВт}^2.$$

При аналізі результатів з прикладу помітно, що значення дисперсії і нерівномірність групових графіків електричного навантаження, відрізняються між варіантами 1 і 2. Пояснюється це відмінностями у кореляційних моментах випадкових значень потужностей p_1 і p_2 , через відносний зсув у часі між індивідуальними графіками. Це буде справедливим для будь-якої кількості індивідуальних графіків. Отже, оптимальний синтез групового графіка є задачею оптимізації, оскільки, впливаючи на зміну відносного зсуву у часі індивідуальних графіків, можна варіювати рівень нерівномірності групового графіка. Критерієм для досягнення оптимального зсуву є мінімізація суми $\sum_{i \rightarrow s} K_{is}$.

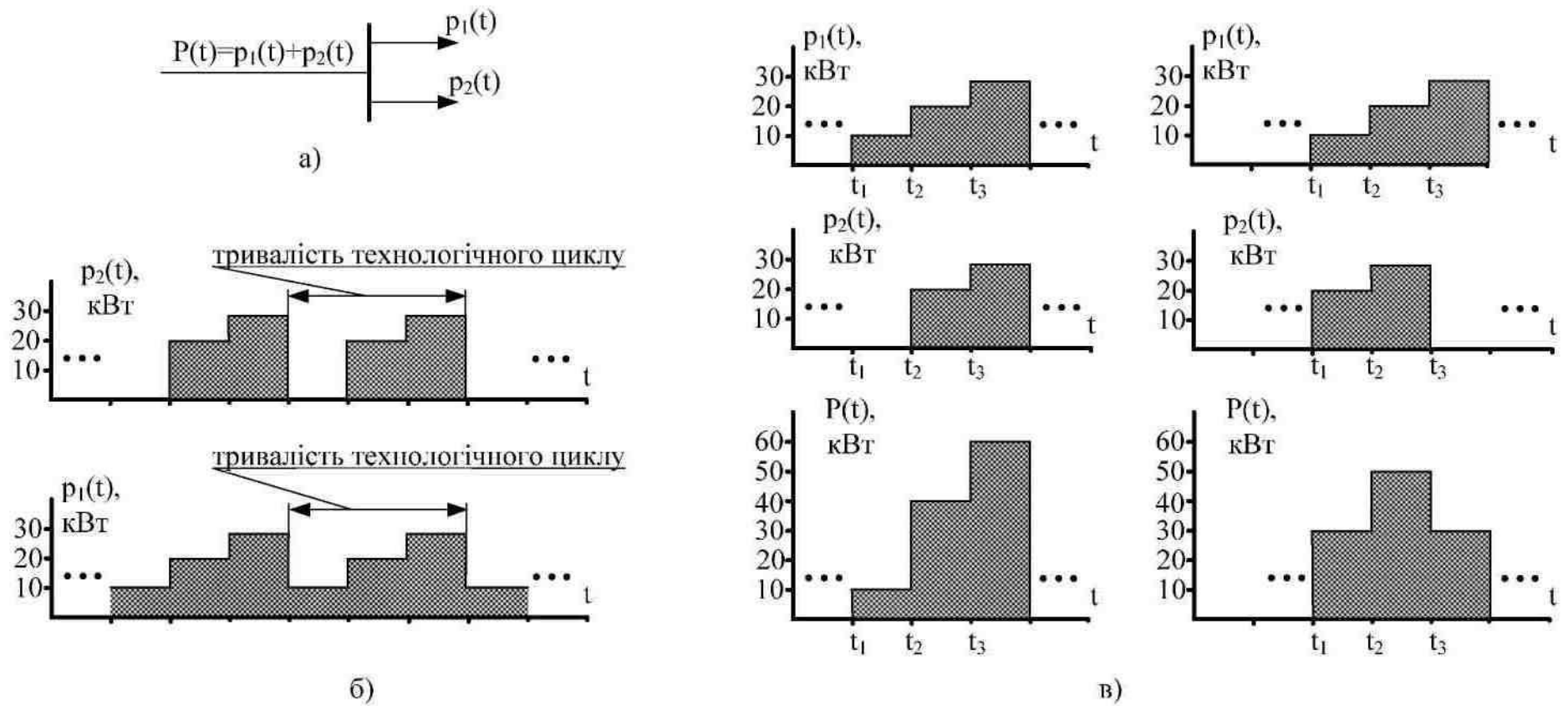


Рис. 14.1. Різновиди синтезу групового графіка навантаження $P(t)$: а) спрощена схема підключення навантажень; б) індивідуальні графіки електричних навантажень $p_1(t)$ і $p_2(t)$; в) можливі способи побудови групового графіка $P(t)$ за час технологічного циклу

14.2.2. Обчислення зсувів для індивідуальних графіків електричного навантаження

Для вирішення задачі по створенню оптимального групового графіка електричного навантаження скористаємося методом динамічного програмування, розробленим для вирішення багатоетапних оптимізаційних завдань. Основна ідея цього підходу полягає в розділенні великої задачі на послідовність кроків, кожен з яких вирішує менш масштабну задачу. На кожному етапі слід знаходити умовно оптимальне рішення, яке забезпечить оптимальне продовження процесу оптимізації.

В рамках даного підходу під кожним етапом будемо розуміти підключення до системи чергового електроприймача. На першому етапі визначаємо оптимальний час зсуву між першим і другим навантаженням, щоб досягти максимальної рівномірності групового графіка, сформованого двома електроприймачами – мінімум значення $\min K_{12}$. На наступному етапі розраховується оптимальний зсув для третього навантаження, що мінімізує вираз $\min (K_{13} + K_{23})$. На третьому етапі ми шукаємо мінімум для суми – $\min (K_{14} + K_{24} + K_{34})$, а на фінальному, $(m-1)$ етапі – мінімум для виразу $\min (K_{1m} + K_{2m} + K_{3m} + \dots + K_{(m-1)m})$.

Розглянемо вирішення цієї задачі за умови певних припущень.

1. Груповий графік електричного навантаження створюється сукупністю ідентичних індивідуальних графіків. Завдяки цьому на інтервалі, що дорівнює проміжку часу технологічного циклу, спостерігається періодичність його форми, як показано на рис. 14.2. Отже, процес формування графіка $P(t)$ і його рівномірність можна аналізувати на проміжку часу, що відповідає тривалості циклу.

2. Обмеження технологічного характеру щодо відносних зсувів індивідуальних графіків не передбачені.

3. Потужність електроприймача змінюється відповідно до технологічного процесу за наперед заданим графіком, що має вигляд ступінчастої функції.

4. Увімкнення навантаження може здійснюватися лише у певні дискретні моменти часу. Крок дискретизації залежить від тривалості кожного рівня графіка електричного навантаження. Його тривалість впливає на остаточний результат, проте його обґрунтування є окремим завданням, яке ми не будемо розглядати.

Для використання методу динамічного програмування в розв'язанні задачі необхідно обчислити матрицю кореляційних моментів – \mathbf{K} , де кількість рядків і стовпців відповідає кількості рівнів індивідуального графіка навантаження – L . Елементи матриці \mathbf{K} являють собою кореляційні моменти, що відповідають усім можливим зсувам у часі між двома індивідуальними графіками електричного навантаження. Наприклад, k_{34} – кореляційний момент для двох індивідуальних графіків, коли рівень 4 одного графіка збігається з рівнем 3 іншого.

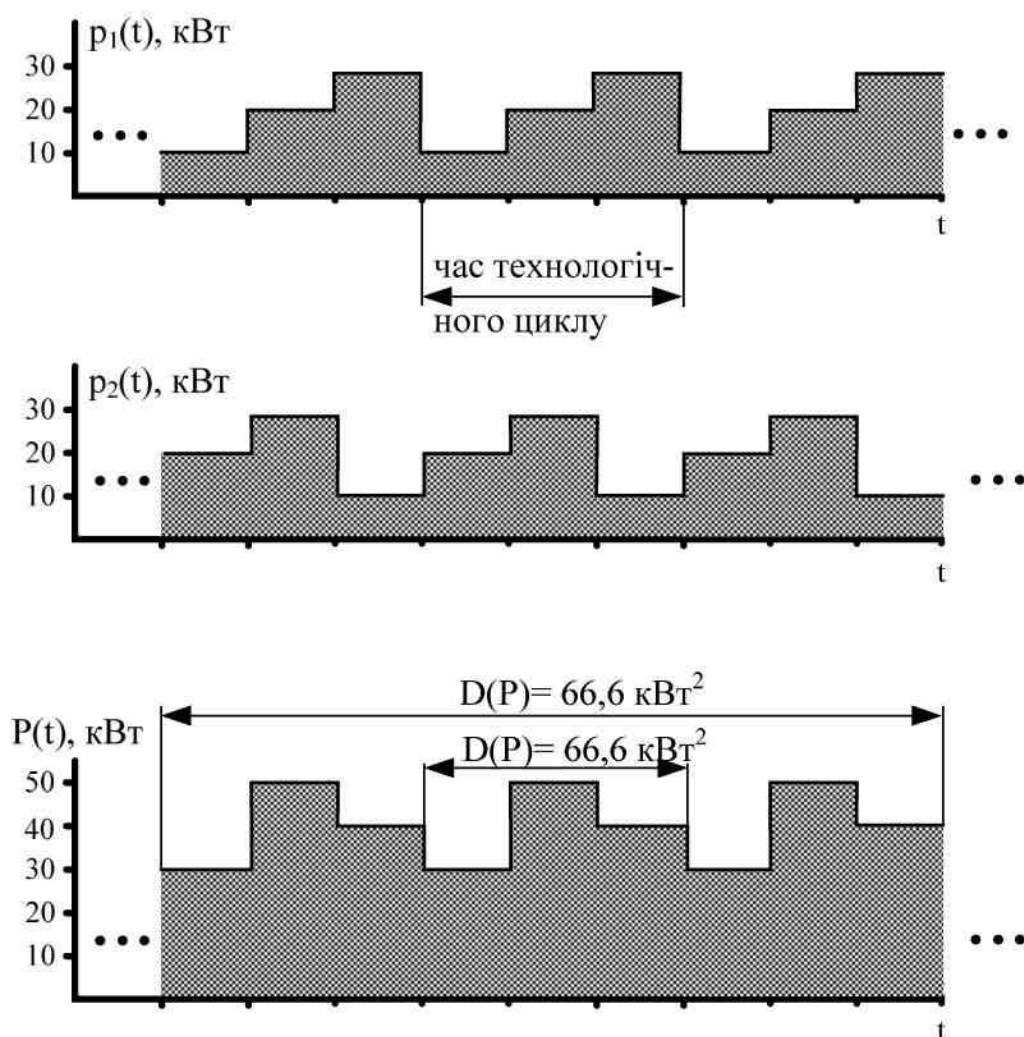


Рис. 14.2. Формування $P(t)$, які створені електроприймачами з однаковими $p_i(t)$

Для створення оптимального групового графіка потрібна така інформація ззовні:

- про кількість електричних приймачів, які формують груповий графік, позначену як m ;
- про індивідуальний графік електричного навантаження для кожного електроприймача, позначений як $p_i(t)$.

На початковому етапі необхідно встановити оптимальний час зсуву між першим і другим електричними приймачами у технологічних циклах. Оптимальний зсув між $p_1(t)$ і $p_2(t)$ визначається шляхом вибору найменшого значення з першого рядка матриці \mathbf{K} . Математичне формулювання цієї умови можна записати таким чином:

$$f_1 = \min_{\text{по всіх } k_{lr}} K_{12} = \min\{k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1L}\} = k_{1v_1},$$

де f_1 – це показник, який оцінює рішення, прийняте на першому етапі вирішення задачі;

K_{12} – кореляційний момент між графіками навантаження першого та другого електроприймачів, який може мати будь-яке значення з набору $\{k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1r}, \dots, k_{1L}\}$.

Отримане рішення інтерпретується так: груповий графік $p_1(t)+p_2(t)$ буде характеризуватися мінімальним K_{12} , якщо ступінь v_1 графіку $p_2(t)$ співпадатиме зі ступенем 1 графіку $p_1(t)$, за умови, що $1 \leq v_1 \leq L$. Це є достатнім для практичної реалізації оптимального відносного зсуву в часі між циклами роботи першого та другого електричних споживачів.

На другому етапі також визначається найкращий час зсуву для технологічного циклу роботи третього електричного споживача, враховуючи технічне рішення, яке було отримано на першому етапі розв'язування задачі.

Обчислювальний процес на другому етапі полягає в наступному:

- розглядаються всі можливі зсуви графіка $p_3(t)$ стосовно вже встановлених графіків $p_1(t)$ і $p_2(t)$, шляхом поетапного поєднання ступенів графіка $p_3(t)$ з першим ступенем графіка $p_1(t)$);
- обчислюються відповідні суми $(K_{13}+K_{23})$;
- вибирається найменше значення серед отриманих результатів;
- номер ступеня $p_3(t)$, який відповідає цьому мінімальному значенню $(K_{13}+K_{23})$, буде вирішенням щодо розташування третього графіка по відношенню до першого ступеня $p_1(t)$.

За допомогою показника f_2 , оцінюють прийняті рішення з результатів другого етапу таким чином:

$$\begin{aligned}
 f_2 &= \min (K_{13} + K_{23}) + f_1 = \\
 &\quad \text{по всіх } k_{1r} \text{ та } k_{2r} \\
 &= \min \left\{ (k_{11} + k_{v_1 1}), (k_{12} + k_{v_1 2}), \dots, (k_{1L} + k_{v_1 L}) \right\} + f_1 = \\
 &\quad (k_{1v_2} + k_{v_1 v_2}) + f_1,
 \end{aligned}$$

де K_{13} , K_{23} – кореляційні моменти між $p_1(t)$; $p_3(t)$ і $p_2(t)$; $p_3(t)$.

Отриманий результат на другому етапі – $\sum_{i < s} K_{is} = \min(K_{12} + K_{13} + K_{23})$ можна реалізувати шляхом накладання ступеня v_2 графіка $p_3(t)$ із ступенем 1 графіка $p_1(t)$.

Для фінального етапу, $(m-1)$

$$\begin{aligned}
f_{m-1} &= \min_{\text{по всіх } k_{1r}, k_{v_1r}, k_{v_2r}, \dots, k_{v_{(m-2)}r}} (K_{13} + K_{23} + \dots + K_{(m-1)m}) + f_{(m-2)} = \\
&= \min \left\{ \left(k_{11} + k_{v_1 1} + k_{v_2 1} + \dots + k_{v_{(m-2)} 1} \right) \right. \\
&\quad \left(k_{12} + k_{v_1 2} + k_{v_2 2} + \dots + k_{v_{(m-2)} 2} \right), \dots \\
&\quad \left. \dots, \left(k_{1L} + k_{v_1 L} + k_{v_2 L} + \dots + k_{v_{(m-2)} L} \right) \right\} + f_{m-2} = \\
&= \left(k_{1v_{(m-1)}} + k_{v_1 v_{(m-1)}} + k_{v_2 v_{(m-1)}} + \dots + k_{v_{(m-2)} v_{(m-1)}} \right) + f_{m-2}.
\end{aligned}$$

Отже, впливає що ступінь $v_{(m-1)}$ графіка $p_m(t)$ необхідно накласти із ступенем 1 графіка $p_1(t)$.

Зробивши узагальнення, можна сформулювати рекурентні зв'язки для методу динамічного програмування в задачах оптимізації групового графіка навантаження:

$$\begin{cases} f_1 = \min_{\text{по всіх } k_{1r}} K_{12} \\ \text{-----} \\ f_z = \min_{\text{по всіх } k_{1r}, k_{v_1r}, k_{v_2r}, \dots, k_{v_{(z-1)}r}} (K_{1(z+1)} + K_{2(z+1)} + \dots + K_{z(z+1)}) + f_{z-1}, \quad z = 2, 3, \dots, (m-1), \end{cases}$$

які дозволять знайти оптимальний зсуву в часі при роботі всіх споживачів електричної енергії і забезпечать мінімальне значення $\sum_{i \in S} K_{is}$.

Розглянемо інший випадок, де потрібно синтезувати оптимальний груповий графік для споживачів з однаковими графіками електричного навантаження. У групі є 4 електроприймачі, а графік навантаження кожного з них на інтервалі технологічного циклу представлено на рис. 14.3, а.

1. Запишемо можливі часові відносні зсуви для двох графіків у межах тривалості технологічного циклу.

Відносне положення графіка $p_2(t)$	Потужності навантажень $p_2(t)$, кВт					
Графіки $p_1(t)$ та $p_2(t)$ суміщені	40	20	20	0	30	0
Зсув графіка $p_2(t)$ на тривалість першого ступеня	0	40	20	20	0	30
Те ж, на тривалість 2-х ступенів	30	0	40	20	20	0
Те ж, на тривалість 3-х ступенів	0	30	0	40	20	20
Те ж, на тривалість 4-х ступенів	20	0	30	0	40	20
Те ж, на тривалість 5-и ступенів	20	20	0	30	0	40

2. Обчислюємо компоненти матриці:

$$K = \begin{pmatrix} 213,88 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 97,21 & -136,1 \\ -136,1 & 213,88 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 97,21 \\ 97,21 & -136,1 & 213,88 & -136,1 & 97,21 & -136,1 \\ -136,1 & 97,21 & -136,1 & 213,88 & -136,1 & 97,21 \\ 97,21 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 213,88 & -136,1 \\ -136,1 & 97,21 & -136,1 & 97,21 & -136,1 & 213,88 \end{pmatrix}.$$

3. Проводимо обчислення для першого етапу:

$$F_1 = \min\{213,88, -136,1, 97,21, -136,1, 97,21, -136,1\} = -136,1 \text{ кВт}^2.$$

Отримавши ряд рівноцінних розв'язків: можна зсунути графік $p_2(t)$ на тривалість 1; 3 або 5 ступенів. Звідси випливає, що задача синтезу оптимального групового графіка навантаження може мати ряд альтернативних оптимальних розв'язків. Вони можуть бути на будь-якому етапі вирішення задачі. Незалежно, який із них був вибраний, нерівномірність графіків, що отримані як на проміжних, так і на кінцевому етапі, буде однаковою.

Із отриманих розв'язків, як варіант, можемо прийняти рішення, сумістити 6-ий ступінь графіку $p_2(t)$ із ступенем 1 графіку $p_1(t)$. Груповий графік, отриманий при розв'язуванні задачі 1-го етапу показано на рис. 14.3, б.

4. Другий етап вирішення задачі полягає у визначенні відносного зсуву в часі для графіка навантаження третього електричного приймача.

$$f_2 = \min\{(213,66-136,1), (-136,1+213,66), (97,21-136,1), (-136,1+97,21), (97,21-136,1), (-136,1+97,21)\}-136,1 = \\ = \{77,56, 77,56, -38,9, -38,9, -38,9, -38,9\} = -38,9-136,1 = -174,99 \text{ кВт}^2.$$

Це дасть на змогу сумістити 3; 4; 5 або 6 ступені графіка $p_3(t)$ із ступенем 1 графіка $p_1(t)$. Остаточно приймаємо рішення, про суміщення 5 ступеня графіка $p_3(t)$ із 1 ступенем $p_1(t)$. При цьому, груповий графік, що сформується при навантаженнях 1; 2 і 3, набуде вигляду (рис. 14.3, в).

5. На третьому етапі визначаємо відносний зсуву у часі для 4 навантаження.

$$f_3 = \min\{(213,88-136,1+97,21), (-136,1+231,88-136,1), (97,21-136,1+213,88), (-136,1+97,21-136,1), (97,21-136,1+97,21), (-136,1+97,21-136,1)\}-174,99 = \\ = \{174,76, -58,54, 174,98, -175, 58,3, -175\} = -175 - 174,99 = \\ = -349,99 \text{ кВт}^2.$$

Як і в попередньому випадку маємо теж кілька оптимальних рішень, але в кінцевому випадку приймаємо таке: сумістимо 4 ступінь графіка $p_4(t)$ із 1 ступенем $p_1(t)$. Отриманий графік навантаження протягом технологічного циклу (рис. 14.3, з), відповідає прийнятими нами рішеннями.

За результатами отриманих розрахунків будемо графічні зображення (рис. 14.3).

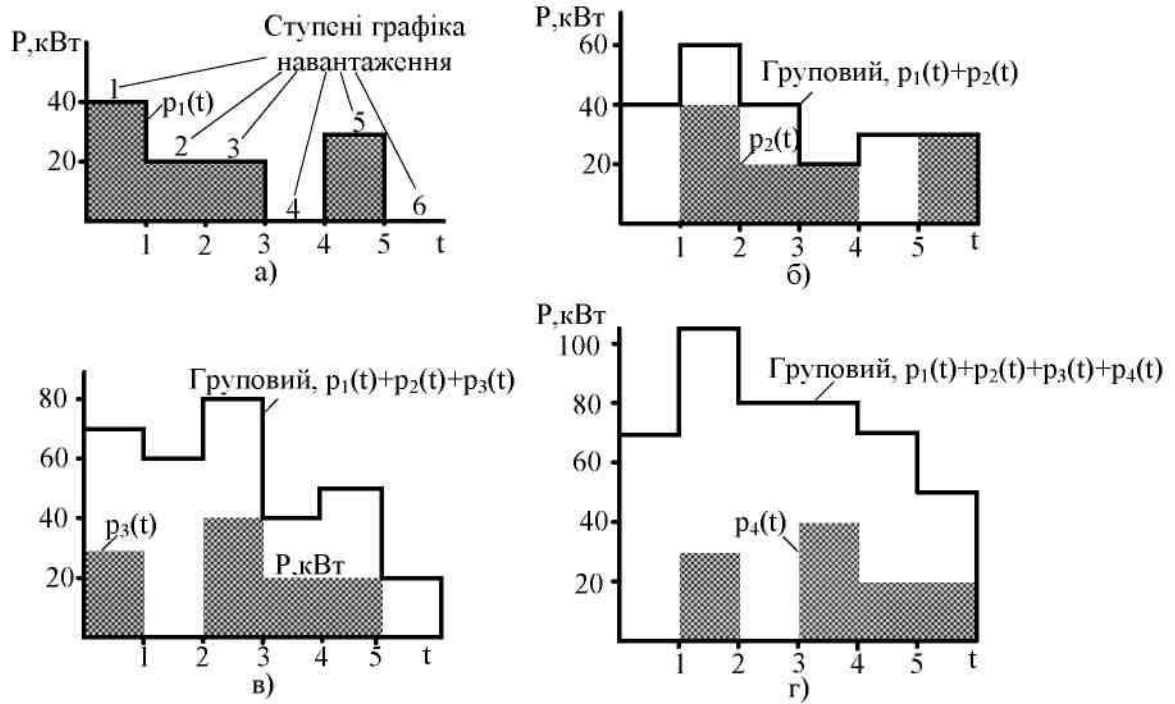


Рис. 14.3. Поетапне формування графіка навантаження за результатами розрахунку:

а – графіки індивідуальних навантажень електроспоживачів з яких формується груповий; б - груповий за результатами розрахунку 1-го етапу; в - те ж саме, для 2-го етапу; г - те ж саме, для 3-го етапу або оптимізований груповий $P(t)$, що формується за чотирма індивідуальними, протягом технологічного циклу

Протягом інтервалу часу $0 \leq t \leq 6$ (див. рис. 14.4), показано початок часу роботи всіх електроспоживачів, протягом інтервалу $t \geq 6$ – буде оптимальний груповий графік, що утвориться, якщо реалізуються результати виконаних розрахунків.

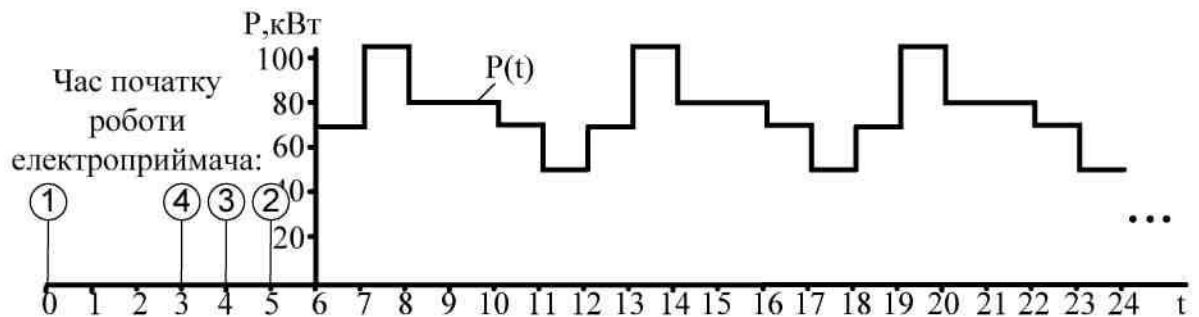


Рис. 14.4. Реалізація результатів, що отримуються при розрахунку

Даним методом також користуються, коли вирішується задача по визначенню оптимального проміжку часу для підключення до групи уже працюючих електроспоживачів іще одного. При цьому одновимірною матрицею \mathbf{K} буде являти собою кореляційні моменти між груповим графіком уже працюючих електроспоживачів $(m-1)$ і m -м, який підключається, а її розв'язання можна отримати за один етап.

14.3. Обмеження навантаження несиметричних електроприймачів у разі дефіциту потужності в енергосистемі

Проблема обмеження потужності промислового підприємства є актуальною як для підприємств-регуляторів, так і для інших електроспоживачів. Її суть полягає у необхідності зменшення потужності підприємства на величину ΔP , відповідно до вимог диспетчера енергопостачальної компанії. Варіантів є багато, але реалізація кожного з яких буде мати деякі наслідки для виробництва, які оцінюють за такими показниками:

- технологічні втрати (зниження якості продукції та її брак);
- недовиробництво продукції за обсягами;
- недовиробництво продукції за видом (якщо виробляється продукція різних номенклатур).

До цих показників додаються й інші, що пов'язані зі змінами параметрів режиму роботи електричної мережі, оскільки, відключення електроспоживачів або зміна технології виробництва, впливають на втрати електроенергії, показники її якості, надійність електричної мережі тощо. При цьому, ці зміни можуть мати як позитивний, так і негативний характер. Отже, при прийнятті рішень про зменшення потужності підприємства, слід врахувати і ті зміни електричного режиму, які виникнуть при їх реалізації.

Таким чином, обмеження потужності підприємства залежить від багатьох критеріїв і є складною задачею. Для знаходження оптимального рішення цієї задачі можна виконати за допомогою впорядкування критеріїв за їх перевагою.

Проте таке сортування можна виконувати тільки для конкретного виробничого процесу. Далі можна запропонувати таку послідовність для вирішення задачі:

- визначити групу електроприймачів, які небажано відключати або змінювати технологічний режим через важливість найголовнішого критерію;
- серед інших електроприймачів знайти ті, які небажано відключати або змінювати технологічний режим відповідно до наступного за пріоритетним критерієм, і так далі;
- на фінальному етапі, серед електричних споживачів, що залишилися, із сумарною потужністю більшою за потужність обмеження, визначаються ті, які потрібно вимкнути або змінити їх режим роботи.

Розглянемо модель, призначену для фінального етапу пошуку оптимального рішення. Її можна використовувати, якщо критерієм найнижчого діапазону виступають характеристики параметрів електричного режиму в мережі, а обмеження потужності буде у вузлі з несиметричними електроприймачами.

Відключення таких електроприймачів дає змогу задовольнити вимоги енергосистеми щодо зменшення потужності підприємства та водночас зменшити вплив несиметричного режиму.

Як критерій ефективності моделі управління можна використовувати модуль струму зворотної послідовності у лінії живлення групи несиметричних електроспоживачів.

Дана математична модель може забезпечити таке обмеження:

- виконання вимог енергосистеми щодо зниження потужності;
- збереження мінімально допустимого значення потужності групи несиметричних електроспоживачів, що є необхідним, для виключення можливості отримання технічно недопустимого рішення, тобто відключення усіх приймачів і гарантувати область пошуку оптимального рішення;
- можливість відключення будь-якого з несиметричних електроспоживачів.

Кожен несиметричний електроспоживач може перебувати в одному із двох станів – «увімкнений» або «вимкнений», для зручності опису доцільно використовувати булеві змінні. Призначимо їм наступне значення: якщо керована змінна в процесі розв'язання задачі $x_n=1$, це означає, що n -й несиметричний електроспоживач має залишатись увімкненим, якщо ж $x_n=0$, його слід вимкнути.

Завдання обмеження потужності відрізняється від описаної раніше задачі внутрішнього симетрування несиметричних електроспоживачів тим, що підключення кожного приймача до конкретної напруги залишається незмінним. Його можна лише залишити увімкненим, або вимкнути.

Коли n -й несиметричний електроспоживач, підключений до певної міжфазної напруги, створює струм зворотної послідовності $a_n + jb_n$, цільова функція математичної моделі записується у наступній формі:

$$\left| \sum_{n=1}^m a_n x_n + j \sum_{n=1}^m b_n x_n \right| \rightarrow \min.$$

Потужність у вузлі навантаження при реалізації обчисленого вектора керування описується наступним чином:

$$\sum_{n=1}^m P_n x_n,$$

де P_n – потужність n -го споживача електричної енергії.

Значення вихідної потужності цього вузла:

$$\sum_{n=1}^m P_n,$$

а потужність підприємства, при реалізації вимоги енергопостачальної компанії:

$$\sum_{n=1}^m P_n - \Delta P.$$

Отже, ми отримали перше обмеження, яким встановлюється вимога енергосистеми до зменшення потужності підприємства, і записується так:

$$\sum_{n=1}^m P_n x_n \leq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P.$$

Знак \leq між правою та лівою частинами нерівності означає, що дискретний ряд P_n , $n = 1, 2, \dots, m$ несиметричних споживачів електричної енергії може бути таким, що не забезпечить зменшення потужності підприємства ΔP .

Друге обмеження, яке дозволяє шукати оптимальний розв'язок і виключає можливість отримання технічно неприйнятних результатів, можна сформулювати наступним чином:

$$\sum_{n=1}^m P_n x_n \leq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P - 2P_{n \max},$$

де $P_{n \max} = \max\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$.

Система обмежень, що визначає можливі стани для кожного несиметричного споживача, має наступний вигляд:

$$x_n - \bar{x}_n = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m,$$

де \bar{x}_n – фіктивна змінна, яка не має фізичного змісту; якщо $x_n = 1$, то $\bar{x}_n = 0$ і навпаки, якщо $x_n = 0$, то $\bar{x}_n = 1$.

Загалом, математична модель, яка обмежує потужність групи несиметричних споживачів електроенергії, виглядає так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \sum_{n=1}^m a_n x_n + j \sum_{n=1}^m b_n x_n \right| \rightarrow \min \\ \sum_{n=1}^m P_n x_n \leq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P \\ \sum_{n=1}^m P_n x_n \geq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P - 2P_{n \max} \\ x_n + \bar{x}_n = 1, \quad n = 1, 2, \dots, m \\ x_n, \bar{x}_n \in \{1, 0\}. \end{array} \right.$$

Ця математична модель спрямована на мінімізацію струму зворотної послідовності в вузлі навантаження за умови зниження потужності у цьому ж

вузлі для несиметричних споживачів і належить до класу не скалярних моделей. Для аналізу моделі необхідно застосовувати один із алгоритмів не скалярної оптимізації.

Практичне значення ця модель має як частина комплексу моделей, що використовуються на різних рівнях ухвалення керуючих рішень.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблено систему електропостачання Кам'янець-Подільського кабельного заводу та розглянуто питання щодо задач керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

На підставі аналізу даних про споживачі електричної енергії кабельного заводу, вибрано відповідні методи та методики, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі по розрахунку електричних навантажень на стороні високої та низької напруги, вибору основного електрообладнання до схеми електропостачання для надійної його роботи як в нормальному так і аварійному режимах.

За результатами виконання магістерської роботи щодо вибору параметрів елементів СЕП кабельного заводу в м. Кам'янець-Подільський, на основі проведених розрахунків прийняті такі нижче наведені рішення.

1. Виконані розрахунки електричних навантажень заводу за коефіцієнтом попиту та ремонтно-механічного цеху за методом упорядкованих діаграм. Повна розрахункова потужність кабельного заводу з боку ВН трансформаторів ГПП з урахуванням компенсації реактивної потужності та втрат в трансформаторах склала 22094 кВА.

2. Визначено координати розміщення ГПП та цехових ТП за мінімумом приведених затрат в кабельних лініях. При такому розміщенні витрати на спорудження, а також сумарні затрати по СЕП мережі підприємства будуть мінімальними.

3. На підставі техніко-економічного порівняння варіантів по вибору оптимальної напруги живлення заводу, встановлено, що доцільніше виконати

зовнішнє електропостачання по дволанцюговій ЛЕП АС 95/16 на напругу 110 кВ з установкою на ГПП двох силових трансформаторів типу ТДН-16000/110/6 для забезпечення надійного живлення споживачів I та II категорії надійності електропостачання.

4. Знайдено економічно обґрунтоване оптимальне число, потужність та місце розташування цехових ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності. ТП цехів спроектовані комплектними в двотрансформаторному виконанні з установкою на них трансформаторів ТМЗ-1600/6/0,4. Внутрішньозаводська система електропостачання виконана на напругу 6 кВ через те, що всередині заводу є міні-ТЕЦ з генераторами на 6 кВ, на 6 кВ споживачів припадає понад 50% всього навантаження і споживачі 6 кВ рівномірно розподілені по території заводу. У відповідності до розташування ТП на генплані кабельного заводу, доцільно здійснити електропостачання ТП1, ТП2, ТП3 за схемою подвійної наскрізної магістралі. Для ТП4, розташованої в іншому напрямку від ГПП, більше підходить блокова радіальна дволанцюгова схема живлення.

Електропостачання підприємства здійснюється від двох джерел від власної міні-ТЕЦ та підстанції енергосистеми, розташованої на відстані 19,2 км від заводу.

Цехові ТП виконані двотрансформаторними з трансформаторами марки ТМЗ із вторинною напругою 0,4 кВ та роздільним режимом роботи трансформаторів. Шини 0,4 кВ обладнані секційним автоматом із пристроєм автоматичним включенням резерву (АВР). Усі цехові ТП живляться за радіальною схемою. Приймачі електроенергії корпусів із встановленими силовими пунктами (СП), отримують живлення від шин ТП найближчих цехів кабельними лініями 0,4 кВ.

Дві комірочки по одній на кожній секції шин призначені для підключення високовольтних конденсаторних батарей.

5. Визначено оптимальний переріз алюмінієвих кабельних ліній 6 кВ типу АПвЕгП мережі кабельного заводу та перевірено їх за втратою напруги і дії струмів КЗ.

6. Для вибору і перевірки електротехнічних апаратів і струмопровідних частин електроустановок, вибору вставок спрацювання релейного захисту на стороні високої і низької напруги, в роботі виконано розрахунок струмів короткого замикання на відповідних ділянках схеми електропостачання кабельного заводу. Зокрема, на стороні напругою 110 кВ встановлюємо елегазовий вимикач типу GL 312 F1/4031; у якості комутаційних апаратів на стороні напругою 6 кВ та захисту кабельних ліній від струму короткого замикання вибираємо вакуумні вимикачі типу ВБЭ-10.

7. За результатами розрахунку розрахункового навантаження ремонтно-механічного цеху, яке склало 206 кВА, усі електроспоживачі цеху розподіляємо на чотири силові пункти. Електропостачання ремонтно-механічного цеху виконано від ТП-4 кабелем АВВГ 4x70 мм². В якості апаратів захисту на трансформаторній підстанції вибираємо автоматичні вимикачі "Електрон" типу Э25.

8. Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом спроектовано контур захисного заземлення ремонтно-механічного цеху. Для запобігання попаданню блискавки в будівлю ремонтно-механічного цеху передбачаємо систему блискавкозахисту.

9. За результатами розрахунку та аналізу релейного захисту системи електропостачання кабельного заводу встановлено, що на всіх ділянках, що захищаються, забезпечується селективність струмових ступінчатих захистів, швидкодія та чутливість до всіх видів пошкоджень.

10. В спеціальній частині магістерської роботи розглянуто питання щодо задач керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення.

Проблема вирівнювання графіка навантаження завжди залишається важливою для економічному розвитку енергетичного сектора будь-якої країни.

Її розв'язують здебільшого такими методами: об'єднанням енергосистем; проведенням організаційних заходів; синтезом графіка навантаження підприємств із необхідними параметрами; а також використанням підприємств-регуляторів.

Для оцінки нерівномірності графіка навантаження зазвичай застосовується коефіцієнт форми графіка, проте ще одним показником може бути дисперсія.

Вплинути на значення дисперсії можна лише через зміну індивідуального графіка, що практично можна реалізувати шляхом зміни технологічного процесу.

З наведеного прикладу в роботі видно, що значення дисперсії, а отже і нерівномірність отриманих групових графіків для варіантів 1 та 2 є різні. Це пояснюється різними значеннями кореляційних моментів випадкових величин потужностей p_1 і p_2 , які залежать від відносного зсуву у часі між індивідуальними графіками навантаження. Такий висновок можна поширити і на будь-яку кількість індивідуальних графіків. Таким чином, задача синтезу групового графіка навантаження стає оптимізаційною, оскільки, змінюючи відносний зсув у часі між індивідуальними графіками, можна контролювати нерівномірність групового графіка. Оптимальний зсув у часі визначається через мінімізацію суми кореляційних моментів випадкових величин p_i і p_s .

Розв'язок задачі синтезу оптимального групового графіка навантаження проводиться методом динамічного програмування, призначеним для розв'язування багатоетапних оптимізаційних задач. Суть методу полягає у поділі складної задачі на кілька етапів, на кожному з яких роз'язується задача меншої вимірності. На кожному етапі має бути знайдене умовно оптимальне рішення, яке забезпечує найкраще продовження процесу оптимізації.

Для використання методу динамічного програмування в розв'язанні задачі необхідно обчислити матрицю кореляційних моментів – \mathbf{K} , де кількість рядків і стовпців відповідає кількості рівнів індивідуального графіка навантаження – L . Елементи матриці \mathbf{K} являють собою кореляційні моменти, що відповідають

усім можливим зсувам у часі між двома індивідуальними графіками навантаження.

Таким чином, обмеження потужності підприємства залежить від багатьох критеріїв і є складною задачею. Для знаходження оптимального рішення цієї задачі можна виконати за допомогою впорядкування критеріїв за їх перевагою. Проте таке сортування можна виконувати тільки для конкретного виробничого процесу. Далі можна запропонувати таку послідовність для вирішення задачі:

- визначити групу електроприймачів, які небажано відключати або змінювати їх технологічний режим через важливість найголовнішого критерію;
- серед інших електроприймачів знайти ті, які небажано вимикати або змінювати технологічний режим їх роботи відповідно до наступного за пріоритним критерієм, і так далі;
- на фінальному етапі, серед електричних споживачів, що залишилися, із сумарною потужністю більшою за потужність обмеження, визначаються ті, які потрібно вимкнути або змінити їх режим роботи.

Отже, можна зробити висновок, що спроектована система електропостачання Кам'янець-Подільського кабельного заводу відповідає всім вимогам ПУЕ, ПТЕ, ДБН та іншим чинним нормативно-технічним документам України і може забезпечити надійне, безперебійне та якісне електропостачання. Крім того, вирішення задачі керування електроспоживанням в умовах дефіциту потужності систем живлення дасть змогу синтезувати графік навантаження заводу з необхідними характеристиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2011 р. – 656 с.
2. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. Посібник /О.М.Сірий, В.Є.Шестеренко. – К.: ІСДО, 1993. – 592 с.

3. Сірий О.М. Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання: навч. посіб. /О.М.Сірий; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т харч. технол. – К.: НУХТ, 2011. – 319 с.
4. Корольов В.М., Шевченко С.І. Електропостачання підприємств промислового типу. – Харків: НТУ "ХП", 2015. – 290 с.
5. Базюк А.М. Системи електропостачання промислових підприємств. – К.: Національний технічний університет України "КПІ", 2018. – 350 с.
6. Коваленко О.П., Миронов Ю.Л. Електропостачання промислових зон. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2019. – 285 с.
7. Кучер В.М., Андрієнко О.В. Електропостачання промислових об'єктів. – Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка", 2017. – 320 с.
8. Іванов В.П., Петров І.М. Електричні мережі та системи. – К.: НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського", 2016. – 375 с.
9. Дяченко І.О., Ковальчук В.Г. Основи електропостачання промислових підприємств. – Одеса: Одеський національний політехнічний університет, 2018. – 340с.
10. Горбатюк С.В., Мельник П.О. Теорія електропостачання промислових об'єктів. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет, 2019. – 295 с.
11. Сидоренко А.В., Шаповалов О.В. Електропостачання промислових та цивільних будівель. К.: Державний університет інфраструктури та технологій, 2017. – 280 с.
12. Прокопенко В.І., Коваленко С.П. Електропостачання підприємств та їх безпека. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 315 с.
13. Савчук О.Г., Корнійчук І.П. Проектування електропостачальних систем для промислових підприємств. – Львів: Львівська політехніка, 2016. – 360 с.
14. Струков В.А., Зубченко М.М. Електричні мережі промислових об'єктів. – Харків: Харківський національний університет міського господарства, 2019. – 290 с.

15. Мельник О.П., Ковальський О.В. Перехідні процеси в електричних мережах. – Львів: "Світ", 2016. – 412 с.
16. Герасименко В.В., Мартинюк О.П. Аналіз перехідних процесів в електроустановках. – Харків: "Харківський національний університет міського господарства", 2019. – 320 с.
17. Луценко С.О., Марченко І.В. Основи аналізу перехідних процесів в електричних мережах. – Одеса: "Одеська політехніка", 2016. – 305 с.
18. Горбатюк А. М., Субботіна О. П. Релейний захист та автоматика електричних мереж. – Львів: "Львівська політехніка", 2016. – 320 с.
19. Кузьменко В. І., Литвинчук О. А. Релейний захист електроустановок. – К.: "КНУ імені Тараса Шевченка", 2016. – 280 с.
20. АСУ в електроспоживанні: навчальний посібник /Л.Б. Терешкевич. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 136 с.
21. Леонтьєв В.Ф., Тарасенко С.В. Оптимізація систем електроспоживання. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 150 с.
22. Коваленко В.І. Оптимізація систем електроспоживання. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2017. – 200 с.
23. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
24. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electrocontact.com.ua/elektrooborudovanie/?srsId=AfmBOopjo61SECsnpGSo4YMCySaMYSkSDzHaH6sTNP0bCRFAhP4ikNXK>.
25. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://promservice.cn.ua/uk/production/electric>.