

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ **О. КОЛЛАРОВ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Розробка та оптимізація роботи системи автоматичного
керування енергосистемою підприємства

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛКЗп-20
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Ганна СУШЕНЦОВА

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник

ст. викл. Е. НЕМЦЕВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Нормоконтроль:

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

(підпис)

(дата)

(дата)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« _____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ганні СУШЕНЦОВІЙ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка та оптимізація роботи системи автоматичного керування енергосистемою підприємства

керівник роботи Едуард НЕМЦЕВ, старший викладач
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 01.05.2023 № 168

2. Строк подання студентом роботи 06 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік обладнання механічної дільниці:
токарні верстати – 7/55 кВт, свердлильні верстати – 2/40 кВт, електродугові зварювальні верстати – 5/20 кВт, точкові зварювальні верстати – 5/15 кВт, фрезерні верстати – 4/ 30 кВт, підйомні механізми – 2/15 кВт, тягодутьові пристрої – 2/24 кВт, освітлення – 20/1,5 кВт. Коефіцієнти використання/коефіцієнт потужності (відповідно): 0,3/0,7; 0,3/0,7; 0,2/0,5; 0,15/0,2; 0,25/0,5; 0,4/0,6; 0,7/0,85; 0,9/0,9. Значення коефіцієнта, який враховує підвищення коефіцієнта потужності завдяки природним чинникам – 0,9. Бажаний коефіцієнт потужності – 0,92-0,95. Базова потужність – 210 кВА. Опір системи споживачів – 0,2 в.о. Номінальна потужність трансформатора – 25 кВА і 6 кВА. Напряга КЗ трансформатора – 10% і 8%. ЕРС на генераторі – 6,3 кВ. Приведений опір обмоток генератора – 0,155 в.о. Питомий опір повітряної лінії – 0,35 Ом/км. Довжина повітряних ліній 20 км і 8 км. Питомий опір кабельної лінії – 0,95 Ом/км.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Огляд загальних відомостей про енергетичні системи енергоємних підприємств.

2. Види та загальна характеристика систем автоматичного керування енергосистемою підприємства.

3. Розрахунок системи електропостачання підприємства.

4. Моделювання та оптимізація роботи системи автоматичного керування.

5. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Одинадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 4	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл.		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання 8 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	08.05.23 – 14.05.23	
2.	Розділ 2	15.05.23 – 21.05.23	
3.	Розділ 3	22.05.23 – 30.05.23	
4.	Розділ 4	31.05.23 – 03.06.23	
5.	Розділ 5	04.06.23 – 06.06.23	

Студент _____
(підпис)

Ганна СУШЕНЦОВА
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Едуард НЄМЦЕВ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ганна СУШЕНЦОВА. Розробка та оптимізація роботи системи автоматичного керування енергосистемою підприємства / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, списку використаної літератури та додатків.

У першому розділі здійснено огляд загальних відомостей про енергетичні системи енергоємних підприємств, проблемні питання функціонування енергетичних систем та пошук шляхів їх вирішення.

У другому розділі було визначено існуючі системи автоматичного керування енергосистемою підприємства, види та їх загальна характеристика. Розроблена автоматизована система контролю та керування енергоспоживанням.

У третьому розділі здійснено розрахунок системи електропостачання підприємства: визначені електричні потужності, розраховані струми короткого замикання та оптимізація розподілу навантаження.

У четвертому розділі було здійснено моделювання роботи систем електричного живлення: побудована діагностична модель електричного живлення, розроблена системи автоматичного керування з використанням штучних нейронних мереж.

Ключові слова: енергетична система, енергоємне підприємство, система автоматичного керування, енергосистема підприємства, енергоспоживання, потужність, струм короткого замикання, модель, штучна нейронна мережа, моделювання

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ	9
1.1 Загальні відомості про сучасний стан енергетичних систем енергоємних підприємств	9
1.2 Проблемні питання функціонування енергетичних систем енергоємних підприємств та пошук можливостей вирішення цих проблем	11
1.3 Проблемні питання при складанні систем автоматичного керування енергосистемою підприємств	13
2 ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ ПІДПРИЄМСТВА	16
2.1 Види та загальна характеристика систем автоматичного керування енергосистемою підприємства	16
2.2 Розробка автоматизованої системи контролю та керування енергоспоживанням	28
2.3 Опис, організація та будова автоматизованої системи контролю та керування енергоспоживанням	31
3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	37
3.1 Похідні дані для розрахунку схеми електропостачання	37
3.2 Облаштування схеми електропостачання	40
3.3 Розрахунок електричних потужностей	42
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання	47
3.5 Оптимізація розподілу навантаження між розподільчими пристроями	54

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЖИВЛЕННЯ	57
4.1 Принципи застосування моделей для дослідження електричних систем живлення	57
4.2 Будова діагностичної моделі електричного живлення шляхом визначення взаємозв'язків з розробкою алгоритмів	58
4.3 Розробка системи автоматичного керування з використанням штучних нейронних мереж	60
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	70
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	73
ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК	82
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	92

ВСТУП

Проблема ефективного енергопостачання і енергозбереження в поєднанні з необхідністю скорочення викидів парникових газів і підвищення загальної ефективності процесів перетворення енергії підштовхує підприємства до пошуку інноваційних рішень для управління та оптимізації своїх енергетичних систем.

Перспективним підходом на цьому шляху є впровадження в енергетичних системах підприємств схем та засобів автоматичного керування, що передбачає здійснення безперервного моніторингу для здійснення аналізу та оптимізації споживання, виробництва та розподілу різних видів енергії. Усе зазначене є критично важливими аспектами діяльності сучасних енергоємних підприємств.

Зростаюча складність та розгалуженість зв'язків енергетичних систем підприємств, пояснюється зростанням відсотку інтегрованих у систему відновлюваних джерел енергії, накопичувачів енергії та технологій управління енергоспоживанням, що, у свою чергу, вимагає розробки інтелектуальних адаптивних систем управління, які характеризуються високим ступенем надійності. Останні системи можуть дозволяють забезпечувати оптимальну роботу енергетичних систем та полегшити прийняття рішень з раціонального використання енергетичних ресурсів.

Автоматичні системи управління енергетичними потоками дозволяють отримати безліч переваг, здійснювати моніторинг і контроль у режимі реального часу, завчасно здійснювати профілактичне обслуговування та управління попитом, краще «співіснувати» з різними системами енергоємного виробництва. На допомогу у роботі таких систем можуть стати передові інтелектуальні технології – штучний інтелект та машинне навчання, які здатні обробляти великі об'єми даних, виявляти наявні закономірності й залежності, генерувати найбільш доцільні і

ефективні способи розв'язання проблем виробництва та споживання енергії.

Робота дослідників полягає у забезпеченні всебічного розуміння систем автоматичного контролю для керування енергетичними потоками на підприємствах і визначенні потенціалу у напрямку підвищення ефективності енергетичних перетворень за умови меншості витрат.

Мета роботи – здійснити оптимізацію роботи системи автоматичного керування енергосистемою підприємства.

Завдання роботи:

- здійснити огляд відомостей про сучасний стан енергетичних систем енергоємних підприємств,
- оглянути проблемні питання функціонування енергетичних систем енергоємних підприємств,
- здійснити пошук можливостей вирішення поставлених проблем,
- здійснити огляд видів та загальних характеристик систем автоматичного керування енергосистемою підприємства,
- виконати розрахунок системи електропостачання підприємства,
- побудувати діагностичну модель електричного живлення шляхом визначення взаємозв'язків з розробкою алгоритмів,
- розробити систему автоматичного керування з використанням штучних нейронних мереж.

Об'єкт досліджень – електричні процеси у системах електричного живлення.

Предмет досліджень – параметри роботи споживачів електричної енергії.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Загальні відомості про сучасний стан енергетичних систем енергоємних підприємств

Енергоємні підприємства, до яких можна віднести механообробні, переробні, хімічні та гірничовидобувні, споживають значну частку виробленої енергії. Дані підприємства потребують значних об'ємів енергії для здійснення своєї діяльності. Останніми роками відбулися значні зміни в технологіях функціонування енергетичних систем, які значно підвищили ефективність і надійність роботи зазначених підприємств. Не дивлячись на це існує ще значна кількість проблем, які потребують нагального або перспективного вирішення, для забезпечення більшої ефективності роботи енергоємних підприємств. Останніми роками додаткові зміни у технологію функціонування енергетичних систем означились швидким розвитком і впровадженням відновлюваних джерел енергії, таких як вітрова та сонячна енергія. Завдяки своїм властивостям дані джерела енергії стали широко застосовуватися на енергоємних підприємствах шляхом інтеграції перших у існуючі системи енергоживлення. Це дозволяє підприємствам зберігати енергію і використовувати її у періоди надлишкового попиту, що дозволяє значно економити кошти та підвищити енергоефективність їх роботи [1].

На допомогу удосконаленню технологій використання енергетичних систем стало застосування «розумних мереж», які ще називають системами «Smart grid». Для їх роботи використовується розгалужена система датчиків і здійснення аналітичних розрахунків для проведення моніторингу споживання енергії та оптимізації її використання. Використання даних систем дозволяє підвищити енергоефективність роботи підприємств, зменшення втрат енергії та зекономити кошти [2].

Широке коло енергоємних підприємств впроваджують системи енергетичного менеджменту, які допомагають їм відстежувати та контролювати використання різних видів енергії, надають інформацію про споживання енергії у режимі реального часу. Зазначене дозволяє підприємствам виявляти зони та процеси, що є неефективними з енергетичної точки зору та впроваджувати відповідні коригувальні дії.

Незважаючи на усе зазначене, перед енергоємними підприємствами все ще існує багато невирішених проблем. Однією з причин такого положення є висока вартість впровадження енергоефективних технологій, а на багатьох підприємствах може не бути вільних фінансових ресурсів для їх інвестування у енергоефективні технології, а строк повернення цих коштів може бути досить довгим. Іншою перешкодою може бути складність структури енергетичних систем, що ускладнює впровадження «покращуючих» і «коригувальних» заходів.

Ефективне функціонування енергоємних підприємств цілком залежить від надійності енергопостачання. На багатьох підприємствах у якості основного джерела часто використовується одне джерело енергії, а у якості самої енергії – електрична енергія, мазут, природний газ або тверде паливо, яке може мати перерви у постачанні. Зазначене може призвести до простоїв виробництв, зниження продуктивності та недовипуск продукції. Відсутність систем зберігання енергії може ускладнити для підприємств управління попитом на енергію у періоди надмірного споживання, що призводить до зростання витрат і зниження ефективності [1].

Усе зазначене говорить про те, що енергоємні підприємства стикаються з низкою проблем у своїх енергетичних системах – високі витрати, неефективність та проблеми з надійністю. На допомогу у вирішенні цих проблем може прийти розвиток технологій енергетичних систем, відкриває нові можливості для підвищення ефективності, зниження витрат і підвищення стійкості.

1.2 Проблемні питання функціонування енергетичних систем енергоємних підприємств та пошук можливостей вирішення цих проблем

При роботі енергоємних підприємств у їх енергетичних системах виникає низка проблем, які можуть мати значний вплив на роботу даних підприємств, їх продуктивність та конкурентоспроможність їх продукції. Серед найбільш значущих проблем, з якими стикаються енергетичні системи енергоємних підприємств, є наступні [3]:

- високі витрати на енергію, вартість якої може становити значну частину загальних операційних витрат. Вартість енергії може бути нестабільною і залежати від коливань попиту та пропозиції, що ускладнює складання перспективних планів і бюджетування витрат на енергію, що призводить до зниження прибутковості підприємств,

- неефективність роботи існуючих енергетичних систем – дані системи можуть бути складними та важкими в змісті управління. На багатьох підприємствах відсутній достатній досвід або інтелектуальні ресурси для виявлення ефективності або неефективності роботи їхніх енергетичних систем та розробка заходів і рекомендацій по впровадженню коригувальних заходів,

- необхідність забезпечення надійності і постійності енергопостачання – здебільшого енергоємні підприємства покладаються на постійне та надійне постачання енергії для здійснення своєї виробничої діяльності. Перебої у енергопостачанні: відключення електроенергії або прояв стихійних лих, можуть призвести до простою енергетичного обладнання та зниження продуктивності. Відсутність систем для зберігання енергії може ускладнити для підприємств управління попитом на енергію у пікові періоди енергоспоживання,

- шкідливий вплив на довкілля – енергоємні підприємства є основними джерелами викидів парникових газів і мають значний внесок у

зміну клімату. Зазначене призводить до посилення «тиску» з боку природоохоронних організацій на промислові підприємства з метою зменшення «вуглецевого сліду» при виробленні продукції та більш широкого впровадження очисних споруд і систем,

– вимоги дотримання нормативних вимог – енергоємні підприємства під час експлуатації різного виду обладнання та здійснення промислової діяльності підпадають під дію широкого кола вимог, пов'язаних з використанням енергії та функціонуванням технічних систем. Дотримання зазначених вимог може бути доволі дорогим і трудомістким, особливо за умови обмеженості наявних ресурсів.

Одним зі шляхів вирішення проблем енергетичних систем енергоємних підприємств є використання систем автоматичного керування. Дані системи дозволяють енергоємним підприємствам значно розширити можливості для підвищення ефективності, надійності та стійкості роботи їх енергетичних систем.

Основою таких систем є розгорнута у просторі система реєструючих і контролюючих пристроїв – датчиків, алгоритмів прийняття рішень з супутньою автоматизацією систем моніторингу та контролю використання енергії, оптимізацією споживання за умови зменшення непродуктивних витрат. За рахунок використання систем автоматичного управління можуть вирішити зазначені вище проблеми функціонування енергетичних систем енергоємних підприємств [4]:

– підвищити енергетичну ефективність шляхом оптимізації використання енергії у режимі реального часу, відстеження споживання енергії та регулювати її використання відповідно до попиту, зменшення втрат енергії з підвищенням загальної ефективності та економією коштів,

– підвищення надійності енергопостачання, шляхом виявлення збоїв у режимі реального часу, здійснювати автоматичне перемикання на резервні джерела під час планових і позапланових відключень та інших збоїв, мінімізувати час простою і втрату продуктивності, керувати попитом на

енергію впродовж «піків» споживання, зменшувати навантаження на енергосистему,

- забезпечення вимог нормативної документації, нормалізувати принципи використання енергії та керувати викидами у довкілля.

Серед безлічі систем автоматичного керування для енергоємних підприємств можна виділити наступні:

- системи, призначені для контролю та моніторингу енергоспоживання будівлями (системи електроживлення, опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, освітлення та інше),

- системи, призначені для контролю та моніторингу використання енергії в промислових умовах,

- системи, призначені для надання енергетичним підприємствам інформації про використання енергії в режимі реального часу, з метою виявляти проблем неефективного її використання та впровадження коригувальних дій.

- системи, призначені для управління енергоспоживанням в автономних умовах на базі відновлюваних джерел енергії (наприклад, сонячна і вітрова енергія) з провадженням систем зберігання енергії за умови забезпечення надійності і стабільності енергопостачання.

1.3 Проблемні питання при складанні систем автоматичного керування енергосистемою підприємств

З огляду на те, що енергосистеми підприємств відіграють важливу роль у забезпеченні стабільної виробки продукції та протіканні технологічних процесів, необхідно мати глибоке розуміння проблем у сфері енергетики, проводити аналіз енергосистеми, оцінювати особливості виробництва, передачі та споживання енергії на підприємствах.

Проблемами також можуть бути зміни при навантаженні, коливання якості енергії та змінами у правилах регулювання [5].

Сучасні технології, пристрої та підходи до здійснення автоматизації енергосистем дозволяють підвищити ефективність енергопостачання. Принципи штучного інтелекту, використання засобів оптимізації та інші інноваційні технології сприяють покращенню складання систем автоматичного керування енергосистемою. Застосування різних методів автоматизації допомагає розробляти більш ефективні та надійні системи керування енергосистемами, що включає впровадження алгоритмів машинного навчання для прогнозування споживання та навантаження для ефективного розподілу ресурсів та керування піковим навантаженням.

Для покращення складання систем автоматичного керування енергосистемами, необхідно визначити критерії ефективності та надійності цих систем. Серед таких факторів можуть бути [6]:

- зниження витрат на енергію,
- зменшення втрат енергії в мережі,
- підвищення рівня надійності енергопостачання.

Серед рекомендацій відносно покращення складання систем автоматичного керування можна виділити:

- стандартизацію обладнання та інтерфейсів,
- інтеграцію різних систем керування та моніторингу,
- постійне підвищення якості аналізу та контролю,
- врахування аспектів безпеки.

Впровадження систем автоматичного керування енергосистемою вимагає постійного моніторингу та оцінки результатів застосування цих систем. Зазначене включає відстеження показників ефективності, таких як зниження витрат на енергію, підвищення рівня надійності енергопостачання, зменшення втрат енергії в мережі. На основі аналізу зібраних даних можна вносити корективи в роботу автоматизованих систем керування для оптимізації їх роботи [6].

Для забезпечення сталого розвитку енергосистем підприємств та врахування постійної зміни умов їх роботи, необхідно здійснювати постійне оновлення обладнання шляхом відстеження нових, прогресивних технологій і підходів у сфері автоматичного керування енергосистемами. Оновлення системи відповідно до сучасних стандартів та новітніх технологій дозволить підприємствам бути конкурентоспроможними та ефективно використовувати ресурси енергосистеми.

Впровадження систем автоматичного керування енергосистемами підприємств вимагає укрупненого підходу, який вимагає здійснення аналізу проблем, вивчення технологій і методів розробки підходів до складання систем автоматизації. Система автоматичного керування енергосистемою може бути удосконалена шляхом глибокого аналізу даних, відповідної адаптації до змін у виробництві та споживанні енергії, оптимізації розподілу енергоресурсів та управління навантаженням. Необхідно також розглядати можливість інтеграції автоматичного керування енергосистемою з іншими суміжними системами підприємства: системою управління виробництвом, логістикою, моніторингом стану та іншими.

2 ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Види та загальна характеристика систем автоматичного керування енергосистемою підприємства

Серед систем автоматичного керування енергосистемою підприємств найбільшого застосування у теперішній час отримали наступні:

1. Система диспетчерського контролю та збору даних (SCADA) – це інтегрована система, яка полегшує здійснення моніторингу, збір та аналіз даних при протіканні процесів й функціонування об'єктів у реальному часі. Дана система складається з різних компонентів: програмованих логічних контролерів, віддалені термінальні, датчики та людино-машинні інтерфейси. Використання даної системи дозволяє операторам спостерігати за протіканням процесів, коригувати принципи налаштування та швидко реагувати на будь-які відхилення, забезпечуючи таким чином їх ефективну та надійну роботу [7].

Перевагами використання даної системи є [7]:

- можливість здійснення моніторингу в режимі реального часу, що дозволяє операторам приймати обґрунтовані рішення і вносити корективи,
- можливість впровадження централізованого управління у тому числі кількома процесами та об'єктами, які можуть бути досить віддаленими один від одного, тим самим спрощуючи здійснення операцій та зменшуючи потребу в значній кількості обслуговуючого персоналу,
- підвищення ефективності роботи підприємств завдяки автоматизації «рутинних» задач і оптимізації процесів, що дозволяє знизити операційні витрати,
- можливість реєстрації та подальшого аналізу даних для виявлення «вузьких місць» і оптимізації процесів для підвищення продуктивності системи з плином часу,

- підвищення надійності та безпеки ведення робіт шляхом виявлення аномальних явищ, ввімкнення сигналів тривоги, що допомагає запобігти ушкодженню обладнання, скоротити час простою та мінімізувати можливі ризики у роботі,

- здатність до масштабування, шляхом розширення та/або модифікування у відповідності до зміни станів, впровадження новітнього обладнання та/або додаткових об'єктів реєстрації і контролю.

До недоліків системи SCADA можна віднести [7]:

- високі початкові капіталовкладення,
- складність при розробці, впровадженні та обслуговуванні, що вимагає спеціальних знань та досвіду,
- вразливість до зовнішніх інформаційних впливів або несанкціонованого доступу, за умови неналежної захищеності,
- залежність від наявності та якості комунікаційних мереж для передачі даних і керуючих сигналів,
- поступове моральне старіння компонентів системи, що вимагає їх періодичного оновлення та/або заміни окремих компонентів й підтримку загальної сумісності.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу системи SCADA зображено на рис. 2.1.

2. Система енергоменеджменту (EMS) – це комплексне рішення, яке дозволяє здійснити моніторинг, контроль і оптимізацію виробництва, розподілу та споживання електричної енергії. Дана система містить апаратні, програмні та комунікаційних складові, постачається датчиками, лічильниками, контролерами та центральними процесорами. Її робота полягає у збиранні даних про використання енергії в режимі реального часу, що дозволяє операторам виявляти неефективність у перерозподілі енергетичних потоків та вживати заходи з енергозбереження та покращувати загальну ефективність [8].

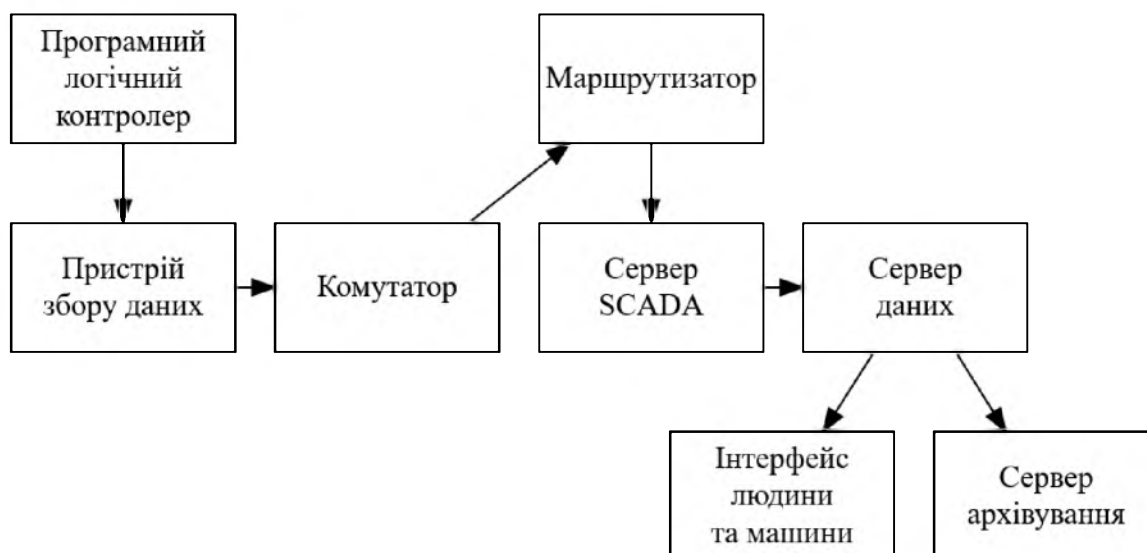


Рисунок 2.1 – Функціональні залежності у автоматизованій системи SCADA

Серед переваг системи EMS можна виділити [8]:

- досить ефективно виявляються зони втрат енергії та наявна неефективність її використання, що дозволяє впроваджувати коригувальні дії та заходи,
- оптимізація використання енергії та попиту на неї дозволяє знизити витрати на енергоносії та скористатися перевагами програм стимулювання енергоспоживання,
- можливість автоматизації процесів енергетичного менеджменту, що дозволяє підвищити загальну операційну ефективність,
- покращені параметри моніторингу та контролю енергоспоживання в реальному часі, що дозволяє оперативно виявляти і вирішувати наявні проблеми,
- задоволення потреб нормативних вимог щодо енергоефективності та викидів шкідливих речовин,
- можливість прийняття обґрунтованих рішення щодо заходів з енергозбереження та інвестування в енергоефективні технології.

Серед недоліків даної системи можна відзначити [8]:

- висока вартість впровадження,

- потреба у постійному обслуговуванні, оновленні програмного забезпечення та модернізації наявного обладнання,
- система є досить складною, що вимагає залучення спеціалістів, що мають спеціальні знання та досвід роботи з такими системами,
- складність інтеграції до вже працюючих систем та існуючої інфраструктури, що може спостерігатися на об'єктах із застарілим обладнанням.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу системи EMS зображено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Функціональні залежності у автоматизованій системі EMS

Розподілена система управління (DCS) – це автоматизована система, яка керує і регулює різноманітними взаємопов'язаними компонентами і підсистемами. Сама система складається з розгалуженої мережі контролерів, пристроїв введення-виведення й комунікаційних ліній зв'язку. Зазначене дозволяє здійснювати моніторинг і контроль технологічних процесів на підприємстві централізовано, а розподіл управління між кількома вузлами забезпечує високий ступінь надійності роботи контрольованої системи [8].

Перевагами системи розподіленого управління є [8]:

- «кращій» у порівнянні з попередніми системами контроль процесів завдяки точному управлінню складними і масштабними промисловими процесами в режимі реального часу,
- високий ступінь резервування, що допомагає підтримувати стабільність системи і мінімізувати час простою в разі виходу з ладу окремих компонентів,
- здатність до масштабування у відповідності до змін у величинах потужностей або запровадженні нових технологічних процесів і нових типів обладнання,
- можливість здійснення централізованого контролю і моніторингу одразу кількох процесів, що дозволяє спростити дані операції та зменшити потребу в значній кількості обслуговуючого персоналу,
- підвищена безпека контролю, що дозволяє використовувати її для критично-важливих процесів і об'єктів,
- можливість широкої інтеграції з іншими системами автоматизації, що дозволяє створювати комплексні рішення по автоматизації промислових об'єктів і процесів.

Недоліками системи розподіленого управління є [8]:

- високі початкові грошові вкладення, що пояснюється високою вартістю обладнання, програмного забезпечення та впровадження,
- висока складність проектування, впровадження та обслуговування, що вимагає залучення відповідних спеціалістів з відповідними спеціальними знаннями,
- систем потребує постійного технічного обслуговування, оновлення програмного забезпечення та модернізації інтегрованого обладнання,
- моральне старіння компонентів і необхідність забезпечення сумісності з новими продуктами.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу системи DCS зображено на рис. 2.3.

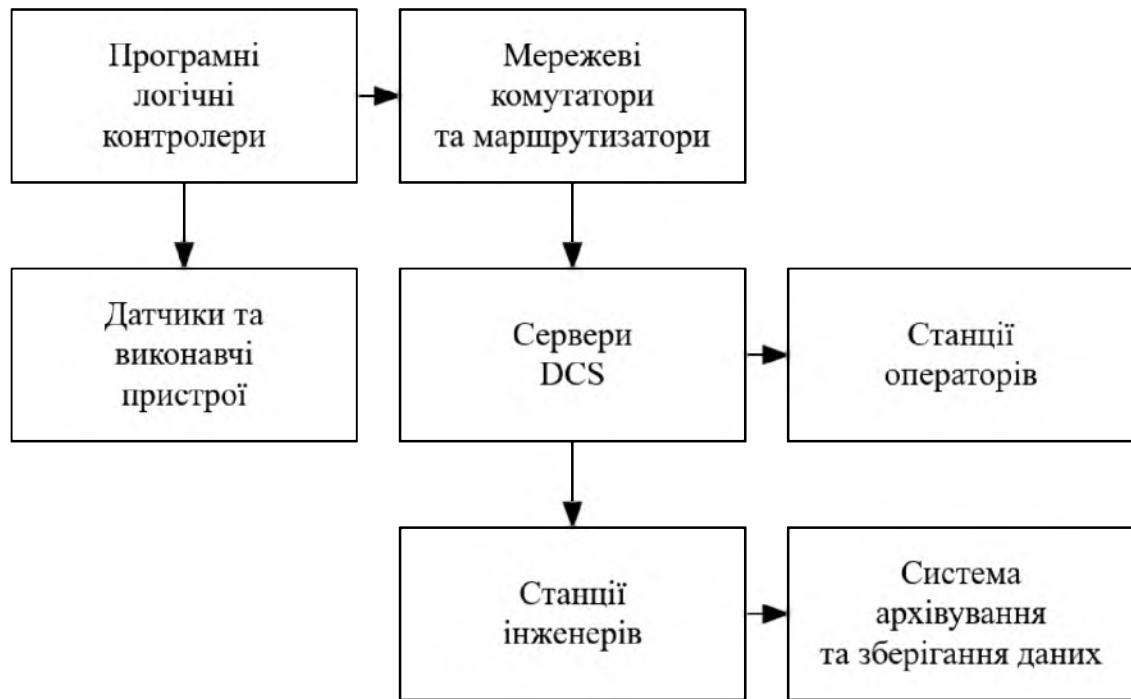


Рисунок 2.3 – Функціональні залежності у системи розподіленого управління DCS

Система управління розподіленими енергетичними ресурсами (DERMS) – це одне з найсучасніших програмних рішень, яке дозволяє керувати, здійснювати оптимізацію та координацію роботи розподілених енергетичних ресурсів, таких як сонячні фотоелектричні системи, вітрогенеруючі, системи зберігання енергії та засобів реагування на попит. Зазначена система поєднує розподілені енергетичні ресурси з централізованою енергомережею, забезпечуючи моніторинг, контроль та диспетчеризацію у режимі реального часу [9].

Серед переваг системи управління розподіленими енергетичними ресурсами можна виділити [9]:

- підвищення стабільності та надійності роботи енергосистеми з наявними розподіленими енергоресурсами, дозволяє управляти та координувати роботу різних джерел енергії, підтримувати стабільність роботи енергосистеми та уникати аварійних ситуацій через коливання попиту та пропозиції електричної енергії,

- широка інтеграція відновлюваних джерел енергії, що дозволяє зменшити залежність виробки енергії від викопних палив,
- оптимальне використання ресурсів завдяки координації та оптимізації втрат енергії з досягненням роботи у точці «максимальної потужності»,
- динамічне управління попитом і балансування навантаженням шляхом узгодження виробництва енергії зі споживанням,
- можливість керування та оптимізації роботи розподілених мереж у поєднанні з системами зберігання енергії, підвищуючи стійкість та гнучкість енергосистеми,
- забезпечення можливості отримання додаткового прибутку.

Серед недоліків даної системи можна відзначити [9]:

- необхідність значних початкових інвестиційних вкладень, які включають вартість обладнання, програмного забезпечення та засобів по інтеграції в існуючі енергетичні системи,
- складність облаштування, що пояснюється необхідністю ретельного налаштування та поточної підтримки системи за застосування спеціальних знань з новітніх наукових досягнень в області відновлюваних джерел енергії,
- проблемність інтеграції у існуючі енергетичні системи, поєднання з існуючими енергетичними потоками,
- вразливість до несанкціонованого доступу в разі відсутності або повної не захищеності належним чином,
- відсутність повноцінної нормативної бази,
- вимога постійності модернізації та оновлення систем.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу система управління розподіленими енергетичними ресурсами DERMS, зображена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Функціональні залежності у системі управління розподіленими енергетичними ресурсами DERMS

Удосконалена система управління розподілом (ADMS) являє собою складну програмну платформу, призначену для управління, оптимізації та координації роботи мереж розподілу електричної енергії. Система поєднує у собі різні функціональні можливості, такі як управління розподілом, управління відключеннями, виявлення та локалізація несправностей, реагування на попит та інтеграція розподілених енергетичних ресурсів. Усе це дозволяє підвищити ефективність, надійність та відмовостійкість енергетичної системи. Вхідні дані поступають в систему в режимі реального часу, де вони піддаються розширеній аналітичній обробці та автоматизації. Це дозволяє ефективно контролювати роботу розподільчих мереж та реагувати на зміну умов її роботи [10].

Перевагами удосконаленої системи управління розподілом є [10]:

- підвищена надійність та стійкість, що дозволяє виявляти та діагностувати несправності, прогнозувати збої в роботі обладнання та оптимізувати процеси, що протікають у мережі, зменшуючи частоту та тривалість аварійних відключень,
- полегшена інтеграція відновлюваних джерел у існуючу розподільчу мережу з супутньою децентралізацією,

- можливість автоматизації та оптимізації різноманітних завдань управління розподілом – балансування навантаження, регулювання рівня напруги, вивільнення ресурсів та зниження операційних витрат,
- здійснення моніторингу та управління в режимі реального часу, що дозволяє здійснювати контроль стану мережі та виявляти потенційні проблеми з метою їх запобігання,
- широкі можливості динамічного управління попитом та прогнозування навантаження,
- забезпечення нормативних вимог відносно питань надійності та безпеки,

– можливість генерації звітів за будь-який період для будь-яких цілей.

Серед недоліків даної системи можна відзначити [10]:

- високі початкові інвестиційні витрати,
- складність розробки, конфігурування та підтримки роботи системи,
- проблеми інтеграції до існуючих розподільних систем,
- необхідність постійної модернізації та оновлення,
- нормативні обмеження застосування системи.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу удосконаленої системи управління розподілом ADMS, зображена на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Функціональні залежності в удосконаленій системі управління розподілом ADMS

Система управління генерацією (GMS) будується із застосуванням програмних рішень, які призначені для моніторингу, контролю та оптимізації роботи об'єктів генерації електричної енергії. Дані системи використовуються в основному незалежними виробниками енергії для ефективного управління генеруючими ресурсами. Система у режимі реального часу використовують отримані дані для здійснення глибокої аналітики та автоматизації, що дозволяє максимізувати виробництво електричної енергії, забезпечити дотримання нормативних вимог та мінімізувати витрати, зберігаючи при цьому стабільність та надійність роботи енергосистеми [11].

Переваги систем управління генерацією [11]:

- підвищення ефективності генерації шляхом оптимізації роботи генеруючих потужностей,
- можливість коригування збільшення/зменшення виробництва електричної енергії,
- здійснення централізованого контролю та моніторингу завдяки наявності єдиного інтерфейсу для кількох об'єктів генерації із забезпеченням віддаленого доступу до них,
- можливість контролю продуктивності обладнання, виявляти інформаційні аномалії у режимах роботи з видачею відповідних сповіщень,
- відповідність нормативним вимогам відносно ефективності виробництва, кількості викидів і стабільності роботи мережі,
- забезпечення підтримки по переходу до низьковуглецевих енергетичних систем,
- забезпечення оптимального управління ресурсами завдяки динамічній диспетчеризації генерації з супутнім плануванням використання ресурсів та генеруючих активів.

Недоліки систем управління генерацією [11]:

- необхідність високих початкових інвестицій,
- складність розробки та обслуговування з огляду на конфігурацію системи,
- складність інтеграції до існуючої мережевої інфраструктури,
- вразливість до кібератак та/або несанкціонованого доступу, якщо вони не захищені належним чином,
- вимога постійної модернізації та оновлення,
- необхідність ретельного розрахунку потенційних вигод при впровадженні даної системи.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу системи управління генерацією (GMS), зображена на рис. 2.6.

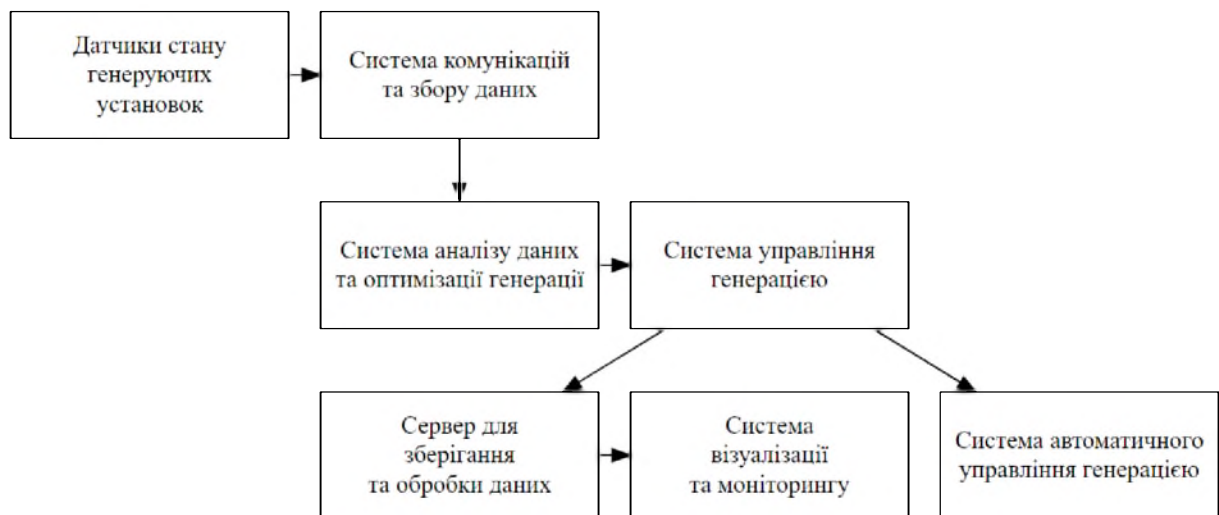


Рисунок 2.6 – Функціональні залежності в системі управління генерацією (GMS)

Система управління попитом (DRMS) дозволяє здійснити управління та координацію програм реагування на попит і спрямовані на зміну структури споживання електричної енергії кінцевими споживачами у відповідь на поточний стан мережі. Система дозволяє підприємствам, операторам мереж та постачальникам енергетичних послуг ефективно

взаємодіяти зі споживачами, відстежувати та аналізувати споживання в режимі реального часу і запроваджувати стратегії управління попитом. Ці заходи підвищують стабільність роботи мережі, оптимізують використання ресурсів та знижують величину загальних втрат енергії [11].

Переваги систем управління попитом [11]:

- стабільність та надійність роботи енергетичних мереж,
- можливість керування піками споживання, що виключає необхідність запровадження додаткових генеруючих потужностей або розширення мережі,
- економія витрат завдяки заохоченню споживачів переорієнтовуватися на більш економічні прилади або зменшення споживання електричної енергії у пікові періоди,
- зменшення об'ємів шкідливих викидів та негативного впливу виробництв на навколишнє середовище, завдяки більш ефективному використанню енергоресурсів,
- можливість більш широкого залучення споживачів, більш ефективної їх взаємодії з виробниками енергії,
- застосування стимулів завдяки гнучкому ціноутворенню та іншим механізмам для заохочення участі в програмах реагування на попит,
- покращене прогнозування попиту для здійснення ефективного планувати та управління ресурсами,
- гнучкість та можливість налаштування системи відповідно до різних стратегій реагування на попит.

Недоліки систем управління попитом [11]:

- високі початкові витрати на впровадження,
- складність розробки у відповідності до конфігурації системи споживання,
- вдале застосування системи залежить від готовності споживачів брати в них участь, що вимагає проведення роз'яснювальної роботи для усвідомлення беззаперечних переваг використання даної платформи,

- проблеми інтеграції системи управління енергоспоживанням до існуючих мережевих систем,
- невідповідність законодавчої бази та регуляторної політики у сфері взаємодії споживачів з постачальниками.

Типова функціональна схема, що ілюструє роботу системи управління попитом (GMS), зображена на рис. 2.7.

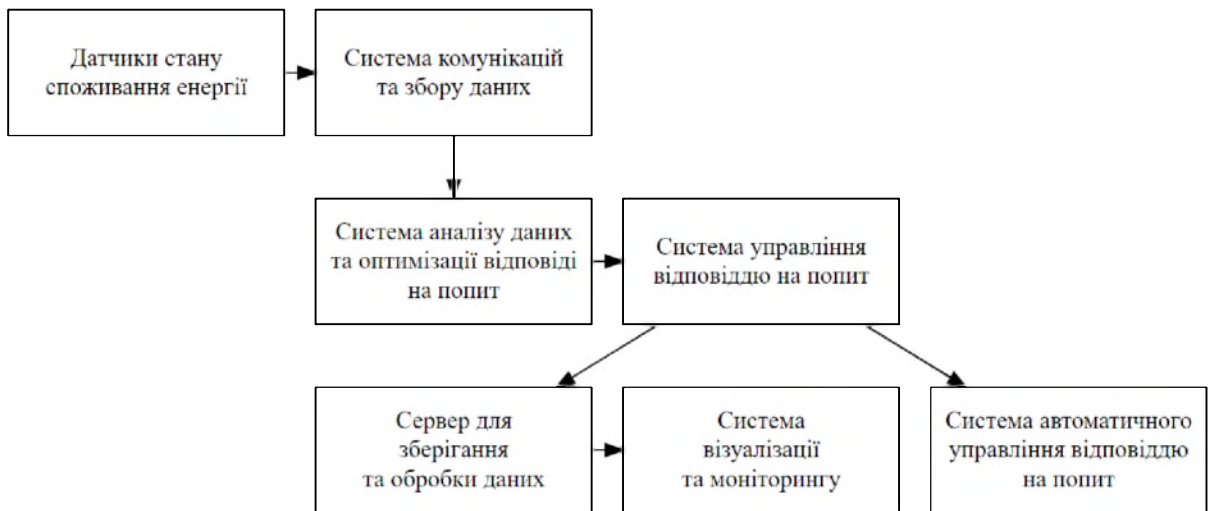


Рисунок 2.7 – Функціональні залежності в системі управління попитом (GMS)

2.2 Розробка автоматизованої системи контролю та керування енергоспоживанням

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати ряд наступних задач [12]:

- проаналізувати технологічний процес і визначити місця, встановити роль та значимість системи обліку електричної енергії у технологічному комплексі,

- оцінити систему електропостачання та обліку електричної енергії,
- встановити ієрархію для системи управління та контролю,
- визначити структуру автоматизованої система контролю та керування енергоспоживанням (АСКтаКЕ),
- розробити проект модернізації системи обліку споживання електричної енергії,
- визначити оптимальні до застосування технічні засоби автоматизації.

Для забезпечення принципів управління та підтримки структури автоматизації необхідно використати різноманітні технічні засоби. Так, щити та пульти операційного керування обладнано багатьма засобами відображення інформації [12]:

- мнемосхемами зі світловими сигналами про наявність аварії та технологічними сигналізаторами,
- звуковими сигналізаторами та індикаторами,
- технічними засобами здійснення регулювання,
- засобами програмного керування,
- засобами і системами захисту та блокування,
- дисплеями та приладами, які реєструють та показують додаткову інформацію.

Усе зазначене може бути виконано як у традиційному вигляді з використанням мікропроцесорних контролерів, так і з використанням сучасних програмних комплексів і персональних обчислювальних машин, але які виконують однакові, покладені на них певні функції керування технологічним процесом. А зазначені технічні засоби дозволяють забезпечити більш ефективне та точне управління виробництвом.

На щитах та пультах можуть бути розміщені засоби керування, за допомогою яких оператор може безпосередньо втручатися в процес цього керування, започатковувати або припиняти певні дії (ввімкнення,

вимкнення, зміна напрямку руху і т.п. Управління технологічним процесом можна здійснювати з використанням автоматизованих систем. Цей процес полягає у застосуванні приладів і пристроїв, які шляхом здійснення регулювання та керування, у автоматичному режимі забезпечують нормальне протікання технологічного процесу [13].

Технологічний персонал, що здійснює оперативне керування, отримує поточні оперативні дані від різноманітних контролюючих пристроїв та елементів (датчиків), слідує за допомогою приладів індикації та сигналізації й аналізує отриману інформацію від головних і допоміжних систем і підсистем автоматизованих систем управління технологічними процесами. На підставі отриманої інформації технологічний персонал приймає відповідні керуючі дії.

Важливою складовою успішної роботи енергетичного підприємства є постійне вдосконалення та оптимізація процесів. Завдяки сучасним технологіям та автоматизації можливе досягнення високого рівня продуктивності та ефективності. Це дозволяє приділити більшої уваги безпеці персоналу під час експлуатації обладнання. Комплексний підхід до управління підприємством має враховувати не тільки технічні, але і технологічні аспекти та економічні фактори. Це допоможе підприємству повноцінно розвиватися, покращувати свою конкурентоспроможність та забезпечувати стабільність його послуг на ринку енергозабезпечення. Запровадження інноваційних методів керівництва та впровадження передових технологій дозволяє оптимізувати процеси, знизити витрати та відповідати сучасним викликам на енергоринку [13].

Найбільш широкого застосування знаходять системи автоматизованого обліку електричної енергії, що дозволяє ефективно керувати енерговитратами та зниженням витрат. Наступним напрямком розвитку є впровадження системи моніторингу та контролю за роботою обладнання, що дозволить оперативно виявляти можливі проблеми та забезпечувати вчасне його обслуговування, а це сприятиме зменшенню

простоїв і збільшенню продуктивності. Таким чином, інтеграція передових методів управління, інноваційних технологій та високий рівень професіоналізму працівників дозволяє підприємствам забезпечити стабільність, сталий розвиток та зміцнення своїх позицій на ринку.

2.3 Опис, організація та будова автоматизованої системи контролю та керування енергоспоживанням

Автоматизована система контролю та керування енергоспоживанням (АСКтаКЕ) – це комплексна система, розроблена для моніторингу, оптимізації та керування ресурсами енергоспоживання [14].

Метою функціонування АСКтаКЕ є забезпечення ефективного використання енергоресурсів, зниження витрат на споживання енергії, та підвищення енергоефективності.

АСКтаКЕ складається з наступних компонентів [14]:

- сенсори та датчики – використовуються для збору даних про споживання електроенергії, температури, освітленості, вологості тощо і встановлюються на різних ділянках для точного відстеження різних параметрів,
- контролери – відповідають за обробку даних від сенсорів та датчиків, реалізують алгоритми керування енергоспоживанням та комунікацію з іншими системами керування,
- інтерфейс користувача – дозволяє здійснювати моніторинг стану системи, налаштовувати параметри керування та отримувати звіти про параметри енергоспоживання,
- сервери для зберігання та обробки даних – вони забезпечують зберігання та обробку великих обсягів даних, отриманих від сенсорів, а також формування звітів та формування статистики.

АСКтаКЕ має модульну будову, яка дозволяє легко інтегрувати додаткові датчики, контролери та інші компоненти залежно від потреб та специфіки об'єкта. Система може бути побудована на базі провідних або бездротових комунікаційних технологій, забезпечуючи гнучкість налаштування та можливість розширення.

АСКтаКЕ може включати наступні елементи та забезпечувати наступні переваги [14]:

- аналітичне програмне забезпечення, яке використовується для аналізу даних про енергоспоживання, прогнозування майбутніх потреб та виявлення можливих проблем або неефективності в системі. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни умов експлуатації та оптимізувати роботу системи,
- інтеграція з іншими системами керування – системами автоматизації виробництва, системами спільного керування та оптимізації енергоспоживання.
- резервне живлення та елементи безпеки, що дозволяє забезпечувати надійність роботи системи та реалізовувати заходи інформаційної безпеки,
- підтримка різноманітних стандартів та протоколів комунікації, що забезпечує гнучкість та сумісність з різними пристроями та системами.
- допомагає забезпечити енергоефективність, стабільність та безпеку енергоспоживання, що веде до зниження експлуатаційних витрат.

Сучасні інформаційні технології активно впливають на розвиток автоматизованих систем контролю та управління електроенергетичними об'єктами. Вони сприяють створенню нових, більш інтелектуалізованих пристроїв обліку енергоресурсів, які мають ряд переваг у порівнянні зі старішими моделями.

Одним з ключових аспектів розвитку сучасних АСКтаКЕ є збільшення обсягу пам'яті та швидкодії мікроконтролерів, що дозволяє використовувати більш складні алгоритми обробки даних і забезпечувати більш точніший контроль та врахування споживання енергії.

Сучасні АСКтаКЕ забезпечують широкі можливості для моніторингу, діагностики та оптимізації роботи енергетичних об'єктів, сприяють підвищенню енергоефективності та раціональному використанню ресурсів. Однією з перспективних тенденцій в розвитку АСКтаКЕ може стати впровадження штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволить системам аналізувати великі обсяги даних про споживання енергії, прогнозувати попит та оптимізувати розподіл ресурсів у реальному часі. Даний підхід може забезпечити значне підвищення енергоефективності та зменшення витрат на експлуатацію та обслуговування енергетичних об'єктів. Наступні покоління АСКтаКЕ будуть розвиватися в напрямку створення єдиної інтелектуальної інфраструктури, яка зможе об'єднати всі аспекти енергетичної галузі, включаючи виробництво, транспортування, зберігання та споживання енергії. Такі інтегровані системи забезпечать більш ефективне використання ресурсів, підвищать надійності енергопостачання та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище [14].

У разі реалізації АСКтаКЕ з використанням автоматичного опитування лічильників повинен бути передбачений автоматичний збір даних з лічильників за допомогою комунікаційних модулів і пристроїв збору даних. Такий підхід дозволяє зменшити трудомісткість збору інформації та покращує точність обліку електроенергії. Лічильники можуть бути об'єднані в локальні мережі або взаємодіяти з центром збору даних через бездротові комунікації.

Серед основних переваг такої системи можна виділити:

- автоматичний збір даних з лічильників, що забезпечує своєчасність отримання інформації,
- можливість використання різних типів лічильників, включаючи імпульсні або електронні,
- підтримка різних комунікаційних протоколів, що спрощує інтеграцію з іншими системами,

- підвищення ефективності обліку енергоресурсів.

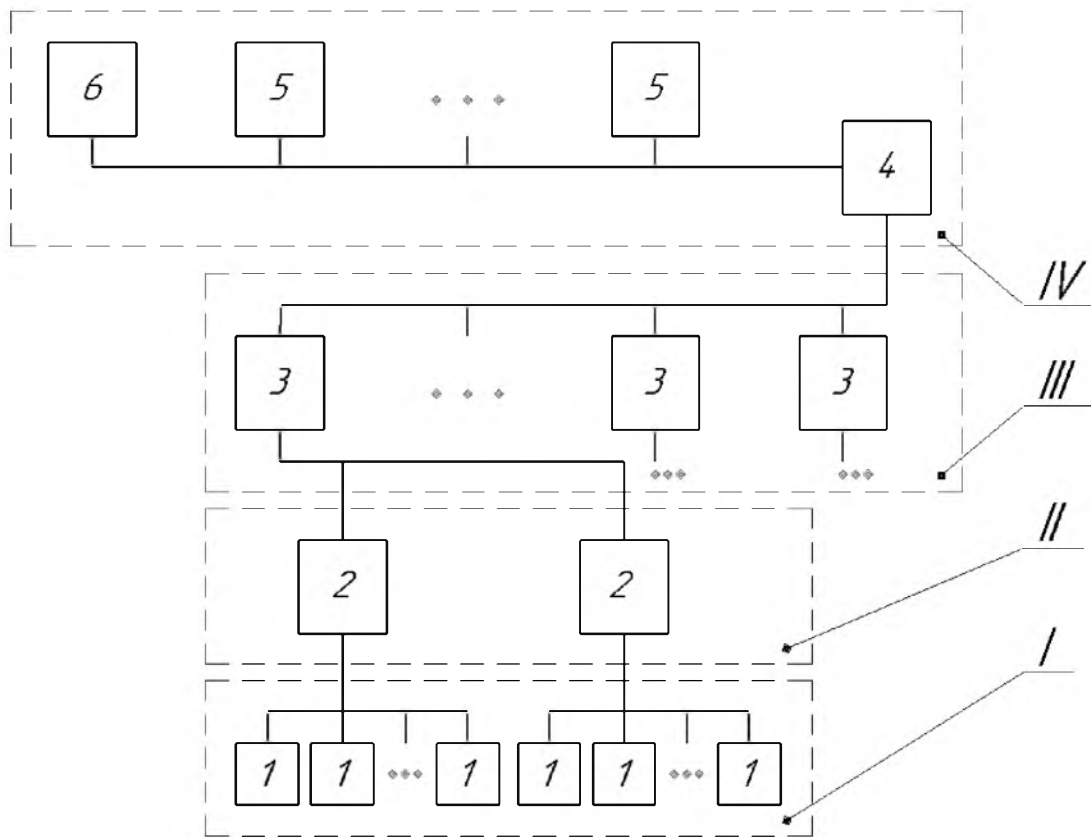
При цьому реалізується можливість використання додаткових функцій [14]:

- віддалений доступ до даних лічильників,
- сповіщення про аварійні ситуації або порушення лімітів споживання,
- аналіз тенденцій споживання та виявлення місць потенційного енергозбереження,
- інтеграція з системами автоматичного управління та системами енергетичного менеджменту.

У роботі пропонується модернізувати автоматизовану систему контролю і обліку електричної енергії за допомогою різноманітних за конфігурацією та конструктивним виконанням і функціональними можливостями інформаційно-вимірювальні комплекси технічних засобів.

Для подолання функціональних обмежень програмного забезпечення типових комплексів, у роботі пропонується змінити структуру облікової системи з додаванням бази даних, у якій може міститися уся інформація про стан мережі та наявні до цього зміни. У якості сервера можна використати сервер, підключений до обчислювальної системи з відповідним програмним забезпеченням. Формування даної системи дозволяє отримати інформаційно-вимірювальний комплекс (рис. 2.8).

Автоматизована система управління складається з просторово-розподіленої інформаційно-обчислювальної системи з чотирма рівнями управління та обробки. На першому рівні, мережа лічильних пристроїв, які розташовані у безпосередній близькості до енергетичного обладнання і здійснює вимірювання параметрів роботи обладнання.



I – лічильники, *2* – пристрої збору та передачі даних, *3* – оперативні пункти керування, *4* – маршрутизатор, *5* – автоматизоване робоче місце, *6* – база даних; *I* – вимірювальний рівень, *II* – контрольний рівень, *III* – оперативний рівень, *IV* – вищий рівень

Рисунок 2.8 – Структура інформаційно-вимірювального комплексу

На другому рівні пристрої збору та передачі даних відбувається сприйняття, підсилення та обробка первинної інформації.

На третьому оперативному рівні існує можливість місцевого управління обладнанням на основі зібраної, обробленої та накопиченої інформації, подаються відповідні сигнали на засоби захисту. Для здійснення цього необхідно забезпечити наявність потужних обчислювальних ресурсів та забезпечити на даному безперервність роботи усіх пристроїв. Усі контролери об'єднані в єдину локальну мережу передачі даних, до якої підключені волоконно-оптичні лінії зв'язку Ethernet із забезпеченням захисту інформації від перешкод.

Дані, зібрані і оброблені на попередніх трьох рівнях, через маршрутизатор подаються на верхній рівень керування. На цьому рівні використовуються керуючі електронно-обчислювальні машини, які відповідають за управління мережею нижніх рівнів та здійснює обробку інформації в режимі реального часу. При цьому також формується база даних про попередні та поточні стани роботи системи та здійснюються автономні управлінські процеси. Верхній рівень можна реалізувати шляхом облаштування диспетчерського пункту, на якому можна отримати усю необхідну інформацію для контролю технологічних процесів та роботи енергетичного обладнання та здійснити друк відповідних документів.

3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Похідні дані для розрахунку схеми електропостачання

Електропостачальна система включає в себе комплекс пристроїв для виробництва, транспортування та розподілу електричної енергії. Промислові підприємства мають різноманітні системи для забезпечення різними видами енергії різноманітних споживачів, у якості яких виступають електричні приводні двигуни, різноманітні машини і механізми, електричні муфельні печі, установки електролізу, пристрої для електрозварювання та освітлювальне обладнання.

Передача електричної енергії на значні відстані до споживачів забезпечувалася високовольтними лініями електропередачі (ЛЕП). Тепер більшість споживачів отримує електричну енергію від існуючих енергетичних систем. Одночасно на деяких підприємствах будуються власні станції, що виробляють теплову та електричну енергію. Серед причин, які визначають можливість і необхідність впровадження власних енергетичних станцій є [15]:

- потреба у тепловій енергії для технологічних потреб та опалення,
- можливість одночасного виробництва теплової і електричної енергії,
- необхідність наявності резервного джерела живлення для відповідальних споживачів,
- економічні чинники широкого використання вторинних ресурсів,
- віддаленість окремих підприємств від енергетичних систем.

Розвиток систем споживання енергії згодом призводить до їх ускладнення – вони одночасно можуть містити високовольтні і низьковольтні мережі, розвинені розподільчі теплові та електричні мережі. Складність цих енергетичних мереж викликає потребу застосування засобів їх автоматизації, поряд з широкою автоматизацією і диспетчеризацією виробничих процесів з використанням телесигналізації

та телекерування. Успішний перехід до автоматизованих систем управління можливий лише за умови наявності автоматичного обладнання та висококваліфікованого обслуговуючого персоналу для експлуатації цих систем.

Механічна дільниця машинобудування призначена для мілкосерійного та масового виробництва продукції, може виступати допоміжною структурою на машинобудівному заводі для обслуговування енергомеханічної служби, яка здійснює технічну експлуатацію обладнання. Основне обладнання включає різноманітні засоби для обробки та зварювання окремих деталей і збиральних одиниць при виготовленні та/або ремонті обладнання.

Живлення електричною енергією відбувається від основної низьковольтної підстанції відповідно до встановленої електричної схеми. Схема передбачає можливість її розширення для електропостачання інших електричних споживачів у разі розширення виробництва.

Перелік обладнання механічної дільниці наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік обладнання механічної дільниці

№ з/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Одинична потужність, кВт	Загальна потужність, кВт
1	Токарні верстати	7	55,0	385
2	Свердлильні верстати	2	40,0	80
3	Електродугові зварювальні верстати	5	20,0	100
4	Точкові зварювальні верстати	5	15,0	75
5	Фрезерні верстати	4	30,0	120
6	Підйомні механізми	2	15,0	30
7	Тягодутьові пристрої	2	24,0	48
8	Освітлення	20	1,5	30

Схему електропостачання представлено на рис. 3.1.

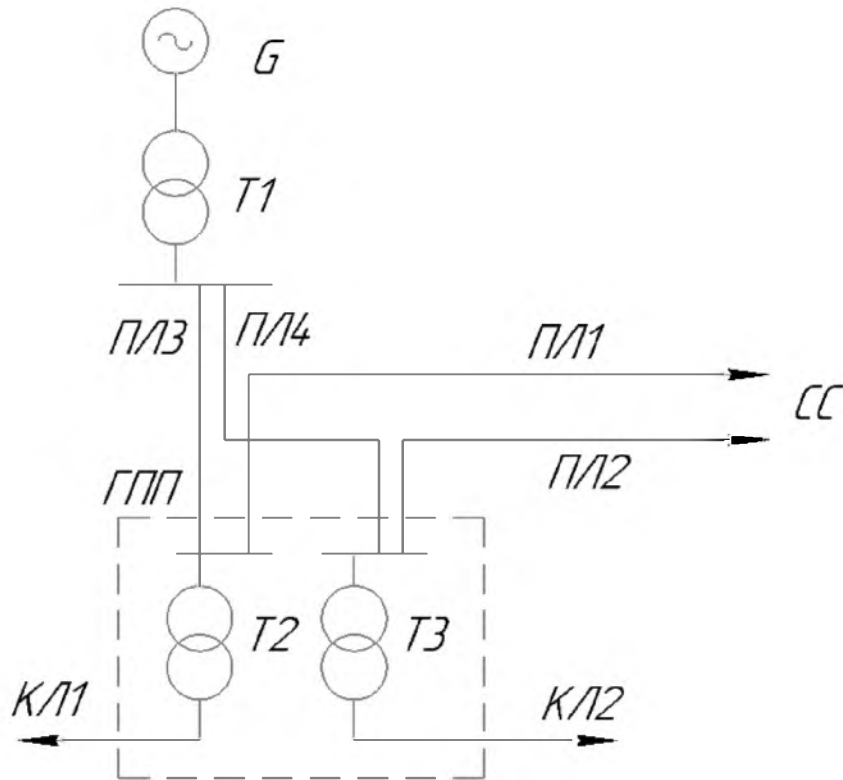


Рисунок 3.1 – Схема електропостачання підприємства з механічної обробки: G – генератор, T1 – трансформатор ТДН-25000/110, T2, T3 – трансформатори ТМ-6300/110, ПЛ1, ПЛ2 – повітряні лінії довжиною 20 км, ПЛ3, ПЛ4 – повітряні лінії довжиною 8 км, КЛ1, КЛ2 – кабельні лінії довжиною 1,0 км, СС – система споживачів

Розподіл основного обладнання по розподільним пристроям наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розподіл обладнання по розподільчим пристроям

№ з/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Одинична потужність, кВт	Коефіцієнт використання, k_e	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	Приєднано до РП
1	Токарні верстати	7	55,0	0,3	0,70	РП1
2	Свердлильні верстати	2	40,0	0,3	0,70	РП1
3	Електродугові зварювальні верстати	5	20,0	0,2	0,50	РП2
4	Точкові зварювальні верстати	5	15,0	0,15	0,20	РП2
5	Фрезерні верстати	4	30,0	0,25	0,50	РП3
6	Підйомні механізми	2	15,0	0,4	0,60	РП3
7	Тягодутьові пристрої	2	24,0	0,7	0,85	РП4
8	Освітлення	20	1,5	0,9	0,90	РП4

3.2 Облаштування схеми електропостачання

Розподільчі мережі призначені для безпосереднього підключення електричних споживачів. Розподільчі мережі облаштовують з використанням розподільчих шин і вузлів. Електричні мережі можуть бути виконані за радіальною, магістральною та/або комбінованою структурою. Схема мережі обумовлюється технологічним процесом виробництва, планом приміщень, відносним розташуванням електротехнічного

обладнання – трансформаторів, електричних споживачів, місцями вводу живлення, потужністю споживачів, вимогами до безперебійної роботи системи електропостачання, параметрами внутрішнього і зовнішнього середовища, техніко-економічними показниками та інше.

Структурно мережі можна розділити на живильні (ті, які йдуть від джерела живлення – трансформаторів, генераторів – до розподільних вузлів) та розподільні (розподільні шини або окремі споживачі).

Розроблена схема електропостачання приймачів (які є приймачами 2 та 3 категорії за безперебійністю живлення) показана на рис. 3.2 [16].

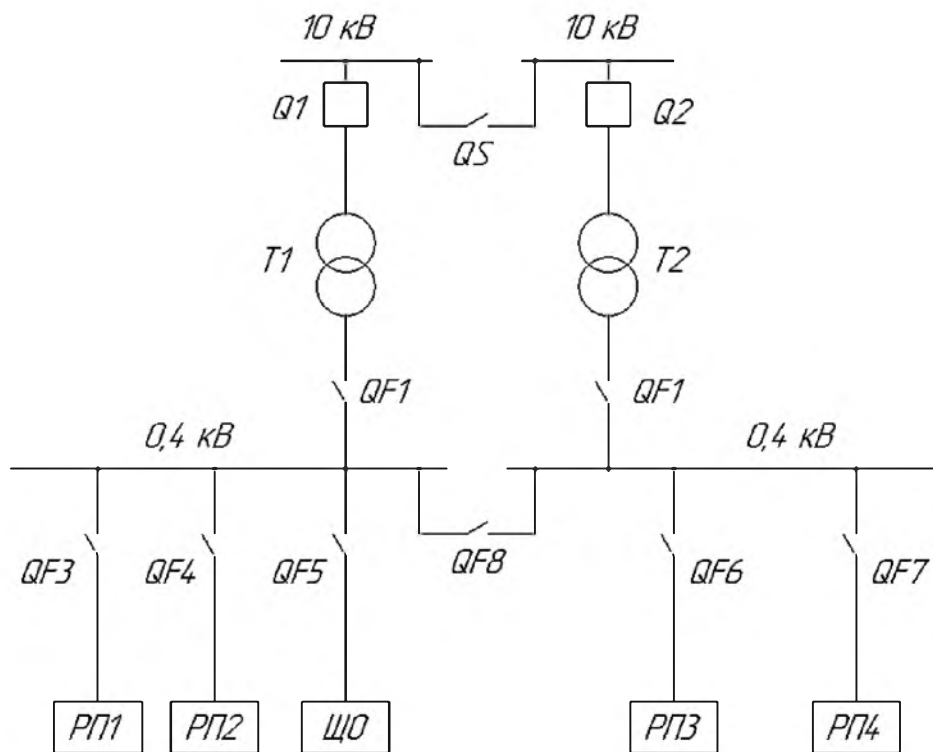


Рисунок 3.2 – Розроблена схема електропостачання підприємства

3.3 Розрахунок електричних потужностей

Сумарна номінальна активна потужність електроприймачів, підключених до РП, кВт [17]:

$$P_{ном} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{ном i} \quad (3.1)$$

Номінальна реактивна потужність електроприймачів, підключених до РП, кВАр [17]:

$$Q_{ном} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{ном i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3.2)$$

Середня активна потужність електроприймачів, підключених до відповідного РП, кВт [17]:

$$P_c = \sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{ном i} \cdot k_{\epsilon i} \quad (3.3)$$

Середня реактивна потужність електроприймачів, підключених до РП, кВт [17]:

$$Q_c = \sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{ном i} \cdot k_{\epsilon i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3.4)$$

Ефективна кількість електроприймачів, підключених до РП [17]:

$$n_{\epsilon\phi} = \frac{\left(\sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{ном i} \right)^2}{\sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{ном i}^2}. \quad (3.5)$$

Коефіцієнт використання групи електроприймачів, підключених до РП [17]:

$$k_{в\ РП} = \frac{P_c}{P_{ном}} \quad (3.6)$$

Коефіцієнти максимуму активної (k_m) та реактивної (k'_m) потужності для визначеної ефективної кількості електроприймачів визначаємо за [17].

Розрахункове значення активної потужності, кВт [17]:

$$P_p = k_m \cdot P_c. \quad (3.7)$$

Розрахункове значення реактивна потужність, кВАр [17]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_i. \quad (3.8)$$

Середній коефіцієнт потужності [17]:

$$\cos \varphi_c = \frac{P_c}{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}; \quad (3.9)$$

Повна розрахункова потужність, кВА [17]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3.10)$$

Значення розрахункового струму [17]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (3.11)$$

Розрахунки потужностей і коефіцієнтів для усіх РП заносимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведена таблиця розрахункових даних по встановленому навантаженню

Споживачі	Номинальна активна потужність, P_n , кВт	Кількість споживачів, n	Коефіцієнт використання, k_e	Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	Коефіцієнт реактивної потужності, $\tan\varphi$	Сумарна активна потужність, $P_{\text{сум}}$, кВт	Сумарна реактивна потужність, $Q_{\text{сум}}$, кВАр
РП1							
Споживачі 1	55,0	7	0,3	0,7	1,02	385	392,8
Споживачі 2	40,0	2	0,3	0,7	1,02	80	81,6
Разом:	-	9	0,3	0,7	1,02	465	474,4
РП2							
Споживачі 1	20,0	5	0,2	0,5	1,73	100	173,2
Споживачі 2	15,0	5	0,15	0,2	4,90	75	367,4
Разом:	-	10	0,175	0,35	3,32	175	540,6
РП3							
Споживачі 1	30,0	4	0,25	0,5	1,73	120	207,8
Споживачі 2	15,0	2	0,4	0,6	1,33	30	40,0
Разом:	-	6	0,325	0,55	1,53	150	247,8
РП4							
Споживачі 1	24,0	2	0,7	0,85	0,62	48	29,7
Споживачі 2	1,5	20	0,9	0,9	0,48	30	14,5
Разом:	-	22	0,8	0,875	0,55	78	44,3

Таблиця 3.4 – Зведена таблиця розрахункових даних по середньому навантаженню

Споживачі	Середня активна потужність, P_c , кВт	Середня реактивна потужність, Q_c , кВАр	Середня повна потужність, S_c , кВА
РП1			
Споживачі 1	115,5	117,8	165,0
Споживачі 2	24	24,5	34,3
Разом:	139,5	142,3	199,3
РП2			
Споживачі 1	20,0	34,6	40,0
Споживачі 2	11,25	55,1	56,3
Разом:	31,3	89,8	96,3
РП3			
Споживачі 1	30,0	52,0	60,0
Споживачі 2	12	16,0	20,0
Разом:	42,0	68,0	80,0
РП4			
Споживачі 1	33,6	20,8	39,5
Споживачі 2	27	13,1	30,0
Разом:	60,6	33,9	69,5

Таблиця 3.5 – Зведена таблиця розрахункових даних по максимальному навантаженню

Розподільчий пристрій	Кількість ефективних провідників, n_{ef}	Коефіцієнти максимуму активної потужності, k_m	Коефіцієнти максимуму реактивної потужності, $k_{\text{м}}$	Розрахункова активна потужність, P_p , кВт	Розрахункова реактивна потужність, Q_p , квар	Розрахункова повна потужність, S_p , кВА	Розрахунковий струм, I_p , А
РП1	8,87	2,1	1,11	293,0	298,9	418,5	635,8
РП2	9,80	2,12	1,15	66,3	219,7	229,4	348,6
РП3	5,56	1,98	0,95	83,2	127,5	152,2	231,2
РП4	5,08	1,75	0,87	106,1	58,5	121,1	184,0
Сер.знач./Разом	7,3	2,0	1,08	548,4	704,5	921,3	349,9

Додаткове навантаження на живильні розподільчі мережі може бути отримано від наявної реактивної потужності, що призводить до зростання споживання електричної енергії. Для зменшення величини реактивної потужності, можна застосовувати різні технічні заходи, найрозповсюдженішими з яких є використання спеціальних компенсуючих пристроїв, які є джерелом реактивної енергії ємнісного характеру (конденсаторні батареї, синхронні мотори, статичні вентильні джерела реактивної потужності).

Розрахунковий коефіцієнт потужності [17]:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{548,4}{921,3} = 0,6. \quad (3.12)$$

Розрахункова потужність компенсуючого пристрою [17]:

$$Q_{kn} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_K), \quad (3.13)$$

де α – коефіцієнт, який враховує підвищення коефіцієнта потужності завдяки природних чинників, $\alpha = 0,9$,

$tg \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності до здійснення компенсації (для розрахованого значення $\cos \varphi$ коефіцієнт реактивної потужності буде дорівнювати: $\tan \varphi = 1,33$),

$tg \varphi_K$ – коефіцієнт реактивної потужності після здійснення компенсації (необхідно прагнути досягати значення коефіцієнта потужності на рівні: $\cos \varphi_K = 0,92-0,95$, при $\cos \varphi_K = 0,95$, $tg \varphi_K = 0,33$).

$$Q_{kn} = 0,9 \cdot 548,4 \cdot (1,33 - 0,33) = 493,56 \text{ кВАр.}$$

До встановлення приймаємо компенсатори конденсаторного типу КМПУ-100-0,4-350-3,1, номінальною ємністю 100 кВАр. Для забезпечення компенсації реактивної потужності приймаємо 5 пристроїв для досягнення потрібної ємності 500 кВАр.

Фактичне значення коефіцієнта реактивної потужності, який отримаємо після компенсації реактивної потужності [17]:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{\kappa \text{ cm}}}{\alpha \cdot P_p} = 1,33 - \frac{500}{0,9 \cdot 548,4} = 0,317, \quad (3.14)$$

якому відповідає фактичне значення коефіцієнта потужності: $\cos \varphi_K = 0,948$.

Розрахункове значення потужностей втрат [17]:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p = 0,02 \cdot 921,3 = 184,26 \text{ кВт}, \quad (3.15)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p = 0,1 \cdot 921,3 = 92,13 \text{ кВАр}, \quad (3.16)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{184,26^2 + 92,13^2} = 206 \text{ кВА}. \quad (3.17)$$

3.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання складемо розрахункову однолінійну електричну і приводимо її до найпростішого виду шляхом поступового перетворення, складемо схему заміщення, встановлюємо найнебезпечніші місця виникнення короткого замикання, визначаємо початкове діюче значення періодичної складової струму короткого

замикання та значення цієї складової у довільний момент часу, визначаємо ударний струм короткого замикання.

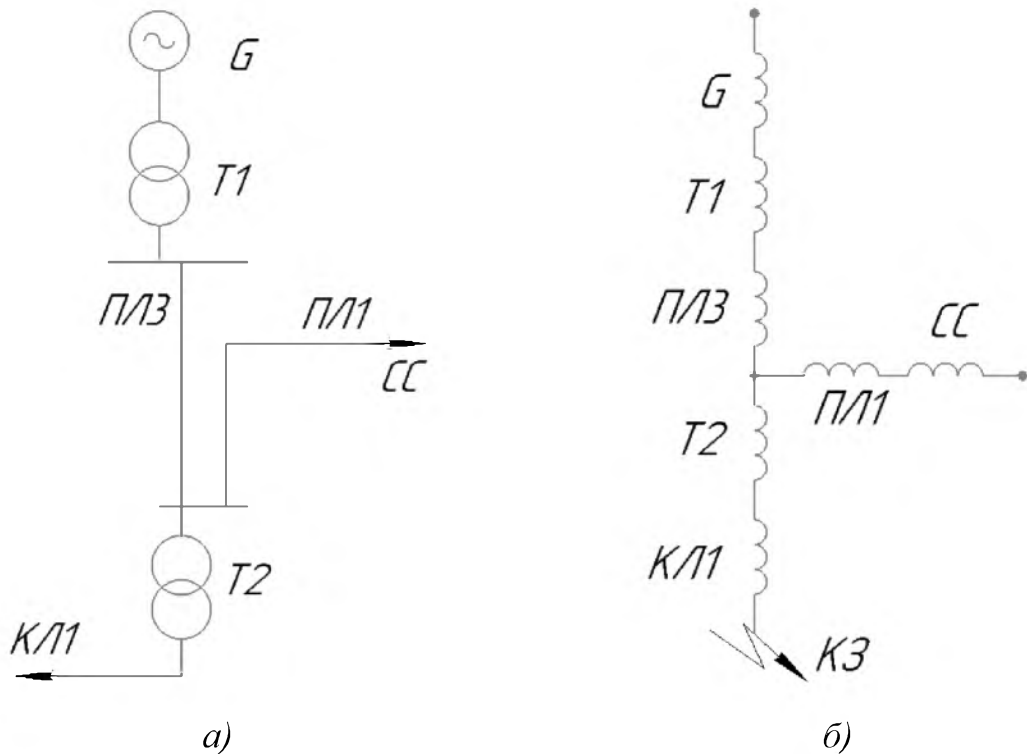


Рисунок 3.3 – До визначення струму короткого замикання:
а) розрахункова схема, б) схема заміщення

При розрахунку струмів короткого замикання приймають деякі припущення: ЕРС усіх генераторів збігаються по фазі, не враховується насичення магнітних систем, нехтуємо струмами намагнічування трансформаторів, система вважається симетричною та інші.

Значення базового вторинного струму, кА [18]:

$$I_{6II} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{6II}}, \quad (3.18)$$

де S_6 – базова потужність, $S_6 = 210$ МВА [18],

U_{6II} – вторинна базова напруга, $U_{6II} = 10,5$ кВ,

$$I_{\delta II} = \frac{210}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 11,55 \text{ кА.}$$

Розрахунок параметрів схеми заміщення:

– приведений опір системи споживачів [18]:

$$x_{cc}^* = x_{cc} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta I}^2}, \quad (3.19)$$

де x_{cc} – опір системи споживачів, $x_{cc} = 0,2$ в.о.,

U_n – номінальна напруга, $U_n = 110$ кВ,

S_n – номінальна потужність, $S_n = 200$ МВА,

$U_{\delta I}$ – базова первинна напруга, $U_{\delta I} = 115$ кВ,

$$x_{cc}^* = 0,2 \cdot \frac{110^2}{200} \cdot \frac{210}{115^2} = 0,192 \text{ в.о.}$$

– приведений опір трансформатора Т1 [18]:

$$x_{T1}^* = \frac{u_k \cdot U_{nT1}^2 \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{nT1} \cdot U_{\delta I}^2}, \quad (3.20)$$

де u_{kT1} – напруга короткого замикання трансформатора Т1, $u_{kT1} = 10\%$,

S_{nT1} – номінальна потужність трансформатора Т1, $S_{nT1} = 25$ кВА.

$$x_{T1}^* = \frac{10 \cdot 110^2 \cdot 210}{100 \cdot 25 \cdot 115^2} = 0,769 \text{ в.о.}$$

– приведений опір трансформатора Т2 (Т3) [18]:

$$x_{T2}^* = \frac{u_{kT2} \cdot U_{nT2}^2 \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{nT2} \cdot U_{\delta II}^2}, \quad (3.21)$$

де $u_{кТ2}$ – напруга короткого замикання трансформатора Т2, $u_{кТ2} = 8\%$,
 $S_{нТ2}$ – номінальна потужність трансформатора Т2, $S_{нТ2} = 6$ кВА.

$$x_{Т2}^* = \frac{8 \cdot 10^2 \cdot 200}{100 \cdot 6 \cdot 10,5^2} = 2,419 \text{ в.о.}$$

– приведена до базового значення ЕРС генератора [18]:

$$E_{\delta\Gamma}^* = \frac{E_z}{U_{\delta III}} \quad (3.22)$$

E_z – ЕРС на генераторі, $E_z = 6,3$ кВ.

$U_{\delta III}$ – базова третинна напруга, $U_{\delta III} = 6,3$ кВ,

$$E_{\delta\Gamma}^* = \frac{6,3}{6,3} = 1 \text{ в.о.}$$

– приведений до базового значення опір генератора [18]:

$$x_{\delta\Gamma}^* = x_z'' \cdot \frac{U_n^2 \cdot S_{\delta}}{S_n \cdot U_{\delta III}^2}, \quad (3.23)$$

де x_z'' – приведений опір обмоток генератора, $x_z'' = 0,155$ в.о.

$$x_{\delta\Gamma}^* = 0,155 \cdot \frac{6,3^2 \cdot 200}{20 \cdot 6,3^2} = 1,55 \text{ в.о.}$$

– приведений опір повітряних ліній електропередачі [18]:

$$x_{ПЛ\Gamma}^* = x_{н\text{ит.ПЛ}\Gamma} \cdot \ell_{ПЛ\Gamma} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta I}^2}, \quad (3.24)$$

де $x_{н\text{ит.ПЛ}\Gamma}$ – питомий опір повітряної лінії, $x_{н\text{ит.ПЛ}\Gamma} = 0,35$ Ом/км,

$\ell_{ПЛi}$ – довжина повітряних ліній, $\ell_{ПЛ1} = \ell_{ПЛ2} = 20$ км, $\ell_{ПЛ3} = \ell_{ПЛ4} = 8$ км,

$$x_{ПЛ1}^* = x_{ПЛ2}^* = 0,35 \cdot 20 \cdot \frac{210}{115^2} = 0,111 \text{ в.о.},$$

$$x_{ПЛ3}^* = x_{ПЛ4}^* = 0,35 \cdot 8 \cdot \frac{210}{115^2} = 0,0445 \text{ в.о.}$$

– приведений опір кабельної лінії [18]:

$$x_{КЛ1}^* = x_{num.КЛ1} \cdot \ell_{КЛ1} \cdot \frac{S_6}{U_{6П}^2}, \quad (3.25)$$

де $x_{num.КЛ1}$ – питомий опір кабельної лінії, $x_{num.КЛ1} = 0,95$ Ом/км [18],

$$x_{КЛ1}^* = 0,95 \cdot 1,0 \cdot \frac{200}{10,5^2} = 1,72 \text{ в.о.}$$

Здійснюємо послідовні перетворення – рис. 3.4.

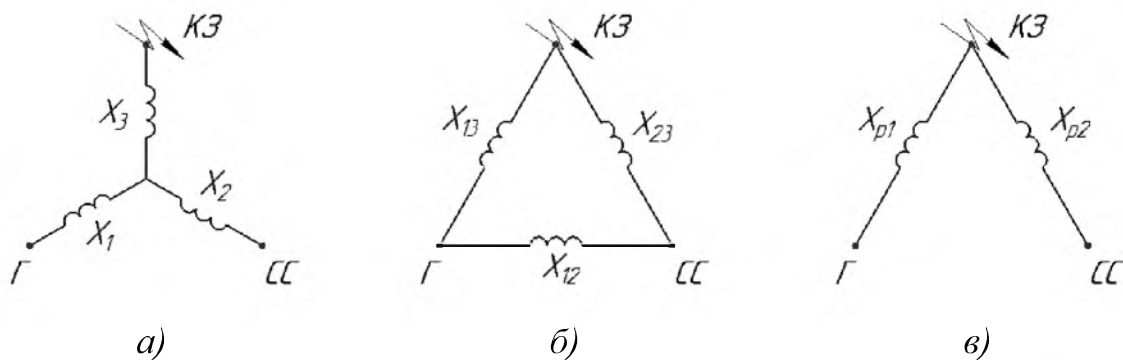


Рисунок 3.4 – Послідовні перетворення схеми заміщення:
 а) «зірка», б) «трикутник», в) «паралельний ланцюг»

Опори схеми на рис. 3.4а:

$$x_1 = x_{6I}^* + x_{T1}^* + x_{KЛ1}^* = 1,55 + 0,769 + 1,72 = 4,04 \text{ в.о.} \quad (3.26)$$

$$x_2 = x_{cc}^* + x_{ПЛ2}^* = 0,192 + 0,111 = 0,303 \text{ в.о.} \quad (3.27)$$

$$x_3 = x_{T2}^* + x_{KЛ1}^* = 2,419 + 1,72 = 4,14 \text{ в.о.} \quad (3.28)$$

Опори схеми на рис. 3.4б:

$$x_{12} = x_1 + x_2 + \frac{x_1 \cdot x_2}{x_3} = 4,04 + 0,303 + \frac{4,04 \cdot 0,303}{4,14} = 4,64 \text{ в.о.} \quad (3.29)$$

$$x_{13} = x_1 + x_3 + \frac{x_1 \cdot x_3}{x_2} = 4,04 + 4,14 + \frac{4,04 \cdot 4,14}{0,303} = 63,38 \text{ в.о.} \quad (3.30)$$

$$x_{23} = x_2 + x_3 + \frac{x_2 \cdot x_3}{x_1} = 0,303 + 4,14 + \frac{0,303 \cdot 4,14}{4,04} = 4,75 \text{ в.о.} \quad (3.31)$$

Опори схеми на рис. 3.4в:

$$x_{p1} = x_{13} \cdot \frac{S_{H1}}{S_6} = 63,38 \cdot \frac{25}{210} = 7,55 \text{ в.о.} \quad (3.32)$$

$$x_{p2} = x_{23} \cdot \frac{S_{H2}}{S_6} = 4,75 \cdot \frac{200}{210} = 4,52 \text{ в.о.} \quad (3.33)$$

Струм трифазного короткого замикання для системи живлення [18]:

$$I_{K3c}^{(3)} = I_{П.0c} = I_{ном} \cdot \frac{E_c}{U_{ном}}. \quad (3.34)$$

де E_c – ЕРС системи, $E_c = 1$ [18].

$$I_{K3c}^{(3)} = I_{П.0c} = 11,55 \cdot \frac{1}{10,5} = 1,1 \text{ кА}$$

Струм трифазного короткого замикання джерела [18]:

$$I_{П.0дж} = I_{ном} \cdot \frac{E_{дж}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.35)$$

де $E_{дж}$ – ЕРС джерела, $E_{дж} = 12$.

$$I_{П.0} = 0,8 \cdot \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,88 \text{ кА}. \quad (3.36)$$

Початкове значення періодичної складової струму короткого замикання [18]:

$$I_{\Sigma П.0} = I_{П.0c} + I_{П.0дж} = 1,1 + 0,88 = 1,98 \text{ кА}$$

Ударний струм [18]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{\Sigma П.0} \quad (3.37)$$

де $k_{y\partial}$ – ударний коефіцієнт, $k_{y\partial} = 1,5$.

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,5 \cdot 1,98 = 4,2 \text{ кА}.$$

3.5 Оптимізація розподілу навантаження між розподільчими пристроями

Для розробки системи автоматичного керування на основі наявних даних необхідно [19]:

- обчислити загальну потужність обладнання для кожного розподільчого пристрою,
- визначити оптимальний розподіл навантаження між розподільчими пристроями,
- розробити алгоритм оптимізації роботи системи автоматичного керування,
- інтегрувати складений алгоритм до системи керування.

Сумарні значення активної і реактивної потужностей для кожного розподільчого пристрою [19]:

$$\text{РП1: } P_{\text{сум1}} = 465 \text{ кВт}, Q_{\text{сум1}} = 474,4 \text{ кВАр.}$$

$$\text{РП2: } P_{\text{сум2}} = 175 \text{ кВт}, Q_{\text{сум2}} = 540,6 \text{ кВАр.}$$

$$\text{РП3: } P_{\text{сум3}} = 150 \text{ кВт}, Q_{\text{сум3}} = 247,8 \text{ кВАр.}$$

$$\text{РП4: } P_{\text{сум4}} = 78 \text{ кВт}, Q_{\text{сум4}} = 44,3 \text{ кВАр.}$$

З метою зменшення втрат потужності та покращення ефективності роботи енергосистеми, необхідно оптимізувати розподіл навантаження між розподільчими пристроями.

Після визначення оптимального розподілу навантаження між розподільчими пристроями, розробимо алгоритм оптимізації, який буде враховувати динамічні зміни навантаження та забезпечувати стабільну роботу енергосистеми. Можна використати штучні нейронні мережі для прогнозування навантаження та керування потужностями розподільчих пристроїв на основі цих прогнозів.

Після розробки алгоритму оптимізації, необхідно інтегрувати його в систему автоматичного керування енергосистемою підприємства. Це можна зробити шляхом розробки програмного забезпечення для контролерів розподільчих пристроїв, яке забезпечить реалізацію алгоритму оптимізації, відстеження поточного стану енергосистеми та внесення корективів в роботу розподільчих пристроїв.

Інтеграція алгоритму оптимізації до системи керування, енергосистеми підприємства дозволить їй працювати більш ефективно, з мінімальними втратами потужності, більш стабільно та з меншим навантаженням на електричну мережу.

На основі розрахованих даних оптимізуємо розподіл навантаження між розподільчими пристроями, для чого розрахуємо загальну середню активну ($P_{сер}$), реактивну ($Q_{сер}$) та повну ($S_{сер}$) потужності для кожного розподільчого пристрою [18]:

$$\text{РП1: } P_{сер1} = 139,5 \text{ кВт}, Q_{сер1} = 142,3 \text{ кВАр}, S_{сер1} = 199,3 \text{ кВА},$$

$$\text{РП2: } P_{сер2} = 31,3 \text{ кВт}, Q_{сер2} = 89,8 \text{ кВАр}, S_{сер2} = 96,3 \text{ кВА},$$

$$\text{РП3: } P_{сер3} = 42,0 \text{ кВт}, Q_{сер3} = 68,0 \text{ кВАр}, S_{сер3} = 80,0 \text{ кВА},$$

$$\text{РП4: } P_{сер4} = 60,6 \text{ кВт}, Q_{сер4} = 33,9 \text{ кВАр}, S_{сер4} = 69,5 \text{ кВА}.$$

Розрахуємо відношення активної потужності до повної потужності для кожного РП [18]:

$$\text{РП1: } k_1 = P_{сер1} / S_{сер1} = 0,70,$$

$$\text{РП2: } k_2 = P_{сер2} / S_{сер2} = 0,32,$$

$$\text{РП3: } k_3 = P_{сер3} / S_{сер3} = 0,53,$$

$$\text{РП4: } k_4 = P_{сер4} / S_{сер4} = 0,87.$$

Для оптимізації розподілу навантаження між розподільчими пристроями потрібно зробити так, щоб коефіцієнти k_1 , k_2 , k_3 , k_4 стали

якогого більш рівними між собою. Це можна зробити шляхом перерозподілу споживачів між розподільчими пристроями.

Одним з можливих варіантів оптимізації є перенесення частини навантаження з РП1 та РП4 на РП2 та РП3. Наприклад, можна перенести один токарний верстат з РП1 до РП2 та один точковий зварювальний верстат з РП4 до РП3. Після цих змін розрахунки середніх потужностей та коефіцієнтів виглядатимуть так:

$$\text{РП1: } P_{\text{сеп1}} = 139,5 - 55 = 84,5 \text{ кВт, } S_{\text{сеп1}} = 199,3 - 55 = 144,3 \text{ кВА,}$$

$$\text{РП2: } P_{\text{сеп2}} = 31,3 + 55 = 86,3 \text{ кВт, } S_{\text{сеп2}} = 96,3 + 55 = 151,3 \text{ кВА,}$$

$$\text{РП3: } P_{\text{сеп3}} = 42,0 + 15 = 57,0 \text{ кВт, } S_{\text{сеп3}} = 80,0 + 15 = 95,0 \text{ кВА,}$$

$$\text{РП4: } P_{\text{сеп4}} = 60,6 - 15 = 45,6 \text{ кВт, } S_{\text{сеп4}} = 69,5 - 15 = 54,5 \text{ кВА.}$$

Тепер розрахуємо нові коефіцієнти:

$$\text{РП1: } k_1 = 0,59,$$

$$\text{РП2: } k_2 = 0,57,$$

$$\text{РП3: } k_3 = 0,60,$$

$$\text{РП4: } k_4 = 0,84.$$

Як видно з нових коефіцієнтів, розподіл навантаження між розподільчими пристроями став більш збалансованим.

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЖИВЛЕННЯ

4.1 Принципи застосування моделей для дослідження електричних систем живлення

З метою аналізу потоків навантаження в енергосистемі можуть бути створені математичні та комп'ютерні моделі. Для здійснення цього необхідно здійснити визначення потоків потужності та рівнів напруги в усталених режимах шляхом застосування різних законів електродинаміки. Для складання моделей можуть бути застосовані різноманітні чисельні методи. Крім того, при складанні математичних моделей можуть бути використані різні змінні, такі як значення активної та реактивної потужності на шинах, величини напруг на шинах та фазні кути, форми напруг, величини потоків активної та реактивної потужності в лініях, а також втрати потужності [20].

Для аналізу несправностей необхідно виконати аналіз впливу різних сценаріїв аварійних ситуацій на стабільність та безпеку роботи системи, використати компоненти струмів і напруг й матриці повного опору.

Крім того, визначними змінними для конструювання моделі можуть бути різноманітні ушкодження: однофазні та багатofазні замикання, порушення роботи у розподільчих пристроях, шинах та/або лініях електропередачі.

Для оцінки стану енергетичної системи можуть бути використані методи роботи з випадковими величинами, у якості яких можуть бути значення вимірюваних величин: величини напруг і струмів, спожитої активної і реактивної потужності, величин втрат та інші.

На основі складеної моделі можна здійснити оптимізацію енергетичної системи шляхом реалізації програмування і застосування доступних евристичних методів для мінімізації значення цільової функції та аналізу наявних порушень, що виникають.

4.2 Будова діагностичної моделі електричного живлення шляхом визначення взаємозв'язків з розробкою алгоритмів

Для здійснення діагностування у системах електричного живлення важливо встановити взаємозв'язки між окремими процесами, що характеризують відмови у енергетичних системах. Будова відповідного алгоритму є найбільш перспективним підходом до розробки методики діагностики в електротехнічних системах. Більшість підходів до здійснення діагностики базуються на створенні діагностичних моделей за неформальними ознаками, які зазначені в технічній документації систем, що розглядаються [21].

При складанні діагностичної моделі необхідно враховувати багато складових, знання про які спирається на високий рівень деталізації об'єкта діагностування. Зокрема, необхідно виокремити типові динамічні ланки, їх значення у ієрархії системи та встановити відповідні функціональні зв'язки. Для складання діагностичних алгоритмів об'єкт піддається поділу на окремі частини з неухильним уявленням про властивості об'єкта діагностування (рис. 4.1).

Для розробки інтелектуальної системи діагностики роботи системи електричного живлення механічної дільниці, можна використати наступні компоненти та методи:

- встановлення інтелектуальних лічильників, що встановлюються на кожному з механізмів для відстеження споживання енергії та потужності в реальному часі,
- встановлення сенсорів стану обладнання: Встановлення сенсорів на обладнанні для моніторингу параметрів, таких як температура, вібрація, напруга та струм,
- застосування бездротових комунікацій для передачі даних від сенсорів та лічильників до центральної обчислювальної системи,



Рисунок 4.1 – Процеси, що реалізуються при здійсненні автоматичної діагностики роботи системи електропостачання

- центральна обчислювальна система, яка реалізує алгоритми аналізу даних для виявлення аномалій, відхилень від нормального режиму роботи, прогнозування зносу обладнання та планування технічного обслуговування,
- візуалізація даних за допомогою створеного інтерфейсу про стан обладнання, споживання енергії та потужності, який допомагає робочому і обслуговуючому персоналу контролювати роботу обладнання,
- система сповіщень, що інформує про виявлені проблеми або планове технічне обслуговування,
- інтеграція інтелектуальної системи діагностики до загальної системи управління для обміну даними та координації дій,

- використання методів машинного навчання для виявлення складних закономірностей та залежностей між даними для виявлення несправностей на ранніх стадіях та оптимізації роботи обладнання,

- аналіз енергоспоживання та оптимізація роботи обладнання з метою зниження енергоспоживання та забезпечення енергоефективності.

Застосування принципів інтелектуальної системи діагностики допоможе підвищити надійність та ефективність роботи системи електричного живлення механічної дільниці, а також знизити енергоспоживання та витрати на обслуговування обладнання.

4.3 Розробка системи автоматичного керування з використанням штучних нейронних мереж

Здійснюємо розробку системи автоматичного керування, яка використовує штучні нейронні мережі для оптимізації роботи енергосистеми. Ця система забезпечить оптимальний розподіл навантаження, а також передбачення зносу обладнання та планування технічного обслуговування.

Для тренування нейронної мережі необхідно здійснити збір статистичних даних про роботу обладнання, їх потужність, коефіцієнти використання, стан обладнання та інші параметри. Крім того, необхідно підготувати дані для здійснення аналізу, нормалізуючи значення та видаляючи аномалії та відхилення.

У якості архітектури нейронної мережі, яка підходить для обробки наявних даних, найкраще підійдуть багатошаровий перцептрон (MLP) або рекурентну нейронну мережу (RNN). Тренування нейронної мережі на основі статистичних даних відбувається з використанням алгоритмів навчання таких як зворотне поширення [22].

Після тренування мережі на навчальному наборі даних необхідно здійснити тестування та валідацію для того, щоб визначити її ефективність та точність у вирішенні поставлених завдань. За необхідності можна також використати техніку оптимізації, що дозволить покращити результати та зменшити перенавчання.

Після підтвердження ефективності та точності роботи нейронної мережі, можна інтегрувати її до системи автоматичного керування енергосистемою. Це означає розробку програмного забезпечення для моніторингу, аналізу та оптимізації роботи обладнання, а також взаємодію з іншими системами керування на підприємстві.

Оскільки система автоматичного керування має працювати в режимі реального часу, необхідно забезпечити постійний моніторинг її роботи, щоб виявляти можливі проблеми та забезпечувати її адаптацію до змін у режимі роботи. Це також може включати періодичне перенавчання нейронної мережі на нових даних, оновлення параметрів алгоритмів керування та внесення змін у програмне забезпечення.

За допомогою системи автоматичного керування можна здійснити аналіз результати роботи обладнання, виявляти аномалії та відхилення від нормального режиму роботи, прогнозувати знос обладнання та планувати технічне обслуговування. Супутнє використання систем та пристроїв захисту та запобіжних пристроїв з високою чутливістю може запобігти розвитку аварійних ситуацій та забезпечити необхідні функції для уникнення помилкового спрацювання.

Для реалізації даних цілей розробимо штучну нейронну мережу (рис. 4.2), що складається з вхідного, прихованого та вихідного шару. Вхідний шар містить 5 вузлів, які представляють вхідні дані. Прихований шар складається з 3 шарів, кожен з яких містить вузли, які взаємодіють з вузлами попереднього шару, тобто кожен вузол прихованого шару має зв'язки з кожним вузлом попереднього шару. Вихідний шар містить 1 вузол, який визначає результат роботи мережі [23].

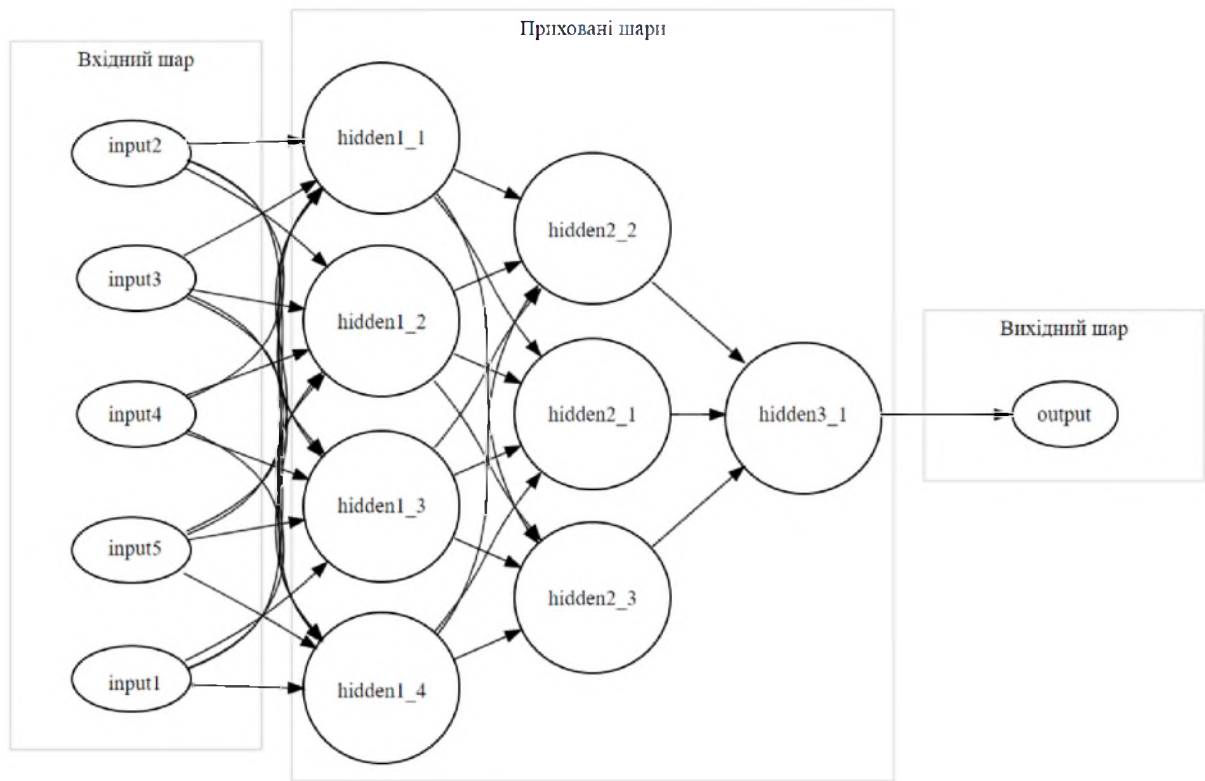


Рисунок 4.2 – Структура штучної нейронної мережі

Кожен нейрон вхідного шару приймає певне вхідне значення і передає його до кожного нейрону першого прихованого шару. Кожен нейрон першого прихованого шару обчислює вагову суму вхідних значень та передає результат до кожного нейрону другого прихованого шару. Аналогічно, кожен нейрон другого прихованого шару передає свій вихідний сигнал до нейрона третього прихованого шару, який у свою чергу передає вихідний сигнал до нейрона вихідного шару.

У кожному нейроні мережі, крім нейронів вхідного шару, є вагові коефіцієнти, які використовуються для обчислення вагової суми вхідних значень. Ці вагові коефіцієнти знаходяться у процесі тренування мережі з використанням зворотного поширення помилки. Мережа використовує функцію активації ReLU для кожного прихованого шару та лінійну функцію активації для вихідного шару. Функція активації використовується для нелінійного перетворення вагової суми вхідних значень у вихідний сигнал нейрону [23].

Метою роботи даної мережі є навчання для передбачення певного вихідного сигналу на основі заданих вхідних значень. Тренування мережі полягає у зміні вагових коефіцієнтів, щоб мінімізувати середньоквадратичну помилку між передбаченими значеннями та вірними значеннями вихідної величини. Після обчислення значень на виході мережі отримуємо прогнозоване значення, яке може бути використано для рішення певної задачі, наприклад, класифікації або регресії.

Для практичної реалізації даної нейронної мережі створимо код, у якому в якості цільової функції візьмемо передбачення розрахункового струму на основі даних про споживання електричної енергії.

Робота даного коду полягає у наступному:

- імпорт необхідні бібліотеки та модулів (numpy, pandas, matplotlib, keras, sklearn),
- об'єднання даних розрахункових табл. 3.3 – 3.5 для створення бази даних (DataFrame),
- нормалізує дані за допомогою MinMaxScaler, який масштабує кожен ознаку у діапазоні від 0 до 1,
- розділяє дані на ознаки (x) та мітки (y), а потім розділяє їх на навчальний та тестовий набори даних за допомогою `train_test_split`,
- створює нейронну мережу за допомогою Keras Sequential моделі з кількома шарами Dense: модель має 3 шари – один вхідний шар з 64 нейронами, один прихований шар з 32 нейронами та один вихідний шар з 1 нейроном. У якості функцій активації для вхідного та прихованого шарів встановлені на «relu», а для вихідного шару – на «linear»,
- компілює модель з функцією втрат mse (середньоквадратична помилка), оптимізатором Adam з швидкістю навчання 0,001 та метрикою «mae» (середня абсолютна помилка),
- тренує модель на навчальному наборі даних за допомогою методу `fit()`; задається 100 епох та розмір пакету – 32,

```

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.optimizers import Adam
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
# Об'єднання таблиць 3, 4 та 5
data = pd.DataFrame({
    'P_sum': [465, 175, 150, 78],
    'Q_sum': [474.4, 540.6, 247.8, 44.3],
    'P_avg': [139.5, 31.3, 42, 60.6],
    'Q_avg': [142.3, 89.8, 68, 33.9],
    'P_max': [293, 66.3, 83.2, 106.1],
    'Q_max': [298.9, 219.7, 127.5, 58.5],
    'target': [635.8, 348.6, 231.2, 184.0]
})
# Підготовка даних: нормалізація та розбиття на навчальний та тестовий набори
scaler = MinMaxScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data)
X = scaled_data[:, :-1]
y = scaled_data[:, -1]
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
# Створення нейронної мережі
model = Sequential()
model.add(Dense(64, input_dim=X_train.shape[1], activation='relu'))
model.add(Dense(32, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='linear'))
# Компіляція та тренування нейронної мережі
model.compile(loss='mse', optimizer=Adam(learning_rate=0.001), metrics=['mae'])
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=32, verbose=1)
# Оцінка результатів
loss, mae = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
print('Mean Absolute Error:', mae)
# Графічна інтерпретація зміни цільової функції
plt.plot(history.history['loss'])
plt.title('Model Loss')
plt.xlabel('Epoch')
plt.ylabel('Loss')
plt.grid(True) # Додавання основних ліній сітки
plt.show()

```

Рисунок 4.3 – Код, що реалізує навчання нейронної мережі для передбачення розрахункового струму [24]

- оцінює результати моделі на тестовому наборі даних за допомогою методу `evaluate()` і виводить значення середньої абсолютної помилки (MAE),
- наводить графічну інтерпретацію зміни цільової функції у залежності від кількості епох обчислень (рис. 4.4).

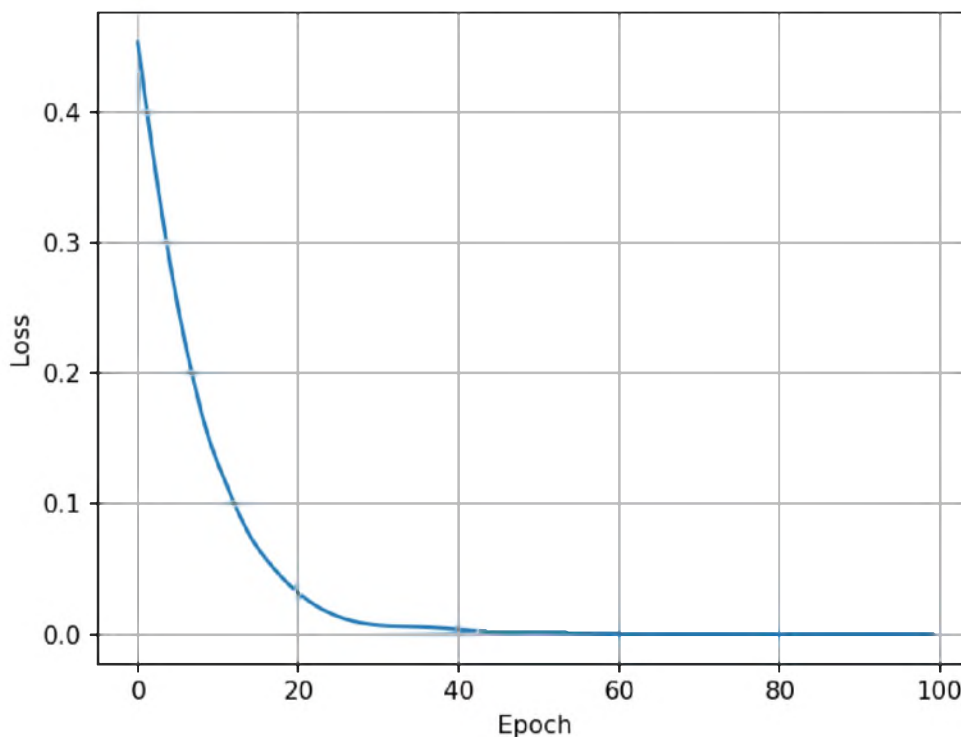


Рисунок 4.4 – Графічна інтерпретація зміни цільової функції зміни цільової функції

- спотворення форми напруги у трифазній мережі при одночасному ввімкненні кількох споживачів (рис. 4.5),
- відновлення форми напруги у трифазній мережі при одночасному вимкненні кількох споживачів (рис. 4.6),
- зміну значення струму при виникненні несправності у трифазній мережі – трифазне замикання (рис. 4.7),
- зміну значення крутного моменту на валу двигуна при виникненні несправності – обрив стрижнів ротора (рис. 4.8).

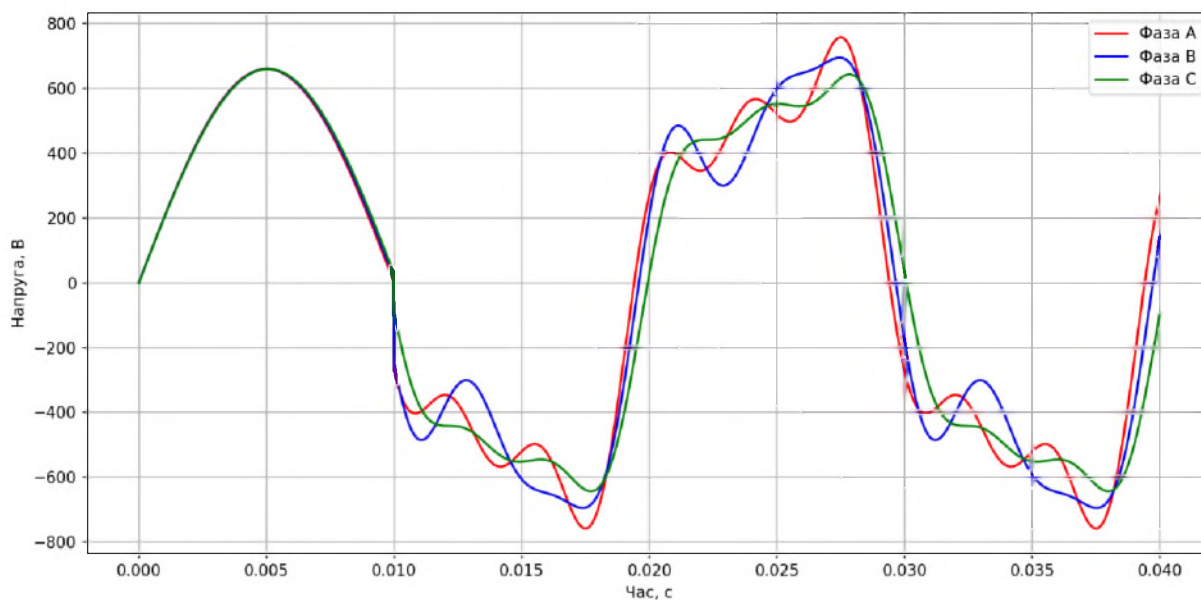


Рисунок 4.5 – Спотворення форми напруги у трифазній мережі при одночасному ввімкненні кількох споживачів

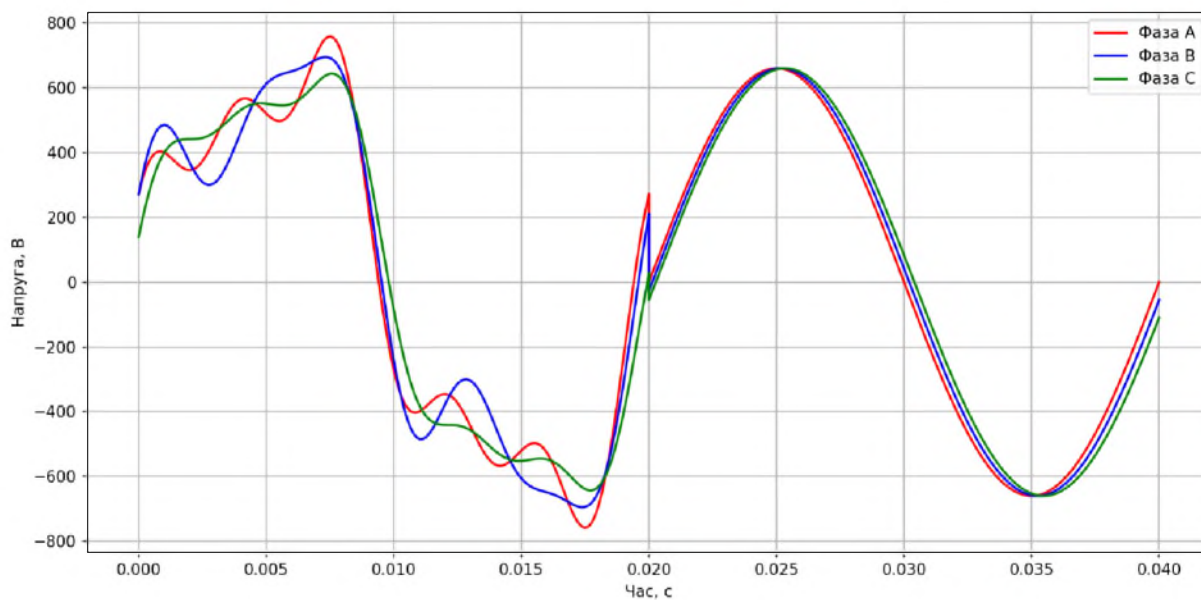


Рисунок 4.6 – Відновлення форми напруги у трифазній мережі при одночасному вимкненні кількох споживачів

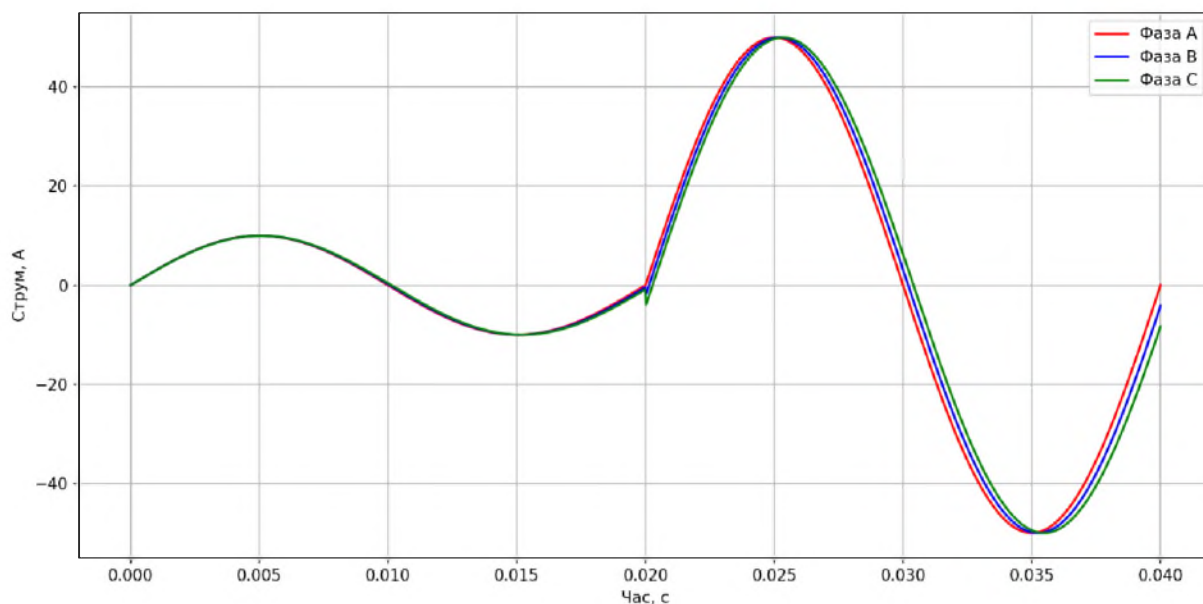


Рисунок 4.7 – Зміна значення струму при виникненні несправності у трифазній мережі – трифазне замикання

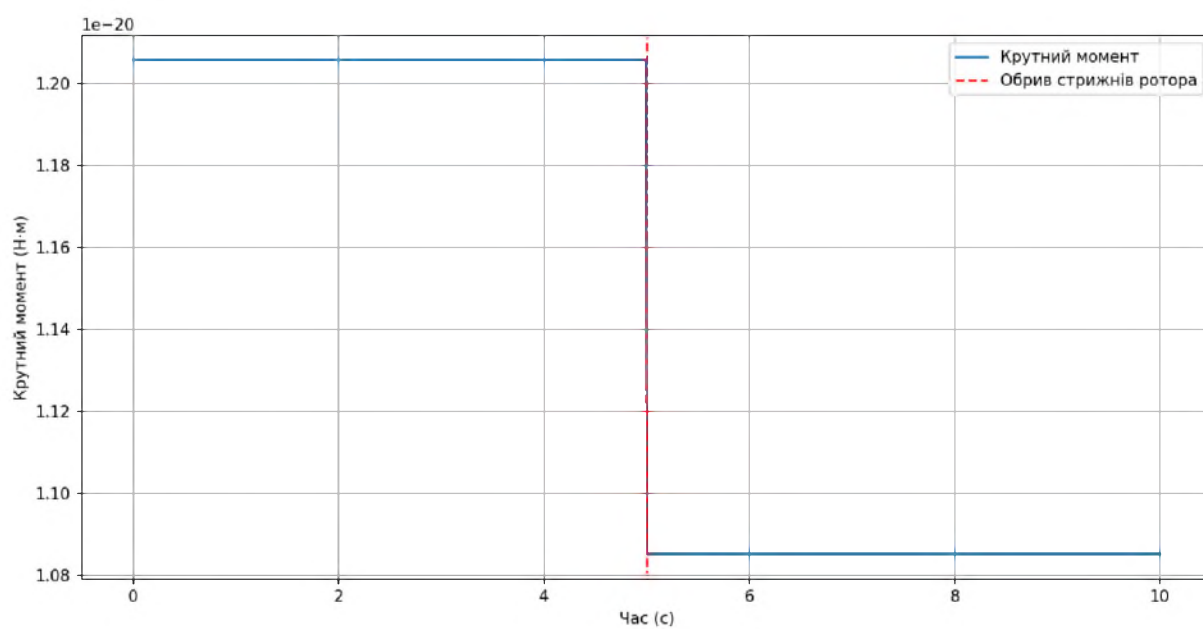


Рисунок 4.8 – Зміна значення крутного моменту на валу двигуна при виникненні несправності – обрив стрижнів ротора

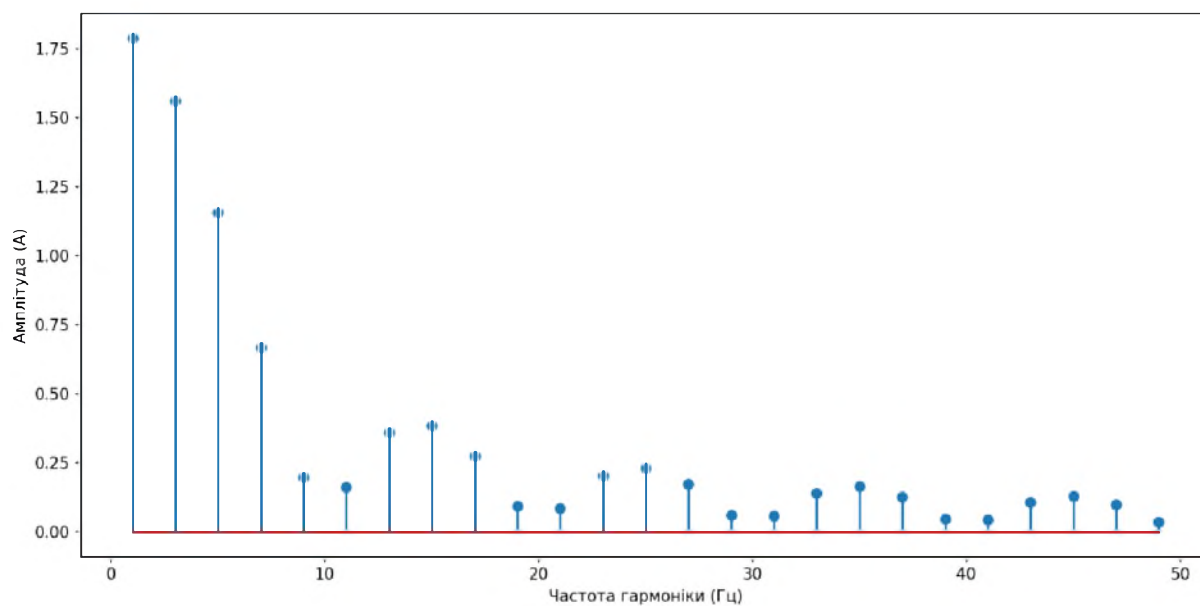


Рисунок 4.9 – Відсотковий розподіл гармонічних складових у трифазній мережі

ВИСНОВКИ

У роботі вирішувалися задачі аналіз роботи споживачів електричної енергії та визначено значення потужностей при їх роботі.

Для здійснення діагностування у системах електричного живлення були встановлені взаємозв'язки між окремими процесами, що характеризують відмови у енергетичних системах. Реалізація принципів інтелектуальної діагностики допомагає підвищувати надійність та ефективність роботи системи електричного живлення ділянки, знизити енергоспоживання та витрати на обслуговування обладнання.

У роботі була створена інтелектуальна система розпізнавання сигналів та розробка штучної нейронної мережі для порівняння вихідних та робочих сигналів, розроблені питання вдосконалення функціонування системи живлення, системи самодіагностики у режимі реального часу.

Застосування штучної нейронної мережі дозволило реалізувати принципи автоматичного управління енергоспоживання шляхом врахування нелінійних зв'язків і можливостям нейронних мереж до навчання, відстеження розрахункових показників та розпізнавання наявних закономірностей.

За допомогою програмного середовища Phyton було проведено аналіз наявних даних і проведено моделювання. Результати моделювання показали дозволили отримати графічну інтерпретацію зміни цільової функції у залежності від кількості епох обчислень з одночасним підвищенням точності розрахунків.

Розроблена модель визначає потенційні несправності за допомогою зміни різних діагностичних параметрів. При цьому параметр роботи є джерелом наявної несправності й впливає на форму результуючих графіків (напруги, струму, крутного моменту та інших). Модель визначає місце, тип та ступінь впливу тієї чи іншої несправності на роботу системи.

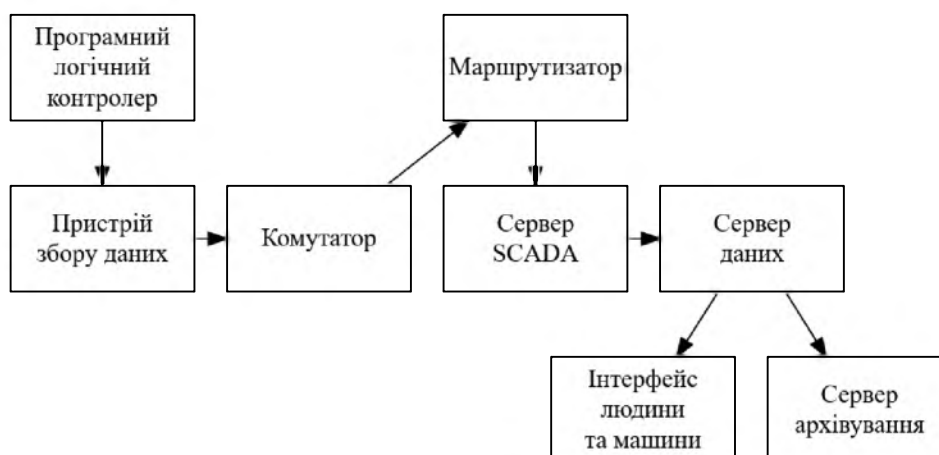
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лета, О.О. Ситник А.В. Чернявський, Г.В. Курбаса. – Черкаси, 2005. – 299 с.
2. Інтелектуальні системи керування потоками електроенергії у локальних об'єктах / О.В. Кириленко, Ю.С. Петергеря, Т.О. Терещенко, В.Я. Жуйков. – К.: Медіа ПРЕС, 2005. - 212 с.
3. Проблеми загальної енергетики: наук. зб. № 2 / ред.: М.М. Кулик; Ін-т заг. енергетики НАН України. – Київ, 2000. – 76 с.
4. Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах. Навчальний посібник / К.: Ліра-К, 2011. – 552 с.
5. Eller L, Siafara LC, Sauter T (2018) Adaptive control for building energy management using reinforcement learning. In 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). IEEE, p.p. 1562–1567.
6. Mansouri SA, Ahmarinejad A, Nematbakhsh E, Javadi MS, Nezhad AE, Catalão JP (2022) A sustainable framework for multi-microgrids energy management in automated distribution network by considering smart homes and high penetration of renewable energy resources.
7. Coffey, K., Smith, R., Maglaras, L., Janicke, H.: Vulnerability analysis of network scanning on SCADA systems. Secur. Commun. Netw. (2018).
8. Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments. – European Union, 2011. – 118 p.
9. Smart Power Grids – Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.

10. B. B. Alagoz, A. Kaygusuz and A. Karabiber, "A user-mode distributed energy management architecture for smart grid applications", *Energy*, vol. 44, no. 1, pp. 167177, Aug. 2012.
11. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future [Text] / Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
12. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – К. : Видавництво Ліра-К, 2015. – 378 с.
13. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія / А.П. Ладанюк, Н.А. Засць, Л.О. Власенко. – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.
14. Праховник А. В. Концептуальні положення побудови АСКОВ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України / А. В. Праховник, О. В. Коцар // *Енергетика та електрифікація*. – 2009. – № 2. – С. 45-50.
15. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.
16. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: Мінрегіон, 2016. – 79 с.
17. Бурбело М.П. Розрахунок внутрішнього електропостачання. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2017. – 123 с.
18. Бурбело М.П., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2011. – 204 с.
19. Гриб О.Г., Ерохин А.Л., Сендерович Г.А., Старков К.А. Проектирование систем электроснабжения. Харків: Харківська державна академія міського господарства, 2002. – 185 с.

20. Береза А.М. Основи створення інформаційних систем: Навч. посібник / А.М. Береза. – К.: КНЕУ, 2001. – 205 с.
21. Кутін В.М. Діагностика електрообладнання: навчальний посібник / В. М. Кутін, М.О. Ілюхін, М.В. Кутіна. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 161 с.
22. Кононюк А.Ю. Нейроні мережі і генетичні алгоритми / А.Ю.Кононюк. – К.: Корнійчук. 2008. – 446 с.
23. H Mori. State of the Art Overview on Artificial Neural Networks in Power Systems. in MA El-Shrkawi and D Niebur (editors), Applications of Artificial Neural Networks in Power Systems, IEEE Engineering Society, 1996, pp 51-70.
24. Python Basics: A Practical Introduction to Python 3. Revised and Updated 4th Edition. David Amos, Dan Bader, Joanna Jablonski, Fletcher Heisler, 2012 – 2020, 98 p.
25. Правила безопасной эксплуатации энергоустановок. – Киев, 1998. – 142 с.

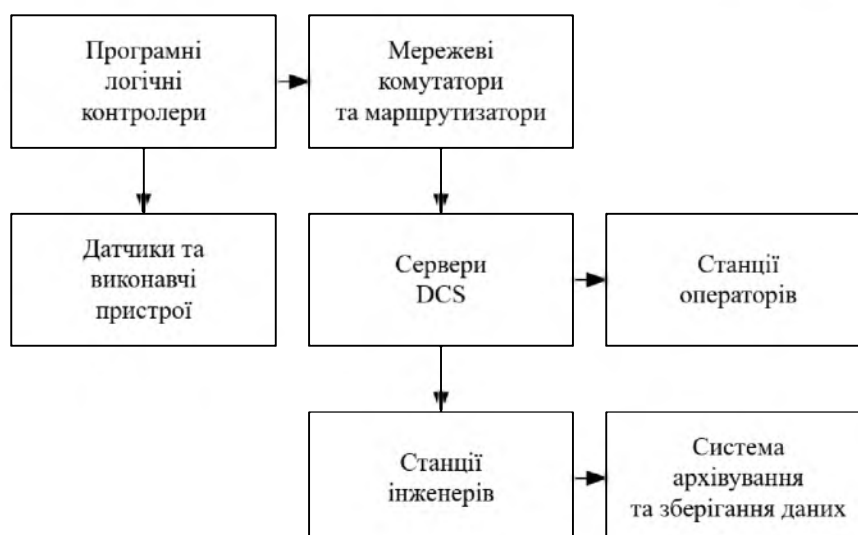
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА



Функціональні залежності у автоматизованій системи SCADA



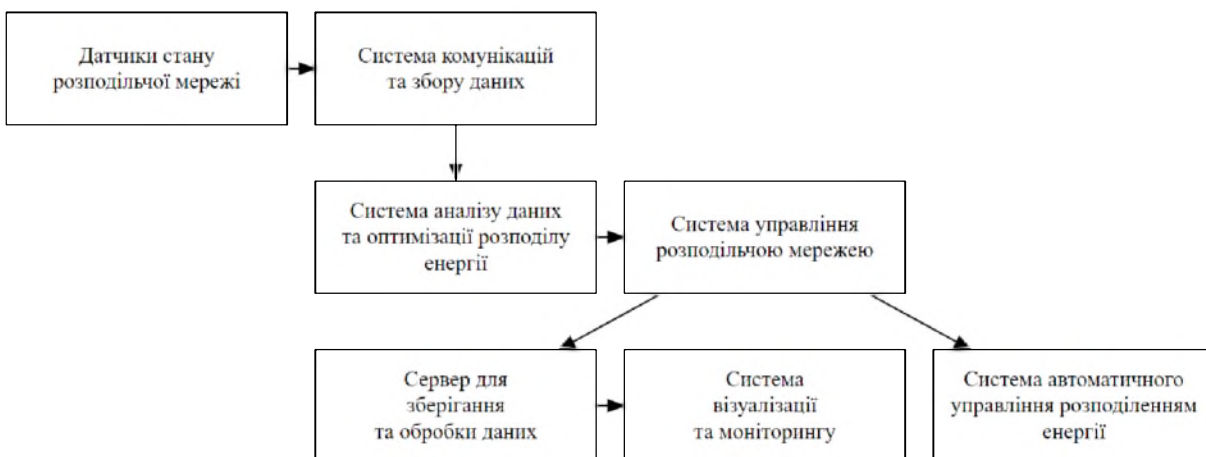
Функціональні залежності у автоматизованій системи EMS



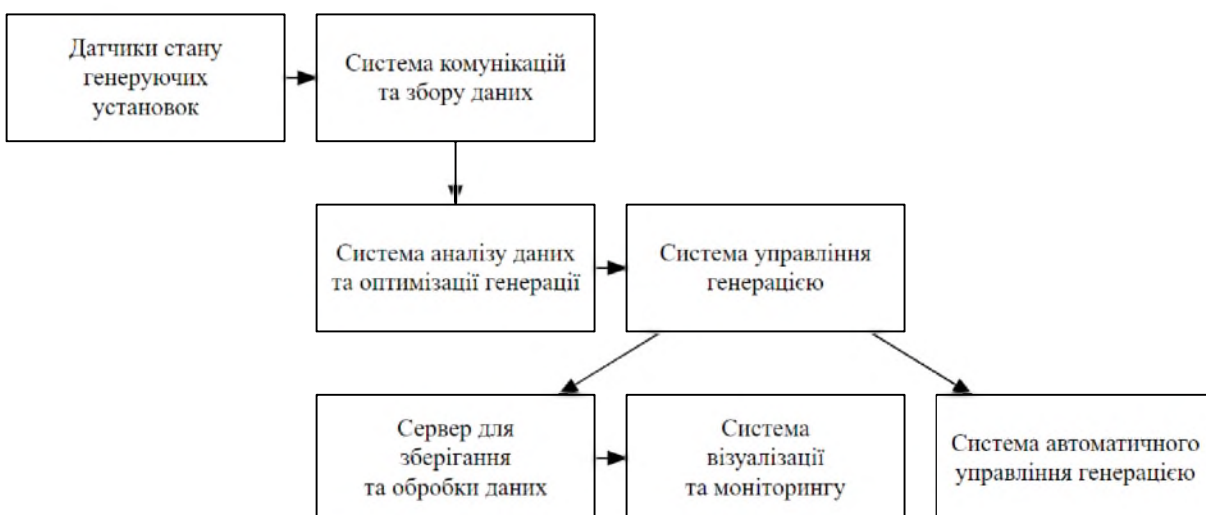
Функціональні залежності у системи розподіленого управління DCS



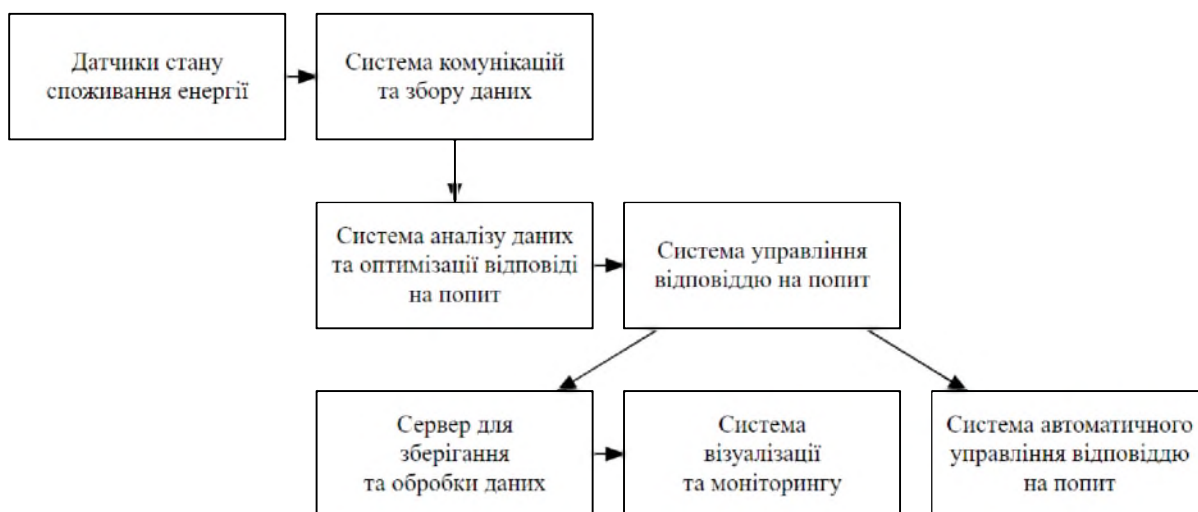
Функціональні залежності у системі управління розподіленими енергетичними ресурсами DERMS



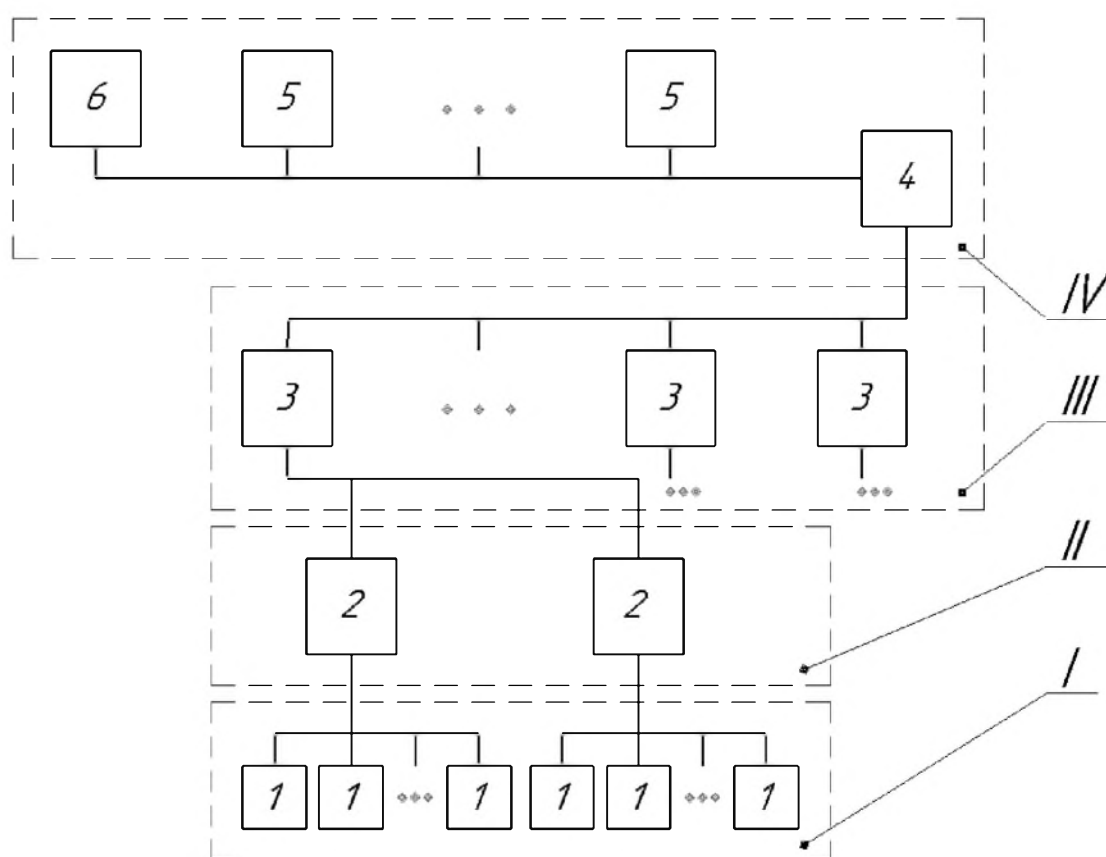
Функціональні залежності в удосконаленій системі управління розподілом ADMS



Функціональні залежності в системі управління генерацією (GMS)



Функціональні залежності в системі управління попитом (GMS)



1 – лічильники, 2 – пристрої збору та передачі даних, 3 – оперативні пункти керування, 4 – маршрутизатор, 5 – автоматизоване робоче місце, 6 – база даних; I – вимірювальний рівень, II – контрольний рівень, III – оперативний рівень, IV – вищий рівень

Структура інформаційно-вимірювального комплексу

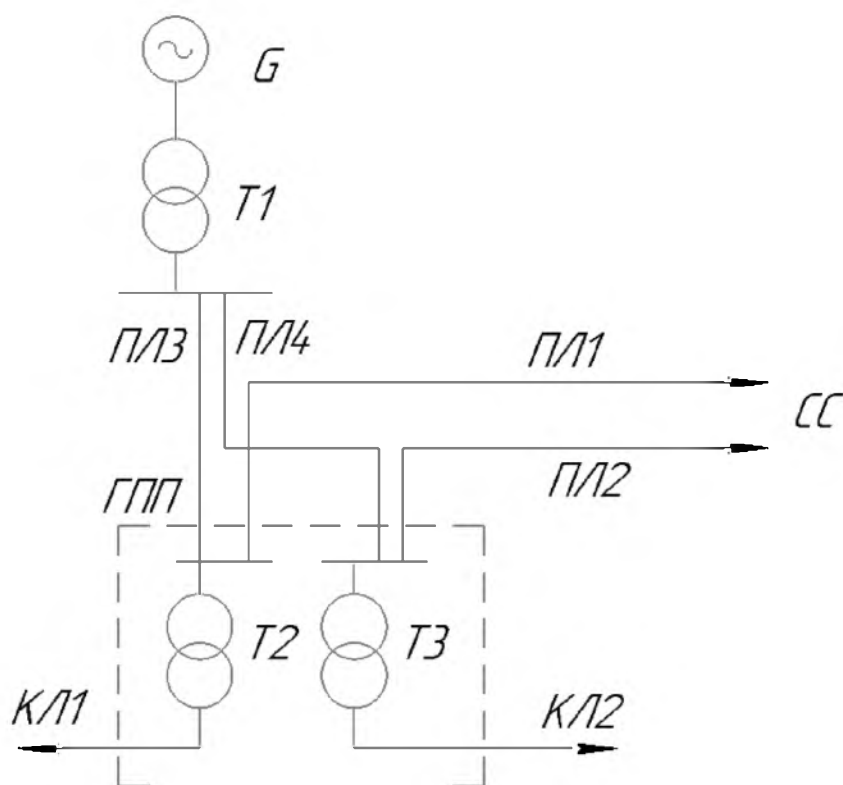
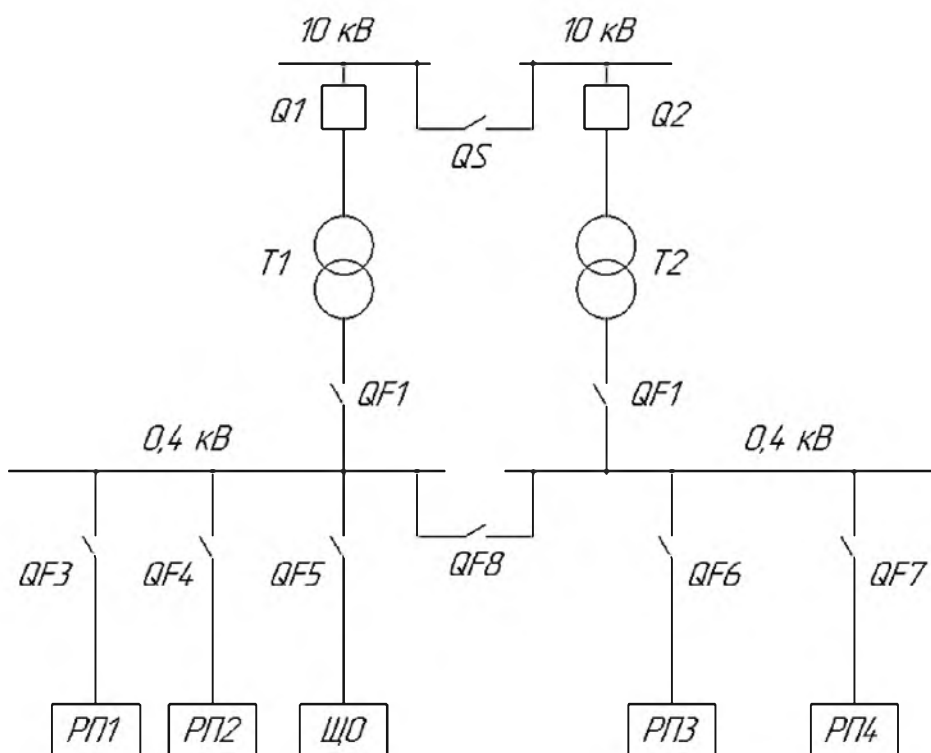
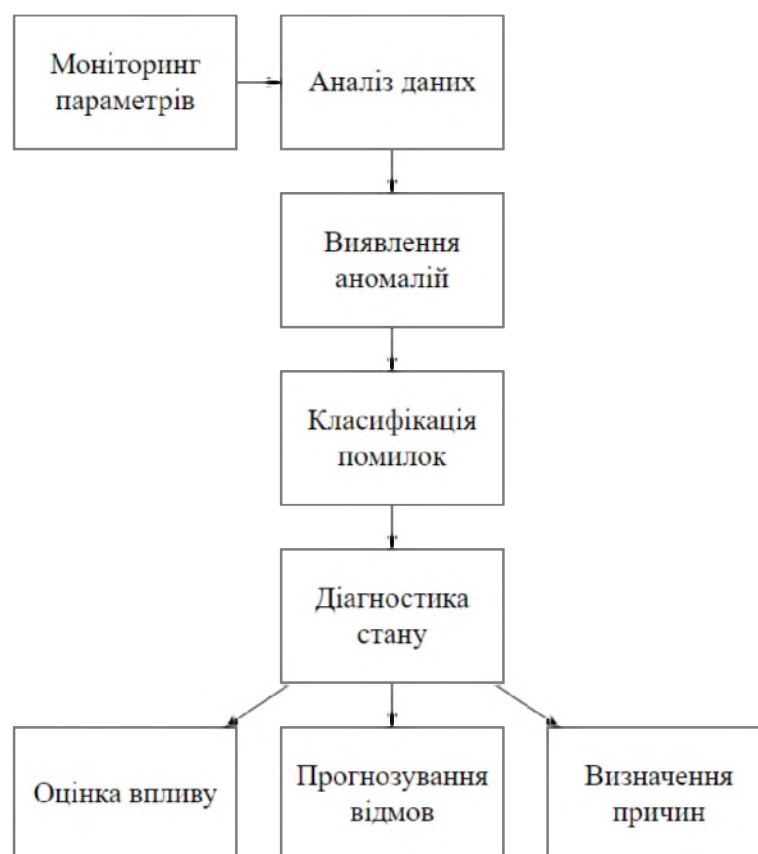


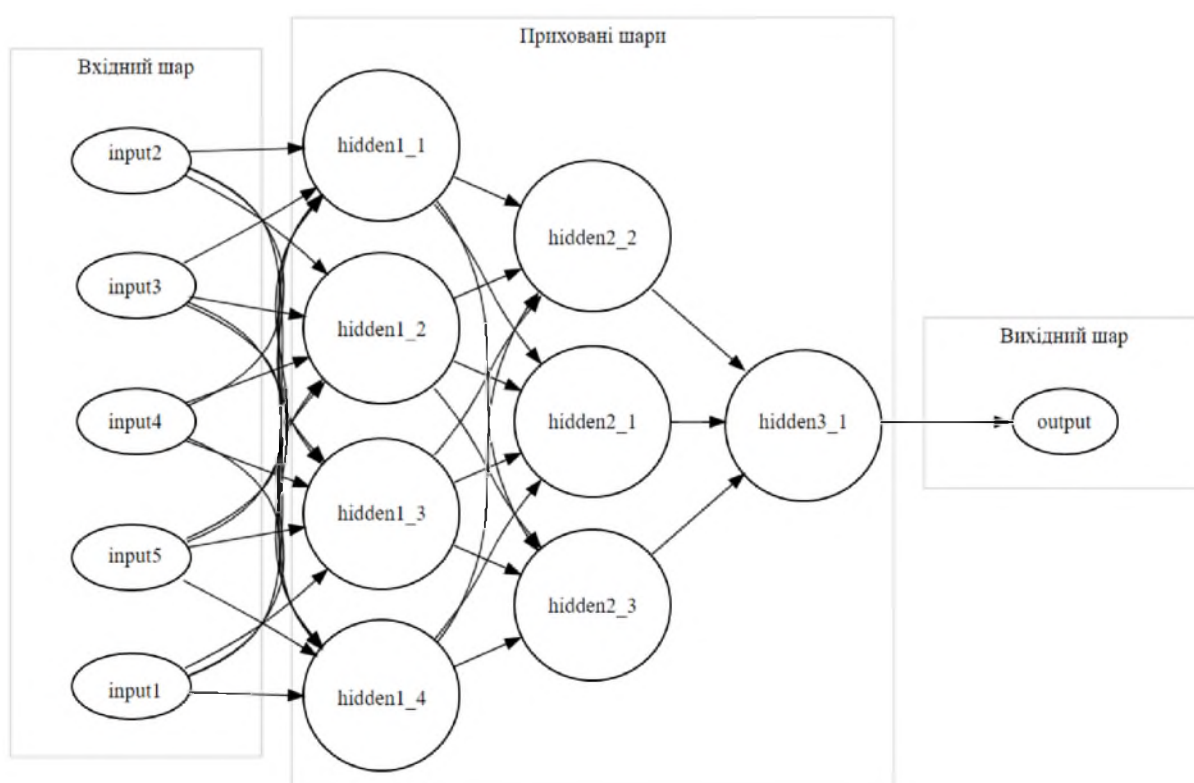
Схема електропостачання підприємства з механічної обробки: G – генератор, T1 – трансформатор ТДН-25000/110, T2, T3 – трансформатори ТМ-6300/110, ПЛ1, ПЛ2 – повітряні лінії довжиною 20 км, ПЛ3, ПЛ4 – повітряні лінії довжиною 8 км, КЛ1, КЛ2 – кабельні лінії довжиною 1,0 км, CC – система споживачів



Розроблена схема електропостачання підприємства



Процеси, що реалізуються при здійсненні автоматичної діагностики роботи системи електропостачання



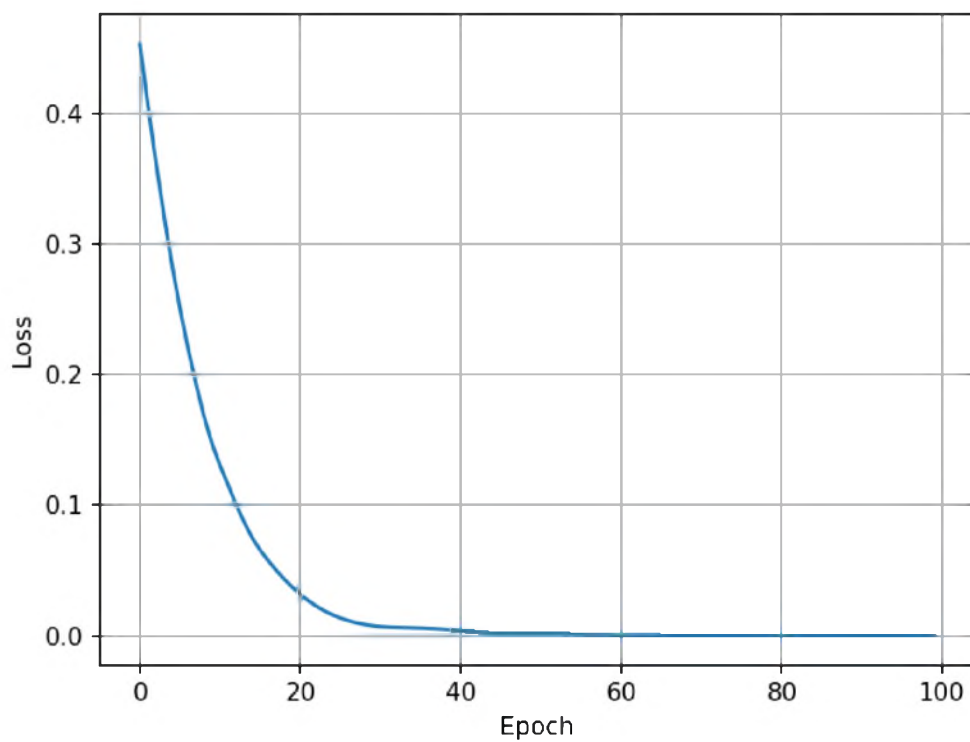
Структура штучної нейронної мережі

```

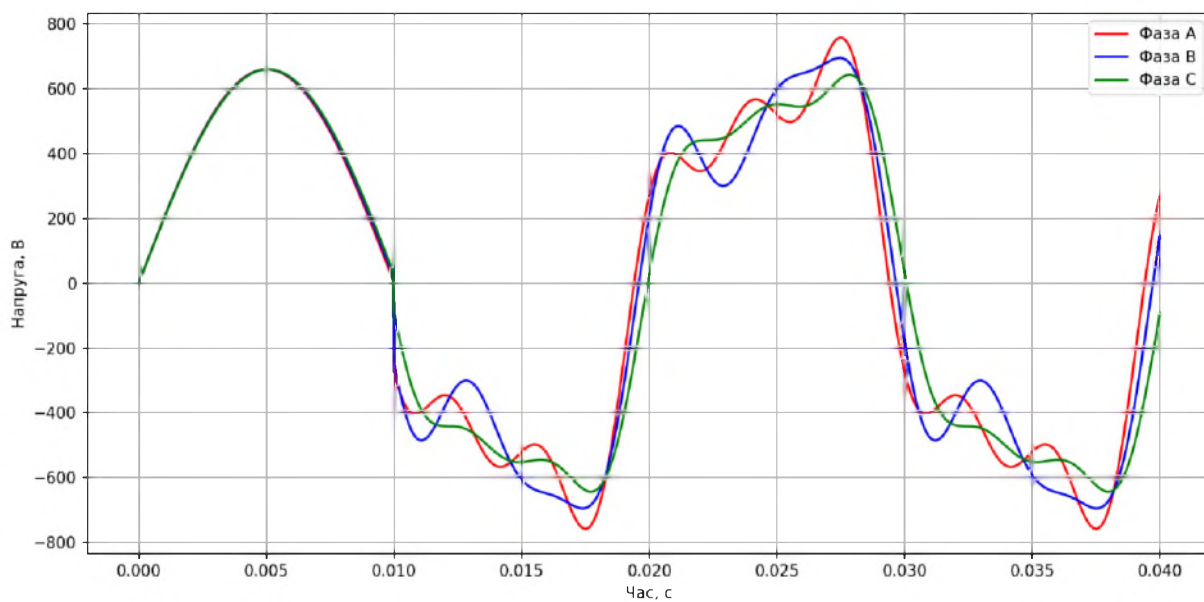
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.optimizers import Adam
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
# Об'єднання таблиць 3, 4 та 5
data = pd.DataFrame({
    'P_sum': [465, 175, 150, 78],
    'Q_sum': [474.4, 540.6, 247.8, 44.3],
    'P_avg': [139.5, 31.3, 42, 60.6],
    'Q_avg': [142.3, 89.8, 68, 33.9],
    'P_max': [293, 66.3, 83.2, 106.1],
    'Q_max': [298.9, 219.7, 127.5, 58.5],
    'target': [635.8, 348.6, 231.2, 184.0]
})
# Підготовка даних: нормалізація та розбиття на навчальний та тестовий набори
scaler = MinMaxScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data)
X = scaled_data[:, :-1]
y = scaled_data[:, -1]
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
# Створення нейронної мережі
model = Sequential()
model.add(Dense(64, input_dim=X_train.shape[1], activation='relu'))
model.add(Dense(32, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='linear'))
# Компіляція та тренування нейронної мережі
model.compile(loss='mse', optimizer=Adam(learning_rate=0.001), metrics=['mae'])
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=32, verbose=1)
# Оцінка результатів
loss, mae = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
print('Mean Absolute Error:', mae)
# Графічна інтерпретація зміни цільової функції
plt.plot(history.history['loss'])
plt.title('Model Loss')
plt.xlabel('Epoch')
plt.ylabel('Loss')
plt.grid(True) # Додавання основних ліній сітки
plt.show()

```

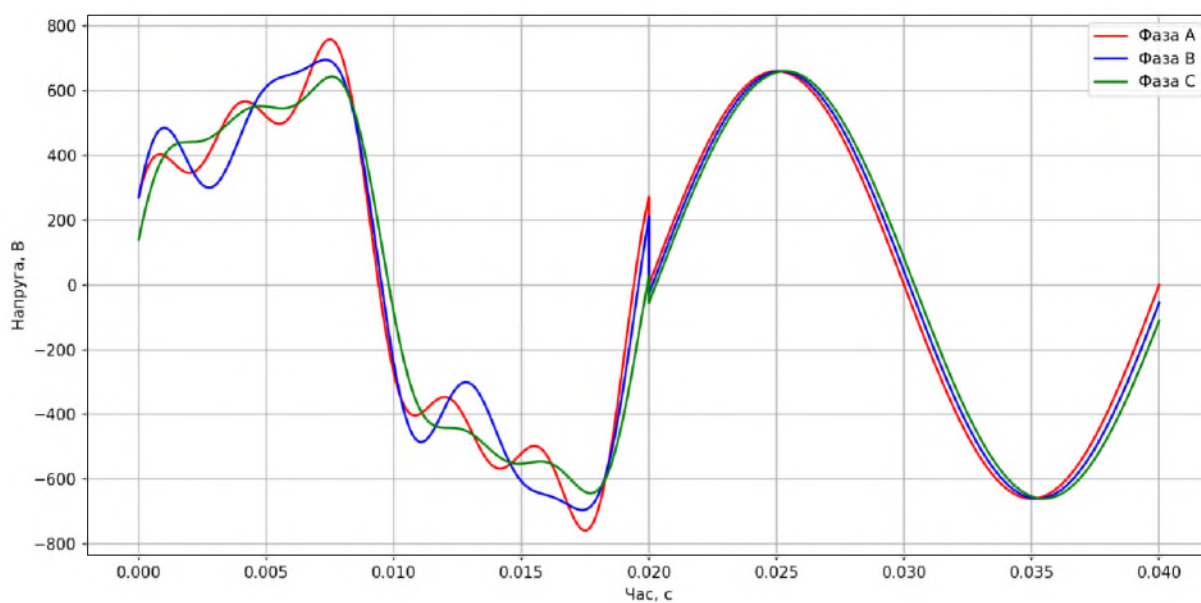
Код, що реалізує навчання нейронної мережі для передбачення
розрахункового струму



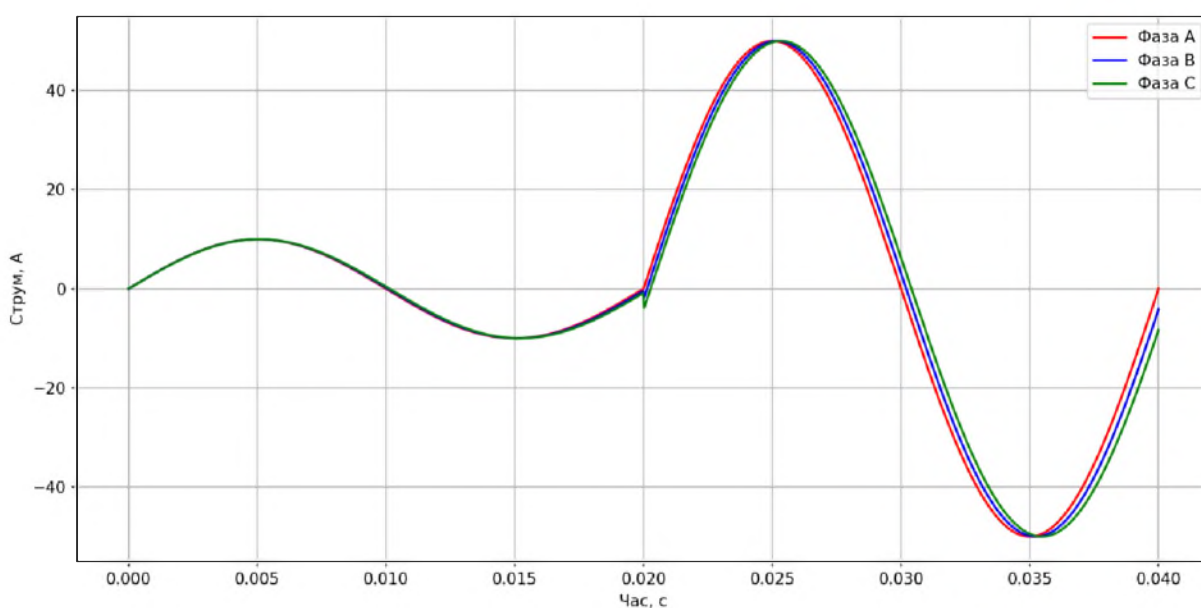
Графічна інтерпретація зміни цільової функції



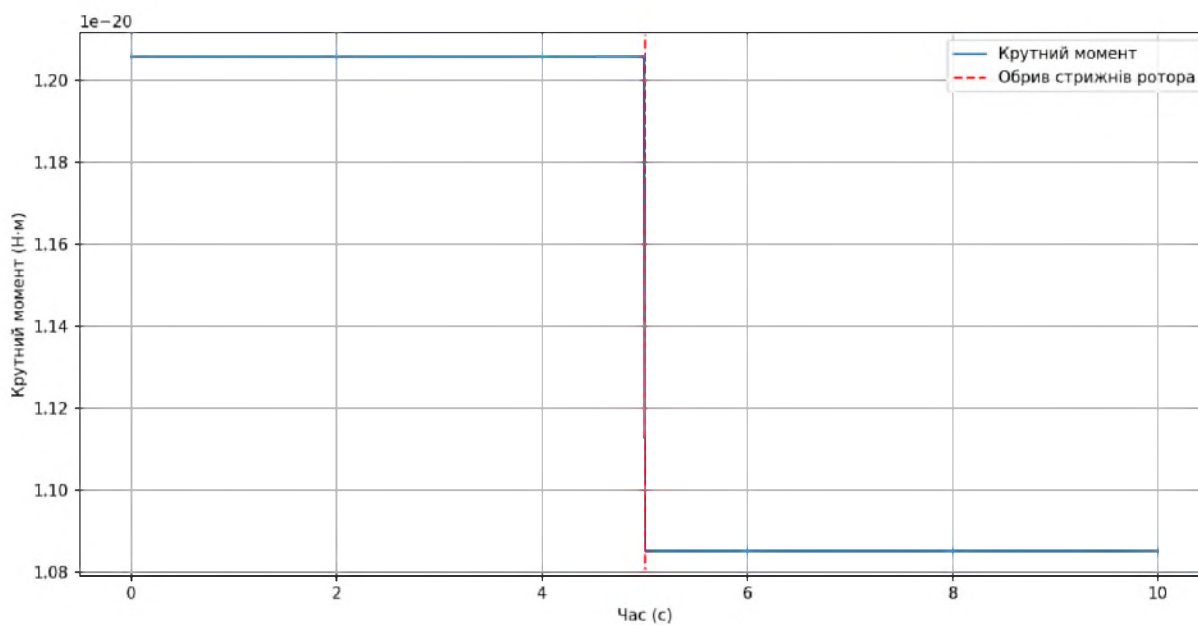
Спотворення форми напруги у трифазній мережі при одночасному ввімкненні кількох споживачів



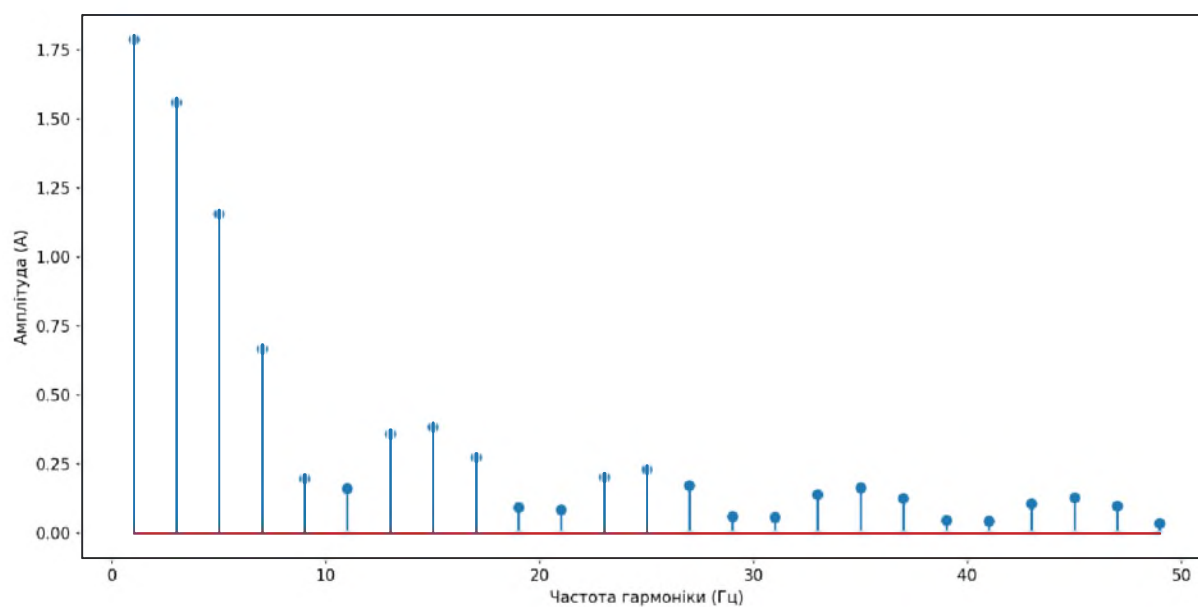
Відновлення форми напруги у трифазній мережі при одночасному вимкненні кількох споживачів



Зміна значення струму при виникненні несправності у трифазній мережі – трифазнє замикання



Зміна значення крутного моменту на валу двигуна при виникненні несправності – обрив стрижнів ротора



ДОДАТОК Б.

ОГЛЯД ПИТАНЬ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

Охорона праці є однією з найважливіших складових підприємницької діяльності, яка спрямована на забезпечення безпеки працівників на робочому місці. У разі експлуатації електроспоживачів механообробної дільниці, забезпечення безпеки має особливе значення, оскільки стаціонарні та портативні електроприлади можуть бути джерелом пожеж, викидів, ураження електричним струмом, травм від обладнання тощо.

В Україні існує цілий ряд стандартів і нормативно-правових документів, які регулюють питання безпеки праці на механообробній дільниці. До них належать, зокрема, Закон України "Про охорону праці", Державні будівельні норми України, Правила електротехнічної безпеки, Правила користування портативними електроприладами та інші.

Дотримання вимог цих нормативних документів має на меті забезпечення безпеки праці на механообробній дільниці та запобігання небезпечним ситуаціям. Вимоги до електроустановок включають, зокрема, правила встановлення, експлуатації та ремонту електрообладнання, вимоги до електроприладів та їхньої маркування.

Б.1 Аналіз можливих небезпечних ситуацій та заходів з їх запобігання.

Один з найважливіших етапів підготовки до роботи з електроспоживачами механообробної дільниці – це аналіз можливих небезпечних ситуацій та заходів з їх запобігання. Для цього необхідно

визначити потенційні небезпеки, які можуть виникнути під час роботи з електроспоживачами та уточнити їх можливі наслідки для здоров'я та життя працівників. При аналізі можливих небезпечних ситуацій необхідно враховувати різні фактори, такі як електромагнітні поля, пожежну безпеку, захист від ураження електричним струмом, захист від шуму та вібрації, безпеку праці з пневматичним та гідравлічним обладнанням тощо. Для кожного з них необхідно визначити ризики та встановити заходи з їх запобігання.

Заходи з запобігання небезпечним ситуаціям можуть бути різними, в залежності від конкретної ситуації. Наприклад, для забезпечення безпеки праці з електроприладами механообробної ділянки можна застосовувати такі заходи як:

- регулярна перевірка стану електроустановок та електроприладів;
- встановлення автоматичних пристроїв захисту від перевантажень, короткого замикання тощо;
- використання заземлення та захисного затискувача;
- організація ізолюваного робочого місця для працівників;
- використання засобів індивідуального захисту.

Б.2 Санітарно-гігієнічні умови

Виробничі об'єкти можуть проектуватися лише після погодження з Міністерством екології та біоресурсів, архітектурного та санітарного нагляду, передбачених територіальною комплексною схемою охорони природи.

Площі виробничих об'єктів слід розміщувати з підвітряного боку. Усі виробничі об'єкти повинні мати санітарно-захисну зону розміри, які

приймаються на підставі розрахунків за методиками Державного комітету природи та відповідно до класифікації виробничих об'єктів та споруд.

Розміри захисних зон для підприємств, будівель та споруд, в яких проектується роботи із застосуванням фізичних факторів: радіоактивних речовин, електромагнітних хвиль, джерела шуму, вібрації тощо. - встановлюються індивідуально відповідно до санітарних правил роботи із зазначеними факторами. Території захисних зон мають бути впорядковані та озеленені. На випадок аварії, на території об'єктів має передбачатися розміщення засобів пожежогасіння, засобів знезаражування обробки постраждалих та території самого пошкодженого об'єкта.

На території промислового об'єкта мають виділятися функціональні зони: виробнича, адміністративно-господарська, транспортно-складська та допоміжних об'єктів. На об'єктах, що використовують шкідливі речовини, слід відокремлювати адміністративно-господарські та допоміжні зони від виробничої та транспортно-складської, розривами.

У проектах виробничих будівель та споруд питома площа, яка приходить на одного на одного робітника, повинна становити не менше 4,5 м.

Праця людини завжди протікає в певних умовах, у виробничих приміщеннях або поза нею, на постійному або постійному робочому місці і т.д. Виробниче приміщення – це замкнутий простір у спеціально призначених будівлях та спорудах, в яких постійно або періодично здійснюється діяльність людей, пов'язана з участю у різних видах виробництва, в організації, контролі та управлінні виробництвом, а також за участю у позавиробничих видах праці на підприємствах транспорту, зв'язку тощо. На підприємствах виробнича діяльність яких пов'язана із шкідливими речовинами, мають бути розроблені нормативно-технічні документи щодо безпеки праці на підприємстві, застосування шкідливих речовин, а також виконані комплекси організаційно-технічних та медико-біологічних заходів.

Заходи щодо забезпечення безпеки праці при контакті зі шкідливими речовинами повинні передбачати: заміну шкідливих речовин у виробництві менш шкідливими, сухих способів переробки матеріалів, що порошать мокрими; випуск кінцевих продуктів у не пилячих формах; заміну полум'яного нагрівання електричним; твердого та рідкого палива - газоподібного; обмеження вмісту домішок шкідливих речовин у вихідних та кінцевих продуктах, застосування прогресивної технології виробництва, що виключає контакт людини зі шкідливими речовинами; вибір відповідного виробничого обладнання та комунікацій, що не допускає виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони у кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації при нормальному веденні технологічного процесу, а також правильну експлуатацію санітарно-технічного обладнання та пристроїв.

Б.3 Освітлення робочих місць

Одним із найважливіших елементів сприятливих умов праці є раціональне освітлення приміщень та робочих місць. При правильному висвітленні підвищується продуктивність праці, покращуються умови безпеки, знижується втома. При поганому освітленні робітник погано бачить навколишні предмети та погано орієнтується у виробничій обстановці. Успішне виконання робочих операцій вимагає від нього додаткових зусиль та зорової напруги. Неправильне та недостатнє освітлення може призвести до небезпечної ситуації. Найкращі умови для повного зорового сприйняття створює сонячне світло.

Виробничі будівлі, як правило, вдень висвітлюються природним світлом. Заміна його штучним світлом допускається у приміщеннях, де сонячне світло негативно впливає на технологічний процес, у

приміщеннях, де не потрібна постійна присутність робітників; у складах, розташованих нижче горизонту землі та ін.

Природне сонячне світло характеризується великою інтенсивністю, рівномірністю освітлення, відносно невисокою середньою яскравістю на одиницю площі, зміна освітленості протягом доби, а також залежно від пори року та географічного розташування місцевості.

Штучне освітлення може бути загальним (все виробниче освітлення висвітлюються однотипними світильниками однакової потужності), комбінованим (до загального освітлення додається місцеве освітлення робочих місць). Застосування одного місцевого освітлення неприпустимо, оскільки різкий контраст між яскраво освітленими і неосвітленими місцями стомлює очі, уповільнюють процес роботи, і може спричинити нещасні випадки та аварії.

У сучасних багатоповерхових одноповерхових будинках з бічним склінням у денний час доби застосовують одночасно природне та штучне освітлення. Важливо, щоб обидва види освітлення гармонували одне з одним. Для штучного освітлення у разі доцільніше використовувати люмінесцентні лампи.

Лампи розжарювання є найпоширенішими джерелами світла побутових та виробничих приміщень, що пояснюється їх перевагами: вони прості у виготовленні, зручні в експлуатації, не потребують додаткових пристроїв для включення до мережі. Недоліком є мала потужність світла, при великій яскравості нитки розжарення, низький ККД рівний 10-13%, термін служби 800 - 1000 год. квітів навколишніх предметів.

Люмінесцентні лампи дозволяє у виробничих та інших приміщеннях створити штучне світло, що наближається до природного освітлення. Вони в порівнянні з іншими лампами економічні та сприятливі з гігієнічної точки зору. Переваги їх у високій світловій передачі, вони в 2,5 – 3 рази економічніші за лампи розжарювання. Термін їх служби становить 5000 год. Світіння відбувається з усієї поверхні трубки, а отже, яскравість і

сліпуча дія люмінесцентних ламп значно нижча від ламп розжарювання. Низька температура поверхні колби робить лампу відносно пожежобезпечною. Недоліки: пульсація світлопотoku, що викликає стробоскопічний ефект; дорога та відносна складність включення схеми; чутливість до коливань температури.

При використанні газорозрядних ламп повинен бути встановлений порядок утилізації ламп з ртутним наповнювачем, що вийшли з ладу, і передбачено місце та наявність засобів їх утилізації.

Аварійне освітлення призначене для забезпечення освітленості виробничого приміщення у разі відключення робочого освітлення. Воно має бути достатнім для безпечного виходу людей з приміщень та продовження роботи у приміщеннях та на відкритих просторах у тих випадках, коли відключення робочого освітлення може спричинити пожежу, вибух, отруєння газами, розлад технологічного процесу, порушення роботи найважливіших об'єктів, таких як водопостачання електростанцій, вузли радіопередачі тощо.

Найменша освітленість робочих поверхонь при аварійному режимі повинна становити не менше 2 лк усередині будівель і не менше 1 лк на відкритих майданчиках. Аварійне освітлення має освітленість для евакуації людей лініями основних проходів і сходах щонайменше 0,5 лк.

Світильники аварійного освітлення повинні бути приєднані до мережі, яка не залежить від мережі робочого освітлення; допускається живлення від робочого освітлення з автоматичним перемиканням на незалежне джерело живлення. Світильники аварійного освітлення повинні освітлюватись від світильників робочого освітлення типом, розміром або мати спеціальні знаки.

Для аварійного освітлення дозволяється використовувати лампи розжарювання, так і люмінесцентні лампи. Застосування ламп типів ДРЛ, ДРІ та ксенонових для цих цілей забороняється.

Б.4 Захист від дії електромагнітних полів

Електромагнітне поле складається з електричного поля, обумовленого напругою на струмоведучих частинах електроустановок, і магнітного, що виникає при проходженні струму по цих частинах. Хвилі електромагнітного поля поширюються великі відстані.

У промисловості джерелами електромагнітних полів є електроустановки, що працюють на змінному струмі від 10 до 10⁶ Гц; прилади автоматики, електроустановки із промисловою частотою 50-60 Гц.

Електромагнітне поле має на людину біологічний вплив, а також може бути причиною іскрових розрядів між людиною та металевими предметами.

Біологічна дія електромагнітних полів на людину проявляється у розвитку гальмівних процесів центральної нервової системи, що супроводжується головними болями, млявістю, сонливістю, швидкою стомлюваністю. Спостерігається також зміна функціонування серцево-судинної системи: змінюється тиск, частішає пульс. Однак ці явища не стійкі і зникають після відпочинку поза електромагнітним полем. Вплив електромагнітного поля пояснюється явищем поляризації, і навіть через тіло людини протікає струм, викликаний ємнісними зв'язками струмопровідних частин із землею. Найбільш небезпечним для людини є електромагнітні поля високих та надвисоких частот.

Критерієм оцінки ступеня впливу людини електромагнітних полів може бути кількість електромагнітної енергії, поглиненої під час перебування у електромагнітному полі. Величина поглинається людиною енергії залежить від квадрата сили струму, що протікає через його тіло, часу перебування в електричному полі та провідності тканин людини.

Захисні заходи від дії електромагнітних полів зводяться в основному до застосування захисного екранування, дистанційного керування

установками, що випромінюють електромагнітні хвилі, та застосування індивідуальних засобів захисту.

Б.5 Електробезпека

Електробезпека – система організаційних та технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики.

Для захисту людей від ураження електричним струмом в умовах виробництва наступні заходи: намагаються працювати при малих напругах, контролюють ізоляцію, забезпечують недоступність струмопровідних частин, застосовують захисне заземлення, захисне відключення та захисні засоби.

Застосування малих напруг, у яких напруга дотику людини до мережі вибирається у довгостроково допустимого значення, є дуже ефективним захисним заходом.

У приміщеннях, особливо небезпечних та з підвищеною небезпекою, при проведенні робіт усередині металевих апаратів або резервуарів допускається напруга на ручних переносних світильниках не вище 12 вольт, а на ручному електроінструменті – не більше 36 вольт.

У порядку профілактики також періодично контролюють стан опір ізоляції проводів щодо землі та один одного. Застосовують подвійну ізоляцію.

У виробничих приміщеннях всіх категорій, у яких є обладнання, що працює при напрузі понад 1000 вольт, влаштовують суцільну огорожу, незважаючи на те, що обладнання ізольоване.

Захисне відключення забезпечується пристроєм, який автоматично відключає несправну ділянку мережі при виникненні напруги, небезпечної для людини.

Захисне занулення дозволяє перевести замикання на корпус в однофазне коротке замикання, яке дозволяє спрацьовувати захист та вимкнути пошкоджену ділянку електричної мережі.

Захисними засобами називаються прилади, апарати та пристосування, що перевозяться, і пристрої, а також окремі частини пристроїв, пристосувань та апаратів, що служать для захисту персоналу, що працює на електроустановках, від ураження електричним струмом, від впливу дуги та продуктів її згоряння при короткому замиканні.

Усі захисні засоби прийнято поділяти залежно від їх призначення на три групи: ізолюючі, огорожувальні та допоміжні.

Ізолюючі захисні засоби забезпечують ізоляцію людини від струмопровідних частин, а також від землі. Залежно від ступеня захисту ізолюючі кошти поділяються на основні та додаткові. До основних відносяться ізолюючі засоби, що мають високу електричну міцність, що витримують тривалу напругу і дозволяє персоналу працювати на струмопровідних частинах, що знаходяться під напругою. До додаткових відносяться ізолюючі засоби, які власними силами не можуть забезпечити захист при робочій напрузі електроустановки, але посилюють захисну дію основних ізолюючих засобів, разом з якими їх застосовують.

В електроустановках напругою понад 1000 вольт основними захисними засобами є оперативні та ізолюючі штанги, вимірювальні та струмовимірювальні кліщі, показчики напруги та ізолюючі пристрої та пристрої для ремонту (ізолюючі сходи, майданчики). До додаткових відносяться діелектричні рукавички, боти, гумові килимки, ізолюючі підставки.

Огорожувальні захисні засоби призначені для тимчасового огороження струмопровідних частин, а також для запобігання

помилковим операціям з комутаційними апаратами. До них відносяться переносні огороження - щити, огороження, ізолюючі накладки та огороження, тимчасові переносні заземлення та запобіжні плакати.

Допоміжні захисні засоби призначені для індивідуального захисту обслуговуючого персоналу від світлових, теплових та механічних впливів: захисні окуляри, рукавиці, а також засоби для роботи на висоті (пояси, пазури).

Захисні засоби виготовляють за встановленими стандартами. Вони мають тавро, що вказує, для яких напруг ці засоби призначені.

Перед використанням рукавички, боти та калоші щоразу ретельно оглядають та очищають від пилу та бруду. При виявленні дефекту (обриву, порізу, проколу) використання перерахованих засобів не допускаються. Електрозахисні засоби у точно встановлені терміни оглядають та випробовують. Так, струмовимірювальні кліщі, призначені для роботи при напрузі до 10 кВ, і вимірювальні штаги випробовують протягом 5 хвилин триразовою лінійною напругою не рідше одного разу на рік.

Основним та надійним заходом захисту працюючих при помилковій подачі напруги на ділянку або поява на ній наведеної напруги є встановлення переносних заземлень.

Для забезпечення малого опору, надійності з'єднання, гнучкості та портативності дроту та проведення переносних заземлень виконують з міді.

ДОДАТОК В

Перелік зауважень нормоконтролера до дипломної роботи

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____