

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

## **Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Регулювання напруги в мережах 10 кВ з метою підвищення якості  
електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний  
механічний завод», місто Вінниця»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-19м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

Чумак Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Кравець О. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕСЕЕМ**

проф. М. Й. Бурбело

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Чумаку Богдану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Регулювання напруги в мережах 10 кВ з метою підвищення якості електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», місто Вінниця

керівник роботи Кравець Олександр Миколайович к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

МКР затверджені наказом по ВНТУ від « \_\_\_ » жовтня 2020 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи « \_\_\_ » грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства, відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Характеристика споживачів підприємства. Визначення оптимальних параметрів системи електропостачання. Оптимізація відхилень напруги в системі електропостачання підприємства. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу:

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кравець О. М., к.т.н., доцент, каф. ЕСЕЕМ		
Економічна частина	Шулє Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Нормконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу		
2	Синтез зовнішньої СЕП		
3	Розрахунок цехової електричної мережі		
4	Науково дослідна частина		
5	Економічна частина		
6	Охорона праці		
7	Графічна частина		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Чумак Б.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кравець О. М.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	7
1.1 Характеристики підприємства .....	7
1.2 Показники якості електропостачання.....	12
1.3 Висновки до розділу 1 .....	13
2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕП .....	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства .....	14
2.2 Оптимізація кількості, потужності та місця розташування цехових ТП.....	16
2.3 Визначення оптимального перерізу ліній живлення .....	21
2.4 Оптимізація і моделювання вибору місця розташування ЦРП .....	24
2.5 Розрахунок потужності конденсаторних батарей .....	27
2.6 Релейний захист та автоматика .....	29
2.7 Висновки до розділу 2.....	32
3 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В СЕП ПІДПРИЄМСТВА .....	33
3.1 Аналіз та характеристики пунктів автоматичного регулювання напруги.....	33
3.2 Використання ПАРН в системі електропостачання ДП «45 ЕМЗ».....	38
3.3 Розробка цифрової моделі ПАРН в MATLAB Simulink.....	38
3.4 Моделювання основних режимів роботи регулятора напруги .....	42
3.5 Висновки до розділу 3.....	44
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....	45
4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи .....	45
4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання .....	47
4.3 Розрахунок поточних витрат .....	49
4.3.1 Розрахунок потреби в робочій силі .....	49
4.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі .....	51
4.3.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються .....	54
4.3.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат.....	55
4.4 Розрахунок собівартості електроенергії.....	56
4.4.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію .....	56

4.4.2 Розрахунок собівартості електроенергії.....	60
4.5 Висновки до розділу 4.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	62
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	63
5.1.1 Електробезпека.....	63
5.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць .....	64
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	66
5.2.1 Мікроклімат .....	66
5.2.2 Склад повітря робочої зони .....	67
5.2.3 Виробниче освітлення .....	68
5.2.4 Виробничий шум.....	70
5.2.5 Виробничі вібрації .....	71
5.2.6 Психофізіологічні фактори .....	72
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи СЕП ДП «45 ЕМЗ» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій .....	74
5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ» в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	75
5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ» в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	76
5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ» в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	78
5.4 Висновки до розділу 5.....	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
Додаток А – Технічне завдання	
Додаток Б – План підприємства	
Додаток В – Однолінійна схема електропостачання підприємства	
Додаток Г – Техніко економічні показники системи електропостачання	
Додаток Д – Оптимальна потужність конденсаторних батарей	
Додаток Є – Регулювання напруги в мережах підприємства	
Додаток Ж – Моделювання режимів роботи СТ з пристроєм ПАРН	

## АНОТАЦІЯ

Чумак Богдан Володимирович. Регулювання напруги в мережах 10 кВ з метою підвищення якості електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод», місто Вінниця. МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2020 – 85с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто аналіз ефективності використання пристроїв ПАРН на підприємстві.

В роботі розглянуті питання по розрахунку електропостачання підприємства, вибір кількості і потужності трансформаторних підстанцій, релейного захисту та автоматики.

Проаналізовано вплив відхилення напруги на роботу електрообладнання. Розглянуто шляхи підвищення якості електричної енергії в мережах підприємства.

В науково-дослідній частині роботи проаналізовано пристрої ПАРН та принципи їх роботи. Проведено моделювання основних режимів роботи пристрою ПАРН типу ВДТ/VR32 для даного підприємства в MATLAB Simulink.

Розраховано основні техніко-економічні показники СЕП підприємства.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: електричні мережі, електропостачання, регулювання напруги.

## АННОТАЦИЯ

Чумак Богдан Владимирович. Регулирование напряжения в сетях 10 кВ с целью повышения качества электроснабжения Государственного предприятия «45 экспериментальный механический завод», город Вінниця. МКР. Специальность 141 - Винница: ВНТУ, ФЭЭЭМ, кафедра ЭСЭЭМ, 2020 - 85с.

В магистерской квалификационной работе рассмотрен анализ эффективности использования устройств ПАРН на предприятии.

В работе рассмотрены вопросы по расчету электроснабжения предприятия, выбор количества и мощности трансформаторных подстанций, релейной защиты и автоматики.

Проанализировано влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования. Рассмотрены пути повышения качества электрической энергии в сетях предприятия.

В научно-исследовательской части работы проанализированы устройства парной и принципы их работы. Проведено моделирование основных режимов работы устройств ПАРН типа ВДТ / VR32 для данного предприятия в MATLAB Simulink.

Рассчитано основные технико-экономические показатели СЭП предприятия.

Рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: электрические сети, электроснабжение, регулирования напряжения.

Рисунков - 27

Таблиц - 30

библиографов - 35

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Економічне та ефективне постачання і подальше споживання об'єктом електричної енергії завдання, яке вирішується засобами автоматизації електропостачання. Актуальність даного питання обумовлена постійним зростанням тарифів на електроенергію і необхідністю стабільного живлення об'єктів. Використовуючи науково-технічні досягнення в галузі електропостачання можна реалізувати економічні та технічні рішення широкого спектра складності і досягти оптимальних умов у споживанні об'єктом електроенергії.

Комплексне впровадження пристроїв автоматизації електропостачання дозволяє в віддаленому режимі управляти, контролювати функціонування і технічний стан системи. Об'єктивні результати вимірювань з встановленою частотою надають дані, що дозволяють запобігати появі відмов, узгоджувати споживання, сприяють економії енергоресурсів. Такі мережі підвищують ефективність впровадження нових технологічних процесів, забезпечують безпеку, надійність і зручність експлуатації. Автоматизація електроспоживання виконується з досягненням необхідних показників за обраними критеріями. Реалізація на об'єкті автоматизованої системи електропостачання - запорука безперебійної подачі електроенергії, зменшення кількості втрат та раннього виявлення передумов до появи відмов. Актуальними для підприємства ДП «45 ЕМЗ» є задачі по оптимізації системи електропостачання шляхом проведення технічних та проектних рішень.

*Мета і завдання дослідження.* Метою кваліфікаційної роботи є підвищення якості електропостачання державного підприємства «45 експериментальний механічний завод» за допомогою впровадження сучасних систем автоматизованого управління процесом електропостачання, розрахунок оптимальних параметрів ключових пристроїв системи електропостачання за допомогою новітніх математичних моделей, які дозволяють отримати найбільш оптимальні результати.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно здійснити виконання наступних задач на основі сучасних методів проектування СЕП:



- кількість, тип та встановлена потужність трансформаторних підстанцій, які забезпечують оптимальне електропостачання;
- тип, переріз, спосіб прокладення ліній живлення, які забезпечують надійне та економічне електропостачання;
- розташування трансформаторних підстанцій на території підприємства з врахуванням картограми навантаження що дає мінімальні втрати потужності,
- розрахунок пристроїв компенсації для усунення зниження напруги;
- використання пристрою ПАРН для забезпечення нормованих рівнів напруги та зменшень явищ відхилень напруги та покращення показників якості електричної енергії в цілому по підприємстві.

*Об'єкт дослідження* – система електропостачання ТОВ ДП «45 ЕМЗ».

*Предмет дослідження* – елементи схеми та електричні режими в СЕП.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

Оптимізовано електропостачання ДП «45 ЕМЗ» за допомогою проектування та впровадження автоматизованої системи електропостачання, яка має оптимальні показники надійності, економічності та оптимальних режимів роботи пунктів автоматичного регулювання напруги для покращення параметрів якості електричної енергії в мережі підприємства для якої характерні явища пов'язані з відхиленням нормованих значень напруги.

Практичне використання отриманих проектних рішень дозволить спроектувати систему електропостачання ДП «45 ЕМЗ» яка за своїми технічними та економічними показниками буде оптимальною як в процесі проектування та експлуатації. Використання пристрою ПАРН в системі електропостачання підприємства дозволить зменшити втрати активної енергії, а також покращити показники якості електричної енергії, а також зменшити кількість аварійних відключень електрообладнання.

*Особистий внесок здобувача.* Усі наукові положення та результати МКР, що виносяться на захист, отримані автором одноособово.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА

### 1.1 Характеристика підприємства

Державне підприємство «45 експериментальний механічний завод» входить до одного з найкрупніших державних концернів «УОП». Підприємство реалізує як і готову продукцію так і експериментальні, інженерні та конструкторські дослідження в різних галузях.

Потужності підприємства включають в себе цехи для прийому сировини та матеріалів, обробки та виготовлення деталей, виробничих та побутових корпусів, складів готової продукції та інші.

Основними видами діяльності підприємства є:

- обробка металевих виробів з використанням основних технологічних процесів;
  - виробництво інструментів;
  - надання послуг з ремонту та технічного обслуговування іншого устаткування загального призначення;
  - виробництво машинного устаткування для будівництва;
  - виробництво побутових приладів спеціального призначення та їх складових частин;
  - надання послуг з монтажу, ремонту, технічного обслуговування обладнання;
  - монтаж металевих будівельних конструкцій;
  - оптова торгівля експлуатаційними матеріалами, приладдям та обладнанням;
  - організація перевезень вантажів;
  - наукові експериментальні, інженерні та конструкторські дослідження обладнання;
- надання соціальних послуг із забезпеченням проживання;
- оброблення металів та сталей різної конфігурації;
  - виробництво будівельних металевих конструкцій;

Переважає більшість електроприймачів підприємства отримує живлення на напрузі 0,4 кВ частотою 50 Гц, для приміщення дільниці інструментального цеху –

нормальні з підвищеною електронезбезпекою, оскільки в приміщенні струмопровідна бетонна підлога.

Більшість споживачів СЕП ДП «45 ЕМЗ» відноситься до II категорії надійності електропостачання. На рисунку 1.1 зображено генеральний план підприємства, відомості про електричні навантаження системи електропостачання підприємства наведено в таблиці 1.1.

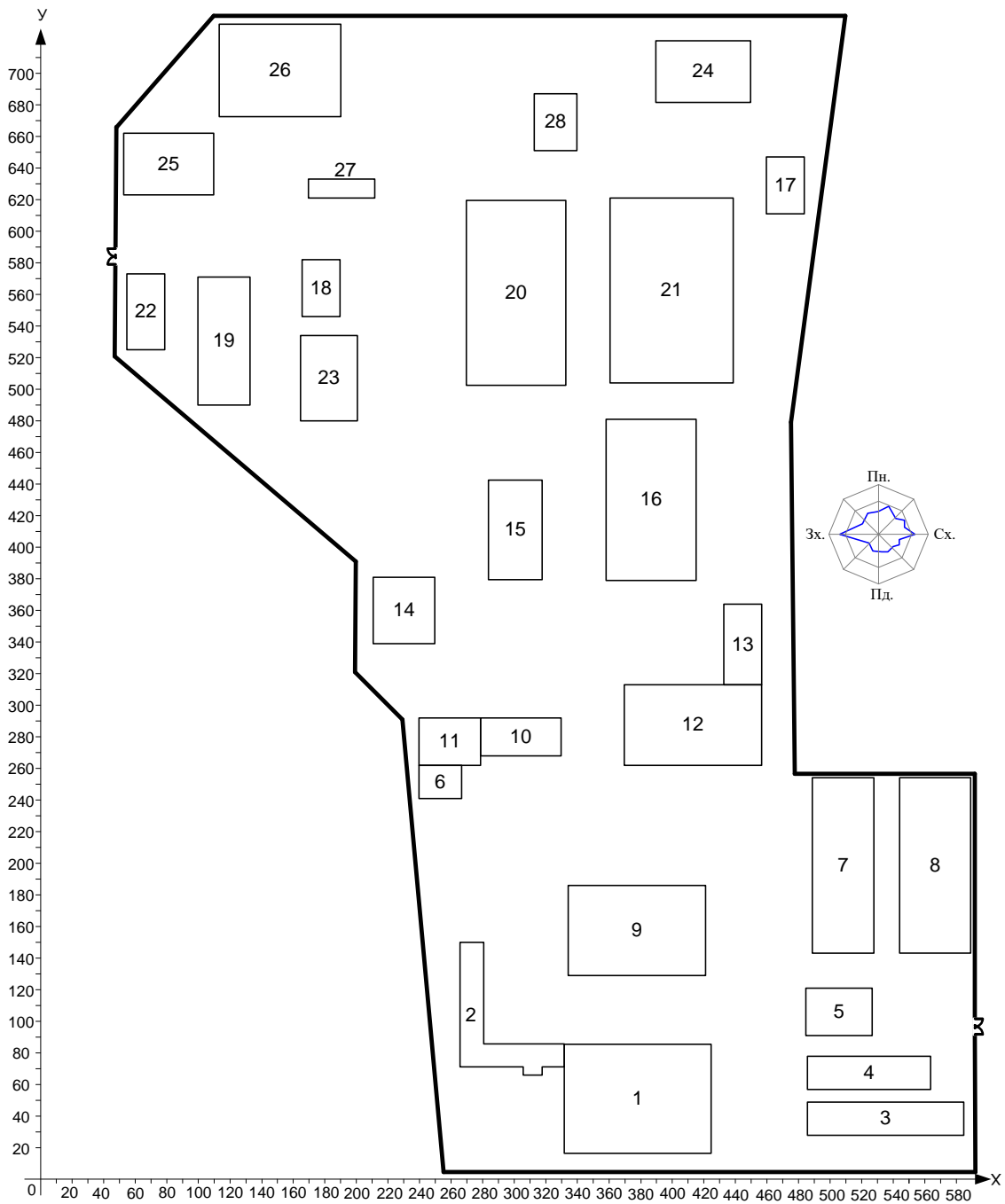


Рисунок 1.1 – Генеральний план ДП «45 ЕМЗ»

Таблиця 1.1 - Відомості про електричні навантаження ДП «45 ЕМЗ»

№	Цех	Р <sub>н</sub> , кВт
1	Відділи: технічний та виробничо диспетчерський	182
2	Заводоуправління	36,4
3	Гараж	31,2
4	Цех 9	114,4
5	Цех 4( в т.ч. мех. від.)	208
6	Дільниця ковальсько-пресова	143
7	Склад металу	36,4
8	Цех 7	210,6
9	Бюро технічної документації	22,1
10	Відділення очистки	97,5
11	Дільниця гальванічного покриття та травлення деталей	122,2
12	Їдальня на 500 місць	59,8
13	Заглиблений склад	31,2
14	Дільниця пресова	106,6
15	Відділення плазмового різання, дільниця розкрійно-заготівельна	351
16	Склад готових виробів	27,3
17	Дільниці: розкрійно-заготівельна, пресова, слюсарно-зварювальна,	10,4
18	Компресорна	351
19	Будівля автоматичної системи управління виробництвом	58,5
20	Дільниця слюсарно-складальна	312
21	Дільниці: механічна, слюсарно-ремонтна, електромонтажна	169
22	Склад промислових відходів	41,6
23	Склад ПДО, ЦІС	36,4
24	Пилорамне відділення	117
25	Блок складів №2	36,4
26	Блок складів № 1	58,5
27	Дільниця сушки лісоматеріалів	416
28	Дільниця столярна та ремонтно-будівельна	130

Відстань підприємства до живлячої підстанції енергосистеми рівна 3,2 км.

Діючий тариф на плату за активну ЕЕ рівний  $t = 2,33765$  грн/кВт\*год.

Величина потужність короткого замикання 10 кВ рівна  $S_{кз} = 50$  МВА.

Величина вхідної реактивної потужності  $Q_{вх} = 648$  квар.

Час максимальних втрат рівний  $\tau_m = 1968,16$  год/рік.

Час використання максимального навантаження  $T_m = 3500$  год/рік.

Напруга на шинах 10 кВ РТП в режимі максимального навантаження підприємства  $U_{max} = 1,03 U_n$ , в режимі мінімального навантаження підприємства  $U_{min} = 1,01 U_n$ .

## 1.2 Характеристика діючої системи електропостачання

Для діючої системи електропостачання підприємства характерна наявність великої кількості фізично зношеного та морально застарілого обладнання. Також в процесі споживання електроенергії для обладнання підприємства характеру погіршення показників якості електроенергії в мережі.

Підвищенню якості електроенергії приділяють велику увагу, так як відхилення показників якості електричної енергії впливає на значну витрату електроенергії, збільшення кількості аварійних відключень, а отже і простоїв виробничого процесу і недовідпуск готової продукції.

Електроенергія, як особливий вид продукції, володіє певними показниками, що дозволяють судити про її придатності в різних виробничих процесах.

Сукупності показників властивостей електроенергії, чисельно характеризують напругу в СЕС по частоті, діючим значенням, формою кривої, симетрії і імпульсних перешкод, і визначають вплив на елементи мережі, називають якістю електричної енергії.

Перелік показників якості електричної енергії, їх нормативні значення, критерії оцінки та методи вимірювань встановлено ГОСТ 13109-97 є міждержавним стандартом, що діє в рамках СНД. У міжнародній практиці ПKE оцінюються з позицій електромагнітної сумісності технічних засобів. Під ЕМС розуміють здатність електрообладнання, апаратів і приладів нормально функціонувати в даній електромагнітному середовищі, не наражаючись впливу електромагнітних завад і не вносячи таких в середу.

Виділяють наступні питання при вирішенні завдання підвищення якості електроенергії:

- економічні питання включають в себе методи розрахунку збитків від неякісної електроенергії в системах промислового електропостачання;
- математичні аспекти представляють собою обґрунтування тих чи інших методів розрахунку показників якості електроенергії;
- технічні заходи та методи являють собою використання, розробку та проектування спеціалізованих засобів та здійснення технічних заходів за допомогою

яких можна досягти оптимальніших параметрів якості електричної енергії, а також налагодження системи автоматичного контролю та управління параметрами якості електричної енергії.

В мережі підприємства окрім явища відхилень напруги присутні інші не нормовані показники якості електричної енергії, тому для покращення якості електроенергії в мережі підприємства необхідно використати комплексний підхід до вирішення проблеми.

Для підприємства характерне низька якість електричної енергії, а саме показників відхилення напруги та частоти, із за впливу енергосистеми (особливо в години максимального навантаження) в якій знаходиться підприємство.

Незадовільний стан якості електроенергії в мережах підприємства є фактором утворення додаткових втрат активної потужності та збитків пов'язаних із старінням обладнання.

### 1.3 Висновки до розділу 1

1. Для діючої системи електропостачання підприємства характерні не нормовані значення якості електричної енергії, надмірні величини втрат активної потужності, та не відповідності великої кількості обладнання нормам роботи у нормальному та аварійному режимах робот.

2. Для більшості електроприймачів та підприємства в цілому характерне явище відхилення напруги яке перевищує нормоване значення. Вирішення даної задачі за допомогою технічного обладнання для підприємства є актуальною задачею.

3. Для системи електропостачання ДП «45 ЕМЗ» актуальним є питання з оптимізації процесу електроспоживання шляхом впровадження новітнього високо економічного обладнання.

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи буде проведено автоматизований розрахунок електричних навантажень кожного цеху та підприємства в цілому за допомогою методів коефіцієнта використання  $k_v$  та коефіцієнта попиту  $k_n$  [12].

Використовуючи наведені нижче формули проведемо розрахунки навантажень цехів та заводу. Результати усіх розрахунків представлені на рисунку 2.1 у табличній формі.

Коефіцієнт реактивної потужності:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arccos(\varphi)). \quad (2.1)$$

Розрахункова активна потужність освітлення:

$$P_{po} = F \cdot k_{по} \cdot k_{пра} \cdot P_{пито}. \quad (2.2)$$

Розрахункова реактивна потужність освітлення:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_o), \quad (2.3)$$

де  $\operatorname{tg}(\varphi_o)$  - коефіцієнт реактивної потужності освітлення.

Середня активна потужність:

$$P_c = k_v \cdot P_n + P_{po}. \quad (2.4)$$

Середня реактивна потужність:

$$Q_c = k_v \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}. \quad (2.5)$$

Середня повна потужність:

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (2.6)$$

Середній струм:

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U}. \quad (2.7)$$

Розрахункова активна потужність:

$$P_p = k_{\pi} \cdot P_H + P_{po}. \quad (2.8)$$

Розрахункова реактивна потужність:

$$Q_p = k_{\pi} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}. \quad (2.9)$$

Розрахункова повна потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (2.10)$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U}. \quad (2.11)$$

Питома густина навантажень:

$$\rho = \frac{S_p}{F}. \quad (2.12)$$

Сумарна середня активна потужність:

$$P_{c\Sigma} = \sum_1^N P_c, \quad (2.13)$$

де  $N$  – кількість цехів.

Сумарна середня реактивна потужність:

$$Q_{c\Sigma} = \sum_1^N Q_c. \quad (2.14)$$

Сумарна середня повна потужність:

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}. \quad (2.15)$$

Сумарна розрахункова активна потужність освітлення:

$$P_{po\Sigma} = \sum_1^N P_{po}. \quad (2.16)$$

Сумарна розрахункова реактивна потужність освітлення:



$$Q_{po\Sigma} = \sum_1^N Q_{po} \cdot \quad (2.17)$$

Сумарна розрахункова активна потужність:

$$P_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N k_{п} \cdot P_{п} + P_{po\Sigma} \cdot \quad (2.18)$$

Сумарна розрахункова реактивна потужність:

$$Q_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N P_{п} \cdot K_{п} \cdot tg + Q_{po\Sigma} \cdot \quad (2.19)$$

Сумарна розрахункова повна потужність:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \cdot \quad (2.20)$$

Сумарна питома густина навантажень:

$$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}} \quad (2.21)$$

Усі результати розрахунку наведені на рисунку 2.1 у табличній формі. Дана таблична форма виконує розрахунок середніх та розрахункових навантажень цехів, та заводу вцілому [12]. Для підприємства значення середньої потужності складо  $S_{c\Sigma}=2325,66$  кВА, значення розрахункової потужності, з урахуванням коефіцієнта одночасності, складо  $S_{p\Sigma}=2748,61$  кВА.

## 2.2 Оптимізація кількості, потужності та місця розташування цехових ТП

Щоб здійснити оптимальний вибір цехових трансформаторних підстанцій (ЦТП) під час проведення розрахунку за допомогою автоматизованої таблиці виконати наступні вимоги [8]:

- ефективність оптимального вбору ЦТП повинен бути показник мінімальних річних приведених затрат на експлуатацію протягом року;
- число стандартних потужностей трансформаторів повино досягати максимум трьох рівнів;

Для вибору оптимальних потужностей трансформаторів створюємо табличну форму рисунок 2.2.

№	Цех	Дані сили				Світло										Середні нав-ня				Розрах. нав-ня				U	V
		Рн, кВт	cos	tg	Кп	Кв	поша, м	Кп0	иг, Вт/м	Кпра	tg0	Дп0, квар	Рр0, кВт	Рс, кВт	Qс, квар	Sc, кВтА	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВтА	Ко=	Ip, А	кВА/м			
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
2	Відділ. технічний...	140	0,65	1,17	0,35	0,2	6417	0,8	0,008	1,1	0,43	19,43	45,18	73,18	52,16	89,86	94,18	76,71	121,47	184,55	0,02				
3	Заводоуправління	28	0,8	0,75	0,6	0,45	1985	0,85	0,01	1,1	0,43	7,98	18,56	31,16	17,43	35,70	35,36	20,58	40,91	62,16	0,02				
4	Гараж	24	0,85	0,62	0,55	0,35	2079	0,9	0,011	1,1	0,43	9,74	22,64	31,04	14,94	34,45	35,84	17,92	40,07	60,88	0,02				
5	Цех 9	88	0,8	0,75	0,7	0,5	1638	0,9	0,011	1,1	0,43	7,67	17,84	61,84	40,67	74,01	79,44	53,87	95,98	145,83	0,06				
6	Цех 4 (в т.ч. мех. від.)	160	0,8	0,75	0,7	0,5	1260	0,85	0,012	1,1	0,43	6,08	14,14	94,14	66,08	115,01	126,14	90,08	155,00	235,50	0,12				
7	Дільниця ковальсько...	110	0,75	0,88	0,7	0,5	567	0,85	0,012	1,1	0,43	2,74	6,36	61,36	51,24	79,94	83,36	70,64	109,27	166,02	0,19				
8	Склад металу	28	0,85	0,62	0,55	0,4	4329	0,85	0,013	1,1	0,43	22,63	52,62	63,82	29,57	70,34	68,02	32,17	75,24	114,32	0,02				
9	Цех 7	162	0,5	1,73	0,75	0,55	4995	0,8	0,013	1,1	0,43	24,57	57,14	146,24	178,90	231,07	178,64	235,02	295,20	448,52	0,06				
10	Бюро технічної...	17	0,6	1,33	0,3	0,2	4959	0,85	0,012	1,1	0,43	23,93	55,64	59,04	28,46	65,54	60,74	30,73	68,07	103,42	0,01				
11	Відділення очистки	75	0,5	1,73	0,75	0,5	1224	0,75	0,012	1,1	0,43	5,21	12,12	49,62	70,16	85,93	68,37	102,64	123,32	187,37	0,10				
12	Дільниця	94	0,7	1,02	0,75	0,5	1170	0,75	0,014	1,1	0,43	5,81	13,51	60,51	53,76	80,94	84,01	77,74	114,46	173,90	0,10				
13	Дільниця на 500 місьць	46	0,65	1,17	0,3	0,15	4437	0,8	0,008	1,1	0,43	13,43	31,24	38,14	21,50	43,78	45,04	29,57	53,87	81,85	0,01				
14	Заглиблений склад	24	0,6	1,33	0,6	0,45	1224	0,85	0,012	1,1	0,43	5,91	13,73	24,53	20,31	31,85	28,13	25,11	37,71	57,29	0,03				
15	Дільниця пресова	82	0,55	1,52	0,4	0,25	1638	0,8	0,012	1,1	0,43	7,44	17,30	37,80	38,57	54,00	50,10	57,24	76,07	115,58	0,05				
16	Відділення плазмового...	270	0,7	1,02	0,35	0,2	2142	0,75	0,01	1,1	0,43	7,60	17,67	71,67	62,69	95,22	112,17	104,01	152,97	232,42	0,07				
17	Склад готових виробів	21	0,8	0,75	0,6	0,45	5814	0,85	0,01	1,1	0,43	23,38	54,36	63,81	30,46	70,71	66,96	32,83	74,57	113,30	0,01				
18	Дільниця: розкрийно...	8	0,7	1,02	0,3	0,15	864	0,6	0,01	1,1	0,43	2,45	5,70	6,90	3,68	7,82	8,10	4,90	9,47	14,39	0,01				
19	Компресорна	200	0,9	0,48	0,55	0,45	864	0,9	0,011	1,1	0,43	4,05	9,41	99,41	47,63	110,23	119,41	57,32	132,45	201,24	0,15				
20	Будівля автоталічної...	45	0,85	0,62	0,3	0,25	2673	0,9	0,011	1,1	0,43	12,52	29,11	40,36	19,49	44,82	42,61	20,88	47,45	72,10	0,02				
21	Дільниця слюсарно...	240	0,7	1,02	0,6	0,5	7371	0,85	0,012	1,1	0,43	35,56	82,70	202,70	157,99	257,00	226,70	182,47	291,02	442,15	0,04				
22	Дільниця: механічна...	130	0,75	0,88	0,55	0,45	9126	0,85	0,013	1,1	0,43	47,70	110,93	169,43	99,29	196,38	182,43	110,76	213,42	324,25	0,02				
23	Склад промислових...	32	0,7	1,02	0,55	0,5	1152	0,8	0,013	1,1	0,43	5,67	13,18	29,18	21,99	36,54	30,78	23,62	38,80	58,95	0,03				
24	Склад ПДО, ЦС	28	0,7	1,02	0,5	0,45	1944	0,75	0,012	1,1	0,43	8,28	19,25	31,85	21,13	38,22	33,25	22,56	40,18	61,04	0,02				
25	Пилорамне відділення	90	0,75	0,88	0,5	0,4	2340	0,9	0,011	1,1	0,43	10,96	25,48	61,48	42,71	74,86	70,48	50,64	86,79	131,86	0,04				
26	Блок складів №2	28	0,75	0,88	0,5	0,45	2223	0,8	0,01	1,1	0,43	8,41	19,56	32,16	19,52	37,62	33,56	20,76	39,46	59,96	0,02				
27	Блок складів № 1	45	0,8	0,75	0,5	0,45	4505	0,6	0,01	1,1	0,43	12,79	29,73	49,98	27,97	57,28	52,23	29,66	60,07	91,26	0,01				
28	Дільниця сушки	320	0,75	0,88	0,45	0,35	504	0,85	0,012	1,1	0,43	2,43	5,65	117,65	101,21	155,19	149,65	129,43	197,86	300,62	0,39				
29	Дільниця столярна...	100	0,7	1,02	0,55	0,45	972	0,9	0,011	1,1	0,43	4,55	10,59	55,59	50,46	75,07	65,59	60,66	89,34	135,74	0,09				
30	Всього по підприємству	2635					80416					348,87	811,34	1864,59	1389,96	2325,66	2160,29	1699,42	2748,61	4176,09	0,03				

Рисунок 2.1 - Розрахунок навантаження підприємства

Питома густина навантаження по території підприємства служить головним орієнтиром при виборі оптимальної потужності трансформаторів ЦТП.

Згідно [1] саме категорія надійності електропостачання споживача являється основним фактором вибору кількості трансформаторів у ЦТП. Для даного підприємства за категорією надійності потрібно використовувати підстанції з двома паралельно увімкненими трансформаторами.

Оптимальною потужністю таких трансформаторів буде являтися така, яка задовольнятиме роботу споживачів підприємства на час аварійного відключення одного із трансформаторів. При цьому частина споживачів III категорії надійності може бути відключення.

На рисунку 2.2 показана таблична форма з розподіленням споживачів підприємства між трансформаторами підстанціями.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахунок ва активна потужність Pp, кВт	Розрахунок а реактивна потужність Qp, кВАр	Повна розрахункова потужність Sp, кВА	Середня активна потужність Pc, кВт	Середня реактивна потужність Qc, кВАр	Повна середня потужність Sc, кВА
1									
2		1	Відділи: технічний...	94,17568	76,7128904	121,4657411	73,17568	52,1611698	89,8636065
3		2	Заводоуправління	35,35975	20,5806925	40,91303978	31,15975	17,4306925	35,7037682
4		3	Гараж	35,84031	17,9159586	40,06880822	31,04031	14,9411857	34,4490911
5		4	Цех 9	79,43782	53,8702626	95,98110459	61,83782	40,6702626	74,0134193
6		5	Цех 4( в т.ч. мех. від.)	126,1372	90,078996	154,9994153	94,1372	66,078996	115,014113
7		7	Склад металу	68,018995	32,1702307	75,24298919	63,818995	29,5673044	70,3355501
8		8	Цех 7	178,6428	235,015577	295,2042877	146,2428	178,897131	231,065229
9		9	Бюро технічної...	60,73998	30,7251914	68,06895443	59,03998	28,4585247	65,5408794
10			Всього по ТП1	678,35254	557,069799	877,7749842	560,452535	428,205267	705,31326
11		6	Дільниця ковальсько...	83,36174	70,6431652	109,2686436	61,36174	51,2409889	79,9431178
12		10	Відділення очистки	68,3676	102,638426	123,3238631	49,6176	70,1624733	85,9341544
13		11	Дільниця гальванічного...	84,0135	77,7351913	114,4597228	60,5135	53,7603959	80,9448198
14		12	Ліальня на 500 місць	45,03648	29,5656742	53,87405332	38,13648	21,4986803	43,7788118
15		13	Заглиблений склад	28,13328	25,1053104	37,7062071	24,53328	20,3053104	31,84631
16		14	Дільниця пресова	50,09728	57,2440134	76,06980042	37,79728	38,5666948	54,0002252
17		15	Відділення плазмового...	112,1715	104,008029	152,9709628	71,6715	62,6897643	95,2198008
18		16	Склад готових виробів	66,9609	32,825187	74,57382269	63,8109	30,462687	70,7093081
19		17	Дільниця: розкрийно...	8,1024	4,90052175	9,469107622	6,9024	3,67627687	7,82036683
20		21	Дільниця: механічна...	182,42653	110,755481	213,4155931	169,42653	99,2905585	196,377097
21			Всього по ТП2	728,67121	615,420999	953,7844295	583,77121	451,65383	738,092141
22		18	Компресорна	119,40896	57,3212843	132,4546313	99,40896	47,6348422	110,23257
23		19	Будівля автоматичної...	42,60897	20,8834057	47,45145895	40,35897	19,4889809	44,818153
24		20	Дільниця слюсарно...	226,70262	182,471511	291,0153439	202,70262	157,986614	256,998292
25		22	Склад промислових...	30,77888	23,6225099	38,79900033	29,17888	21,9901834	36,5373125
26		23	Склад ПДО, ЦПС	33,2456	22,5384649	40,17653863	31,8456	21,1301792	38,2181464
27		24	Пилорамне відділення	70,4826	50,6437877	86,79049563	61,4826	42,7065337	74,8595894
28		25	Блок складів №2	33,5624	20,7586715	39,46336446	32,1624	19,5239875	37,6245407
29		26	Блок складів № 1	52,233	29,66019	60,06673921	49,983	27,97269	57,2780209
30		27	Дільниця сушки лісоматеріал	149,65488	129,427661	197,8587947	117,65488	101,206314	155,19468
31		28	Дільниця столярна...	65,58508	60,6628078	89,3385637	55,58508	50,4607672	75,0732319
32			Всього по ТП3	824,26299	598,010294	1018,344632	720,36299	510,101092	882,681121

Рисунок 2.2 - Розподіл цехів між ЦТП

Виконання даної задачі здійснюється за допомогою табличної форми на листі електронного процесора EXCEL, використовуючи наступні вхідні дані:

1)  $E_c=0,1$  - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень для ТП;

2)  $E_a=0,066$  - коефіцієнт відрахувань на амортизацію в ТП;

3) Для знаходження коефіцієнта навантаження трансформаторної підстанції в нормальному режимі використаємо наступний алгоритм:

- для регіону Вінницької області згідно ГОСТ 14209-97 річна середня температура складає  $\theta=10,7^\circ\text{C}$ ;

- відповідно таблиці 3 ГОСТ 14209-97, необхідно скористатися поправкою на температуру зовнішнього охолоджуючого середовища для трансформаторів які встановлено на вулиці, даний показник рівний  $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$ ;

- Значення ефективної температури буде рівною:

$$\theta_c = \theta + \Delta\theta = 10,7 + 6 = 16,7^\circ\text{C};$$

- використовуючи таблицю 6 ГОСТ 14209-97 знаходимо значення коефіцієнта навантаження трансформатора в нормальному режимі роботи  $k_n=1$ .

4) коефіцієнт навантаження трансформатора для післяаварійного режиму роботи;

Згідно офіційної інформації максимальною температурою для Вінницької області являється  $30^\circ\text{C}$ , та відповідає вона літньому періоду.

Користуючись нормативними матеріалами [2] знаходимо величину коефіцієнта навантаження у післяаварійному режимі, яка рівна  $k_{па}=1,3$ .

5) Для мережі даного підприємства допускається відключити до 20% споживаного навантаження на час ремонту, отже для ЦТП в аварійному режимі навантаження складе 80% від розрахункового. Отже  $k_{ппа}=0,8$ .

Отже знаходження даного проектного рішення складаємо табличну форму яка місти мить наступну математичну модель для оптимального вибору потужності трансформаторів ЦТП, для якої встановлена потужність ТП являється керованою зміною, а критерієм ефективності – приведені затрати на експлуатацію протягом року:

$$Z(S_T) = B_{ТП}(S_{ТП}) + B_B(S_{ТП}), \quad (2.22)$$

де  $B_{ТП}(S_{ТП})$  - річні приведені капіталовкладення в спорудження ТП;

$B_B(S_{ТП})$  - річні втрати на активну енергію в ТП.

$$B_{ТП}(S_{ТП}) = (E_a + E_c) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T), \quad (2.23)$$

де  $k_{ТП}(S_T, k_T)$  – капіталовкладення в ТП в залежності від потужності  $S_T$  та кількості  $k_T$  трансформаторів.

$$B_B(S_T) = [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{КЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0 \quad (2.24)$$

де  $\Delta P_{XX}(S_T)$  – величина активних втрати потужності XX в ТП;

$\Delta P_{КЗ}(S_T)$  – величина втрат потужності КЗ в ТП;

$k_3$  - величина коефіцієнта нормованого завантаження трансформаторів ТП;

$B_0$  - вартість втрат активної електроенергії.

$$Z(S_T) = (E_a + E_c) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{КЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0 \quad (2.25)$$

В якості найбільш оптимального варіанту слід розглядати той для якого величина річних приведених затрат являється мінімальною із можливих.

При чому, необхідно врахувати наступні обмеження для керованої змінної:

$$S_T \cdot k_T \cdot k_n \geq S_{ТП} \quad (2.26)$$

$$k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТП} \cdot k_{ппа} \quad (2.27)$$

Величина втрати активного навантаження трансформаторів протягом року:

$$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{КЗ} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2 \quad (2.28)$$

Величина втрати реактивного навантаження трансформаторів протягом року:

$$\Delta Q_{тр} = n \cdot \frac{I_{XX}}{100} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{КЗ}}{100} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2 \quad (2.29)$$

Автоматизований процес вибору оптимальної потужності трансформаторів ЦТП представлений у табличній формі на рисунку 2.3. Дана таблична форма реалізовує математичні моделі наведені в (2.25) – (2.27).

Отже в якості трансформаторів ЦТП 1-3 доцільно використати трансформатори типу 2х630 кВА.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ТП1 за мінімумом затрат														
2	Дані нормального режиму														
3	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	877,775			
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	705,313			
5	Кількість трансформаторів										kt=	2			
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	1			
7	Дані післяварійного режиму														
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяварійному режимі										kpa=	1,3			
9	Доля навантаження в п.а. режимі										knpa=	0,8			
10	Економічні характеристики														
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo=	3936,32			
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ee=	0,1			
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea=	0,036			
14															
	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPхх, кВт	Kтп, тис. грн.	E*К, тис. грн.	dPзм, кВт	dPпс, кВт	dP, кВт	Vв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	обмеж. 1	обмеж. 2
15		63	1,28	0,24	269,381	36,6358	124,241	0,48	124,721	490,943	---		X	---	---
16		100	1,97	0,33	286,059	38,904	75,8932	0,66	76,5532	301,338	---		X	---	---
17		160	3,1	0,51	307,828	41,8646	46,6507	1,02	47,6707	187,647	---		X	---	---
18		250	4,2	0,74	335,981	45,6934	25,8884	1,48	27,3684	107,731	---		X	---	---
19		400	5,9	0,95	397,006	53,9928	14,2059	1,9	16,1059	63,398	---		X	+	---
20		630	8,5	1,31	417,428	56,7702	8,25039	2,62	10,8704	42,7894	99,5596	V	X	+	+
21	V	1000	10,5	2,1	561,896	76,4179	4,04507	4,2	8,24507	32,4553	108,873		X	+	+
22		1600	18	2,8	690,625	93,925	2,70875	5,6	8,30875	32,7059	126,631		X	+	+
23		2500	23,5	3,85	832,99	113,287	1,44852	7,7	9,14852	36,0115	149,298		X	+	+
24										Змін=	99,5596				
25										Опт. Пот. Трансформатора	St*=	630			
26															

Рисунок 2.3 – Вибір потужності ТП1

Результати для усіх ЦТП наведені в таблиці 2.1. Також у таблиці наведена величина приведених річних затрат на експлуатацію.

Таблиця 2.1 – Оптимальні потужності трансформаторних підстанцій

№ ТП	Марка ТП	Потужність, кВА	Кількість ТП	Доля нав. в п.а.	Вартість ТП, тис. грн
ТП-1	ТМ - 630	630	2	0,8	99,5596
ТП-2	ТМ - 630	630	2	0,8	105,43
ТП-3	ТМ - 630	630	2	0,8	110,79

### 2.3 Визначення оптимального перерізу ліній живлення

ДП «45 ЕМЗ» отримує живлення електричною енергією від підстанції системи напругою 10 кВ, що знаходиться на відстані 3200 м від підприємства. Для даного

підприємства була обрана радіальна схема електропостачання напругою 10 кВ, оскільки ЦТП розміщені в різних напрямках від ЦРП.

Конструктивно електричні мережі ДП «45 ЕМЗ» будуть виконані кабельними лініями прокладеними в землі.

За державними нормами все електрообладнання повинно бути обране за відповідністю номінальних значень напруги та струму розрахунковим, а також пройти перевірку на тривалу роботу в нормальних, аварійних та післяаварійних режимах роботи.

ЦРП підприємства буде споживати потужність через кабель АПвЭБВ-10, даний кабель має броньовану оболонку та ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці. Кабелі необхідно прокласти в землі “трикутником”. Переріз кабелю здійснено по значенню допустимого струму.

Виконаємо перевірку на дяю розрахункового струму на кабель який живить ЦРП:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}} ; \quad (2.30)$$

$$167,46 \text{ (A)} \leq 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 210 = 208,6 \text{ (A)} .$$

де  $k_1$  - поправочний коефіцієнт (ПК), що дає змогу врахувати вплив температури середовища в якому здійснюється прокладка кабелю;

$k_2$  - ПК який враховує глибину прокладання кабелю в ґрунті;

$k_3$  - ПК який враховує тепловий опір ґрунту;

$k_4$  - ПК який враховує відстань між фазами кабелів;

$k_5$  - ПК який враховує вплив прокладених поруч інших кабельних ліній;

$k_6$  - ПК який враховує допоміжну оболонку (канава, труба, тощо).

Для живлення ЦРП обрано кабель АПвЭБВ-10 перерізом 3x70 мм<sup>2</sup> з  $I_{\text{доп}} = 210 \text{ A}$  [10]. Вибір живлячих ліній для інших споживачів підприємства здійснюємо аналогічним чином, а результати усіх проектних рішень заносимо до таблиці 2.2.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Початкові дані										Поправочні коефіцієнти									
Економічні характеристики										Коефіцієнт середовища									
Цінова вартість врат, грн/кВт										Bo= 3936,32352									
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ea= 0,1									
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea= 0,05									
Нормальний режим										Кдоп= 1									
Максимально доп. коефіцієнт навантаження в н режимі										U= 10									
Напруга, кВ										L2=kc									
Довжина КЛ, км										L3=kgp									
Активна розрахункова потужність, кВт										L4=kgp									
Реактивна потужність, квар										L5=kdop									
Розрахунковий струм окремого кабелю, А										kdop=kc*kp*kgp									
Кількість КЛ										k= 2									
Мінімально допуст. переріз КЛ за умовою механ. міцності										Fмен= 70									
Допустима втрата напруги в КЛ, %										ΔUдоп= 5									
Аварійний режим										Iка= 3,35854727									
Струм КЗ на початку лінії, кА										tm= 1,5									
Приведений час КЗ, с										C= 90									
Тепловий коефіцієнт C, (А*с <sup>2</sup> /(2))/мм <sup>2</sup>										Fка= 45,7040394									
Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм <sup>2</sup>										Kпа= 1,25									
Після аварійний режим										Kпа= 0,8									
Максимально допустимий коефіцієнт навантаження										ΔUпадоп= 5									
Доля навантаження в післяаварійному режимі																			
Допустима втрата напруги в КЛ, %																			
F, мм <sup>2</sup>	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	Iдоп, А	dUн, %	dUпа, %	Ко, тис.грн/км	dP, кВт	K	E*K, т.грн	Ва, т.грн	З, т.грн	Доп	Кдоп*1 доп >= In	Kпа*K доп*1 доп >= In	ΔUn <= ΔUкдоп	ΔUпа <= ΔUпадоп	F>=Fмен	F>=Fка	
10	3,1	0,122	75	11,26797241	18,02875586	21,4605	417,32	68,674	10,301	1642,71	-	недоп	-	-	-	-	-	-	
16	1,94	0,113	90	7,162617089	11,46018736	31,01175	261,16	99,238	14,8856	1028,02	-	недоп	+	-	-	-	-	-	
25	1,24	0,099	113	4,659235212	7,454856339	44,86925	166,93	142,94	21,4412	657,083	-	недоп	+	+	+	-	-	-	
35	0,89	0,095	140	3,416708685	5,466733897	58,39425	119,81	186,86	28,0292	471,616	-	недоп	+	+	+	-	-	-	
50	0,62	0,09	165	2,452349737	3,923759579	83,0835	83,464	265,87	39,8801	328,542	-	недоп	+	+	+	-	-	-	
70	0,403	0,086	210	1,677346986	2,682755177	103,62725	54,252	331,61	49,7411	213,552	263,29	доп	+	+	+	+	+	+	
95	0,326	0,083	240	1,397556962	2,236091139	177,26475	43,886	567,25	85,0871	172,749	257,84	доп	+	+	+	+	+	+	
120	0,258	0,081	275	1,152437074	1,843899319	216,35175	34,732	692,33	103,849	136,716	240,56	доп	+	+	+	+	+	+	
150	0,206	0,079	310	0,963566665	1,541706661	259,74525	27,732	831,18	124,678	109,161	233,84	доп	+	+	+	+	+	V	
185	0,167	0,077	355	0,820398952	1,312638324	349,33	22,481	1117,9	167,678	88,4943	256,17	доп	+	+	+	+	+	-	
240	0,129	0,075	385	0,680746834	1,089194934	459,012	17,366	1468,8	220,326	68,3578	288,68	доп	+	+	+	+	+	-	
мін затрати												233,84							
Опт. Переріз КЛ												150							
Ropt=												0,206							
Xopt=												0,079							

Рисунок 2.4 – Вибір кабельної лінії живлення ЦРП

Автоматичні високовольтні силові вимикачі необхідно вибирати за номінальною напругою установки і величиною допустимого струму, та здійснювати перевірку на спрацювання в аварійних режимах роботи.

$$U_{\text{НОМ.В}} \geq U_{\text{НОМ.мережі}}, \quad (2.31)$$

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq I_{\text{max}}, \quad (2.32)$$

Визначимо  $I_{\text{max}}$  для нормального та післяаварійного режиму для ТП 1:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{877,775}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 25,34 \text{ (А)};$$

$$I_{pa} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{877,775}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,68 \text{ (А)};$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{Н.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1,3 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 47,285 \text{ (А)}.$$

Для встановлення на стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВБЭ-М-10-20/630. Номінальний струм вимикачів  $I_{\text{НОМ.В}} = 630 \text{ А} > I_{\text{М.ав}}$  для всіх приєднань.



Власний час відключення вимикача 0,075 с.

Таблиця 2.2 Вибір високовольтного обладнання СЕП

Лінія	$I_p$ , А	$I_{па}$ , А	Вимикач	$I_{ном}$ , А	Провідник	$S$ , мм <sup>2</sup>	$I_{доп}$ , А
С-ЦРП	83,73	167,46	ВБЭ-М-10-20/630 УЗ	630	АПвЭБВ-10	3×70	210
ЦРП-ТП-1	25,34	50,68	ВБЭ-М-10-20/630 УЗ	630	АПвЭБВ-10	3×25	119
ЦРП-ТП-2	27,53	55,06	ВБЭ-М-10-20/630 УЗ	630	АПвЭБВ-10	3×25	119
ЦРП-ТП-3	25,48	50,96	ВБЭ-М-10-20/630 УЗ	630	АПвЭБВ-10	3×25	119

#### 2.4 Оптимізація і моделювання вибору місця розташування ЦРП

Оптимальний вибір для розташування ЦРП на території заводу необхідно виконувати за критерієм мінімальних сумарних приведених затрат протягом року.

Координати на генплані в яких розташування ЦРП відповідають мінімальним затратам в СЕП на експлуатацію називають – електричним центром мережі (ЕЦМ).

ЦРП доцільно встановити в ЕЦМ так як живлення трансформаторів від ЦРП здійснено радіальною схемою.

Для оптимального розташування ЦРП доцільно врахувати також конфігурацію генплану підприємства. Розташування споруд, ліній доріг та перетоків потужності. Для вирішення даної задачі доцільно накреслити на генплані підприємства картограму навантаження.

Запишемо математичну модель для вибору оптимального місця розташування ЦРП та створемо на її основі табличну форму:

$$\begin{aligned}
 Z(x_0, y_0) = & \left[ (E_c + E_{аж}) \cdot (a_{ж} + K_0(F_{ж})) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_{ж}) \cdot B_0 \right] \cdot k_{ж} \cdot L_{ж} + \\
 & + \sum_{i=1}^n \left[ (E_c + E_a) \cdot (a + K_0(F_i)) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_i) \cdot B_0 \cdot k_i \right] \cdot L_i \rightarrow \min, \quad (2.33) \\
 & X_{\min} \leq X_0 \leq X_{\max}, \\
 & Y_{\min} \leq Y_0 \leq Y_{\max}.
 \end{aligned}$$

де  $Z(x_0, y_0)$  - річні приведені затрати;

$K_0(F_i)$  - питома вартість КЛ перерізом  $F_i$ ;

$I$  – струм окремої лінії;

$V_0$  - питома вартість втрат активної потужності грн/кВт;

$E_a$  - Коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$F_{ж}$  - переріз живлячої кабельної лінії;

$F_i$  - переріз  $i$ -тої кабельної лінії;

$a$  – складова питомої вартості КЛ на 1км, яка не залежить від перерізу;

$a_{ж}$  - складова питомої вартості живлячої КЛ на 1км;

$L_i$  - довжина  $i$ -тої розподільної лінії;

$X_0; Y_0$  - координати центру мережі;

Таблична форма в якій автоматизовано процес вибору ЦМ за мінімумом річних приведених затрат наведена на рисунку 2.5.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
3	Напруга зовнішньої лінії живлення, кВ									U <sub>ж</sub> =	10		
4	Метрика зовнішньої лінії (E чи HE)									МетрикаЖ =	HE		
5	Метрика розподільної мережі (E чи HE)									МетрикаP =	HE		
6													
7	Економічні характеристики мережі												
8	Питомі втрати, які не залежать від перерізу КЛ 10кВ, тис.грн/км									a=	10		
9	Питомі втрати, які не залежать від перерізу зовнішньої РЛ тис.грн/км									a <sub>ж</sub> =	8		
10	Питома вартість втрат, грн/кВт									V <sub>0</sub> =	3936,32		
11	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень									E <sub>e</sub> =	0,1		
12	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію									E <sub>a</sub> =	4,00%		
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію живлячої лінії									E <sub>аж</sub> =	5,00%		
14													
15													
	Лінії	X, м	Y, м	F, мм <sup>2</sup>	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	R <sub>0</sub> , Ом/км	K <sub>0</sub> , т.грн/км	L, м	З, тис. грн	
16	живлення												
17	ЖЛ	187	423	150	2	2197,25	1893,63	83,73	0,206	259,74525	7,00	0,520	
18	ТП1	480	116	50	2	689,22	615,9	26,68	0,62	83,0835	593,00	20,808	
19	ТП2	288	447	50	2	741,03	680,33	29,04	0,62	83,0835	118,00	4,367	
20	ТП3	194	560	50	2	837,99	668,48	30,94	0,62	83,0835	137,00	5,300	
21	Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											30,995	
22	Кординати ЦЕМ, м									X <sub>0</sub> =	194	Y <sub>0</sub> =	423
23	Оптимальні координати ЦЕМ, м									X <sub>0</sub> =	194	Y <sub>0</sub> =	423
24	Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											30,995	

Рисунок 2.5 – Таблична форма визначення центру мережі

Отже мінімальним затратам відповідають координати розміщення ЦРП:  $x=194$  м;  $y=423$  м а затрати рівні 30,995 тис. грн. Дані координати відповідають точці підведення зовнішнього живлення що вказує на мінімізацію перетоків потужності

на території підприємства, що в свою чергу допомагає зменшити величину втрат активної енергії.

На рисунку 2.6 представлено генплан підприємства з розміщеними на ньому ЦРП, ЦТП та картограмою навантаження.

## 2.5 Розрахунок потужності конденсаторних батарей

Зниження активної складової струму в лінії передач пов'язано з оптимальним вибором номінальних потужностей асинхронних двигунів при збереженні їх продуктивності і ефективності роботи.

Зниження реактивної складової пов'язано з компенсацією реактивної потужності навантаження.

Методологія компенсації реактивної потужності споживачів розглядалася як зниження втрат потужності в мережах. При цьому економічне стимулювання установки компенсуючих пристроїв в системах електропостачання промислових підприємств здійснювалося за допомогою знижок і надбавок до тарифів на активну електроенергію

Компенсація реактивної потужності - шлях до зменшення втрат в системі електропостачання великих і малих промислових підприємств і її повною мірою можна віднести до енергозберігаючих технологій.

Для вконання даної задачі необхідно виконати ефективний перерозподіл вхідного реактивного навантаження між усіма трансформаторними підстанціями системи підприємства.

Для розрахунку балансовою задачі КРП складаємо однолінійну схему представлену на рисунку 2.7, та схему заміщення мережі підприємства рисунок 2.8.

В математичній моделі нехтуємо величиною втрат зумовлених реактивною потужністю в лінії яка живить ЦРП підприємства так, як дана величина є сталою для усіх вузлів мережі.

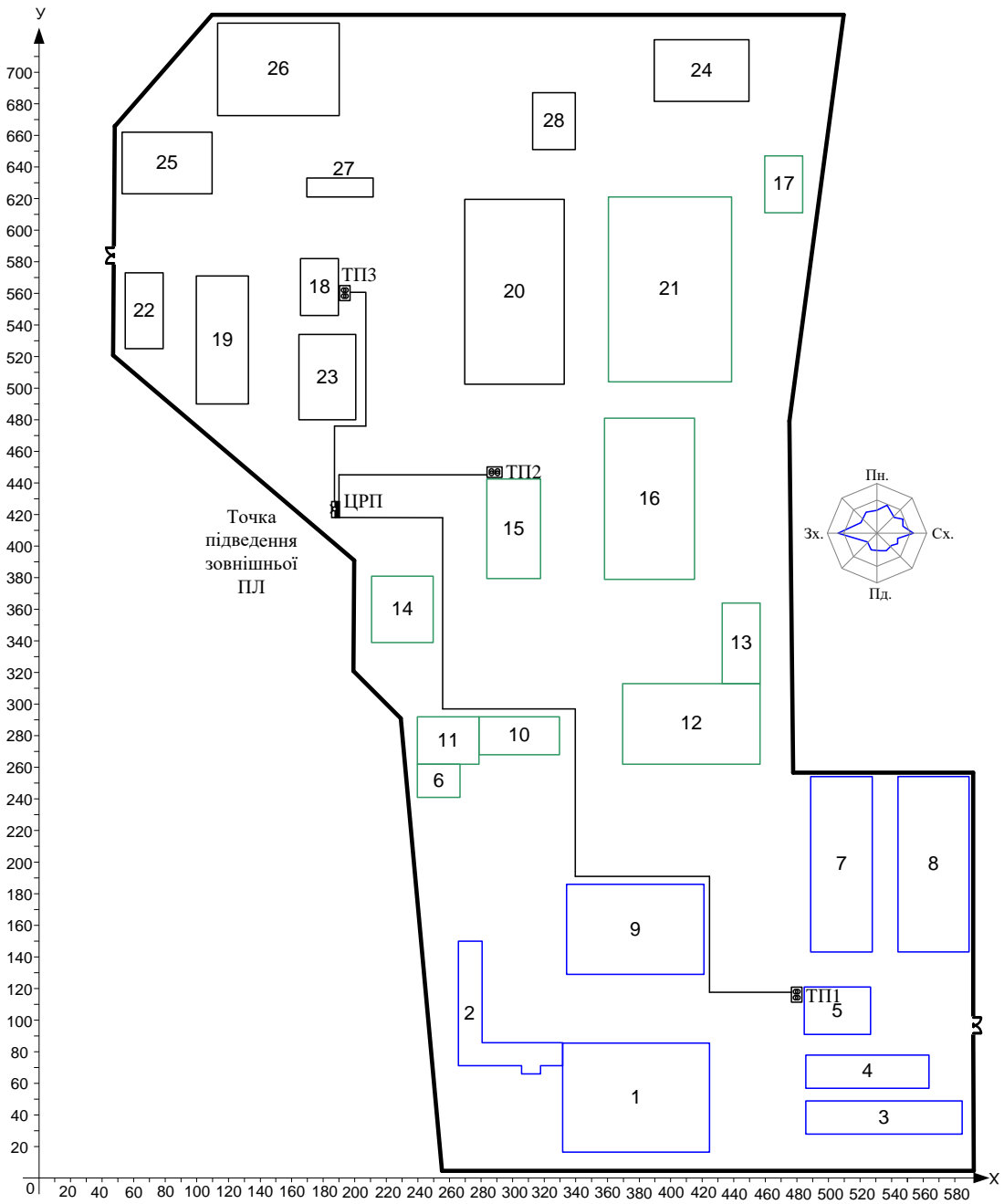


Рисунок 2.6 – Розміщення ЦРП та ЦТП

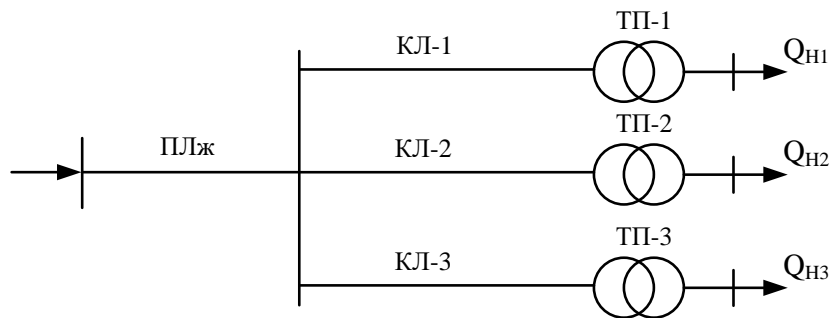


Рисунок 2.7– Однолінійна схема електропостачання

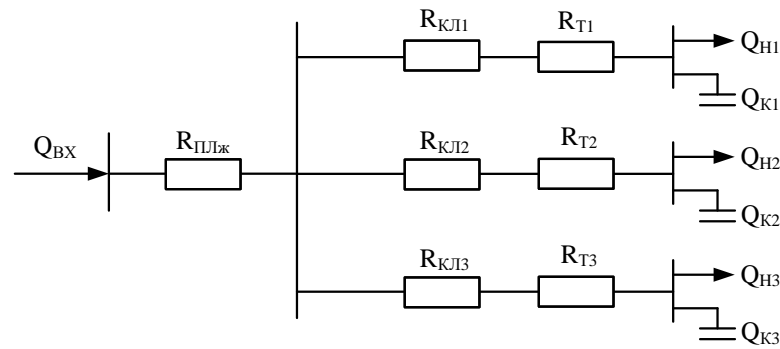


Рисунок 2.8 – Схема заміщення мережі електропостачання підприємства

Для рішення балансової задачі оптимальної КРП використовуємо наступну математичну модель [8]:

$$\begin{cases} Z(Q_K) = \frac{B_0}{U^2} \times \sum_{i=1}^n \left[ (Q_{Hi} - Q_{Ki})^2 (R_{КЛі} + R_{Ті}) \right] \rightarrow \min_{Q_K}; \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2..n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - Q_{BX} \end{cases} \quad (2.34)$$

Для даної математичної моделі керовані змінні – потужність батарей у вузлах навантаження  $q_k = (q_{k1}, q_{k2}, \dots, q_{kn})$ .

де  $B_0$  – питома вартість втрат активної потужності;

$U$  – номінальна напруга, до якої приведені активні опори схеми заміщення;

$n$  – кількість ЦТП;

$Q_{Hi}$  – реактивне навантаження окремої лінії живлення  $i$ -тої ЦТП;

$Q_{Ki}$  – потужність КУ окремої секції шин НН  $i$ -тої ЦТП;

$R_{КЛі} = r_{оКЛі} \cdot L_{КЛі}$  – активний опір окремої лінії;

$R_{Ті}$  – активний опір окремого трансформатора  $i$ -тої ЦТП;

$Q_{BX}$  – вхідна реактивна потужність.

Розрахунок буде проведений на листі САПР MathCad. Створена математична модель на робочому листі MathCad згідно (2.34) представлена на рисунку 2.9.

Вхідні дані для розрахунку	
Напруга, кВ:	$U := 10$
Вхідна реактивна потужність, квар:	$q_{вх} := 648$
Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	$E_e := 0.1$
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію	$E_a := 0.04$
Питома вартість КУ	$B_{к0} := 100$
Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар	$\Delta P_k := 4.5$
Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт	$B_0 := 3936.3$
Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км	
$r_{01} := 0.62$ $r_{02} := 0.62$ $r_{03} := 0.62$	
Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км	
$L_{кп1} := 0.593$ $L_{кп2} := 0.118$ $L_{кп3} := 0.137$	
Опори трансформаторів, Ом	
$r_{т1} := 2.142$ $r_{т2} := 2.142$ $r_{т3} := 2.142$	
Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:	
$q_{н1} := 615.9$ $q_{н2} := 680.3$ $q_{н3} := 668.4$	
Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:	
$q_{к1} := 100$ $q_{к2} := 100$ $q_{к3} := 100$	
Довжина та питомий опір ліній живлення:	
$l_{ж} := 3.207$ $r_{ж0} := 0.206$	
Опір зовнішньої лінії живлення, Ом	
$r_{ж} := l_{ж} \cdot r_{ж0} = 0.661$	
Опір розподільних ліній живлення, Ом	
$r_{л1} := r_{01} \cdot L_{кп1} = 0.368$ $r_{л2} := r_{02} \cdot L_{кп2} = 0.073$ $r_{л3} := r_{03} \cdot L_{кп3} = 0.085$	

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{к1}, q_{к2}, q_{к3}) := \frac{B_0}{U^2 \cdot 1000} \left[ \begin{array}{l} (q_{н1} - q_{к1})^2 \cdot \left( \frac{r_{т1} + r_{л1}}{2} \right) \dots \\ + (q_{н2} - q_{к2})^2 \cdot \left( \frac{r_{т2} + r_{л2}}{2} \right) \dots \\ + (q_{н3} - q_{к3})^2 \cdot \left( \frac{r_{т3} + r_{л3}}{2} \right) \dots \\ + (q_{н1} + q_{н2} + q_{н3} - q_{к1} - q_{к2} - q_{к3})^2 \cdot \frac{r_{ж}}{2} \end{array} \right] \dots$$

$$+ [(E_e + E_a) \cdot B_{к0} + B_0 \cdot \Delta P_k] \cdot (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3})$$

Given

обмеження

$$q_{к1} \geq 0 \quad q_{к2} \geq 0 \quad q_{к3} \geq 0$$

$$(q_{н1} + q_{н2} + q_{н3}) - (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3}) = q_{вх}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_k := \text{Minimize}(3, q_{к1}, q_{к2}, q_{к3}) = \begin{pmatrix} 417.125 \\ 455.085 \\ 444.389 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн

$$3(q_{к1}, q_{к2}, q_{к3}) = 5.396 \times 10^6$$

Перевірка, квар

$$(q_{н1} + q_{н2} + q_{н3}) - (q_{к1} + q_{к2} + q_{к3}) = 648.001 \quad q_{вх} = 648$$

Визначаємо потужності БК у вузлах навантаження, квар:

$$q_{КУ} := \frac{q_k}{2} = \begin{pmatrix} 208.563 \\ 227.542 \\ 222.195 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.9 – Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

Результат розрахунку показав що на ДП «45 ЕМЗ» оптимально використати конденсаторні установки типу УКР-0,4 для кожного вузла відповідної потужності [9]: ЦТП1: 2 КУ типу УКР 0,4-200/50; ЦТП2: 2 КУ типу УКР 0,4-225/25; ЦТП3: 2 КУ типу УКР 0,4-225/25.

## 2.6 Релейний захист та автоматика

Для захисту конденсаторних установок в системі електропостачання підприємства передбачено використання релейного захисту. Розрахунок буде здійснено для конденсаторної установки УКР 0,4-200/50 яка встановлена на ТП1.

Розрахунок струмової відсічки. Струмова відсічка являється основним захистом від замикань між контактами батарей конденсаторів.

$$I_{св} = k_H \cdot I_{вкл}; \quad (2.35)$$

де  $k_H$  - коефіцієнт надійності,  $k_H = 1,5$ ;

$I_{вкл}$  - струм включення БСК, розраховується за формулою:

$$I_{\text{вкл.БСК}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.БСК}} \left( k_u + \sqrt{\frac{W_{\text{КЗ}}}{Q_{\text{ном.БСК}}}} \right); \quad (2.36)$$

де  $I_{\text{ном.БСК}}$  - номінальний струм БСК;

$W_{\text{КЗ}}$  - потужність КЗ на шинах, в місці встановлення БСК;

$Q_{\text{ном.БСК}}$  - номінальна потужність БСК;

$k_u$  - коефіцієнт загрузки конденсаторів по напрузі, визначається за формулою:

$$k_u = \frac{U_{\text{розр}}}{\sqrt{2} \cdot n \cdot U_{\text{н.к.}}} = \frac{0,4}{\sqrt{2} \cdot 6 \cdot 0,4} = 0,118; \quad (2.37)$$

$$I_{\text{вкл.БСК}} = \sqrt{2} \cdot 202 \left( 0,118 + \sqrt{\frac{20}{0,15}} \right) = 3,332 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{св}} = 1,5 \cdot 3,332 = 4,99 \text{ (кА)}.$$

Визначимо струм трифазного КЗ.

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,3 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 11820 \text{ (А)};$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{0,865 \cdot 11820}{4990} = 2.$$

Доцільно використати струмове реле типу РТ-40/200 УЗ у якого передбачене паралельне з'єднання котушок, а величина струму спрацювання складає 100-200А.

Витримка часу вибирається на ступінь селективності 0,3 – 0,5 с:

$$t_{\text{сзБСК}} = t_{\text{свГр-р}} + \Delta t' = 0,0 + 0,5 = 0,5 \text{ (с)}.$$

Реле часу приймається типу ЭВ-114 з межею уставок за часом 0,1 – 1,3 с.

Максимальний струмовий захист.

Уставка по струму вибирається з умов:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном.БСК}}}{k_{\text{в}}}; \quad (2.38)$$

де  $k_n$  - коефіцієнт надійності,  $k_n = 1,2$ ;

$k_{пов}$  - коефіцієнт повернення реле ( $k_{пов} = 0,8$ ).

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 202}{0,8} = 303 \text{ (A)}.$$

$$I_{сз} = k_{нс} \cdot I_{сзГр} = 1,3 \cdot 303 = 393,9 \text{ (A)}.$$

Приймається уставка  $I_{сз} = 393,9 \text{ (A)}$ .

в) визначається чутливість захисту при двофазному КЗ на шинах 0,4 кВ ТП1 в мінімальному режимі системи:

$$k_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{0,865 \cdot 11820}{393,9} = 14,97 > 1,5.$$

г) струм спрацьовування реле визначається по виразу:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{n_{ТС}} = \frac{393,9}{20} = 19,7 \text{ (A)}.$$

де  $n_{ТС}$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму прийнятий рівним 100/5.

д) час спрацьовування захисту визначається за узгодженням з МСЗ трансформаторі ТП1, що має час спрацьовування – 1,2с.

$$t_{сзКЛ} = t_{сзМСЗтр} + \Delta t' = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ (с)}.$$

Доцільно встановити реле часу марки ЕВ-124. Межі уставок рівні 0,25—3,5с

Величина струму КЗ на землю для кабельної лінії підключеної до ТП1 рівна:

$$3I_{ОКЛмережі}^{(1)} = \frac{k_{рем} \cdot U_{мф} \cdot l}{10} = \frac{0,54 \cdot 0,4 \cdot 0,071}{10} = 0,03 \text{ (A)}.$$

де  $U_{мф}$  – Величина міжфазної напруги, кВ;

l – протяжність кабельної лінії до ТП1 від ЦРП підприємства, км;

$k_{рем}$  – коефіцієнт для врахування часу простою необхідного для ремонтних робіт.



Струм спрацьовування захисту визначається таким чином:

$$I_{сз} = \frac{k_{відл} \cdot k_{стр} \cdot 3I_{0КЛ}^{(1)}}{10} = \frac{1,1 \cdot 4 \cdot 0,03}{10} = 0,0132 \text{ (А)}.$$

де  $k_{відл}$  – коефіцієнт відлаштування, що приймається рівним 1.1—1.2;

$k_{стр}$  – коефіцієнт “стрибка” величини струму в часі.

Коефіцієнт чутливості:

$$k_{ч} = \frac{3I_{0КЛ\text{мережі}}^{(1)} - 3I_{0КЛ}^{(1)}}{I_{сз}} = \frac{0,03 - 0,0108}{0,0132} = 1,45 > 1,25.$$

Для реалізації умов чутливості спрацьовування обладнання необхідно, щоб сигналізація при замиканні на землю спрацьовувала з КЧ  $k_{ч} = 1,25$  кабельної лінії живлення установки.

## 2.6 Висновки до розділу 2

Аналіз системи електропостачання підприємства ДП «45 ЕМЗ» показав що для оптимізації процесу електроспоживання доцільно виконати наступні проектні рішення:

- кількість трансформаторних підстанції для оптимального електропостачання повинна бути рівна трьом, а потужність та тип трансформаторів ТМ 2х630/10;
- переріз зовнішньої кабельної лінії повинен бути 3х70 мм<sup>2</sup>, кабельні лінії виконані кабелем типу АПвЭБВ-10 на напрузі 10кВ. Для живлення ТП оптимальним рішенням буде використання кабелів типу АПвЭБВ-10 з перерізом ліній 3х25 мм<sup>2</sup>;
- також в даному розділі був проведений аналіз та вибір типу засобів захисту електрообладнання в аварійних режимах роботи.

Отже в цілому для підприємства було розроблено систему електропостачання яка відповідає діючим нормам та, яка являється оптимальною за своїми економічними показниками.

### 3 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

#### 3.1 Аналіз та характеристики пунктів автоматичного регулювання напруги

Пункт автоматично регулювання напруги (ПАРН) – пристрій призначений для регулювання напруги електричних мереж, з будь-яким способом заземлення нейтралі, трифазного змінного струму частотою 50 Гц з номінальною напругою 6 або 10 кВ та номінальним струмом до 600 А [14].

ПАРН необхідно використовувати при реконструкції або будівництві нових електричних мереж, щоб досягти збільшення пропускної здатності ліній 6-10 кВ. Зокрема ПАРН доцільно використовувати в існуючих лініях, які не відпрацювали свій нормативний термін, але не забезпечують нормовані рівні напруги споживачів. При цьому установка ПАРН дозволяє суттєво збільшити пропускну здатність ЛЕП і покращити показники якості електроенергії [18].

ПАРН здатні виконувати наступні функції:

- збільшення пропускної здатності існуючих ліній для підключення нових споживачів;
- передача електроенергії по лініях 6 і 10 кВ на великі відстані;
- забезпечення нормованих показників якості електроенергії (забезпечення необхідного рівня напруги по всій довжині ліній та зменшення несиметрії напруг в лініях;
- автоматично підвищувати або понижувати рівні напруги на лініях електропередач в критичних рівнях падіння або підйому напруги;
- автоматично підтримувати нормовані рівні напруги в заданих межах при прямому та зворотному напрямку потоку потужності;

ПАРН необхідно використовувати в регіонах для яких характерний помірний клімат протягом року, при верхньому робочому значенні температури навколишнього середовища + 55°C і при нижньому робочому значенні температури навколишнього середовища - 45°C [19].

Функціональна схема ПАРН зображена на рисунку 3.1. На схемі: 1 – ВДТ з вторинною 2 та первинною 3 обмотками; 4, 26 – перший та другий тиристорні ключі; 6, 14 – перший та другий синхронізуючі трансформатори; 7, 16, 24, 25 – тиристори; 8, 17 – захисні діоди; 10, 19 – захисні резистори; 12, 21 – обмежуючі діоди; 15, 23 – струмообмежуючі резистори; 27 – блок управління; 28 – первинна обмотка 2 СТ. В моментах коли значення напруги відхиляються від заданої ключ 4 у відкритому положенні, а ключ 26 в закритому, при цьому прикладається вхідна напруга до первинної обмотки ВДТ 1, що забезпечує зменшення перенапруги, якщо напруга стане меншою заданої, то тиристорний ключ 4 переходить в закритий стан, а первинна обмотка ВДТ 3 шунтується за допомогою ключа 26, керування яким здійснюється від блока керування 27.

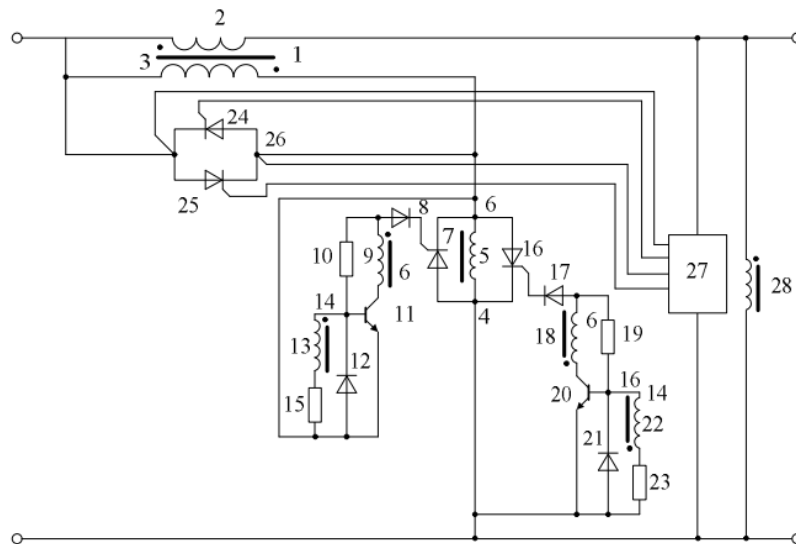


Рисунок 3.1 – Функціональна схема ПАРН

ПАРН складається з [20]:

- вольтододаткових трансформаторів (силових модулів). У складі ПАРН може бути два або три ВДТ рисунок 3.2;
- низьковольтних шаф контролю і управління на базі мікропроцесорних пристроїв;
- з'єднувальних кабелів;
- обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН);
- роз'єднувачів;

- монтажного комплексу для установки елементів ПАРН;
- програмного забезпечення.

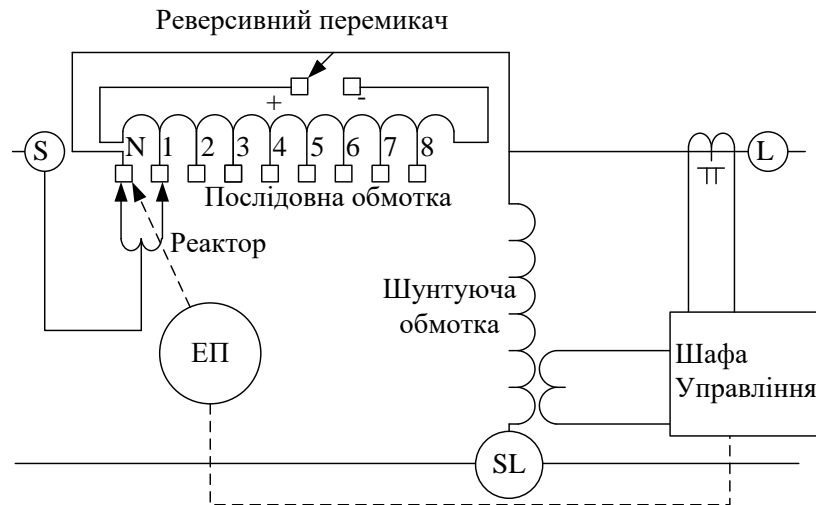


Рисунок 3.2 – Функціональна схема регулятора ВДТ

На рисунку 3.2 літерою S позначається високовольтний ввід з боку джерела (Sourcebushing), літерою L високовольтний ввід з боку навантаження (Loadbushing); буквами SL високовольтний ввід загальної точки (Source-loadbushing).

ВДТ виконані на базі однофазного масляного автотрансформатора зовнішньої установки, що має загальну і послідовну обмотки. Послідовна обмотка має 32 ступені для регулювання вихідної напруги в діапазоні  $\pm 10\%$ . Регулювання здійснюється під навантаженням за допомогою перемикача ступенів. ВДТ оснащений вбудованими вимірювальними трансформаторами струму і напруги.

Управління перемикачем ступенів здійснюється від мікропроцесорного пристрою контролю і управління.

Роз'єднувачі використовуються для здійснення безперервності електропостачання при проведенні ремонтних або профілактичних робіт з елементами ПАРН, а також забезпечують видимий розрив для виконання безпечних методів роботи персоналом [21].

ОПН використовуються для захисту обмоток ПАРН від грозових і комутаційних перенапруг.

ПАРН з номінальним струмом до 200 А включно можуть бути встановлені на опори ЛЕП.

ПАРН з номінальним струмом 300 А і вище необхідно встановлювати на постамент або фундамент. Також можлива установка ПАРН всіх номіналів в блок-боксі повної заводської готовності.

### 3.2 Використання ПАРН в системі електропостачання ДП «45 ЕМЗ»

Для усунення відхилення напруги в даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи запропоновано використання ПАРН типу ВДТ/VR32 в системі електропостачання ДП «45 ЕМЗ».

Проблема вибору коефіцієнта трансформації ( $k_T$ ) ВДТ складається в правильному обліку значення потужності навантаження споживача, яке варіюється при зміні напруги. Якщо навантаження представлено постійними опорамі ( $r_n, x_n = \text{const}$ ) то розрахунки представляються наступним чином:

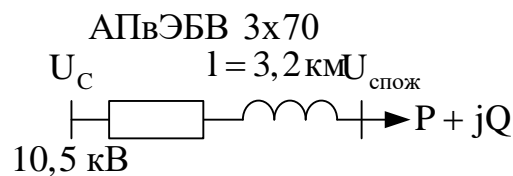


Рисунок 3.3 – Схема заміщення СЕП

Визначимо потужність, при якій виконується умова  $U_{\text{спож}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ :

$$P_n = \frac{U_{\text{спож}}(U_C - U_{\text{спож}})}{(r_0 + x_0 \cdot \text{tg}\varphi)l}, \quad (3.1)$$

де  $U_C$  - напруга системи ( $U_C = 10,5 \text{ кВ}$ );

$U_{\text{спож}}$  - напруга в точці споживання ( $U_{\text{спож}} = 9,0 \text{ кВ}$ );

$\text{tg}\varphi$  - коефіцієнт реактивної потужності;

$r_0, x_0$  - віддалені активний та реактивний опір кабеля АПвЭБВ;

$l$  - довжина лінії.

Виконаємо перерахунок споживаної потужності за умови, що напруга у споживача 10 кВ, а опір навантаження не змінився.

$$\begin{cases} P_k = \frac{U_{\text{спож}}^2}{r_H}, \\ Q_k = \frac{U_{\text{спож}}^2}{X_H}, \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} \Delta P = \frac{P_k^2 + Q_k^2}{U_{\text{спож}}^2} r_0 \cdot l, \\ \Delta Q = \frac{P_k^2 + Q_k^2}{U_{\text{спож}}^2} x_0 \cdot l, \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} P_H = P_k + \Delta P, \\ Q_H = Q_k + \Delta Q, \end{cases} \quad (3.4)$$

Визначивши після перерахунку нові потужності, розраховуємо падіння напруги і  $k_T$ , необхідний регулятору напруги для збільшення напруги за допомогою ВДТ до значення 10 кВ:

$$U_{\text{спож}} = U_C - \frac{(P_H \cdot r_0 + Q_H \cdot x_0) \cdot l}{U_C} \cdot 0,001 \quad (3.5)$$

Рівень напруги на вході та виході ВДТ за умови, що напруга у споживача 10 кВ, а опір навантаження не змінився. На рисунку 3.3 приведена діаграма, побудована за результатами розрахунків для  $\text{tg } \varphi = 0,4$ .

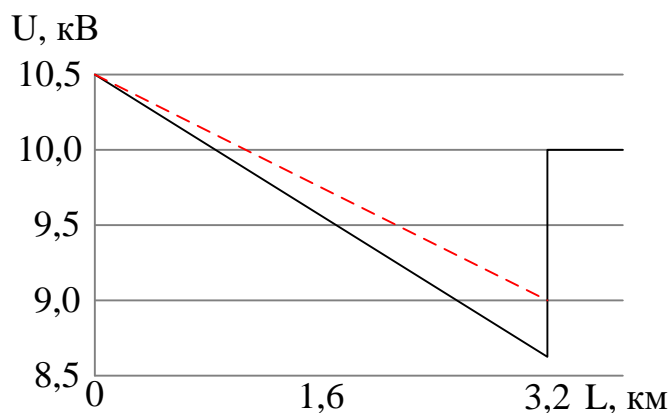


Рисунок 3.4 – Зміна напруги при  $\text{tg } \varphi = 0,4$

З рисунка 3.12 видно, що при підвищенні напруги на шинах споживача при постійному опорі його навантаження збільшується падіння напруги: це говорить про необхідність збільшення  $k_T$  з 1,1 до 1,16. В даній схемі необхідно буде встановити два вузла по два ВДТ.

Як видно з отриманих результатів, при виборі коефіцієнта трансформації ВДТ повинен бути врахований характер залежності потужності навантаження від його напруги. Так коефіцієнт трансформації, розрахований за умови сталості потужності при зміні напруги навантаження, вийде дещо заниженим, що не забезпечує необхідного рівня напруги в дійсності (оскільки величина потужності навантаження варіюється при його зміні). З іншого боку, розрахунок коефіцієнта трансформації ВДТ зміні напруги живлення призведе до вибору завищеного коефіцієнта трансформації. Дана обставина відбивається як на кількості ВДТ, які встановлюються в одному вузлі (два або три), так і на кількості встановлюваних вузлів в лінії. При цьому другий варіант дозволяє врахувати дійсну залежність опору навантаження від напруги, що забезпечує правильний вибір коефіцієнта трансформації та кількості ВДТ.

### 3.3 Розробка цифрової моделі ПАРН в MATLAB Simulink

Схема системи управління ВДТ трансформаторної підстанції для автоматичної стабілізації напруги наведена на рисунку 3.4 [15].

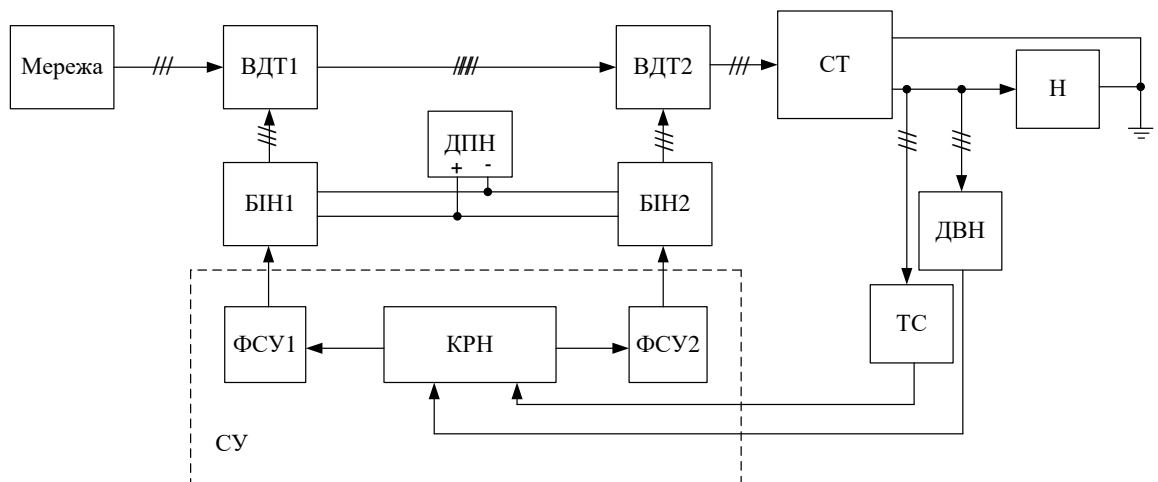


Рисунок 3.5 – Структурна схема СУ ВДТ/VR32

Схема містить силовий трансформатор (СТ), навантаження (Н), блоки вольтододаткових трансформаторів (ВДТ) з блоками інверторів напруги (БІН), які живляться від джерела постійної напруги (ДПН), сукупність даних пристроїв утворює вольтододатковий каскад (ВДК). Каскад включений послідовно між мережею та СТ. Для інвертора напруги (ІН) запропонований спеціальний спосіб і алгоритм управління. До складу системи управління (СУ) входить формувач сигналу управління (ФСУ) з кутом  $\alpha$  для кожного ІН, синхронізований від трифазного трансформатора (ТС) канал регулювання напруги (КРН) з кутом  $\beta$  в колі зворотного зв'язку від датчика відхилення напруги (ДВН).

Принцип регулювання напруги ВДК без зсуву першої гармонійної складової щодо напруги мережі ілюструє векторна діаграма, наведена на рисунку 3.6.

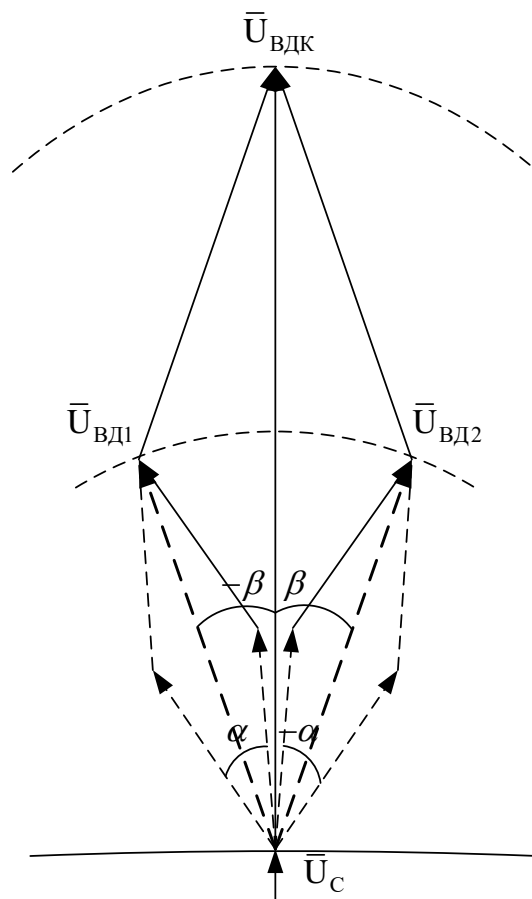


Рисунок 3.6 – Векторна діаграма напруг ВДК

Вектор напруг  $\bar{U}_{ВД1}$  та  $\bar{U}_{ВД2}$  при  $\beta = 0$ :



$$\begin{cases} \bar{U}_{ВД1} = U_d \cdot K_{и} \cdot e^{t\alpha}, \\ \bar{U}_{ВД2} = U_d \cdot K_{и} \cdot e^{-t\alpha}. \end{cases} \quad (3.6)$$

де  $U_d$  - напруга живлення інверторів;

$K_{и}$  - коефіцієнт передачі напруги мостовим однофазним інвертором.

Напруга ВДК із формули 3.6 буде рівною:

$$\bar{U}_{ВДК} = U_d \cdot K_{и} \cdot e^{t\alpha} + U_d \cdot K_{и} \cdot e^{-t\alpha}, \quad (3.7)$$

$$\bar{U}_{ВДК} = U_d \cdot K_{и} \cdot (e^{t\alpha} + e^{-t\alpha}), \quad (3.8)$$

$$\bar{U}_{ВДК} = U_d \cdot K_{и} \cdot (e^{t\alpha} + e^{-t\alpha}), \quad (3.9)$$

$$\bar{U}_{ВДК} = U_{ВДК} = U_d \cdot K_{и} \cdot 2 \cdot \cos \alpha. \quad (3.10)$$

Вольтододаткові трансформатори, виконуючи роль силових суматорів, добавляючи напругу ВДК до напруги мережі і формують напругу живлення ТП:

$U_1 = U_C + U_{ВДК}$ , де  $U_1$  - напруга на первинній обмотці СТ.

З врахуванням (3.10) та коефіцієнта трансформації ВДК  $k_T$  отримуємо:

$$U_1 = U_C + 2 \cdot k_T \cdot K_d \cdot K_{и} \cdot 2 \cdot \cos \alpha. \quad (3.11)$$

при збігу по фазі  $U_{ВДК}$  та  $U_C$ :

$$U_{ВДК} = U_d \cdot K_{и} \cdot k_T \cdot 2 \cdot \cos \alpha \cdot 2 \cdot \cos \beta. \quad (3.12)$$

На підставі виразів (11) і (12) напруга на виході СТ:

$$U_2 = \frac{U_C + 4 \cdot U_d \cdot K_{и} \cdot k_T \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{K_{СТ}}. \quad (3.12)$$

Математичні моделі ВДК і СУ в складі ТП, реалізовані в середовищі MatLab / Simulink, представлені на рисунку 3.7. ВДК містить 6 однофазних мостових IGBT модулів і трифазні вольтододаткові трансформатори. Силовий трансформатор підстанції має схему з'єднання Y/Y з нульовим проводом на вторинній обмотці.

Пристрій формування спеціального сигналу [19], що реалізує 180-градусний алгоритм [20] управління ІН в трифазній системі електропостачання, представлено на рисунку 3.9 [16].

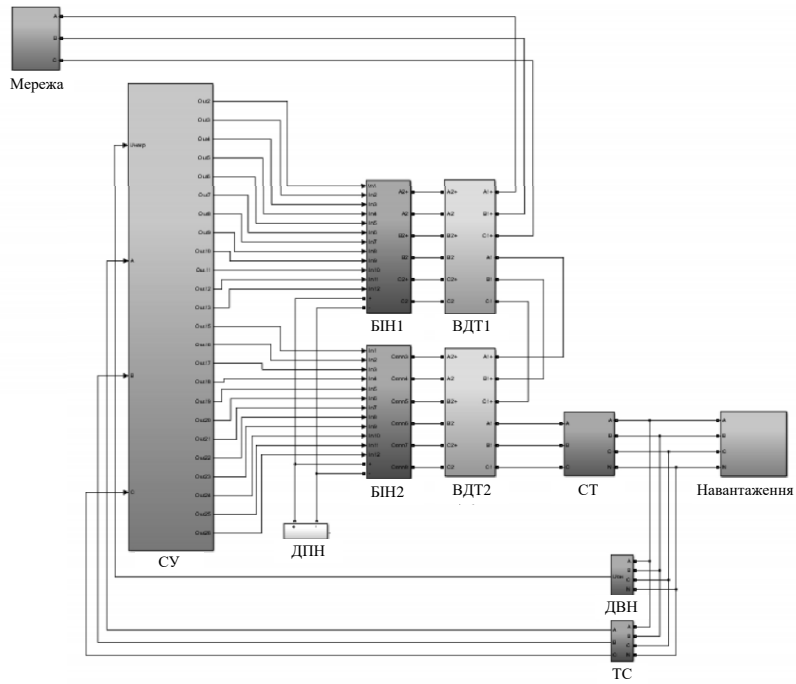


Рисунок 3.7 – Математична модель ВДК у складі ТП

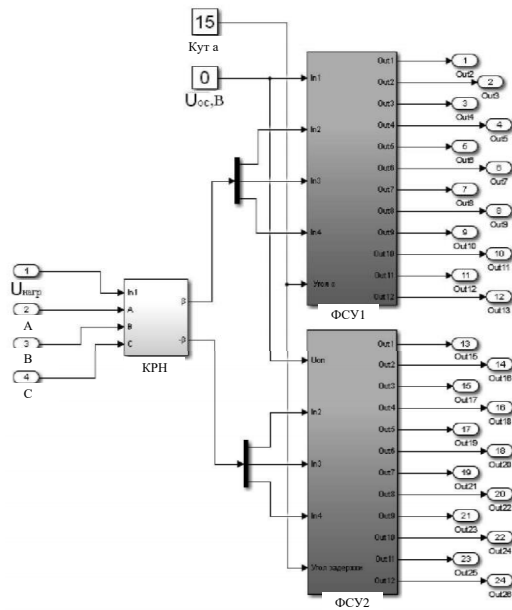


Рисунок 3.8 – Математична модель СУ з імпульсно-фазовим регулюванням

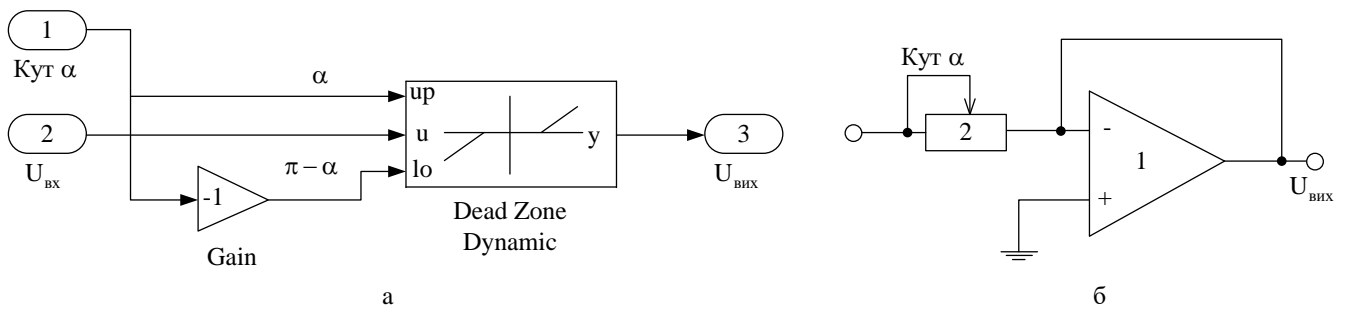


Рисунок 3.9 – Модель формувача сигналу спеціальної форми: а - в середовищі MatLab; б - схема на ОУ

Модель формувача побудована на основі блоку Dead Zone Dynamic (рисунок 3.9, а) в програмному середовищі MatLab, а його фізична реалізація можлива на основі операційного підсилювача (ОУ) і підлаштування резистора (рисунок 3.9, б).

Вихідний сигнал пристрою формується дією негативного зворотного зв'язку операційного підсилювача і потенціометра. За допомогою потенціометра регулюється ступінь зміщення позитивної і негативної напівхвилі вихідного сигналу усіченої синусоїдальної форми, як показано на рисунку 3.10. При зазначеному зміщенні вихідного сигналу пристрою кут управління  $\alpha$  змінюється від 0 до  $90^\circ$ .

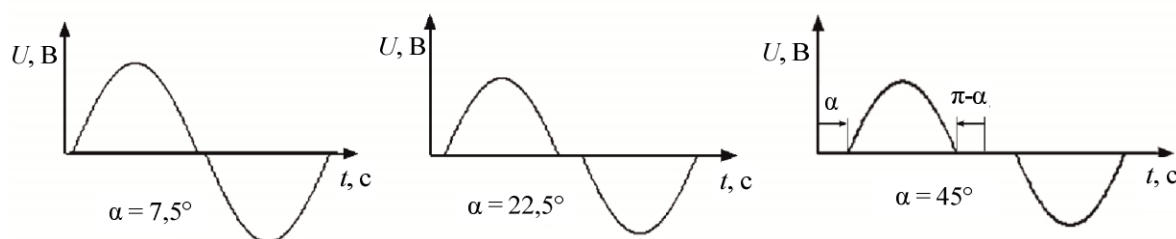


Рисунок 3.10 – Форма сигналу при різних кутах управління

Для формування вхідного сигналу спеціальної форми задіяний пристрій який має високу точність при простій реалізації. При чому змінюючи параметри його сигналу системою управління (СУ) можливо виконати декілька алгоритмів управління ІН.

### 3.3 Моделювання основних режимів роботи регулятора напруги

На рисунку 3.11 зображено Осцилограма багаторівневого напруги при роботі одного вольтододавального пристрої та  $180^\circ$ - градусному управлінні ІН.

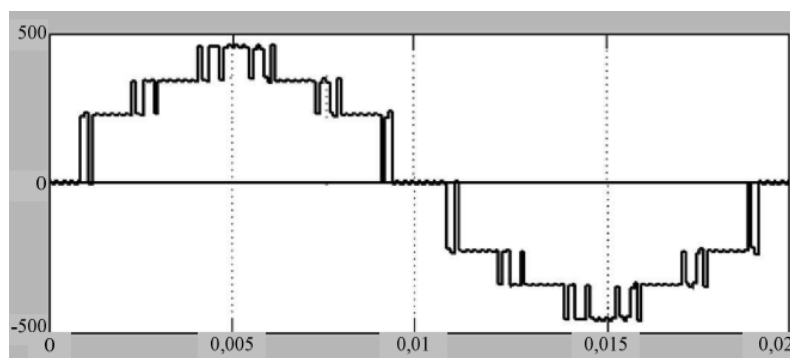


Рисунок 3.11 – Напруга вольтододавального пристрою

При регулюванні кута від  $0$  до  $90^\circ$ , напруга ВДК змінюється від максимального до нульового значення, а в діапазоні  $90-180^\circ$ , від нульового до мінімального значення відповідно. Процес регулювання напруги ВДК в позитивну і негативну півхвилю відбувається в 6 поддіапазонів, а загальне регулювання здійснюється в 12-поддіапазонів.

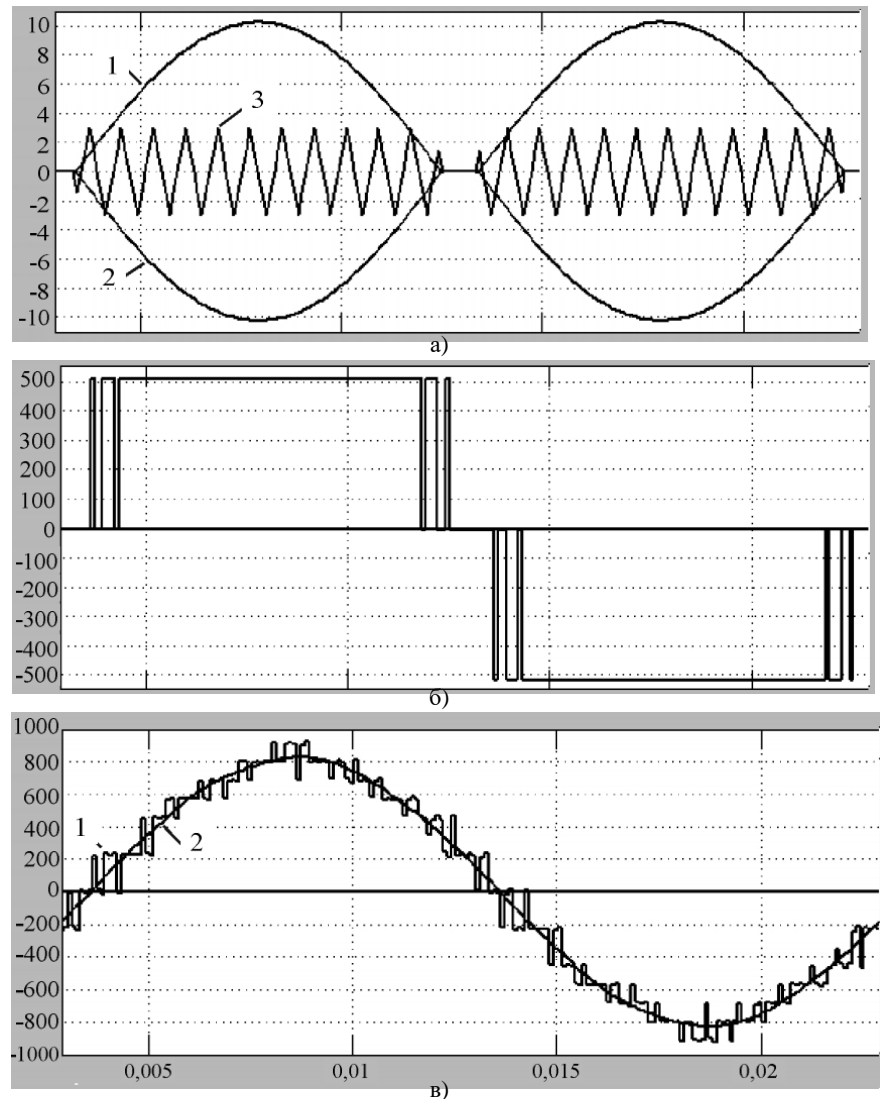


Рисунок 3.12 – Фазні напруги з ШІМ: а - 1, 2 - прямий і зворотний сигнал управління для однофазного ІН, 3 - опорний сигнал; б - напруга на виході однофазного ІН; в - 1 - напруга ВДК, 2 - перша гармоніка напруги

Багаторівнева напруга практично не спотворює форму струму навантаження в трансформаторах і мережі. Це показано на осцилограмах представлених на рисунку 3.13.

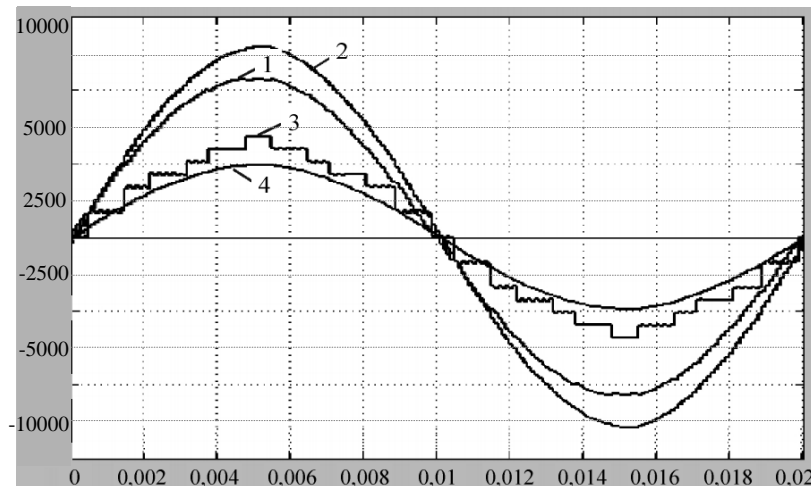


Рисунок 3.13 – Осцилограми напруги і струму мережі при роботі СТ на RL навантаження з імпульсно-фазовим регулюванням напруги ВДК на вході ТП: 1 - напруга мережі; 2 - напруга на вході СТ; 3 - напруга ВДК; 4 - струм мережі

Здійснені моделювання основних режимів роботи регулятора напруги показали, що представлені алгоритми і структура системи управління ВДТ разом з силовою схемою в складі ТП дають можливість формування багаторівневого регульованого сигналу для стабілізації величини напруги в навантаженні СТ з високими енергетичними показниками, лінійним регулюванням характеристик і порівняно жорстку зовнішню характеристику.

### 3.5 Висновки до розділу 3

Висновки. Використання пристрою ПАРН ВДТ/VR32 в СЕП підприємства дозволить значно оптимізувати рівень напруги в мережах даного підприємства, мінімізувати величину відхилення напруги, що дає змогу покращити показники якості електроенергії та зменшити втрати пов'язані з даним несприятливим явищем;

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи також було проведено моделювання оптимальних параметрів та режимів роботи ПАРН типу ВДТ/VR32 в мережах ДП «45 ЕМЗ». Проаналізовано математичну модель системи автоматичного регулювання напруги силового трансформатора з ПАРН. Розроблено цифрову модель пристрою ПАРН в середовищі Matlab Simulink, а також здійснено моделювання основних режимів його роботи.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

Суть техніко-економічного обґрунтування проекту полягає в проведенні попередніх техніко економічних розрахунків, які підтверджуються доцільність капіталовкладень в даний енергетичний об'єкт [22].

Доцільність реалізації проекту обґрунтовується:

- задоволення потреб суспільства продукцією підприємства;
- створення нових робочих мість та працевлаштуванням населення;
- надання необхідних послуг;
- прибутковістю;
- окупністю капіталовкладень, і т.д.

Вихідні дані для розрахунку:

- виручка від реалізації продукції  $V = 1350$  (млн. грн./рік);
- середньооблікова чисельність персоналу  $Ч = 970$ ;
- середньорічний фонд заробітної плати одного працівника разом з нарахуванням на соціальні потреби  $З_{Пл}$ , грн./рік;
- питома заробітня плата в собівартості продукції  $d = 10\%$ ;
- первісна або балансова вартість основних фондів  $\Phi = 6050$  млн.грн;
- нормований коефіцієнт ефективності капіталовкладень:  $E_H = 0,1$ ;
- нормований термін окупності, років:  $T_{ок} = 10$ .
- середньомісячна зарплата одного працівника  $З = 4723$  грн./міс.

Середньорічний фонд заробітної плати одного працівника:

$$З_{Пл} = З \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 4723 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 0,057 \text{ (млн..грн./рік)}, \quad (4.1)$$

Повна собівартість продукції:

$$C = \frac{1,38 \cdot Ч \cdot З_{Пл}}{d} = \frac{1,38 \cdot 970 \cdot 0,057}{0,12} = 635,835 \text{ (млн..грн./рік)}, \quad (4.2)$$

Балансовий прибуток:

$$П = V - C = 1250 - 635,835 = 614,165 \text{ (млн..грн./рік)}, \quad (4.3)$$

Визначаємо термін окупності даного підприємства:

$$T_{\text{ор}} = \frac{\Phi}{\Pi} = \frac{6050}{614,165} = 9,851 \text{ (років)}, \quad (4.4)$$

$$T_{\text{ор}} = 9,851 < T_{\text{ок}} = 10. \text{ (років).}$$

Даний термін не перевищує нормативний, отже розрахунок системи електропостачання є прибутковим.

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рисунку 4.1, та вихідних даних у таблицях 4.1, 4,2 1.1, необхідно виконати такі розрахунки:

1. Розрахувати величину капітальних вкладень в трансформаторні підстанції, кабельні лінії та високовольтні вимикачі.

2. Розрахувати оплату за спожиту електроенергію.

3. Розрахувати величину складових експлуатаційних витрат:

- витрат в мережах підприємства;

- витрат на заробітну плату;

- витрат на матеріали;

- амортизаційних витрат.

4. Розрахувати собівартість електроенергії на підприємстві.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Факт. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-630	2	877,77
ТП 2	ТМ-630	2	953,78
ТП 3	ТМ-630	2	1018,3

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії від ТП до ГПП, м	Марка кабелю	К-сть
ЦРП - ТП1	593	АПвЭБВ-10 3х25	2
ЦРП – ТП2	118	АПвЭБВ-10 3х25	2
ЦРП – ТП3	137	АПвЭБВ-10 3х25	2

Рекомендації до виконання:

1. Оплату за спожиту електроенергію розраховують по тарифам: 2,33765 коп/кВт·год
2. Прийняти норму амортизації – 6%,
3. Нарахування:
  - в пенсійний фонд – 33,3%,
  - у фонд зайнятості – 1,5%,
  - на соціальне страхування – 1,5%.

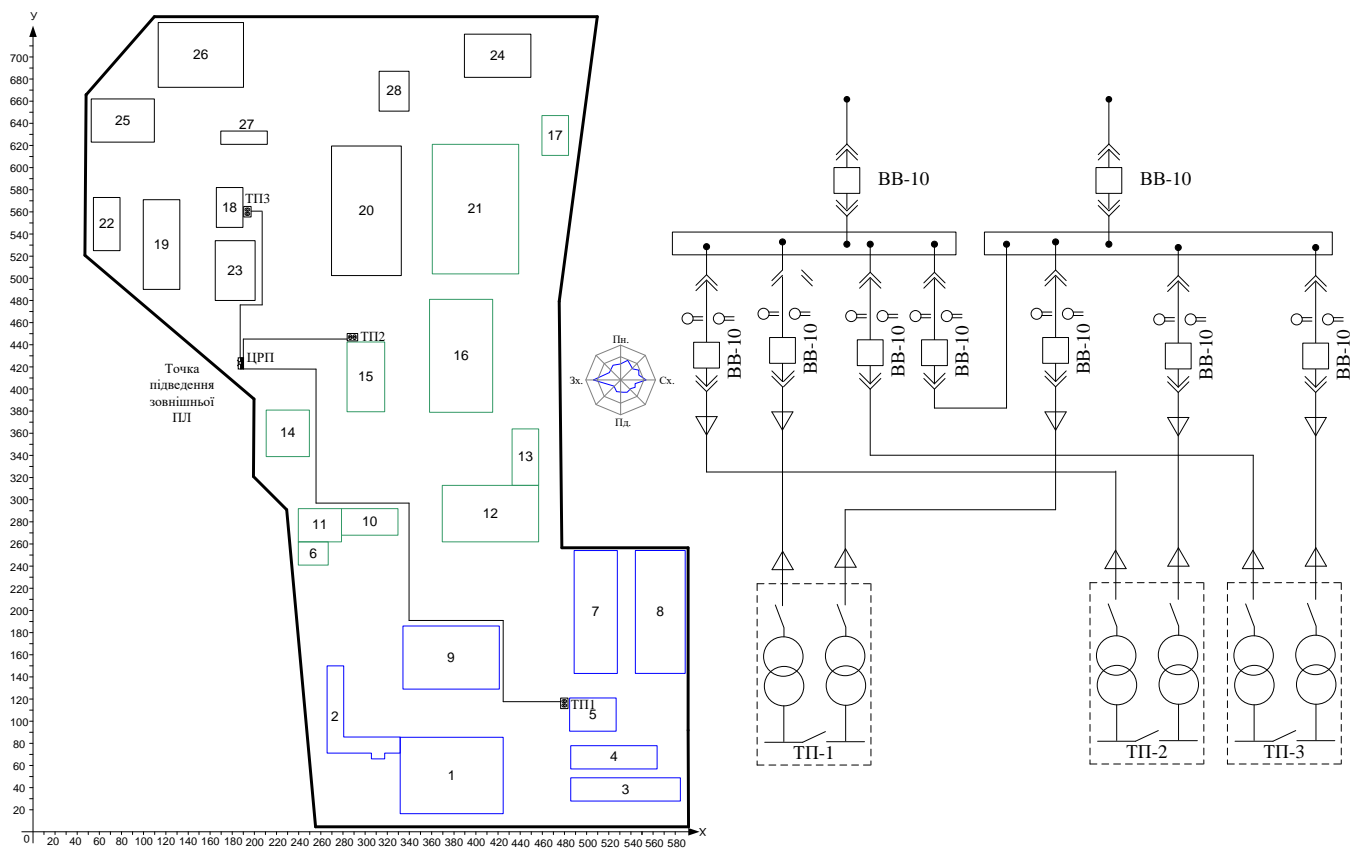


Рисунок 4.1 – Схема електропостачання підприємства

#### 4.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач виконуємо за вартістю кабелів та їх прокладання, які наведені в табл. 3.4 і табл.3.5 [22].



Капітальні вкладення для ліній електропередач:

$$K_{л} = (K_{пит} \cdot n + K_{прок}) \cdot L, \quad (4.5)$$

де  $K_{пит}$  - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км [22];

$K_{прок}$  - питома вартість прокладання, тис. грн./км;

$L$  - довжина лінії електропередачі, км.

$n$  – кількість кабелів в траншеї, шт.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП1 (АПвЭБВ 3х35) в ґрунті II категорії без врахування переходів:

$$K_{л1} = (K_{пит} + K_{прок}) L = (83,08 \cdot 2 + 4,22) \cdot 0,593 = 101,04 \text{ тис.грн.}$$

Для інших ліній розрахунки виконуються аналогічно, результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{пит}$ , тис.грн	$K_{прок}$ , тис.грн	Кл, тис.грн
ЦРП-ТП1	АПвЭБВ-10 3х25	2	0,593	83,08	4,22	101,04
ЦРП-ТП2	АПвЭБВ-10 3х25	2	0,118	83,08	4,22	20,11
ЦРП-ТП3	АПвЭБВ-10 3х25	2	0,137	83,08	4,22	23,34
Разом						144,49

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{пс} = \sum_{i=1}^1 K_{псі} + K_{пост}, \quad (4.6)$$

де  $K_{псі}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн. [22];

$K_{пост}$  - постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов'язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій, наприклад, для ТП–1:

$$K_{\text{пс1}} = 561,9 + 112,38 = 674,28 \text{ тис.грн.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип т-ра	Кількість	Код, тис.грн	Кпост, тис.грн	Кпс, тис.грн
КТП-1	ТМ-630	2	561,90	112,38	674,28
КТП-2	ТМ-630	2	561,90	112,38	674,28
КТП-3	ТМ-630	2	561,90	112,38	674,28
Разом:					2022,83

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів. Відповідно до схеми, зображеної на рис.1, кількість вимикачів 10 кВ – 9 шт.. Відповідно до рекомендацій приймаємо вартість вимикача 10 кВ рівною (30–40) тис. грн.. Сумарна вартість вимикачів:

$$K_{\text{в}} = 9 \cdot 40 = 360 \text{ (тис. грн.)}, \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами:

$$K_{\text{пс}} = 2022,83 + 360 = 2382,83 \text{ (тис.грн.)}, \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 144,49 + 2382,83 = 2527,31 \text{ (тис.грн.)}. \quad (4.9)$$

### 4.3 Розрахунок поточних витрат

#### 4.3.1 Розрахунок потреби в робочій силі

Планова трудомісткість визначається як, люд.-год./рік:

$$T = \Pi \cdot t_{\text{норм}} \cdot h, \quad (4.10)$$

де  $\Pi$  – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год. [22];

$h$  – кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить до цього виду ремонтних робіт.

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 4.6.

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h, \quad (4.11)$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [22];

$K_{\text{ср}}$  – коефіцієнт складності ремонту, який показує частку трудомісткості поточного ремонту, необхідну для технічного обслуговування енергетичного обладнання і мереж на кожен місяць планованого року, 1/міс,  $K_{\text{ср}} = 0,1$ .

$h$  – кількість обладнання в групі.

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до таблиця 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	К-ть	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю облад. рем/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудмісткість люд.год.	К-сть на одиницю облад. огл/рік	Норма трудомісткості люд.год.	Заг. трудмісткість люд.год.
Вимикач 10кВ	9	1	16	144	12	1	108
ТМ-630	6	0,33	120	237,6	12	20	1440
Кабельна лінія 25 мм <sup>2</sup> , км	1,696	1	46	78,016	1	11,5	19,504
Разом				459,616			1567,504

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-ть	Технічне обслуговування				Загальна трудомісткість обслуговування люд.год.
		Змінність роботи	Коеф. складності	К-ть місяців	Загал. трудомісткість люд.год.	
Вимикач 10кВ	9	2	0,1	12	345,6	453,6
ТМ-630	6	2	0,1	12	1728	3168
Кабельна лінія 25 мм <sup>2</sup> , км	1,696	2	0,1	12	187,2384	206,742
Разом					2260,8384	3828,342

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{3828,3424}{1900 \cdot 1,05} = 1,92. \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$N_{\text{тр}} = \frac{459,616}{1900 \cdot 1,1} = 0,22. \quad (4.13)$$

Приймаємо за нормами ПУЕ  $N_{\text{тр}} = 2$  чол.,  $N_{\text{обс}} = 2$  чол

#### 4.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ге}} \cdot \Phi_d, \quad (4.14)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{\text{ге}} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_1, \quad (4.15)$$

де  $K3$ ,  $K4$  – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, [22];

$C_I$  – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_i = \frac{Z_{\min} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H}, \quad (4.16)$$

$$C_I = 4723 \cdot 1/176 = 26,84 \text{ (грн./год.)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{re} = ((1,18+1,27)/2) \cdot 26,84 = 32,873 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 2 \cdot 0,9 \cdot 32,873 \cdot 1900 = 112426,185 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$

б) для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{пр} \cdot t_{гр}, \quad (4.19)$$

$$t_{гр} = (K4+K5)/2 \cdot C_I, \quad (4.20)$$

де  $K4, K5$  – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, [22].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{гр} = ((1,27+1,36)/2) \cdot 26,84 = 35,29 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 459,616 \cdot 35,29 = 16219,08 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1+0.05+0.01+\alpha), \text{ (грн./рік)}, \quad (4.21)$$

де  $\Phi$  - тарифний фонд  $\Phi_e$  експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати  $\Phi_p$  ремонтного персоналу, грн./рік;

0.01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0.05 - частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  - частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 112426,18 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 141656,99 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 16219,08 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 21246,99 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15, \quad (4.24)$$

$$\Phi_{оед} = 141656,99 \cdot 1,15 = 162905,54 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 21246,99 \cdot 1,15 = 24434,04 \text{ (грн./рік)}.$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. З цього фонду кошти витрачаються на виплату по тимчасовій втраті працездатності, оплату відпусток по вагітності, санаторно-курортні лікування й організацію відпочинку працівників, оздоровчі заходи для дітей працівників та інше.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ( $C_{зп}$ ) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{зп} = \Phi_{об} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_{п} + \beta_{з} + \beta_{с}}{100} \right), \quad (4.25)$$

де  $\beta_{п}$  - нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{п} = 33\%$  ;

$\beta_{з}$  - нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_{з} = 1,5\%$  ;

$\beta_{с}$  - нарахування на соціальне страхування,  $\beta_{с} = 1,5\%$ .

Розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпе} = 162905,54 \cdot \left( 1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 219922,48 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{\text{зпр}} = 24434,04 \cdot \left(1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 32985,96 \text{ (грн./рік)}.$$

#### 4.3.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні для розрахунку дані заносимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Матеріал	Ціна матеріалу, грн.	Норми витрат матер. На 100 люд.-год. Трудомісткості ремонту і тех. Обслуговування				Вартість матеріалу, грн.			
		1000	1600	2500	10000	1000	1600	2500	10000
Силові трансформатори		1000	1600	2500	10000	1000	1600	2500	10000
Сталь сортова, кг	7,5	6	7	7	10	44,95	52,44	52,44	74,91
Провід установлюваний, м	3,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,55	1,55	1,55	1,55
Мідь-алюміній (гола), кг	69,8	62	73	73	79	4324,5	5091,75	5091,75	5510,25
Картон електроізоляційний, кг	33,6	1,4	1,6	1,6	1,7	47,08	53,81	53,81	57,17
Лакотканина (ширина 700мм), м	93,3	0,2	0,21	0,21	0,3	18,65	19,59	19,59	27,98
Кабельний папір, кг	27,5	0,6	0,6	0,6	0,6	16,5	16,5	16,5	16,5
Стрічка кіперна, кг	336,3	40	41	41	42	13452	13788,3	13788,3	14124,6
Стрічка тафтяна, кг	249,8	18	24	24	28	4497,12	5996,16	5996,16	6995,52
Стрічка азбестова, м	7,4	0,05	0,08	0,08	0,09	0,37	0,59	0,59	0,66
Лаки ізоляційні, кг	40,2	1,5	1,6	1,6	1,8	60,35	64,37	64,37	72,41
Емалі ґрунтові, кг	44,1	2,5	3,1	3,1	3,2	110,33	136,8	136,8	141,22
Масло трансформаторне, кг	13,6	0,58	1,2	1,2	1,3	7,91	16,36	16,36	17,73
Бензин, кг	6,9	0,7	0,9	0,9	1	4,84	6,23	6,23	6,92
Розчиники кг	19,5	0,8	1	1	1,2	15,6	19,5	19,5	23,4
Маслостійка гума, кг	50	0,4	0,5	0,5	0,6	20	25,01	25,01	30,01
Гума профільна, кг	50	0,13	0,09	0,09	0,09	6,5	4,5	4,5	4,5
Припій олов'яно-свинцевий, кг	476,1	0,02	0,02	0,02	-	9,52	9,52	9,52	-
Припій мідно-фосфорний, кг	88,5	0,03	0,03	0,03	-	2,66	2,66	2,66	-
Електроди, кг	16,4	0,15	0,2	0,2	0,3	2,47	3,29	3,29	4,93
Засоби кріплення, кг	20,9	2	2,5	2,5	3	41,88	52,35	52,35	62,82
Дріт кручений,	2,7	0,3	0,3	0,3	0,37	0,82	0,82	0,82	1,01
Матеріали обтиску, кг	27,3	0,4	0,5	0,5	0,5	10,91	13,64	13,64	13,64
Разом:						22696	25376	25376	27188
Кабельні лінії									
Сталь сортова, кг	7,5	2				15			
Електроди, кг	16,5	0,1				1,6			
Разом:						16,6			

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_m = 0,01 \cdot \left( \sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{лЮ} \right), \quad (4.26)$$

де  $C_{oi}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$T_i$  – трудомісткість обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$L$  – сумарна довжина кабелів,

$C_{лЮ}$  – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів на ремонт:  $C_{мпр} = 53938,65$  (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування:  $C_{мто} = 719043,6$  (грн / рік).

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, тис. грн/рік:

$$C_{обс} = C_{зпе} + C_{мто}, \quad (4.27)$$

$$C_{обс} = 219922,48 + 719043,6 = 938966,08 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{пр} = C_{зпр} + C_{мпр}, \quad (4.28)$$

$$C_{пр} = 32985,96 + 53938,65 = 86924,6 \text{ (грн/рік).}$$

#### 4.3.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K, \quad (4.29)$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 2527313,776 = 151638,826 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:



$$C_{ip} = \beta_{ip} (C_{обс} + C_{пр} + C_a); \quad (4.30)$$

де  $\beta_{ip}$  - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip} = 0,25 \cdot (938966,08 + 86924,6 + 151638,826) = 294382,38 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації енергоустановки і мереж	938966,08	63,79
Витрати на поточний ремонт	86924,60	5,91
Витрати на амортизацію	151638,83	10,30
Інші витрати	294382,38	20,00
Разом	1471911,89	100

#### 4.4. Розрахунок собівартості електроенергії

4.4.1 Розрахунок річного споживання і витрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання визначається, виходячи з розрахункової потужності, яка визначається як добуток установленної (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_{п} \cdot P_{ном} \cdot T_{mi}, \quad (4.31)$$

де  $P_p$  – розрахункова потужність і-го цеху, кВт;

$T_{mi}$  – річна тривалість використання максимуму активного навантаження і-ого цеху, год.;

$K_{п}$  – коефіцієнт попиту.

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для ливарного цеху:

$$E_{a1} = 94,18 \cdot 3500 = 329614,88 \text{ кВт год./ рік .}$$

Аналогічно визначаємо річні витрати активної електроенергії для інших цехів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Річні витрати активної електроенергії по цехах

Назва цеху	К-сть змін	Sp, кВА	Tм, год.	cos φ	Pp, кВт	Ea, кВт·год./рік
Відділи: технічний...	2	121,47	3500	0,65	94,18	329614,880
Заводоуправління	2	40,91	3500	0,8	35,36	123759,125
Гараж	2	40,07	3500	0,85	35,84	125441,085
Цех 9	2	95,98	3500	0,8	79,44	278032,370
Цех 4( в т.ч. мех. від.)	2	155,00	3500	0,8	126,14	441480,200
Дільниця ковальсько...	2	109,27	3500	0,75	83,36	291766,090
Склад металу	2	75,24	3500	0,85	68,02	238066,483
Цех 7	2	295,20	3500	0,5	178,64	625249,800
Бюро технічної...	2	68,07	3500	0,6	60,74	212589,930
Відділення очистки	2	123,32	3500	0,5	68,37	239286,600
Дільниця гальванічного...	2	114,46	3500	0,7	84,01	294047,250
Їдальня на 500 місць	2	53,87	3500	0,65	45,04	157627,680
Заглиблений склад	2	37,71	3500	0,6	28,13	98466,480
Дільниця пресова	2	76,07	3500	0,55	50,10	175340,480
Відділення плазмового...	2	152,97	3500	0,7	112,17	392600,250
Склад готових виробів	2	74,57	3500	0,8	66,96	234363,150
Дільниці: розкрійно...	2	9,47	3500	0,7	8,10	28358,400
Компресорна	2	132,45	3500	0,9	119,41	417931,360
Будівля автоматичної...	2	47,45	3500	0,85	42,61	149131,395
Дільниця слюсарно...	2	291,02	3500	0,7	226,70	793459,170
Дільниці: механічна...	2	213,42	3500	0,75	182,43	638492,855
Склад промислових...	2	38,80	3500	0,7	30,78	107726,080
Склад ПДО, ЦІС	2	40,18	3500	0,7	33,25	116359,600
Пилорамне відділення	2	86,79	3500	0,75	70,48	246689,100
Блок складів №2	2	39,46	3500	0,75	33,56	117468,400
Блок складів № 1	2	60,07	3500	0,8	52,23	182815,500
Дільниця сушки лісоматеріалів	2	197,86	3500	0,75	149,65	523792,080
Дільниця столярна...	2	89,34	3500	0,7	65,59	229547,780
Разом					2231,287	7809503,573

Необхідно також визначити річні витрати реактивної електроенергії.

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{м}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \quad (4.32)$$

де  $I_{\text{м}}$  – максимальний струм у лінії, А;

$\tau$  – час максимальних втрат, год./рік.

$R$  – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$$R = r_0 \cdot L; \quad (4.33)$$

де  $r_0$  – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км [22].

Для лінії ЦРП –ТП1. Струм лінії живлення:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{877,77}{\sqrt{3} \cdot 10} = 25,34 \text{ (А)}. \quad (4.34)$$

Активний опір однієї фази кабелю від ЦРП до ТП1.:

$$R = 0,593 \cdot 0,62 = 0,368 \text{ Ом.}$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot 2 \cdot 25,34^2 \cdot 0,368 \cdot 1968,2 \cdot 10^{-3} = 2787,7 \text{ (кВт·год./рік).}$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	Довжина, км	$I_{\text{м}}$ , А	$R$ , Ом	$\tau$ , год./рік	$R_{\text{пит}}$ , Ом/км	$\Delta E_{\text{л}}$ , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭБВ-10 3х25	2	0,593	25,34	0,368	1968,16	0,62	2787,65
ЦРП-ТП-2	АПвЭБВ-10 3х25	2	0,118	27,53	0,073	1968,16	0,62	654,939
ЦРП-ТП-3	АПвЭБВ-10 3х25	2	0,137	29,40	0,085	1968,16	0,62	866,751
Разом								4309,3

Втрати електроенергії в ТП визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_{\phi}}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (4.35)$$

де  $n$  - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{кз}$  і  $\Delta P_{xx}$  – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

$T_p$  - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

$S_{\phi}$  - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

$S_H$  - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 1,31 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 8,5 \cdot \left( \frac{877,77}{1000} \right)^2 \cdot 1968,2 = 39189,11 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип	шт	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$S_p$ , кВА	$S_H$ , кВА	$\Delta E_T$ , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-630	2	1,31	8,5	877,77	630	39189,11
КТП-2	ТМ-630	2	1,31	8,5	953,78	630	42123,10
КТП-3	ТМ-630	2	1,31	8,5	1018,3	630	44804,66
разом							126116,86

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + \Delta E_{л} + \Delta E_T; \quad (4.36)$$

$$E = 7809503,573 + 4309,34 + 126116,86 = 7939929,77 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію:

$$П_1 = 2,33765 \cdot 7939929,77 = 18560776,84 \text{ (грн.);} \quad (4.37)$$

#### 4.4.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВтг:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (4.38)$$

де  $C_{\text{сум}}$  – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, тис.грн/рік;

$E_a$  – річна кількість корисно споживаної підприємством електроенергії, тобто без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год./рік.

Отже, загальні (сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. грн./рік:

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}}, \quad (4.39)$$

де  $\Pi$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\text{п}}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії.

Річні витрати промислового підприємства, зв'язані з передаванням і розподілом електричної енергії, включають такі складові, тис.грн/рік:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}, \quad (4.40)$$

де  $C_{\text{обс}}$  – витрати підприємства на матеріали та зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, грн/рік.;

$C_{\text{пр}}$  – річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, грн/рік;

$C_a$  – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік;

$$C_{\text{п}} = 938966,8 + 86924,6 + 151638,826 + 294382,38 = 1471911,89 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати визначаються так:

$$C_{\text{сум}} = 18560776,84 + 1471911,89 = 20032688,72 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії

$$S = \frac{20032688,72 \cdot 100}{7809503,573} = 2,565168 \text{ (грн./кВт·год.)}.$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в таблицю 4.12.

Таблиця 4.12 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел.енергії	Е <sub>а</sub>	7809503,573	кВт·год.
Річне споживання ел.енергії із втратами	Е	7939929,77	кВт·год.
Плата за електроенергію	П <sub>1</sub>	18560776,84	грн.
Витрати на передачу і розподіл ел.ен.	С <sub>п</sub>	1471911,89	грн.
Сумарні витрати під-ва	С <sub>сум</sub>	20032688,72	грн.
Собівартість ел.енергії	S	256,52	коп/кВт·год.

#### 4.5 Висновки до розділу 4

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої СЕП підприємства та розраховано собівартість електричної енергії яка склала 22,7518 коп/кВт·год.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній магістерській роботі розглянуті заходи з регулювання напруги з метою підвищення якості електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний механічний завод» в мережах 10 кВ, м. Вінниця, де встановлено сучасне автоматизоване електрообладнання, яке має високі технологічні і функціональні можливості.

Згідно ГОСТ 12.003-74, при роботі операторів, які обслуговують систему регулювання напруги, існують наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- підвищена та знижена температура поверхонь обладнання;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень інфрачервоної радіації;
- нестача природного освітлення;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);
- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання.

Хімічні:

по характеру дії на організм людини:

- токсичні (оксид вуглецю);

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);

- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів, емоційне перевантаження).

## 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

### 5.1.1 Електробезпека

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

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Улаштування та експлуатація електроустановок повинні здійснюватися відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (наказ від 25.07.2006 № 258 Мінпаливенерго України), Правил улаштування електроустановок (наказ від 28.08.2006 № 305 Мінпаливенерго України), НПАОП 0.00-1.29, НПАОП 40.1-1.01, НПАОП 40.1-1.07, НПАОП 40.1-1.21, НПАОП 40.1-1.32. Електробезпека на будівельному майданчику повинна забезпечуватися відповідно до вимог ГОСТ 12.1.013.

Улаштування і технічне обслуговування тимчасових і постійних електричних мереж на виробничій території повинен здійснювати персонал, що має відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки;



- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

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

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

### 3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

### 5.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмовідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються під час їх роботи.

Під час роботи електродвигунів заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднують електродвигуни з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаної з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлюють поряд з тим, на якому проводять роботи, слід вивісити плакат «Стій! Напруга» незалежно від того, чи перебувають вони у роботі чи у резерві.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

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

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Іа, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи.

Параметри мікроклімату наведено в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Нормування параметрів мікроклімату

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання кабіни.

#### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі ' робочої зони в кабіні оператора установки

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

Провітрювання кабіни оператора;

Цілісність конструкції кабіни та вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки;

Встановлення пиловловлюючих засобів.

### 5.2.3 Штучне та природне виробниче освітлення

#### Природне освітлення

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

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

#### Штучне освітлення.

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

Характеристика зорових робіт - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г». Параметри виробничого освітлення наведено в таблиці 10.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

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

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

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

#### 10.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{U}{U_0} \right),$$

де  $L$  - рівень шуму, дБ;

$P$  - звуковий тиск, Па;

$U_0$  - коливальна швидкість,  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с;

$P_0$  - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

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

Параметри виробничого шуму наведено в таблиці 10.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу – За Тобто технологічна вібрація діюча на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 10.5

Таблиця 5.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot s^{-2}$	дБ	$m \cdot s^{-2} \cdot 10^{-2}$	дБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючою основою.



### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємного розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни. Знаходження в позі стоячи до 60% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 870

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 51 – 100

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 8

По вертикалі: до 4

Інтелектуальні навантаження: Рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій, Обробка, виконання завдання та його перевірка, Робота за встановленим графіком з можливим його коректуванням у ході діяльності

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 25-50

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 75-175

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 5- 10

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 2-3

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 90% до 70%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 16-20

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра та ін.)

Ступінь ризику для власного життя

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 10-6

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 100-25

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 76-90

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 8 – 9

Змінність роботи Двозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, недостатньої тривалості: від 3% до 7% часу зміни

### 5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості

Надзвичайні ситуації військового характеру є не безпечні тим, що застосування зброї масового ураження, негативно впливає на характеристики систем енергопостачання, вони погіршують свою роботу. Також, небезпечними є загрозливі чинники при надзвичайних ситуаціях техногенного характеру тому, що вони

призводять до викидів шкідливих радіоактивних, біологічних речовин, які можуть пошкодити метали, що входять до складу радіоелементів.

З усіх загрозливих чинників найбільш небезпечними є дія іонізуючих випромінювань та електромагнітні імпульси. Дослідження стійкості роботи ОГ в надзвичайних ситуаціях (НС) мирного та військового часу має велике значення, тому що вона дозволяє не тільки оцінити можливі втрати, нанесені об'єкту, але й розробити комплекс заходів, направлених на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості роботи об'єкта може бути проведена за допомогою моделювання його ураження при дії деяких еквівалентних факторів ураження, що враховують можливі наслідки руйнувань, пожеж і уражень людей у НС мирного та військового часу.

При оцінці стійкості потрібно приймати до уваги такі положення :

- дослідження стійкості роботи ОГ передбачає максимальні значення факторів ураження;

- стійкість роботи об'єкта в цілому визначається стійкістю роботи кожного елемента ОГ окремо. Як правило, зі всієї сукупності елементів ОГ вибираються ті, без яких неможливий випуск продукції (функціонування ОГ);

- обов'язково повинна враховуватись можливість виникнення на ОГ повторних факторів ураження.

Дія радіації на матеріали і деталі апаратури залежить від виду випромінювання, дози радіації, природи опроміненої речовини та умов навколишнього середовища.

В енергетичних системах використовуються елементи, до складу яких входять матеріали: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли та ін.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до радіації.

В радіоелектронній апаратурі радіація викликає оборотні і необоротні процеси, внаслідок яких можуть бути порушення роботи елементів схеми, що приведе до пошкодження апаратури.

### 5.3.1 Дослідження стійкості роботи СЕП ДП «45 Експериментальний механічний завод» в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості приймається максимальне значення дози радіоактивного опромінення. Функціонування РЕА при дії іонізуючих випромінювань залежить від стійкості її окремих елементів.

1) Визначаємо елементи, від яких залежить функціонування схеми.

2) Визначаємо граничні значення експозиційних доз, при яких в елементах можуть виникнути зворотні зміни, але елемент ще буде працювати. Дані заносимо до таблиці 5.1

Таблиця 5.1 - Експозиційні дози для матеріалів і елементів обладнання (початок зміни параметрів, при яких елементи ще можуть працювати).

№	Дільниця	Елементи РЕА	$D_{грi}, P$	$D_{гр}, P$
1	Блок живлення	Мікросхеми ТТЛ ДАЗ	$10^5$	$10^3$
		Транзистори, діоди КТ531, VD 648	$10^4$	
		Інтегральні схеми К1553ЛА	$5 \cdot 10^5$	
2	Пульт управління	Конденсатори К-41	$10^7$	
3	Розвідна мережа	Резистори СП1-10	$10^3-10^7$	
		Напівпровідникові елементи	$10^5-10^6$	
		Електричні батареї Е48, Е96	$10^5-10^6$	
4	Управляючий МПК	Випрямлячі ВД-306	$10^6$	
		Діелектричні матеріали	$10^{10}$	

По мінімальному значенню визначаємо границю стійкості роботи РЕА в цілому  $D_{гр} = 10^3 P$ . Можлива експозиційна доза опромінення:

$$t_{п} = 1 \text{ год}$$

$$t_{к} = 12 \text{ років} = 103800 \text{ год}$$

$$K_{осл} = 1$$

$$D_{.m} = \frac{2 \cdot P_{1\max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{noc}} [P] \quad (4.1)$$

$$D_{.m} = \frac{2 \cdot 5,29 \cdot (\sqrt{103801} - \sqrt{1})}{1} = 3398,1 (P)$$

Визначаємо допустимий час роботи за формулою:

$$t_{\text{дон}} = \left( \frac{D_{.zp} \cdot K_{nocl} + 2 \cdot P_{1\max} \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \right)^2 [\text{год}] \quad (4.2)$$

$$t_{\text{дон}} = \left( \frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 5,29 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,29} \right)^2 = 9123,68 (\text{год})$$

Отже,  $D_m > D_{гр}$ , робота системи електропостачання не стійка, допустимий час роботи РЕА складатиме 9123,68 годин.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи СЕП або окремих її елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_B = 20 \lg \frac{U_{\text{дон}}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 [\text{дБ}]; \quad (4.3)$$

де  $U_d$  - допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{B(\Gamma)}$  - наруга наведення за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Вхідні дані.

Приймаємо вертикальну складову напруженості електричного поля,  $E_a = 9,08 \text{ кВ/м}$ .

Напруга живлення,  $u_n = 12, 36, 220, 400 \text{ В}$ .

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електричного поля:

$$E_{\Gamma} = E_B \cdot 10^{-3} = 9,08 \cdot 10^{-3} (\text{В/м}).$$

Напруга наводки:

$$U_{z1} = E_{\delta l} \cdot l_{z1}, [\text{кВ}]; U_{\delta l} = E_{z1} \cdot l_{\delta l}, [\text{кВ}]; \quad (4.4)$$

На кожній ділянці визначаємо максимальну довжину струмопровідних частин (в горизонтальній і вертикальній площинах)  $l_{B1}, l_{Г1}$ , м.

$$l_{B1} = 7,5 \text{ м}, l_{B2} = 9 \text{ м}, l_{B3} = 4 \text{ м}, l_{B4} = 11 \text{ м},$$

$$l_{Г1} = 6 \text{ м}, l_{Г2} = 15 \text{ м}, l_{Г3} = 12 \text{ м}, l_{Г4} = 8 \text{ м}.$$

$$U_{z1} = 9080 \cdot 6 = 54480 \text{ (В)},$$

$$U_{\delta l} = 9,08 \cdot 7,5 = 68,1 \text{ (В)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення дорівнює:

$$U_{Д} = U_{Ж} + \frac{U_{Ж}}{100} \cdot N \text{ [В]}; \quad (4.5)$$

$$U_{Д1} = 400 + \frac{400}{100} \cdot 10 = 440 \text{ (В)};$$

$$U_{Д2} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 10 = 242 \text{ (В)};$$

$$U_{Д3} = 36 + \frac{36}{100} \cdot 10 = 39,6 \text{ (В)};$$

$$U_{Д4} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 10 = 13,2 \text{ (В)}.$$

Де  $U_{Ж}$  – напруга живлення, В;

$N$  – допустиме відхилення напруги, 10%

Визначаються коефіцієнти безпеки для горизонтальних струмопровідних частин:

$$K_{\delta z1} = 20 \lg \frac{U_{\delta l}}{U_{Г}} \text{ [дБ]}; \quad (4.6)$$

$$K_{\delta z1} = 20 \lg \frac{440}{54480} = -41,8 \text{ (дБ)}.$$

Визначаються коефіцієнти безпеки для вертикальних струмопровідних частин:

$$K_{\text{обі}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д1}}}{U_B} [\text{дБ}] ; \quad (4.7)$$

$$K_{\text{обі}} = 20 \lg \frac{440}{67,5} = 30,3 (\text{дБ}) .$$

Дані всіх розрахунків закосимо в таблицю 4.2.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків по стійкості обладнання до ЕМІ

№	Дільниця	$U_{\text{ж}}, \text{В}$	$U_{\text{в}}, \text{В}$	$U_{\text{г}}, \text{В}$	$K_{\text{обв}}$	$K_{\text{обг}}$	Результати дії
1	Блок живлення	400	67,5	54000	16,3	-41,8	нестійкий
2	Розвідна мережа	220	81	135000	9,5	-54,9	нестійкий
3	Пульт управління	36	36	108000	0,8	-68,7	нестійкий
4	Управляючий МПК	12	99	72000	-17,5	-74,7	нестійкий

Так як  $K_{\text{обі}}$  та  $K_{\text{обв}} < 40$  дБ, то апаратура буде не стійкою в роботі, а отже потрібно проводити екранування.

5.4 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи елементів системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» в умовах дії загрозливих чинників НС

Для зменшення дії іонізуючих випромінювань використовують такі заходи: зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення; зниження напруги живлення на аноді і збільшення негативного зміщення сіток газорозрядних приладів, збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням та ін.

Проводимо захисне екранування.

Розрахунок екрану для сталі:

$$t = \frac{A_{\text{exp}}}{k \cdot \sqrt{f}} [\text{см}] \quad (4.8)$$

$k=5,2$ (для сталі);

$f$  - частота,  $f = 1500$  Гц;

$A_{\text{екр}}$  - затування в екрані, дБ:

$$A_{\text{екр}} = K_{\sigma} - K_{\sigma, \text{роз}} \quad (4.9)$$

$$t_1 = \frac{40 - 16,3}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,04 \text{ (см) ,}$$

$$t_2 = \frac{40 - 9,5}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,05 \text{ (см) ,}$$

$$t_3 = \frac{40 - 0,8}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,07 \text{ (см) ,}$$

$$t_4 = \frac{40 - (-17,5)}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,09 \text{ (см) .}$$

Отже при екрануванні блоку живлення з використанням екрану товщиною 0,04 см зі сталі, розвідної мережі з використанням екрану товщиною що дорівнює 0,05 см, пульта управління 0,07 см та управляючого МПК що дорівнює 0,09 см, система електропостачання буде безпечно працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також, в даному розділі приведено аналіз і дана дослідження стійкості роботи елементів системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» при дії іонізуючих випромінювань, при цьому виявлено, що система працює не стійко в заданих умовах, оскільки  $D_m > D_{гр}$ , тому запропоновано заходи по підвищенню стійкості системи.

Дослідження стійкості роботи елементів системи електропостачання при дії електромагнітного імпульсу показала, що вона буде стійкою при застосуванні захисного екрану товщиною 0,04; 0,05; 0,07; 0,09 см зі сталі. Для чого може використовуватись кожух на лотках з кабелями.



## 5.5 Висновки до розділу 5

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто основні заходи з охорони праці, а саме організаційні і технологічні заходи, що направлені на максимальне зниження загрозливих чинників і створення оптимальних умов роботи на заводі.

Також в даному розділі нами була проведено дослідження стійкості роботи елементів електричних мереж в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій. В результаті визначено, що ЕМ стійка в цілому до дії іонізуючих випромінювань. Для забезпечення повної стійкості роботи необхідно  $K_{осл}$  збільшити щонайменше в 2 рази. До впливу ЕМІ на елементи ЕМ також виявилась не стійка. Тому, застосування пасивного екранування суттєво підвищить стійкість роботи ЕМ в умовах дії ЕМІ.

РЕА нестійка до дії ЕМІ. Тому для підвищення стійкості об'єкту доцільно розмістити плати РЕА у вертикальній площині, та використати захисне екранування.

## ВИСНОВКИ

Для досягнення поставленої мети в магістерській кваліфікаційній роботі щодо підвищення параметрів якості електропостачання державного підприємства «45 експериментальний механічний завод» у м.Вінниця з використанням пристроїв автоматичного регулювання напруги в мережах 10кВ, на основі проведених розрахунків та проектних рішень здійснено наступні заходи:

Для підприємства в цілому і для кожного цеху окремо було проведено розрахунок середніх та розрахункових значень навантаження та навантаження освітлювальних установок. Шляхом математичного моделювання знайдено оптимальні дані про кількість, клас потужності та місця розташування трансформаторних підстанцій підприємства, а саме проектом рішенням є використання на території підприємства три двотрансформаторних підстанцій типу ТМ-630/10. Жвлення мережі підприємства здійснюється на напрузі 10 кВ кабельною лінією довжиною 1,5 км маркою АПвЭБВ-10 3x70 мм<sup>2</sup>. Внутрішньозаводська мережа підприємства виконана кабелями АПвЭБВ-10 рівний 25 мм<sup>2</sup>.

На території підприємства передбачено розміщення ЦРП 10 кВ від якої живляться ТП. Для вибору оптимальних координат розміщення була створена математична модель яка дозволяє розрахувати мінімум затрат на експлуатацію ЦРП.

Проведено розрахунок оптимальної потужності БСК, які встановлюються стороні низької напруги трансформаторних підстанцій. Розраховано та обрано пристрої релейного захисту та втоматики для БСК.

Проаналізовано показники якості електричної енергії. Також проаналізовано вплив відхилень напруги на роботу устаткування підприємства. Здійснено моделювання способів підвищення показників якості електроенергії в мережі даного підприємства.

В науково-дослідній частині роботи проаналізовано пристрої ПАРН та принципи їх роботи. Проведено моделювання основних режимів роботи пристроя ПАРН типу ВДТ/VR32 для системи електропостачання даного підприємства в

MATLAB Simulink. На підставі отриманих результатів обрано оптимальні параметри ПАРН при роботі на навантаження даного підприємства.

Розглянута математична модель та змодельована цифрова модель управління пристроєм ПАРН, яка дозволяє здійснювати автоматичне управління, на заданому рівні, дійсного значення напруги мережі протягом усього часу роботи пристрою, виконуючи, таким чином, стабілізацію параметрів напруги СЕП. Також в системі управління передбачено виконання пуско-захисних функцій.

В економічній частині роботи проведено розрахунок основних показників спроектованої СЕП, визначено величину капітальних вкладень та плати підприємством за електроенергію. Собівартість електроенергії складає 256,52 коп/кВт·год.

У роботі були розглянуті питання охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях на підприємстві. Були визначені небезпечні та шкідливі фактори, які мають місце на підприємстві ДП «45 ЕМЗ», та розроблені ефективні заходи для покращення даних показників.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., Переробл. й доповнено. - Х.: Міненерговугілля України, 2014.
2. ГОСТ 14209-97 «Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів».
3. ГОСТ 13109-97 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання Загальне призначення».
4. РД 153-34.0-15.501-00 «Методичні вказівки по контролю і аналізу якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. Частина 1. Контроль якості електричної енергії ».
5. Бурбело М.Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання: навчальний посібник / М. Й. Бурбело - Вінниця: ВНТУ, 2017. - 122 с.
6. РТМ 36.18.32.4-92 - «Методика розрахунку електричних завантажень».
7. Електропостачання: навчальний посібник з дипломного проектування / Л.С. Синенко, Т.П. Рубан, Ю.П. Попов.- Красноярськ: ІПК СФУ, 2008.
8. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж: монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін - Вінниця: Універсум - Вінниця, 2005. -122с.
9. Каталог конденсаторних установок [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.kpenri.com.ua/-prod02.php>
10. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>
11. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>
12. Експлуатація освітлювальних установок [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://life-prog.ru/ukr/1\\_954\\_ekspluatatsiya-osvitlyvalnih-ustanovok.html](http://life-prog.ru/ukr/1_954_ekspluatatsiya-osvitlyvalnih-ustanovok.html)
13. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>
14. Регулювання напруги в електричних системах - Конспект лекцій з курсу

Електричні системи и мережі [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://forca.com.ua/knigi/navchannya/konspekt-lekcii-z-kursu-elektrichni-sistemi-i-merezhi\\_11.html](http://forca.com.ua/knigi/navchannya/konspekt-lekcii-z-kursu-elektrichni-sistemi-i-merezhi_11.html)

15. Simulink - моделювання і симуляція динамічних систем [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://matlab.ru/products/simulink>

16. MATLAB - високорівневих мову технічних розрахунків [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://matlab.ru/products/matlab>

17. Н.П. Дорофєєв, І.І. Карташев, В.Н. Тульський і ін. Управління якістю енергії. МЕІ 2006 - 320 с.

18. Говоров Ф.П. До питання про регулювання напруги в міських електричних мереж // Енергетика та електрифікація. - 1993. - №4. - С. 42-44.

19. Розанов Ю.К., Рябчинский М.В. Сучасні методи Поліпшення якості електроенергії (аналітичний огляд) // Електротехніка. - 1998. - №3. - С. 10-17.

20. Мокін Б.І., Виговський Ю.Ф. Автоматичні регулятори в електричних мереж. - До.: Техніка, 1985. - 104 с.

21. В.В. Грабко. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з прилаштувати РПН. Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005, 109 с.

22. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. - Вінниця: ВНТУ, 2006. - 95 с.

23. Тарифи на електроенергію для споживачів ПАТ "Хмельницькобленерго" [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.hoe.com.ua/index\\_21.html](http://www.hoe.com.ua/index_21.html)

24. ГОСТ 12.0.003-74 - «Система стандартів безпеки праці. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація».

25. ДНАОП 0.03-3.01-71 - «Санітарні норми проектування промислових підприємств».

26. ГОСТ 12.1.008-83 - «Шум. Загальні вимоги безпеки».

27. ГОСТ 12.1.012.-90 - «Система стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

28. Методичні вказівки относительно опрацювання розділу "Охорона праці" в

дипломних проектах и роботах студентів електротехнічних спеціальностей / Уклад. О.В. Кобилянський, О.П. Терещенко - В.: ВНТУ, 2003.- 46 с.

29. ГОСТ 12.0.003 - 74. Система стандартів безпеки праці. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

30. ГОСТ 12.1.030-81. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення.

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

32. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.

33. ДБН В.2.5-28-2006. Природньо и штучне освітлення.

34. Довідкова книга для проектування електричного освітлення / Под ред. Г.М. Кнорринга. -Л .: Енергія, 1976.-384с.

35. СН 32.23-85 "Санітарні норми допустимого шуму на робочих місцях".

# Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕМ

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020р.

д.т.н., проф. Бурбело М.Й. \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему:

«Регулювання напруги в мережах 10 кВ з метою підвищення якості  
електропостачання Державного підприємства «45 експериментальний  
механічний завод», місто Вінниця»

08-17.МКР.012.00.000 ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Кравець О. М. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 19м

Чумак Б.В. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2020 р.



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

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_.2020р.

Дата початку роботи 01.09.2020р.

Дата закінчення роботи 03.12.2020р.

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

а) мета – підвищення якості електропостачання державного підприємства «45 експериментальний механічний завод»;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); відомості про особливості технологічних процесів та навоколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, дільниці, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

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

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

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

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

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

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

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

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

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

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

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

#### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається