

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА РЕЖИМИ РОБОТИ  
РАЙОННИХ ПІДСТАНЦІЙ»**

Виконав: студент VI курсу

групи Ен – 61 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Глаговський О. О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: Чабан В. Й.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Кригуль Р. Є.

(прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ 2024**

□

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

д.т.н., професор Калахан О. С.  
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

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

Глаговському Оресту Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вплив електричних навантажень на режими роботи районних підстанцій»

керівник роботи д.т.н., професор Калахан О. С.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП № 133 / к - с від 28.04.2023 р.

2. Строк подання студентом роботи 18.01.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1. Несиметричні режими роботи приймачів електричної енергії

2. Аналіз стану показників якості електричної енергії

3. Покращання показників якості електричної енергії

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Техніко-економічна оцінка

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розкриття питання несиметричних режимів роботи приймачів електричної енергії</i>	<i>28.04.2023 – 19.05.2023</i>	
2	<i>Аналіз стану показників якості електричної енергії</i>	<i>22.05.2023 – 8.09.2023</i>	
3	<i>Покращання показників якості електричної енергії</i>	<i>11.09.2023 – 24.11.2023</i>	
4	<i>Розробка логіко імітаційної моделі процесу виникнення травми при обслуговуванні лінії електропередачі</i>	<i>27.11.2023 – 8.12.2023</i>	
5	<i>Здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	<i>11.12.2023 – 22.12.2023</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>25.12.2023 – 5.01.2024</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>8.01.2023 – 18.01.2023</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Глаговський О. О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Калахан О. С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**УДК 621.536:7**

Глаговський О. О. «Вплив електричних навантажень на режими роботи районних підстанцій». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 56 с. текстової частини, 9 таблиць, 26 рисунків, 32 джерела.

У кваліфікаційній роботі представлено результати досліджень впливу навантажень на показники якості електричної енергії підстанцій. Розкрито теоретичні питання несиметричних режимів роботи приймачів електричної енергії. Для вибраних електричних підстанцій, здійснено аналіз стану показників якості електричної енергії, зокрема: здійснено аналіз споживачів електричної енергії, які живляться від розглядуваних підстанцій. У програмному комплексі *Microsoft Excel* було створено програму, яка дає змогу відбирати потрібні результати із великого масиву даних телеметрії. Встановлено, що на розглядуваних підстанціях найбільше порушень норм ДСТУ відбувається за коефіцієнтом несиметрії напруги 2 – 4 %, що спричинено тяговим електричним транспортом. Для покращання показників якості електричної енергії запропоновано використовувати симетрувальні пристрої, на основі реактивних ємністних та індуктивних елементів, за схемою Штайнмеца. Розкрито питання невідкладної допомоги постраждалому внаслідок ураження електричним струмом. Також, розкрито питання цивільного захисту населення у надзвичайних ситуаціях. Здійснено техніко-економічні обчислення собівартості розподілу електричної енергії однією із розглядуваних підстанцій.

НАВАНТАЖЕННЯ, НЕСИМЕТРІЯ, КОЕФІЦІЄНТ, НАПРУГА,  
ПРОГРАМА, РЕКОМЕНДАЦІЇ, СИМЕТРУВАННЯ.



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
<b>1 НЕСИМЕТРИЧНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....</b>	<b>9</b>
1.1 Класифікація та режими роботи електричних споживачів.....	9
1.2 Навантаження із живленням від однієї фази.....	11
1.3 Особливості навантаження від електричного тягового транспорту	11
1.4 Показники якості електричної енергії.....	13
1.5 Вплив несиметрії напруги на приймачі електроенергії.....	16
<b>2 АНАЛІЗ СТАНУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....</b>	<b>18</b>
2.1 Аналіз вихідних даних.....	18
2.2 Характеристика навантажень підстанцій.....	21
2.3 Програма для обробки статистичних даних.....	23
2.4 Результати аналізу вихідних даних для підстанцій з тяговим навантаженням.....	25
2.4.1 Несиметрія 1-2 %.....	25
2.4.2 Несиметрія 2-3 % та 3-4%.....	25
2.4.3 Несиметрія понад 4 %.....	26
2.5 Результати аналізу для підстанцій без тягового навантаження.....	27
<b>3 ПОКРАЩАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....</b>	<b>28</b>
3.1 Аналіз несиметрії напруг на підстанціях.....	28
3.1.1 Підстанції з тяговим навантаженням.....	28
3.1.2 Підстанції без тягового навантаження.....	30
3.2 Розробка заходів з покращання показників несиметрії напруг.....	30
3.2.1 Симетруючі трансформатори Вудбріджа.....	31
3.2.2 Трансформаторна схема Скотта.....	32
3.2.3 Трифазні симетруючі трансформатори.....	33
3.2.4 Схеми симетрування з урахуванням індуктивних і ємнісних	

	6
елементів.....	34
3.3 Рекомендації з дотримання показників якості електричної енергії	35
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>37</b>
4.1 Зміст першої допомоги потерпілому від електричного струму.....	37
4.2 Штучне дихання.....	38
4.3 Масаж серця.....	42
4.4 Розробка заходів із питань безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	45
<b>5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.....</b>	<b>47</b>
5.1 Палнування штатної чисельності персоналу підстанції.....	47
5.1.1 Планування штатної кількості персоналу.....	47
5.1.2 Обчислення оплати праці.....	48
5.2 Детермінування вартості передачі та розподілу електричної енергії	51
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>53</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>54</b>

## ВСТУП

Для нормальної та надійної роботи обладнання дуже важливим завданням є підтримання параметрів електричної енергії, таких як частота, напруга, синусоїдальність та ін, в номінальних значеннях або в допустимих діапазонах. Вихід цих параметрів за межі діапазонів, може призвести до пошкодження обладнання, зниження продуктивності як у електрообладнання, так і людей за рахунок погіршення умов праці, аварій. Тому, необхідно контролювати згадані параметри, стежити за їх зміною у процесі збільшення потужностей навантажень та розширення електричної розгалуженості мережі [1].

Сьогодні електричні мережі все більше, і більше розширюють свої площі, чим значно збільшують навантаження на мережі, і цей розвиток далі буде ще більш стрімкіший та ще більше посилюватимуться проблеми з постачанням електричної енергії споживачам. Все вище сказане першочергово позначиться на якості послуг, що надається, а саме параметрів якості електроенергії згідно з ДСТУ. Оскільки зростання навантаження спостерігається від однофазних споживачів, то особлива увага має приділятися показникам якості електричної енергії, серед яких слід виділити несиметрію напруги [2].

**Метою** кваліфікаційної роботи є визначення впливу електричного навантаження на несиметрію напруги, а також визначення відповідності значень коефіцієнтів несиметрії вимогам ДСТУ.

**Завдання** кваліфікаційної роботи:

- ❖ здійснити аналіз вимог ДСТУ, які ставляться до показників якості електричної енергії;
- ❖ детермінувати вплив несиметрії напруги на роботу електрообладнання;
- ❖ обчислити коефіцієнти несиметрії за зворотною послідовністю;
- ❖ визначити ступінь відповідності несиметрії напруги вимогам ДСТУ для електричних підстанцій з тяговим навантаженням;

❖ зробити висновки про вплив тягового навантаження на несиметрію напруги.

**Об'єктом** кваліфікаційної роботи є електричні підстанції високих класів напруг.

**Предметом** кваліфікаційної роботи є показники якості електричної енергії.

**Методи дослідження:** методи обробка статистичних даних за допомогою застосування інформаційних технологій з візуалізацією.

**Практичне значення** кваліфікаційної роботи: результати отримані при виконанні кваліфікаційної роботи дадуть змогу відтворити реальну картину несиметрії напруг для однофазних споживачів та електричних підстанцій з тяговим навантаженням.

**Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів:** усі формули для обчислення коефіцієнтів несиметрії за зворотною послідовністю було взято з діючих ДСТУ [3], а сам процес обчислення був повністю автоматизований, що повністю виключило появу помилки при обчисленні через людський фактор. Вибрані результати роботи програм бул додатково перевірено шляхом ручних обчислень, що повністю підтвердило правильність роботи програми.



# 1 НЕСИМЕТРИЧНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

## 1.1 Класифікація та режими роботи електричних споживачів

Електричні приймачі класифікують за такими основними ознаками [4]:

- ❖ за потужністю та класом напруги;
- ❖ за роду струму;
- ❖ за режимами роботи;
- ❖ за надійності електропостачання.

За потужністю та напругою електричні споживачі поділяються на:

- ❖ споживачі великої потужності – потужність, яких перевищує 80 – 100 кВт (вони отримують живлення від мережі 3 – 10 кВ, найчастіше через власні трансформатори);
- ❖ споживачі малої та середньої потужності – потужність яких менше 80 – 100 кВт (живлення таких споживачів економічно доцільно здійснювати напругою 380 – 600 В).

За родом струму електричні споживачі поділяють на три групи:

- ❖ які працюють на змінному струмі промислової частоти (50 Гц);
- ❖ які працюють на змінному струмі підвищеної або пониженої частоти;
- ❖ які працюють на постійному струмі.

За режимами роботи усі споживачі можна розподілити на три характерні групи електричних споживачів:

- ❖ приймачі, які працюють у режимі з тривало незмінним або мало змінним навантаженням (ці приймачі можуть працювати тривалий час, причому перевищення температури окремих частин машини не виходить за межі встановленої для цього пристрою температури);
- ❖ приймачі, які працюють у режимі короткочасного навантаження (у цьому режимі температура окремих частин не досягає встановленого

значення, а період зупинки настільки тривалий, що приймач встигає охолотитися до температури навколишнього середовища);

❖ приймачі, які працюють у режимі повторно-короткочасного навантаження (у цьому режимі робочі періоди чергуються із відповідними періодами пауз, а тривалість циклу не перевищує 10 хв, при цьому нагрівання не перевищує допустимого, а охолодження не досягає температури навколишнього середовища).

Щодо забезпечення надійності електропостачання електричні приймачі поділяють на такі три категорії [5]:

❖ електроприймачі першої категорії, перерва електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей, загрозу для безпеки держави, значні матеріальні збитки, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства, об'єктів зв'язку та телебачення; у складі електроприймачів першої категорії виділяють особливу групу електричних приймачів, безперебійна робота яких потрібна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухів та пожеж;

❖ електроприймачі другої категорії, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів та промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських та сільських мешканців.

❖ електроприймачі третьої категорії – усі інші електричні приймачі, які не увійшли до першої та другої категорій.

Також можна ще додати класифікацію електричних приймачів за кількістю фаз, які необхідні для нормальної роботи електричних приймачів. За кількістю фаз розрізняють одно-, дво- та трифазні електричні приймачі. Усі вони підключаються до трифазної мережі із врахуванням відповідності номінальної напруги фазній та лінійній напрузі мережі. Для увімкнення однофазних електричних приймачів потрібен нульовий (нейтральний) провід,

проте також у деяких випадках можливе підключення однофазних електроприймачів на лінійну напругу.

## **1.2 Навантаження із живленням від однієї фази**

Несиметрію напруги в електричних мережах створюють самі ж споживачі електричної енергії. Первинні джерела (синхронні генератори) генерують симетричну систему напруг, якщо споживачі будуть забезпечувати однакове навантаження по усіх фазах (лінійні струми будуть однакові), то вони будуть мати симетричну систему напруг. Якщо ж, споживачі будуть мати різні навантаження по фазах, то у проводах ліній електропередач виникнуть перепади напруг, як наслідок цього, несиметрична система напруг. Такий варіант можливий при наявності споживачів з однофазними навантаженнями.

Основними джерелами несиметрії у промислових мережах 0,38 – 10 кВ є однофазні термічні установки, індукційні плавильні печі, печі опору та різні нагрівальні установки. Окрім того, несиметричні електричні приймачі – це зварювальні апарати різної потужності. У мережах високої напруги, несиметрія викликається, зазвичай, наявністю потужних однофазних електроприймачів, а деколи і в трифазних електричних приймачів із неоднаковим споживанням по фазах. Сюди відносяться дугові сталеплавильні печі [6].

## **1.3 Особливості навантаження від електричного тягового транспорту**

Основна частина навантаження деяких підстанції (зокрема, розглядувані у кваліфікаційній роботі) припадає на електричну тягу. Тобто, на потужність, яка споживається поїздами залізниці у цьому районі. Зазвичай, потяги працюють в одному із трьох режимів: прискорення, руху зі сталою швидкістю та гальмування аж до повної зупинки. Під час

прискорення потяга споживається найбільша активна потужність, а під час гальмування навіть набуває від'ємного значення, тобто віддається до мережі (рекуперативне гальмування). Через безперервну зміну режимів роботи та переміщення рухомого складу, а також через зміну його кількості на фідерній зоні, значення споживаної потужності з мережі постійно змінюється.

При живленні контактної мережі залізниці змінного струму використовується дві фази, вони здійснюють живлення різних плечей тягової підстанції, третя фаза підключається до рейок, з цього випливає, що локомотиви є однофазним навантаженням. Електричні двигуни локомотивів є приймачами великої потужності, оскільки їх потужність значно перевищує 100 кВт. Із вище сказаного випливає, що електричні локомотиви можуть створювати в трифазних мережах значну несиметрію струмів і, як наслідок, несиметрію напруги [7].

Нині на підстанціях, які здійснюють живлення залізничного транспорту, вже є несиметрія, проте при розвитку залізничної структури. Розвиток цієї інфраструктури очевидно буде, оскільки Україна посилила співпрацю з країнами Європейського Союзу. Це призведе до активізації економічної, промислової видів діяльності, а відтак і до збільшення різних перевезень залізницею, а також збільшення кількості об'єктів інфраструктури. Також, через збільшення пропускної спроможності нашої залізниці планується домогтися скорочення часу перевезення контейнерів залізничним транспортом. Тому, можна спрогнозувати збільшення кількості вантажних поїздів, які йдуть залізницею України, а також зменшення часових проміжків між поїздами.

Таблиця 1.1 – Динаміка зміни обсягів перевезень

Вид руху	Обсяг перевізної роботи, млрд. ткм бруто		
	2015 рік	2020 рік	2030 рік
Вантажний рух	4688,5 (91,7 %)	5160,2 (92,1 %)	5676,0 (92,3%)
Пасажирський рух у дальньому сполученні	332,7 (6,6%)	342,8 (6,3 %)	368,7 (6,2 %)

Пасажирський рух у приміському сполученні	96,6 (1,8 %)	100,4 (1,5 %)	107,6 (1,6 %)
<b>Усього</b>	<b>5106,1</b>	<b>5603,2</b>	<b>6153,2</b>

Згідно з енергетичною стратегією нашої країни на період 2011 – 2030 р. [8] розвиток залізничного транспорту планується здійснити двоетапно: етап модернізації залізничного транспорту та етап динамічного розширення залізничної мережі. У 2016 році стратегія увійшла до другого свого етапу. У цій енергетичній стратегії можна побачити, що планується збільшення обсягів перевезень залізницею на 9,8 % за період 2020 – 2030 років. У таблиці 1.1 представлено динаміку зміни обсягів перевезення, а в таблиці 1.2 представлено показники та їх планові річні зміни. З таблиць бачимо, що навантаження на підстанціях, які живлять тяговий транспорт, суттєво збільшиться, за рахунок збільшення кількості складів та середньої ваги вантажних складів.

Таблиця 1.2 – Змін показників перевезень

Показник	Планова річна зміна показника, %
Середня вага вантажного поїзда	+ 1
Коефіцієнт дільничної швидкості вантажного поїзда	+ 0,5
Навантаження на вісь вантажного вагона	+ 0,5
Частка порожнього пробігу вантажних вагонів	- 1,5
Тривалість прогріву локомотивів в очікуванні роботи	- 5
Затримки забороняючого сигналу	- 5
Кількість обмежень швидкості руху поїздів	- 5
Кількість неграфікових зупинок поїздів	- 2,5
Час нагону пасажирських поїздів	- 2

Реалізація усіх цих планів може призвести до збільшення несиметрії напруги на підстанціях, яке спричиняє залізничний транспорт. Чергово несиметрія напруги призведе до негативних наслідків, описаних вище. Тому, необхідний контроль за цим показником якості електричної енергії та її зміною у динаміці.

#### 1.4 Показники якості електричної енергії

Зміни характеристик напруги електричного живлення у точці передачі електричної енергії приймачу в електричній мережі, яка відносяться до частоти, значень, форми напруги та симетрії напруг у трифазних системах електропостачання, поділяють на дві категорії: тривалі зміни характеристик напруги та випадкові події [9].

Тривалі зміни характеристик напруги – це тривалі відхилення характеристик від номінальних значення, які переважно є наслідком зміни навантаження або впливом нелінійних навантажень.

Раптові та значні зміни форми напруги, які призводять до відхилення її параметрів від номінальних, що викликані непередбачуваними подіями або зовнішніми впливами (такими як погодні умови) є групою – випадкових подій.

До тривалих змін характеристик напруги електричного живлення відносяться: відхилення частоти, повільні зміни напруги, коливання напруги та флікер, несинусоїдність напруги, несиметрія напруг у трифазних системах.

*Відхилення частоти.* Відхилення значення основної частоти напруги від номінального значення, виміряне в інтервалі часу 10 с, не повинно перевищувати  $\pm 0,2$  Гц протягом 95 % часу за один тиждень, і  $\pm 0,4$  Гц протягом 100 % часу для синхронізованих систем електропостачання, і  $\pm 1$  Гц протягом 95 % часу за тиждень, і  $\pm 5$  Гц протягом 100 % часу в ізолюваних системах електропостачання з автономними генераторними установками електроенергії [10].

*Повільні зміни напруги.* Від'ємне та додатне відхилення напруги електроживлення у точці передачі електричної енергії, від номінального значення є показниками якості електричної енергії, які відносяться до повільних змін напруги. Для них встановлено таку норму: вони не повинні перевищувати 10 % номінального значення напруги протягом 100 % часу за тиждень.

*Колівання напруги та флікер.* Колівання напруги (зокрема й поодинокі швидкі зміни напруги) зумовлені виникненням флікера. Для цього показника якості електричної енергії встановлено такі норми:

- ❖ короткочасна доза флікера, виміряна в інтервалі 10 хв, не повинна перевищувати значення 1,38 протягом 100 % часу інтервалу за один тиждень;
- ❖ тривала доза флікера має перевищувати значення 1,0 протягом 100 % часу інтервалу за тиждень.

*Несинусоїдність напруги.* Гармонічні складові напруги виникають зазвичай через нелінійне навантаження, під'єднане до електричних мереж різних класів напруг.

Показниками якості електричної енергії, які відносяться до гармонійних складових, є:

- ❖ значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги до 40-го порядку;
- ❖ значення сумарного коефіцієнта гармонійних складових напруг до 40-го порядку.

Норми для зазначених показників встановлено у ДСТУ [3].

*До несиметрії напруг* відносяться: коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю  $K_{2U}$  та коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю  $K_{0U}$ .

Для цих показників якості електричної енергії встановлено такі норми:

- ❖ значення коефіцієнтів несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_{2U}$  та коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю  $K_{0U}$  у точці передачі електричної енергії, усереднені в інтервалі часу 10 хв, не повинен перевищувати 2 % протягом 95 % часу інтервалу за один тиждень;
- ❖ значення коефіцієнтів несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_{2U}$  та коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю  $K_{0U}$  у точці передачі електричної енергії, усереднені за інтервал часу 10 хв не повинен перевищувати 4 % протягом 100 % часу інтервалу за один тиждень.

Формула для обчислення коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_{2U}$  [11]:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100\%, \quad \text{де } \beta = \frac{U_{ab}^4 + U_{ac}^4 + U_{bc}^4}{(U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ac}^2)^2}. \quad (1.1)$$

У деяких джерелах [12] наводиться наступна послідовність для знаходження коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_{2U}$ .

За формулою (1.2) обчислюється значення напруги прямої послідовності:

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \left\{ \sqrt{3}U_{ab} + \sqrt{4U_{bc}^2 - \left( \frac{U_{bc}^2 - U_{ca}^2}{U_{ab}} + U_{ab} \right)^2} \right\}^2 + \left( \frac{U_{bc}^2 - U_{ca}^2}{U_{ab}} \right)^2 \right]}. \quad (1.2)$$

За (1.3) обчислюється значення напруги за зворотною послідовністю

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \left\{ \sqrt{3}U_{ab} - \sqrt{4U_{bc}^2 - \left( \frac{U_{bc}^2 - U_{ca}^2}{U_{ab}} + U_{ab} \right)^2} \right\}^2 + \left( \frac{U_{bc}^2 - U_{ca}^2}{U_{ab}} \right)^2 \right]}. \quad (1.3)$$

За формулою (1.4) детермінується коефіцієнт несиметрії напруги:

$$K_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Однак варто відзначити, що результати обчислення цим методом і за формулою (1) сходяться як мінімум до 4 знаки після коми і в дослідженні буде використовуватися формула (1), оскільки вона простіше для використання.

### 1.5 Вплив несиметрії напруги на приймачі електроенергії

Симетрична трифазна система напруг характеризується однаковими за модулем та фазі напругами у всіх трьох фазах. При несиметричних режимах напруги різних фазах не рівні, тому виникає несиметрія струмів і напруг.

Несиметричні режими в електричних мережах виникають із таких причин:

- ❖ різні навантаження у різних фазах;
- ❖ неповнофазна робота ліній чи інших елементів у мережі.



Несиметрія напруги призводить до виникнення напруги та струмів зворотної та нульової послідовності, які здійснюють негативний вплив на роботі усіх елементів мережі.

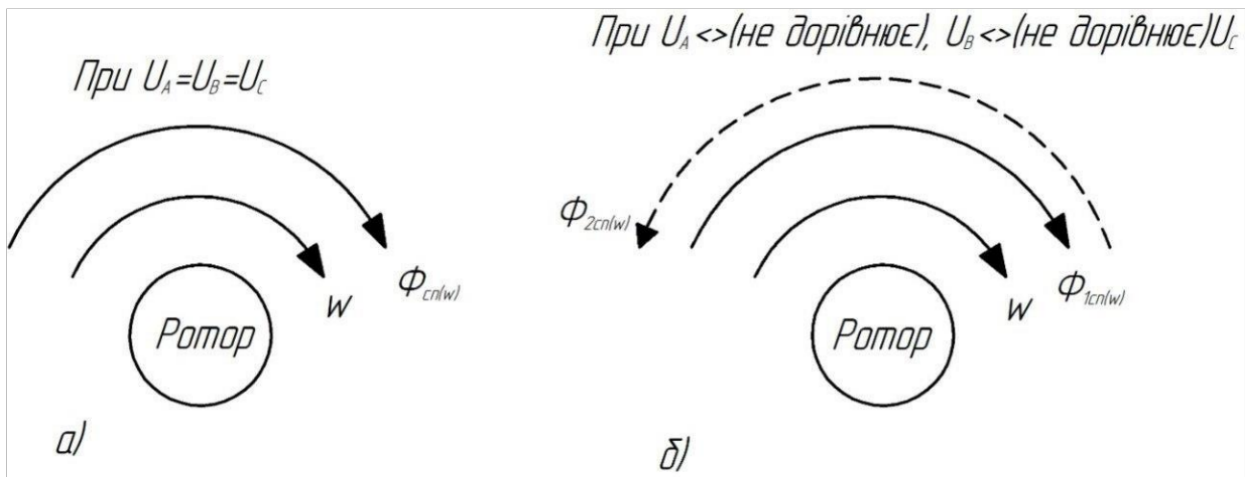


Рисунок 1.1 – Принцип обертання магнітного поля та ротора: *а* – симетричне навантаження; *б* – несиметричне навантаження

Несиметричне навантаження генераторів призводить до підвищеного нагрівання обмоток та сталі статорів і роторів [13], це відбувається за рахунок гальмівних електромагнітних моментів, які обумовлені створенням магнітного поля, яке обертається із подвійною синхронною частотою у протилежному напрямку обертання ротора, струмами зворотної послідовності. Цей процес продемонстровано на рисунку 1.1.

Асинхронні двигуни є основними споживачами електричної енергії у всіх галузях промисловості, крутний момент яких пропорційний квадрату напруги на затискачах. Він може бути приблизно обчислений за формулою (1.5):

$$M = M_1 - M_2 = c \cdot U_H^2 (1 - K_{2U}^2). \quad (1.5)$$

Проаналізувавши формулу (1.5) бачимо, що коефіцієнт надає незначний вплив на момент, так при  $K_{2U} = 4\%$ , зміна максимального обертового моменту, асинхронного двигуна складе не більше 0,16 %.

Значніший вплив зворотна послідовність здійснює на нагрівання двигуна, це відбувається через те, що опір зворотної послідовності асинхронного двигуна значно нижчий, від прямого, тому навіть при незначній величині напруги зворотної послідовності, струм буде значним.

*Освітлювальне навантаження.* Несиметрія напруги у контурі живлення призводить до того, що світловий потік світильників однієї фази зменшується, а іншої фази – збільшується та знижується термін служби ламп [14].

Потужність конденсаторних установок пропорційна квадрату напруги, відповідно, при несиметрії напруги, КУ видають реактивну потужність фаз нерівномірно, окрім цього, вони посилюють вже існуючу несиметрію, оскільки генерація реактивної потужності у фазі з найменшою напругою буде найменшою [15].

Через несиметрію скорочується термін служби ізоляції трансформаторів, а також несиметрія напруги значно погіршує режими роботи багатофазних вентильних випрямлячів. Несиметрія ускладнює роботу релейного захисту, призводить до помилок під час роботи лічильників електроенергії тощо [16].

## 2 АНАЛІЗ СТАНУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

У кваліфікаційній роботі дослідження стосуються реальних електричних підстанцій з реальними їх даними, які взято зі звітів діяльності облenergo. Оскільки сьогодні Україна перебуває у стані війни і зазнає енергетичного терору зі сторони ворога, назви усіх підстанцій будуть зашифровані і висвітлені у послідовній нумерації.

### 2.1 Аналіз вихідних даних

В основу досліджень та розрахунків взято виміри лінійних напруг на підстанціях ПС1 220 кВ, ПС2 220 кВ, ПС3 220 кВ та ПС4 110 кВ, що належать та обслуговуються одним із облenergo України. Дані вимірів напруг та схеми підстанцій взято із відкритих доступів «Єдиного енергетичного оператора».

«Єдиний енергетичний оператор» – спеціалізована організація, яка одноосібно здійснює централізоване оперативно-диспетчерське керування в єдиній енергетичній системі.

У процесі своєї діяльності системний оператор вирішує три основні завдання [17]:

- ❖ керування технологічними режимами роботи об'єктів у реальному часі;
- ❖ забезпечення перспективного розвитку єдиної енергетичної системи;
- ❖ забезпечення єдності та ефективної роботи технологічних механізмів оптового та роздрібних ринків електричної енергії та потужності.

Також, системний оператор здійснює [18]:

- ❖ керування технологічними режимами роботи об'єктів електроенергетики за порядком, який встановлюється основними положеннями функціонування оптового ринку та правилами оптового ринку, які затверджуються Верховною Радою України;

- ❖ дотримання встановлених параметрів надійності функціонування єдиної енергетичної системи та якості електричної енергії;
- ❖ регулювання частоти електричного струму, забезпечення функціонування системи автоматичного регулювання частоти електричного струму та потужності, системної та протиаварійної автоматики;
- ❖ участь в організації діяльності із прогнозування обсягу виробництва та споживання у сфері електроенергетики, прогнозування обсягу виробництва та споживання у сфері електроенергетики та участь у процесі формування резерву виробничих енергетичних потужностей;
- ❖ узгодження виведення у ремонт та з експлуатації в цілому об'єктів електромережевого господарства та енергетичних об'єктів із виробництва електричної та теплової енергії, а також введення їх після ремонту в експлуатацію;
- ❖ видачу суб'єктам електроенергетики та споживачам електричної енергії з керованим навантаженням обов'язкових для виконання оперативних диспетчерських команд та розпоряджень, які пов'язані зі здійсненням функцій системного оператора;
- ❖ розробку оптимальних добових графіків роботи електростанцій та електричних мереж єдиної енергетичної системи;
- ❖ організацію та керування режимами паралельної роботи єдиної електроенергетичної системи та електроенергетичних систем іноземних держав;
- ❖ участь у формуванні та видачі технологічних вимог при приєднанні суб'єктів електроенергетики до єдиної національної електричної мережі та територіальних розподільчих мереж, що забезпечують їх роботу у складі єдиної енергетичної системи;
- ❖ моніторинг фактичного технічного стану та рівня експлуатації об'єктів електроенергетики.

На рисунках 2.1 та 2.2 представлено принципи однолінійні схеми електричних з'єднань ПС1 та ПС2.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.1 – Принципова однолінійна схема електричних з'єднань ПС1

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.2 – Принципова однолінійна схема електричних з'єднань ПС2

Вимірювання на підстанціях ПС1 та ПС2 взято за період з 2019 по 2021 рік з кроком 1 хвилина та завантажено у файлах *Microsoft Exel*. Аналогічні дані було взято і для ПС3 та ПС4.

У таблиці 2.1 представлено фрагмент даних за ПС2

Таблиця 2.1 – Фрагмент даних для ПС2 за 01.07.19 00:00 – 00:09

№	Час	$U_{AB}$ , кВ	$U_{BC}$ , кВ	$U_{CA}$ , кВ
---	-----	---------------	---------------	---------------

1	01.07.19 00:00:00	232,3	235,7	235,3
2	01.07.19 00:01:00	230,2	234,4	234,8
3	01.07.19 00:02:00	229,3	234	233,6
4	01.07.19 00:03:00	230,9	233,1	234,1
5	01.07.19 00:04:00	233,4	232,7	235,2
6	01.07.19 00:05:00	232,9	231,12	234,4
7	01.07.19 00:06:00	231,4	231,2	234,9
8	01.07.19 00:07:00	231,3	230,6	235,5
9	01.07.19 00:08:00	231,3	230,7	235,5
10	01.07.19 00:09:00	230,5	229,9	235

У першому стовпці представлено порядковий номер здійсненого виміру, у другому стовпці міститься інформація про дату та час вимірювання, у стовпцях 3, 4 та 5 знаходяться значення лінійних напруг АВ, ВС та СА.

## 2.2 Характеристика навантажень підстанцій

Аналіз навантажень, які живляться від ПС1 та ПС2 показав, що із низької сторони відбувається живлення переважно будинків приватного сектору та багатоквартирних житлових будинків, що відображено на гістограмах представлених на рисунках 2.3 та 2.4. На цих рисунках по осі ординати відкладено відсоткову кількість тих чи інших підключень від загального числа кожного фідера. На гістограмах міститься інформація про підключення фізичних осіб (ФО), юридичних осіб (ЮО) та багатоквартирних житлових будинків (БЖБ).

З рисунку 2.3 бачимо, що на ПС1 на три фідери для житлових будинків припадає від 80 % до 90 % усіх підключень, а з рисунку 2.4, що на ПС2 на приватні будинки припадає від 85 % до майже 100 % підключень.

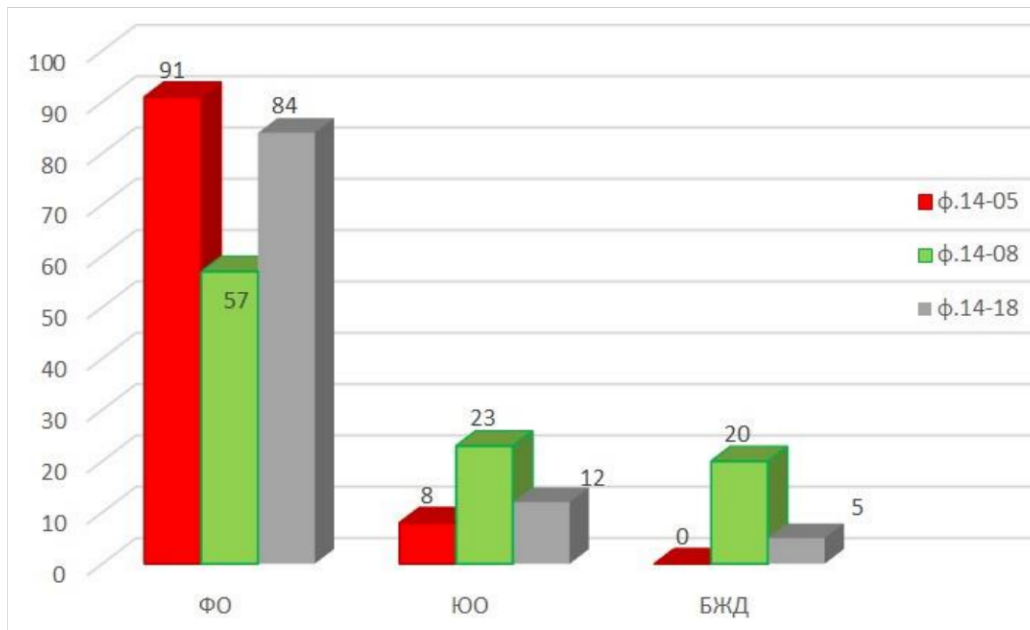


Рисунок 2.3 – Розподіл споживачів на низькій стороні ПС1

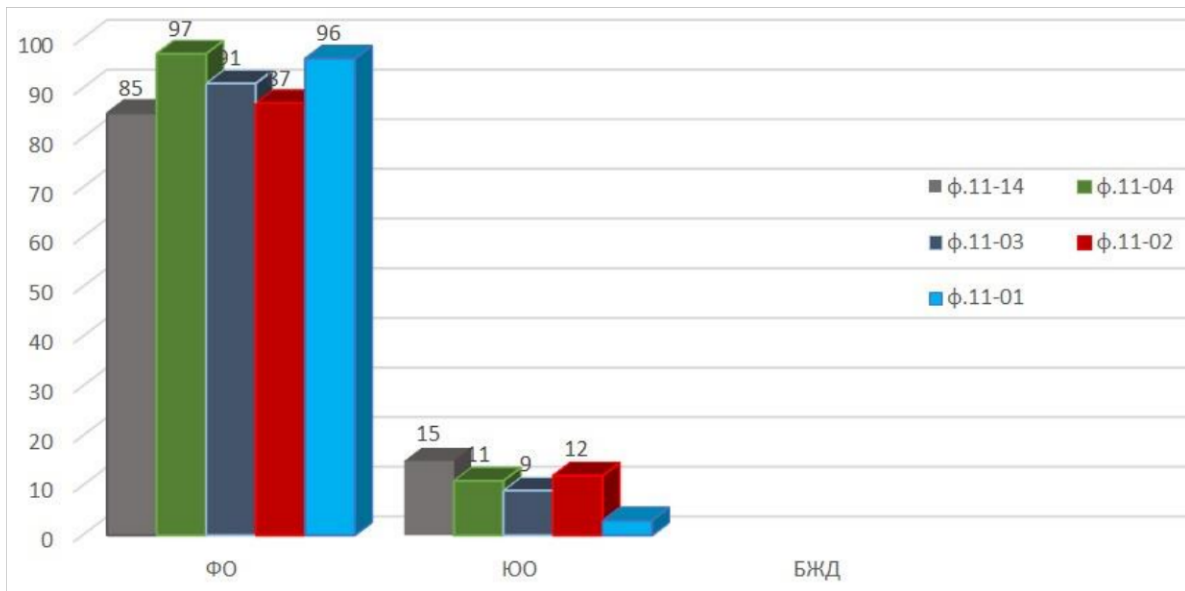


Рисунок 2.4 – Розподіл споживачів на низькій стороні ПС2

Аналіз даних про споживачів показав, що до серед юридичних осіб найчастіше зустрічаються магазини, склади, адміністративні будівлі, земельні ділянки для сільськогосподарського виробництва. Зустрічаються, також, і промислові об'єкти такі як: водозабірні споруди, елеваторні, свердловини, цехи з розливу мінеральної води та безалкогольних напоїв, станції технічного обслуговування, тощо.

Підсумовуючи аналіз результатів, можна дійти невтішного висновку, що на низькій стороні підстанцій переважають однофазні навантаження. Також, варто відзначити, що на середній стороні присутнє живлення тягового навантаження.

### 2.3 Програма для обробки статистичних даних

На рис. 2.5 представлено блок-схему алгоритму роботи програми [19].

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

#### Рисунок 2.5 – Блок-схема розробленої програми

Для визначення відповідності вимірів з підстанцій ДСТУ, потрібно було здійснити математичну обробку даних, для цього було використано вбудовану у *Microsoft Office* мову програмування *Visual Basic for Applications*.

Значення коефіцієнтів несиметрії напруг за зворотною послідовністю було розподілено за їх величиною на 5 напівінтервалів:  $(0\%;1\%]$ ,  $(1\%;2\%]$ ,  $(2\%;3\%]$ ,  $(3\%;4\%]$ ,  $(4\%;100\%]$ , а за часом вимірювання на 4 напівінтервали:  $[0:00;6:00)$ ,  $[6:00;12:00)$ ,  $[12:00;18:00)$ ,  $[18:00;24:00)$ .

Обчислення коефіцієнтів несиметрії напруг за зворотною послідовністю здійснювалося рядково, через кожні 10 рядків даних, знаходилося середнє арифметичне значення знайдених коефіцієнтів, після цього у відповідній комірці збільшувалося на одиницю кількість значень середніх коефіцієнтів, які потрапили у ці напівінтервали. Після 10080 рядків (кількість рядків, яка відповідає кількості хвилин в одному тижні), підраховувалася кількість значень коефіцієнтів, яка перевищує рівень у 2 % та 4 %, далі знаходилася їх частина від загальної кількості вимірювань за тиждень і на основі цього приймалося рішення про відповідність вимірів ДСТУ. Після



цього відбувалося виведення згрупованих коефіцієнтів несиметрії та розпочиналася обробка наступного тижня. На рис. 2.5 представлено блок-схему алгоритму роботи програми.

На рис. 2.6 представлено приклад результатів роботи програмию

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Тиждень	32								
2	0-1 %	0-6 год	6-12 год	12-18 год	18-24 год					
3	1-2%	177	216	178	164					
4	2-3%	75	35	65	86	більше 2%	1,19%	Перевищення не має		
5	3-4%		1	9	2					
6	4% і більше					більше 4%	0%	Перевищення не має		
7										

Рисунок 2.6 – Результати для ПС2 220 кВ

## 2.4 Результати аналізу вихідних даних для підстанцій

### з тяговим навантаженням

**2.4.1 Несиметрія 1-2 %.** Використовуючи дані обробки (значення коефіцієнта несиметрії від 1 % до 2 %) із кожної підстанції було побудовано залежності, у яких було збережено розподіл даних частинами доби. Ці залежності представлено на рисунках 2.7 – 2.8.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.7 – Залежності коефіцієнта несиметрії (1 – 2 %) для ПС1

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.8 – Залежності коефіцієнта несиметрії (1 – 2 %) для ПС2

**2.4.2 Несиметрія 2-3 % та 3-4%.** Оскільки існує нормативна допустима кількість перевищення значення несиметрії у 2 %, то проміжки (2%;3%] , (3%;4%] аналізувалися разом. Для цього на графіках було представлено сумарну кількість несиметрії 2 – 3 % та 3 – 4 % за кожний тиждень, їх сума та допустима кількість.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.9 – Залежності коефіцієнта несиметрії (2 – 4 %) для ПС1

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.10 – Залежності коефіцієнта несиметрії (2 – 4 %) для ПС2

Допустимим є значення у 5 % від загальної кількості вимірів за тиждень. На тиждень припадає 1008 усереднених за 10 хвилин коефіцієнтів несиметрії за зворотною послідовністю, отже, 5 % від цього числа складе 50 перевищень.

Отримані графічні залежності представлено на рисунку 2.9 – 2.10.

**2.4.3 Несиметрія понад 4 %.** Перевищення несиметрії у 4 % згідно з нормативним документом не повинно бути, проте згідно з отриманих даних, ця вимога до якості електричної енергії не виконується.

З обчислень, на ПС2 вийшло 9 перевищень. Основна частина (4 перевищення) з них припала на вечірні години, ще 3 перевищення на ранкові години та ще 2 випадки були зафіксовані в день.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.11 – Залежності коефіцієнта несиметрії (понад 4 %) для ПС1

Для дослідження випадків несиметрії понад 4 % на ПС1 було побудовано графічні залежності, які представлені на рисунку 2.11.

## **2.5 Результати аналізу для підстанцій без тягового навантаження**

Використовую отримані дані для ПС3 та ПС4, аналогічно було визначено коефіцієнти несиметрії за зворотньою послідовністю.

На ПС3 за весь досліджуваний період було зафіксовано 6 значень коефіцієнтів несиметрії в діапазоні 1 – 2 %, всі вони були зафіксовані у 26 тиждень 2020, тому не має ніякої необхідності у побудові графіка.

За визначеними даними було побудовано графік, який відображає кількість коефіцієнтів несиметрії у діапазоні 1 – 2 % для ПС4.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.12 – Залежності коефіцієнта несиметрії (1 – 2 %) для ПС4

## 3 ПОКРАЩАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 3.1 Аналіз несиметрії напруг на підстанціях

**3.1.1 Підстанції з тяговим навантаженням.** Аналізуючи усі графіки, найпомітнішою є тенденція для двох ПС та досліджуваних величин коефіцієнта несиметрії за зворотньою послідовністю. У зимовий період, приблизно з 44-го по 27-й тиждень, відбувається зниження значень коефіцієнта несиметрії, а на літній період, приблизно з 28-го по 48-й тиждень, припадають найбільші значення коефіцієнта несиметрії за зворотньою послідовністю. Однак, варто зазначити, що період часу з 3-го по 8-й тиждень 2020 року, у який відбувся так званий «сплеск» несиметрії напруги на досліджуваних тягових ПС. На цей проміжок часу припав єдиний вихід графіка несиметрії 2 – 4 % із допустимої області на ПС2, що добре видно на рис. 2.10.

Із графіків видно багаторазові порушення вимог, які ставляться до якості електричної енергії на ПС1. На рисунку 2. 9 спостерігається велика кількість точок, яка лежать вище допустимого значення у 50 випадків на тиждень, а на рис. 2.12 бачимо велику кількість коефіцієнтів несиметрії за зворотньою послідовністю, яка перевищує значення 4 %.

На ПС2 порушення є одиничними випадками: всього було нараховано 10 випадків порушення вимог ДСТУ, в тому числі 9 випадків перевищення коефіцієнтом несиметрії значення 4 %.

Із графіку на рис. 2.8 можна бачити суттєве зниження кількості несиметрії (від 1 % до 2 %) за тиждень, зменшення починається на 44 тижні 2019 року, цей тиждень відповідає початку листопада, збільшення числа випадків несиметрії відбувається після 2-го тижня липня (28-й тиждень 2020 р.).

Несиметрія на ПС1 величиною 1 – 2 % поширена більш рівномірна протягом аналізованого періоду, що добре видно з рис. 2.8. Однак кількість

випадків несиметрії на ПС1 значно перевищує кількість на ПС2. Так само можна помітити провал графіків на рис. 2.8 на 25-му тижні, протягом усього цього тижня показання лінійних напруг рівні нулям, що може відповідати проведенню ремонту на підстанції, для якого потрібно було відмикати трансформатори.

З графіків можна побачити, що на обох підстанціях найчастіші випадки несиметрії вночі (18 – 24 год). Для найбільш детального дослідження розподілу несиметрії за часом доби було підсумовано відповідні стовпці у всіх файлах, результати представлені в вигляді гістограм на рис. 3.1.

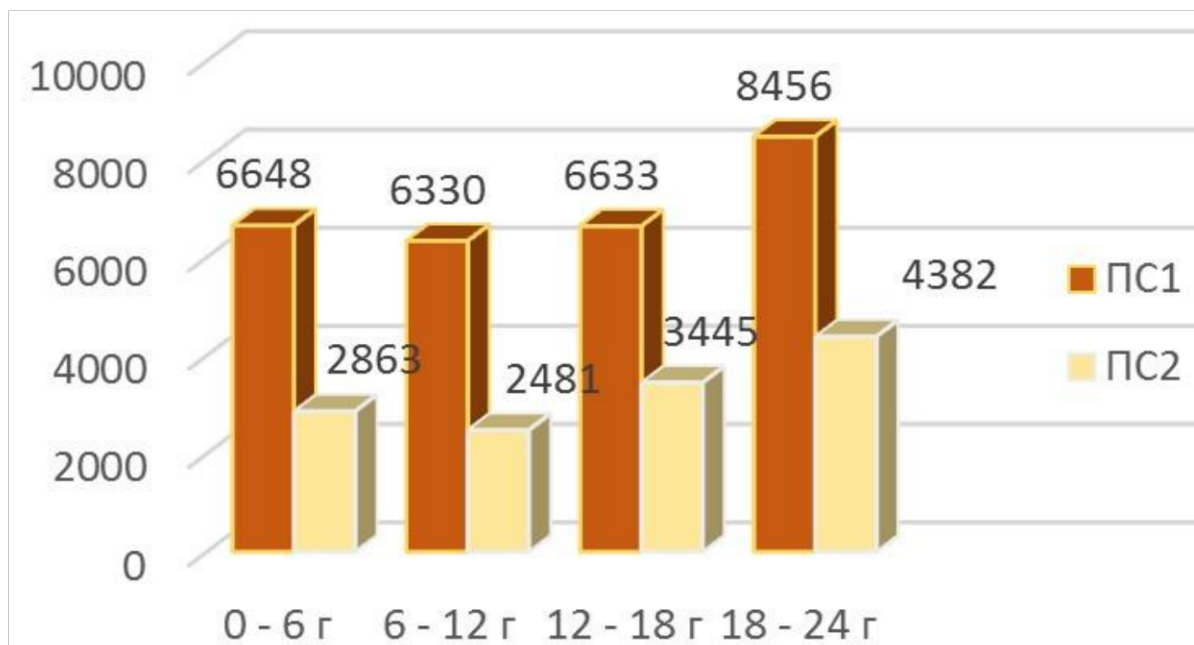


Рисунок 3.1 – Зведені результати по несиметрії 1 – 2 %

З рисунку 3.1 бачимо, що найменше випадків несиметрії на двох підстанціях посідає ранкові години.

Щодо аналізу несиметрії від 2 % до 4 %, то з рисунку 2.10 бачимо, що починаючи з 46-го тижня по 12 тиждень відсутні випадки несиметрії > 2 %, у цей час спостерігається зниження випадків несиметрії 1 – 2 % (рис. 2.8). Необхідно відзначити, що на ПС2 за весь період дослідження, було зафіксовано лише один випадок перевищення допустимого значення кількості випадків несиметрії у 2 %, що не можна сказати про ПС1. Значення кількості несиметрії на цій підстанції лежать у допустимій області лише відносно невеликих часових періодів. До 44 тижня 2019 року, з 27 тижня 2020 року до

40 тижня 2020 року, бачимо багаторазові перевищення допустимої величини. Крім цього, видно випадки виходу графіків за допустимі області в інших часових відтинках.

Для дослідження розподілу несиметрії за часовими відтинками було підсумовано відповідні стовпці у всіх файлах, результати представлені у вигляді гістограми на рисунку 3.2.

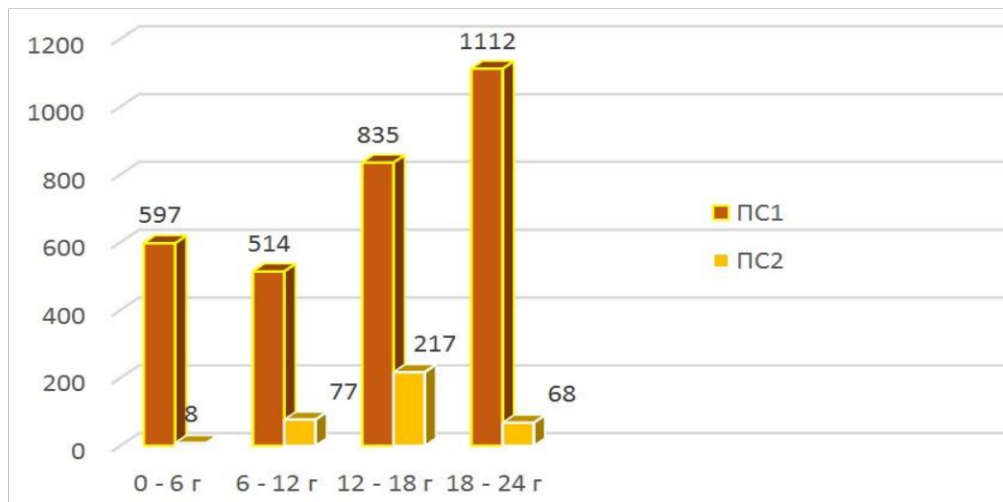


Рисунок 3.2 – Зведені результати по несиметрії 2 – 4 %

З гістограми бачимо, що на ПС2 несиметрія 2 – 4 % найбільш поширена у денні години, на відміну від ПС1, на якій найбільше несиметрії знаходиться у стовпці, що відповідає вечірнім годинникам.

Аналізуючи коефіцієнти несиметрії понад 4 % можемо бачити, що на графіку рисунку 2.11 видно велику кількість перевищень значення несиметрії 4 % на ПС1. Випадки цієї несиметрії переважають у період починаючи з 28-го тижня 2020 року до 40-го тижня 2020 року.

**3.1.2 Підстанції без тягового навантаження.** Несиметрія напруги на нетягових підстанціях, які здійснюють живлення переважно населених пунктів, спостерігається значно менше. Переважно коефіцієнти несиметрії за величиною не перевищували 1 %. Єдине значне збільшення величини коефіцієнтів несиметрії за зворотною послідовністю на ПС3 та ПС4, як і на тягових підстанціях, прийшлися на літній період.

## 3.2 Розробка заходів з покращання показників несиметрії напруг

У попередньому підрозділу було встановлено, що основну частку у створенні несиметрії напруг трифазної мережі вносять тягові навантаження електрифікованих залізниць, особливо це помітно у літній період. Якщо для ПС3 та ПС4 влітку спостерігається незначне збільшення коефіцієнтів несиметрії за зворотною послідовністю, то для підстанцій ПС1 та ПС2 влітку спостерігається порушення нормативних значень ДСТУ, які ставляться до якості електричної енергії. Однак, підстанції ПС1 та ПС2 окрім живлення залізниць, забезпечують електричною енергією й інших споживачів для яких може бути необхідною однакова напруга у всіх фазах мережі живлення.

Тому, має місце необхідність зниження наявної несиметрії напруги, а також попередження її подальшого зростання. Для вирівнювання несиметрії напруг можна використовувати такі засоби симетрування [20]:

- ❖ застосування симетруючих трансформаторів Вудбріджа;
- ❖ застосування схеми Скотта;
- ❖ застосування симетруючих трансформаторів;
- ❖ застосування схем симетрування на базі індуктивностей та ємностей.

**3.2.1 Симетруючі трансформатори Вудбріджа.** Вони отримали велике розповсюдження на тягових підстанціях Японії, вони забезпечують зниження несиметрії напруги в мережі зовнішнього електропостачання. У цих трансформаторах первинна обмотка з'єднана у зірку, дві вторинні з'єднані в два зустрічних трикутника. Одне плече тягового навантаження підключається до точок  $a_2$  та  $a_3$ , інше до обмоток  $b_2 - c_2$  та  $b_3 - c_3$ , які з'єднані паралельно. Якщо напруга між вершинами трикутників  $a_2$  та  $a_3 - U$ , тоді між  $b_2 - c_2$  ( $b_3 - c_3$ ) буде в  $\sqrt{3}$  разів менше, тому необхідний автотрансформатор для підвищення напруги другого плеча до значення  $U$ .

Від трансформаторів системи Вудбріджа ми отримуємо напруги плечей тягового навантаження, зсунуті одна відносно одної на 90 градусів, тому



коефіцієнт несиметрії цієї схеми залежить від співвідношення навантажень плечей так само, як і при схемі Скотта. Окрім того, при системі Вудбріджа відсутній струм нульової послідовності у первинній обмотці.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.3 – Схема трансформатора системи Вудбріджа [21]

**3.2.2 Трансформаторна схема Скотта.** Вона складається із двох однофазних трансформаторів, які мають різні коефіцієнти трансформації, вони увімкнені за спеціальною схемою, яка представлена на рисунку 3.4.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.4 – Схема трансформатора Скотта [22]

На схемі представлено: трансформатор I «базовий» та трансформатор II, який називається «висотний». Обидва виводи «базового» трансформатора та один вивід «висотного» трансформатора під'єднані до проводів ліній електропередачі. Кінець первинної обмотки «висотного» трансформатора з'єднується із середньою точкою обмотки «базового» трансформатора. Оскільки напруги ліворуч та праворуч від підстанції мають бути однаковими, коефіцієнти трансформації трансформаторів I та II виходять різними. Кількість витків первинних обмоток має відповідати наступному співвідношенню:

$$\frac{W_{III}}{W_{II}} = \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (3.1)$$

Відтак, напруги на вторинних обмотках рівні за величиною, а кут зсуву фаз між векторами напруг вторинних обмоток рівний  $\alpha = \pi / 2$  [23]. Модулі струмів  $I_a, I_b, I_c$  рівні, а величина зсуву фаз між ними дорівнює  $2\pi / 3$ .

З'єднання трансформаторів за схемою Скотта має такі переваги [24]:

- ❖ вирівнює переки фазної напруги;
- ❖ симетрично завантажуються всі три фази мережі живлення;
- ❖ підтримує стабільність систем електропостачання;
- ❖ покращується якість електроенергії, що передається споживачам;
- ❖ підвищений коефіцієнт використання трансформатора проти іншими схемами: неповна зірка, відкритий трикутник тощо.

**3.2.3 Трифазні симетруючі трансформатори.** У трифазний трансформатор, обмотки високої та низької напруги якого з'єднані у зірку, вбудовується симетруючий пристрій, який являє собою додаткову обмотку, яка опоясує обмотки високої напруги. Ця обмотка спроектована так, щоб вона могла витримувати номінальний струм навантаження у тривалому режимі роботи на одній фазі. Принцип дії цього трансформатора полягає у вирівнюванні фазної напруги шляхом перерозподілу потужності між фазами [25].

Схема увімкнення обмоток трифазного трансформатора для симетрування фаз представлена на рисунку 3.5.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.5 – Трифазний симетрувальний трансформатор

**3.2.4 Схеми симетрування з урахуванням індуктивних і ємнісних елементів.** Схеми симетрування цього типу припускають включення регульованих реакторів та конденсаторних батарей двох чи трьох фазах трифазної системи. Схема представлена на рисунку 3.6.

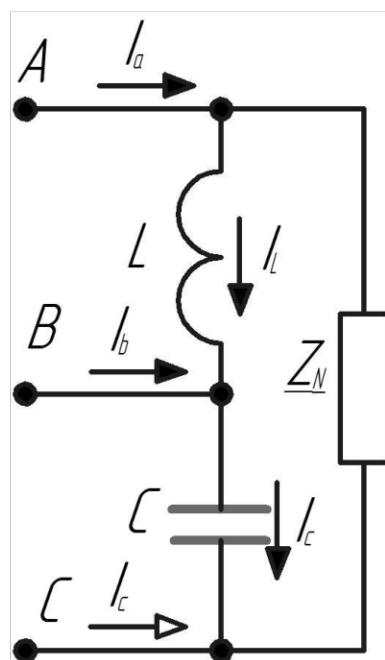


Рисунок 3.6 – Схема Штайнмеца для однофазного навантаження

Найбільш поширена схема Штайнмеца, вона ефективніша за наявність лише активного навантаження, хоча вона забезпечує і симетрування активно-індуктивного навантаження, проте загальний коефіцієнт потужності у цьому випадку знижується.

У випадку однофазного навантаження у вільні фази вмикаються реактор та батарея конденсаторів, реактивні потужності яких у  $\sqrt{3}$  разів менше потужності симетрованого навантаження [26]. Однак для ефективної роботи схеми потрібно мати індуктивно-ємнісні елементи, які регулюються, з високою швидкістю. Окрім цього, для симетрування двофазного навантаження будуть потрібні індуктивно-ємнісні елементи, встановлені у всі три фази, а також алгоритми для їх керування, з урахуванням необхідності компенсації реактивної потужності та симетрування двох навантажень.

### **3.3 Рекомендації з дотримання показників якості електричної енергії**

Дотримання показників якості електричної енергії є важливим аспектом для забезпечення ефективної та безперебійної роботи системи електропостачання електропостачання. Підсумовуючи основну частину кваліфікаційної роботи ми хочемо зробити рекомендації для дотримання показників якості електричної енергії, зокрема коефіцієнту несиметрії напруг.

Найбільш ефективні та точні рекомендації можна давати лише за наявності даних про поточні схеми електричних з'єднань підстанцій та рішень, які застосовуються для зменшення несиметрії напруги на високій стороні, оскільки ці відомості є відсутні, можна лише порівняти варіанти зниження несиметрії.

При використанні з'єднання трансформатора «зірка/трикутник група – 11» перехід на симетруючі трансформатори Вудбріджа, трансформатори Скотта або симетруючі трифазні трансформатори вимагатимуть заміни силових трансформаторів та іншого існуючого обладнання, що вимагатиме

великої кількості економічних вкладень. Використання трансформаторів Вудбріджа тягне за собою збільшення потужності підстанції порівняно з класичною схемою, оскільки трансформаторна потужність трифазного трансформатора використовується не повністю (приблизно на 83 %), а також будуть потрібні ще два додаткові автотрансформатори. Більше економічним варіантом буде встановлення двофазних симетруючих трансформаторів, при цьому варіанті можлива модернізація існуючих підстанцій без зміни силових трансформаторів.

Підстанції, які ґрунтуються на живленні плечей підстанції напругами, які відрізняються за фазою на 90 градусів, мають два недоліки:

- ❖ ефективно симетруються лише два рівні навантаження;
- ❖ при активних навантаженнях на плечах відбувається споживання реактивної потужності з мережі живлення.

Схема Штайнмеца не потребує рівності потужностей плеч живлення підстанції та одночасно забезпечує компенсацію реактивної потужності, так само не вимагає заміни обладнання або серйозної реконструкції підстанції. Хоча, результати моделювання, які проведені у [27] демонструють найбільший ефект, який спостерігається у системах електропостачання, що використовують симетруючі пристрої за схемою Штайнмеца.

Тому, наші рекомендації полягають у розгляді схем симетрування із урахуванням індуктивних та ємнісних елементів, як пріоритетного напрямку зменшення несиметрії на електричних підстанціях.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Зміст першої допомоги потерпілому від електричного струму

Перша допомога потерпілому від ураження електричним струмом спрямована на відновлення або збереження його життя та здоров'я. Її надають, як правило, особи, які є поруч із потерпілим. Особа, яка надає допомогу, повинна знати: основні ознаки порушення життєво важливих функцій організму людини; загальні ознаки надання першої допомоги та її заходи; основні способи перенесення та евакуації потерпілих.

Особа, яка надає допомогу, повинна вміти [28]:

- ❖ оцінювати стан потерпілого та визначати, яка допомога потрібна йому першочергово;
- ❖ забезпечити відновлення прохідності верхніх дихальних шляхів;
- ❖ виконувати штучне дихання способом «з рота в рот» («з рота в ніс») та закритий масаж серця, а також оцінювати їх ефективність;
- ❖ тимчасово зупиняти кровотечу накладанням джгута, стискальної пов'язки, пальцевим притисненням судин;
- ❖ накладати пов'язку при ушкодженні;
- ❖ використовувати підручні засоби для перенесення, завантаження і транспортування потерпілого;
- ❖ користуватися аптечкою першої допомоги.

Першу допомогу потерпілому від електричного струму потрібно надавати у такій послідовності:

- ❖ звільнити потерпілого від дії електричного струму;
- ❖ визначити характер та важкість електротравми та послідовність заходів порятунку потерпілого;
- ❖ виконати заходи рятування потерпілого та підтримки його основних житєвих функцій;

❖ викликати швидку медичну допомогу (лікаря) або транспортувати потерпілого до найближчого медичного закладу.

Порятунок потерпілого залежить від швидкості звільнення його від дії струму, а також від правильного і своєчасного надання йому допомоги.

Перша допомога при ураженні електричним струмом надається двома етапами: звільнення потерпілого від дії струму й надання йому долікарської медичної допомоги.

Оскільки результат ураження струмом залежить від тривалості проходження його через тіло людини, дуже важливо якнайшвидше звільнити потерпілого від струму й відразу ж надати йому допомогу. В усіх випадках ураження людини струмом необхідно, не припиняючи надання йому першої допомоги, викликати лікаря.

## 4.2 Штучне дихання

*Способи штучного дихання.* Існує безліч різних способів виконання штучного дихання. Усі вони поділяються на дві групи: апаратні та ручні.

Апаратні способи потребують застосування спеціальних апаратів, які забезпечують вдювання та видалення повітря із легенів через гумову трубку, вставлену в дихальні шляхи, або через маску, накладену на обличчя потерпілого.

Найпростішими з апаратів є ручні портативні апарати РПА-1 та РПА-2, призначені для штучного дихання та аспірації (відсмоктування) рідини й слизу із дихальних шляхів. Основними частинами їх є невеликий дуттьовий міх, який приводиться в дію рукою, і маска, яка накладається щільно на рот та ніс потерпілого [29].

Під час стиснення міха відбувається активний вдих, тобто введення під деяким тиском у легені потерпілого атмосферного повітря в обсязі 0,25 – 1,5 л або повітря, збагаченого киснем. В останньому випадку до всмоктувального клапану апарата приєднується киснева подушка. Під час розтягання міха відбувається пасивний видих, при цьому повітря з апарата

виходить через спеціальний клапан. Завдяки портативності та малій масі цей апарат застосовується не тільки у лікарняних, але й у виробничих умовах.

Прикладом більш досконалих апаратів з активним вдихом та видихом, тобто з позитивним тиском на вдиху й негативним на видиху, є портативний апарат ДП-2. Він працює автоматично, використовуючи енергію стислого кисню, що міститься у балоні, та забезпечує режим природного дихання. Апарат споряджений пристроєм, який регулює глибину та тривалість вдиху й видиху, частоту дихання, вміст у суміші кисню, вологість суміші тощо. Апарат може бути використано для надання невідкладної допомоги на місці нещасного випадку, при транспортуванні потерпілого в медичну установу, а також у лікарняних умовах для тривалого проведення штучного дихання – протягом декількох годин та навіть днів.

*Ручні способи* значно менш ефективні та незрівнянно більш трудомісткі, ніж апаратні. Вони мають, однак, ту важливу перевагу, що можуть виконуватися без будь-яких пристроїв та приладів, тобто негайно після виникнення порушень дихання в потерпілого.

Серед великої кількості існуючих ручних способів найбільш ефективним є спосіб «з рота в рот». Він полягає у тому, що той, хто надає допомогу, вдуває повітря зі своїх легенів у легені потерпілого через його рот або ніс. Установлено, що повітря, видихуване з легенів, містить достатню для дихання кількість кисню.

*Підготовка до штучного дихання.* Перш ніж розпочати штучне дихання, потрібно швидко виконати такі операції:

- ❖ звільнити потерпілого від одягу, який стискає дихання, розстебнути комір, розв'язати краватку, розстебнути пояс штанів тощо;
- ❖ покласти потерпілого на спину на горизонтальну поверхню – стіл або підлогу;
- ❖ максимально закинути голову потерпілого, поклавши під потилицю долоню однієї руки, а другою надавлювати на чоло (рис. 4.1, а) доти, поки підборіддя потерпілого не опиниться на одній лінії із шиєю (рис. 4.1, б). При



цьому положенні голови язик відходить від входу у гортань, забезпечуючи тим самим вільний прохід повітря в легені, рот звичайно відкривається. Для збереження досягнутого положення голови під лопатки необхідно підкласти валик зі згорненого одягу;

❖ пальцями обстежити порожнину рота, і якщо у ньому виявиться сторонній вміст (кров, слиз тощо), видалити його, вийнявши одночасно зубні протези, якщо вони є. Для видалення слизу й крові необхідно голову та плечі потерпілого повернути убік (можна підвести своє коліно під плечі потерпілого), а потім за допомогою носової хусточки або краю сорочки, намотаної на вказівний палець, вичистити порожнину рота й глотки (рис. 4.2). Після цього необхідно надати голові початкового положення й максимально закинути її, як зазначено вище (рис. 4.1).

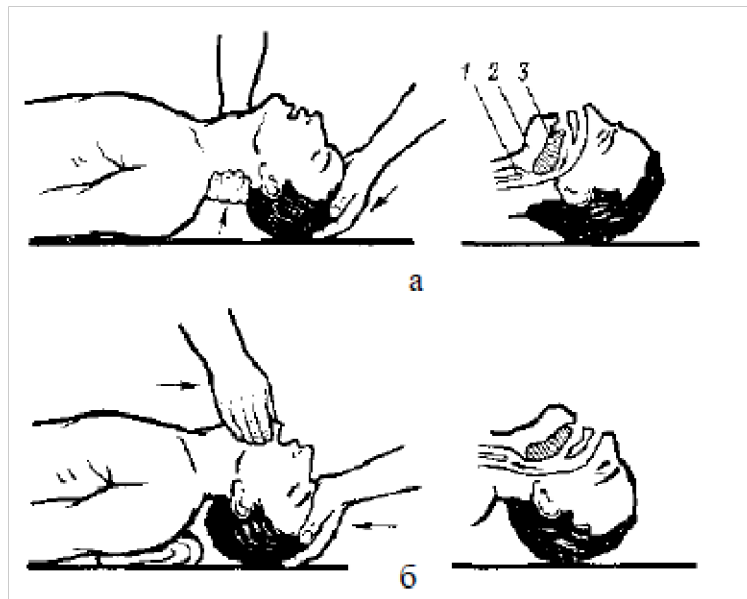


Рисунок 4.1 – Положення голови постраждалого перед проведенням штучного дихання способом «з рота в рот»: *а* – початкове положення голови: вхід у гортань 1 перекритий надгортанником 2 і запалим язиком 3; *б* – положення голови, при якому починають штучне дихання: голова закинута, нижня щелепа висунута (надгортанник піднявся, і язик відійшов від входу в гортань, завдяки чому забезпечений вільний прохід повітря в неї).

*Виконання штучного дихання.* Після закінчення підготовчих операцій той, хто надає допомогу, робить глибокий вдих і потім із силою видихає повітря в рот потерпілого. При цьому він повинен охопити своїм ротом весь рот потерпілого, а своєю щокою або пальцями затиснути йому ніс (рис. 4.3,

а). Потім той, хто надає допомогу, відкидається назад, звільняючи рот і ніс потерпілого, і робить новий вдих. У цей період грудна клітка потерпілого опускається, й відбувається пасивний видих (рис. 4.3, б). Маленьким дітям вдювання повітря можна робити одночасно в рот і ніс, при цьому той, хто надає допомогу, повинен охопити своїм ротом рот і ніс потерпілого.

Контроль за надходженням повітря у легені потерпілого здійснюється за розширенням грудної клітки при кожному видиханні. Якщо після вдювання повітря грудна клітка потерпілого не розправляється, це вказує на непрохідність дихальних шляхів. У такому випадку необхідно висунути нижню щелепу потерпілого вперед, для чого той, хто надає допомогу, повинен поставити чотири пальці кожної руки за кутами нижньої щелепи й, упираючись великими пальцями в її край, висунути нижню щелепу вперед так, щоб нижні зуби стояли поперед верхніх (рис. 4.4, а). Легше висунути нижню щелепу уведеним у рот великим пальцем, як показано на рис. 4.4, б.

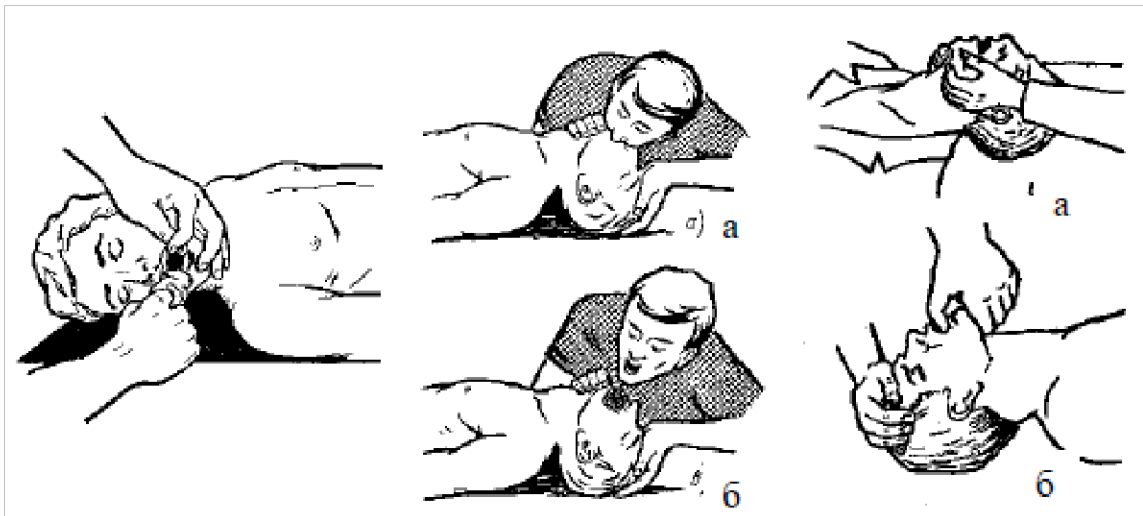


Рисунок 4.2 – Очищення порожнини рота й глотки від слизу, крові тощо

Рисунок 4.3 – Виконання штучного дихання способом «з рота в рот»: а – вдих; б – видих.

Рисунок 4.4 – Висування нижньої щелепи: а – двома руками; б – одною рукою.

Найкраща прохідність дихальних шляхів потерпілого забезпечується при дотриманні трьох умов: максимальне відгинання голови назад, відкриття рота, висування вперед нижньої щелепи. Іноді виявляється неможливим відкрити рот потерпілого внаслідок судорожного зціплення щелеп. У цьому випадку штучне дихання необхідно робити способом «з рота в ніс»,

закриваючи рот потерпілого при вдюванні повітря в ніс. Дорослій людині вдювання треба робити різко 10 – 12 разів за хвилину (тобто через 5 – 6 с), а дитині – 15 – 18 разів (тобто через 3–4 с). При цьому, оскільки у дитини місткість легенів менша, вдювання має бути неповним і менш різким. З появою у потерпілого перших слабких вдихів необхідно пристосовувати штучний вдих до початку самостійного вдиху. Штучне дихання необхідно проводити до відновлення глибокого ритмічного самостійного дихання.

### **4.3 Масаж серця**

Під час надання допомоги ураженим струмом здійснюють так званий непрямий або зовнішній масаж серця – ритмічне натискання на груди, тобто на передню стінку грудної клітки потерпілого. У результаті цього, серце стискується між грудиною та хребтом і виштовхує зі своїх порожнин кров. Після припинення натискання грудна клітка й серце розпрямляються й серце заповнюється кров'ю, яка надходить із вен. У людини, яка перебуває у стані клінічної смерті, грудна клітка через втрату м'язової напруги легко зміщується (здавлюється) при натисканні на неї, забезпечуючи необхідний стиск серця [28].

Мета масажу серця – штучна підтримка кровообігу в організмі потерпілого й відновлення нормальних природних скорочень серця. Кровообіг, тобто рух крові по системі кровоносних судин, необхідний для того, щоб кров доставляла кисень до всіх органів і тканин організму. Отже, кров має бути збагачена киснем, що досягається штучним диханням. Відтак, одночасно з масажем серця має проводитися штучне дихання.

Відновлення нормальних природних скорочень серця, тобто його самостійної роботи, під час масажу відбувається у результаті механічного подразнення серцевого м'яза (міокарда). Тиск крові в артеріях, який виникає в результаті непрямиго масажу серця, досягає порівняно великого значення – 10 – 13 кПа (80 – 100 мм рт. ст.), і виявляється достатнім, щоб кров

надходила до усіх органів та тканин тіла потерпілого. Це зберігає життя організму протягом усього часу, поки провадиться масаж серця (і штучне дихання).

Підготовка до масажу серця є одночасно підготовкою до штучного дихання, оскільки масаж серця має провадитися разом зі штучним диханням. Для виконання масажу необхідно покласти потерпілого на спину на тверду поверхню (лаву, підлогу або в крайньому разі підкласти під спину дошку). Необхідно також оголити його груди, розстебнути одяг, який стискає дихання.

При проведенні масажу серця той, хто надає допомогу, стає із будь-якого боку потерпілого й займає таке положення, за якого можливий більш-менш значний нахил над ним. Визначивши місце натискання (воно має бути приблизно на два пальці вище нижнього кінця грудини) (рис. 4.5), той, хто надає допомогу, повинен покласти на нього нижню частину долоні однієї руки, а потім поверх першої руки покласти під прямим кутом другу й надавлювати на грудну клітку потерпілого, злегка допомагаючи при цьому нахилом усього корпусу (рис. 4.6).

Передпліччя та плечові кістки рук того, хто надає допомогу, мають бути розігнуті до кінця. Пальці обох рук мають бути зведені разом і не торкатися грудної клітки потерпілого. Надавлювати потрібно швидким поштовхом, так щоб змістити нижню частину грудини вниз на 3 – 4 см, а в повних людей на 5 – 6 см. Зусилля при натисканні необхідно концентрувати на нижній частині грудини, яка більш рухлива. Необхідно уникати натискання на верхню частину грудини, а також на кінці нижніх ребер, тому що це може призвести до їхнього перелому. Не можна натискати нижче краю грудної клітки (на м'які тканини), тому що можна ушкодити розташовані тут органи, у першу чергу печінку.

Натискання (поштовх) на грудину необхідно повторювати приблизно 1 раз за секунду або трохи частіше, щоб створити достатній кровотік. Після швидкого поштовху положення рук не треба змінювати протягом приблизно

0,5 с. Після цього необхідно злегка випрямитися й розслабити руки, не віднімаючи їх від грудини.

Якщо тих, хто надають допомогу, двоє, то один з них має проводити штучне дихання, а інший – масаж серця (рис. 4.7). Доцільно кожному з них робити штучне дихання й масаж серця по черзі, змінюючи одне одного через кожні 5 – 10 хв. При цьому порядок надання допомоги має бути таким: після одного глибокого вдихання виконується п'ять натискань на грудну клітку.

Якщо той, хто надає допомогу, проводить штучне дихання й зовнішній масаж серця один, потрібно чергувати проведення зазначених операцій у такому порядку: після двох глибоких вдихань у рот або ніс потерпілого той, хто надає допомогу, 15 разів натискає на грудну клітку, потім знову виконує два глибоких вдихання й повторює 15 натискань для масажу серця й т. д.

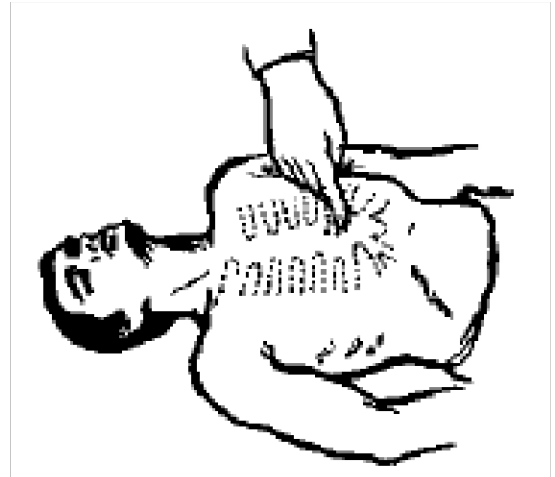


Рисунок 4.5 – Місце натискання на грудну клітку потерпілого при виконанні зовнішнього масажу серця

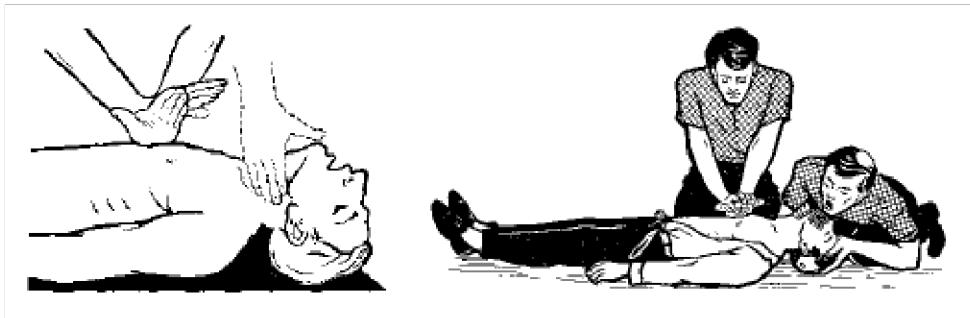


Рисунок 4.6 – Положення рук того, хто проводить масаж серця, й перевірка пульсу на сонній артерії

Рисунок 4.7 – Зовнішній масаж серця та штучне дихання «з рота в рот», виконувані двома особами

Ефективність зовнішнього масажу серця проявляється в першу чергу в тому, що при кожному натисканні на грудину на сонній артерії чітко прощупується пульс. Для визначення пульсу вказівний і середній пальці накладають на адамове яблуко постраждалого й, просуваючи пальці вбік, обережно обмацують поверхню шиї до визначення сонної артерії (рис. 4.6). Іншими ознаками ефективності масажу є звуження зіниць, поява в

потерпілого самостійного дихання, зменшення синюшності шкіри й видимих слизових оболонок [29].

#### **4.4 Розробка заходів із питань безпеки в надзвичайних ситуаціях**

Рятувальні та невідкладні аварійно-відновлювальні роботи залежно від масштабів стихійного лиха та обставин, які склалися, мають різноманітний характер. Так, при землетрусах, для виконання рятувальних, невідкладних, аварійно-відновлювальних робіт залучаються рятувальні зведені загони, загони механізації робіт, аварійно-технічні команди, інші формування, які мають бульдозери, екскаватори, крани, механізований інструмент і засоби малої механізації. При землетрусах, перш за все, витягують з-під завалів, напівзруйнованих і палаючих будинків людей, яким надають першу медичну допомогу. Влаштовують в завалах проїзди, локалізують і усувають аварії на інженерних мережах, які загрожують життю людей або заважають виконувати рятувальні роботи. Завалюють або укріплюють конструкції приміщень та споруд, що знаходяться в аварійному стані, організують водопостачання та обладнують пункт збору потерпілих та медичні пункти.

При повенях, для виконання рятувальних робіт залучають загони ЦО, міністерства надзвичайних ситуацій, а також відомчі спеціалізовані команди та підрозділи, які оснащені плавзасобами, санітарні пости і дружини, гідрометеорологічні пости, розвідувальні групи, збірні загони механізації робіт, формування будівельних, ремонтно-будівельних організацій та охорони громадського порядку. Рятувальні роботи при повенях спрямовані на пошуки людей на затоплених територіях, посадку їх в плавзасоби або вертольоти і евакуацію в безпечні місця. Групи розвідки повинні переміщуватись на швидких плавзасобах і вертольотах, встановлювати місця накопичення людей на затоплених територіях, їх стан, а потім подавати звукові і світлові сигнали.

Невеликим групам людей, що знаходяться у воді, кидають рятівні круги, гумові кулі, дошки, жердини та інші предмети, що плавають. При

виконанні цих робіт треба враховувати течію та напрям вітру. Для рятування і вивезення із затоплених територій великої кількості людей використовують судна, баржі, баркаси та інші плавзасоби. Посадку людей на них здійснюють безпосередньо з берега. Для цього вибирають і позначають місця, зручні для підходу суден до берега, а також обладнують причали [30].

Після буревію формування спільно з усім працездатним населенням об'єкта, виконують рятувальні та аварійно-відновлювальні роботи, рятують людей із завалених захисних та інших споруд та надають їм допомогу, відновлюють пошкоджені приміщення, лінії електропередач, зв'язку, газо- та водопроводу, ремонтують техніку і виконують інші аварійно-відновлювальні роботи. Значна частина катастрофічних явищ у природі виникає у результаті техногенної діяльності людини. На промислових об'єктах завчасно розробляються спеціальні заходи із запобігання або максимального зниження наслідків стихійних лих та зменшенню можливих втрат людей і матеріальних цінностей. До таких заходів відносяться:

- ❖ суворе дотримання вимог безпеки;
- ❖ організація повідомлення керівного складу, формувань цивільної оборони (ЦО) і населення;
- ❖ спеціальна підготовка та оснащення формувань (ЦО);
- ❖ надання медичної допомоги ураженим та матеріальної допомоги потерпілим.

Великі аварії та катастрофи на об'єктах можуть виникнути внаслідок стихійного лиха, а також порушень технології виробництва, правил експлуатації різних машин, обладнання та встановлених норм безпеки. Людина повинна, перш за все, сама турбуватися та приймати рішення із захисту від небезпеки, вміти захищати своє життя. Для прийняття рішення щодо заходів захисту необхідно знати фактори ураження даного типу НС і характеристики осередку ураження. Оскільки аварії та катастрофи завдають великих збитків народному господарству, забезпечення безаварійної роботи має виключно велике державне значення. Заходи по запобіганню від аварій і

катастроф є дуже складними і трудомісткими. Це комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів, спрямованих на виявлення і усунення причин аварій і катастроф, забезпечення мінімальних руйнувань і втрат [30].



## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

### 5.1 Палнування штатної чисельності персоналу підстанції

**5.1.1 Планування штатної кількості персоналу.** Днтермінуємо кількість працівників з оперативного та технічного обслуговування обладнання та пристроїв підстанції. Приведена нормативна кількість працівників оперативного персоналу ПС1 представлено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Приведена нормативна кількість оперативного персоналу підстанції

Підстанція	ВН	Кількість приєднань з вим. $\geq 110$ кВ	Нормативна кількість робітників на 1 підстанцію	Число однакових підстанцій	Нормативна кількість робітників
ПС1	220	35	4,5	1	4,5

Кількість оперативного персоналу детермінується за формулою [31]:

$$Ч_{ОП.П} = Ч_{ОП.НОРМ} \cdot K_{110} \cdot K_{220}, \quad (5.1)$$

де  $Ч_{ОП.НОРМ}$  – нормативна кількість працюючого оперативного персоналу;

$K_{110}$  – коефіцієнт, який ураховує обслуговування контурів 110 кВ;  $K_{220}$  –

коефіцієнт, який ураховує обслуговування контурів 220 кВ.

$$Ч_{ОП.П} = 4,5 \cdot 1,01 \cdot 1,05 = 4,77 \text{ чол.}$$

Приймаємо 4 чоловіки для оперативного персоналу  $Ч_{ОП.П} = 4$  чол.

Тепер, детермінуємо нормативну кількість працівників ремонтного персоналу ПС1 (таблиця 5.2).

Кількість працівників ремонтного персоналу обчислюється за виразом:

$$Ч_{РЕМ.П} = Ч_{РЕМ.НОРМ} \cdot K_{1РЕМ} \cdot K_{2РЕМ} \cdot K_{3РЕМ}, \quad (5.2)$$

де  $Ч_{РЕМ.НОРМ}$  – нормативна кількість працівників ремонтного персоналу

підстанції;  $K_{1РЕМ}$  – коефіцієнт, який враховує ремонт високовольтного

обладнання ( $K_{1РЕМ} = 1,06$ );  $K_{2РЕМ}$  – коефіцієнт, який враховує ремонт

вакуумних вимикачів ( $K_{2PEM} = 1,23$ );  $K_{3PEM}$  – коефіцієнт, який враховує ремонт елегазових вимикачів ( $K_{3PEM} = 1,1$ ).

Таблиця 5.2 – Приведена нормативна кількість ремонтного персоналу

Таблицю забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Кількість працівників ремонтного персоналу буде становити:

$$Ч_{PEM.П} = 1,4705 \cdot 1,06 \cdot 1,23 \cdot 1,1 = 2,235 \text{ чол.}$$

Кількість ремонтного персоналу приймаємо у розмірі  $Ч_{PEM.П} = 3$  чол.

Загальна кількість персоналу обчислюється за виразом [31]:

$$Ч_{ТП.П} = Ч_{ОП.П} + Ч_{PEM.П}; \quad (5.3)$$

$$Ч_{ТП.П} = 4 + 3 = 7 \text{ чол.}$$

**5.1.2 Обчислення оплати праці.** Укладаємо штатний розпис підстанції з обчисленим місячним окладом згідно тарифної сітки. Штатний розпис ПС1 представлено у таблиці 5.3.

Фонд заробітної плати складається із основної та додаткової частин.

Фонд основної заробітної плати складається із тарифного фонду, доплат за святкові дні, роботу в нічний час та надбавок за професійну майстерність.

Фонд додаткової заробітної плати укладається із оплати відпусток працівникам, а також на оплату часу виконання суспільних та державних обов'язків. Значення цих доплат приймаємо у розмірі 11 % від основної

заробітної плати. Результати обчислень заробітної плати зводимо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 – Штатний розпис ПС1

Посада	К-сть, чол	Розряд	Оклад, грн	Професійна майстерність, %	Доплата	
					нічний час, %	святкові дні, %
Начальник ПС	1	–	28124	20	20	–
Старший електромеханік	1	V	18556	20	20	–
Черговий електромеханік	2	IV	16351	16	40	3
Електромеханік з ремонту	3	IV	17212	16	20	3

Річні експлуатаційні витрати з обслуговування та експлуатації електротехнічного обладнання підстанції включають у себе такі статті витрат як: основна та додаткова заробітна плата; нарахування до заробітної плати; затрати на розхідні матеріали; відрахування на амортизацію; експлуатаційні затрати; інші затрати.

Таблиця 5.4 – Обчислення річного фонду заробітної плати працівникам ПС1

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

\* – під час дії військово стану доплати цим працівникам не передбачено.

До статті «експлуатаційні затрати» входять витрати з технічного обслуговування обладнання та мереж, які експлуатуються на підприємстві. Ми приймаємо величину експлуатаційних витрат у розмірі 15 % від основної та додаткової заробітної плати обслуговуючого персоналу підстанції та обчислюється за виразом:

$$Z_{EKC} = 0,15 \cdot \Phi_{PIЧ} ; \quad (5.4)$$

$$Z_{EKC} = 0,15 \cdot 2330415 = 349562,2 \text{ грн.}$$

Вартість запчастин та матеріалів, яка затрачається на ремонт електротехнічного обладнання приймається у розмірі 20 % від фонду основної заробітної плати:

$$Z_{MZ} = 0,2 \cdot \Phi_{PIЧ} ; \quad (5.5)$$

$$Z_{MZ} = 0,2 \cdot 2330415 = 466083 \text{ грн.}$$

Затрати на статтю «інші витрати» обчислюються як 15 % від основної заробітної плати:

$$Z_{IB} = 0,15 \cdot \Phi_{PIЧ} ; \quad (5.6)$$

$$Z_{IB} = 0,15 \cdot 2330415 = 349562,2 \text{ грн.}$$

У процесі експлуатації електротехнічне обладнання піддається фізичному та моральному зношуванню. Тому, для повної заміни цього обладнання, після закінчення терміну експлуатації зношеного обладнання, потрібні кошти. Для цього створюється амортизаційний фонд.

Детермінуємо амортизаційні відрахування, виходячи із вартості основних засобів та норм амортизаційних відрахувань за статтею «Амортизація підстанцій», за виразом [31]:

$$Z_{AM} = \frac{\sum C_{OBC} \cdot H_{AM}}{100}, \quad (5.6)$$

де  $C_{OBC}$  – вартість обладнання, яке обслуговується на підстанції;  $H_{AM}$  – норма амортизаційних відрахувань (приймаємо  $H_{AM} = 2 \%$ ).

Усі амортизаційні відрахування за обладнання, яке обслуговується на підстанції зводимо у таблицю 5.5, з використанням даних таблиці 5.2 та вартість обладнання.

Таблиця 5.5 – Обчислення амортизаційних відрахувань

Найменування устаткування	Вартість одиниці, тис. грн	Відрахування на амортизацію з врахуванням кількості, тис. грн
Трансформатор АТДЦТН-63000/220/110	4121	164,85
Вимикач LW30 – 252	189,3	26,46
Вимикач ВРС-110	157,5	31,5
Вимикач ВР35НСМ	77,91	20,2
Вимикач ВР35НС	57,2	3,43
Приєднання з масляними вимикачами	34,23	38,15
<b>Всього</b>		<b>284606</b>

Результати обчислень кошторису річних експлуатаційних затрат зведено до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис річних експлуатаційних затрат для ПС1

№ З/П	Стаття витрат	Витрати, тис. грн	У відсотках до загального
1	Основна та додаткова заробітна плата	2330415	41,4
2	Нарахування до зарплати	1841028	32,7
3	Експлуатаційні матеріали	349562	6,2
4	Амортизаційні відрахування	284606	5,3
5	Запасні частини та матеріали	466083	8,2
6	Інші витрати	349562	6,2
7	<b>Разом</b>	<b>5621256</b>	<b>100</b>

Бачимо, що кошторис річних експлуатаційних відрахувань для ПС1 становить **5621256** грн.

## 5.2 Детермінування вартості передачі та розподілу електричної енергії

Визначення собівартості передачі електричної енергії через електричну підстанцію є ключовим аспектом в управлінні енергетичними ресурсами.

Врахування собівартості дає змогу енергетичним компаніям ефективно керувати фінансовими ресурсами, визначати оптимальні тарифи та раціонально розподіляти витрати.

Основні аспекти важливості визначення собівартості включають:

- ❖ ефективне фінансове управління: знання собівартості дозволяє енергетичним компаніям раціонально розподіляти фінансові ресурси та уникати втрат.

- ❖ тарифне формування: з розумінням собівартості можна встановлювати конкурентоспроможні тарифи для споживачів, забезпечуючи при цьому прибутковість.

- ❖ планування інвестицій: з врахуванням собівартості можна раціонально планувати інвестиції в розвиток та модернізацію електромереж.

- ❖ стратегічне планування: з врахуванням собівартості можна розробляти стратегії для забезпечення стійкості енергетичного сектору та підвищення його конкурентоспроможності.

В цілому, визначення собівартості є важливим інструментом для управління енергетичним комплексом та забезпечення сталого розвитку енергетики.

Кошти, які отримуються відділенням за оплату електроенергії визначається за формулою:

$$П = Ц_{ВАР} \cdot E_{РОЗ}, \quad П = 2,64 \cdot 9873304 = 26\,065\,522 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де  $Ц_{ВАР}$  – ринкова вартість 1 кВтгод електричної енергії (грн/кВтгод). Згідно діючого тарифу  $Ц_{ВАР} = 2,64$  грн/кВтгод;  $E_{РОЗ}$  – кількість розподіленої підстанцією електроенергії.

Собівартість розподілення 1 кВтгод споживання електроенергії детермінується за формулою [32]:

$$C_{РОЗП} = \frac{B_{ЕКС}}{E_{РІЧ}}, \quad C_{РОЗП} = \frac{562125}{9873304} = 0,05 \text{ грн/кВтгод.} \quad (5.8)$$

де  $B_{ЕКС}$  – річні експлуатаційні затрати.

Проведені обчислення показали, що собівартість розподілу 1 кВтгод електричної енергії становить 0,05 грн/кВтгод.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено результати досліджень впливу навантажень на показники якості електричної енергії підстанцій. Основні отримані результати можна узагальнити такими висновками:

1. У кваліфікаційній роботі розкрито теоретичні питання несиметричних режимів роботи приймачів електричної енергії, зокрема: висвітлено класифікацію та режими роботи електричних споживачів, розкрито особливості роботи однофазних споживачів та особливості навантаження від електричного тягового транспорту, а також показано вплив несиметрії напруг на приймачі електричної енергії.

2. Для вибраних електричних підстанцій, здійснено аналіз стану показників якості електричної енергії, зокрема: здійснено аналіз споживачів електричної енергії, які живляться від розглядуваних підстанцій. У програмному комплексі Microsoft Excel було створено програму, яка дає змогу відбирати потрібні результати із великого масиву даних телеметрії. З допомогою згаданої програми, здійснено вибірки коефіцієнтів несиметрії, які представлено у вигляді рисунків, що аналізуються.

3. Встановлено, що на розглядуваних підстанціях найбільше порушень норм ДСТУ відбувається за коефіцієнтом несиметрії 2 – 4 %, що спричинено тяговим електричним транспортом. Для покращання показників якості електричної енергії запропоновано використовувати симетрувальні пристрої на основі реактивних ємністних та індуктивних елементів за схемою Штайнмеца.

4. Розкрито питання невідкладної допомоги постраждалому внаслідок ураження електричним струмом, зокрема: розкрито питання проведення штучного дихання та закритого масажу серця. Також, розкрито питання цивільного захисту населення у надзвичайних ситуаціях.

5. Також, в роботі здійснено техніко-економічні обчислення собівартості розподілу електричної енергії однією із розглядуваних підстанцій. Обчислення показали, що собівартість передачі електричної енергії через ПС1 становить 0,05 грн/кВтгод.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
2. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
3. ДСТУ 3466-96 Якість електричної енергії. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1997.
4. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії: підручник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 286 с.
5. <https://enext.ua/uk/press/articles/PUE-2021-Razdel-pervyy-Pravila-ustroystva-elektrostanovok/>
6. Лозинський О. Ю., Марущак Я. Ю. Ситуаційне керування в дугових сталеплавильних печах. Львів: Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2004. 382 с.
7. Бондар І. Л., Бондар О. І., Сиченко В. Г. Електричні системи та мережі споживачів залізничного транспорту. Дніпропетровськ: Наука, 2009. 158 с.
8. <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0002120-13>
9. Разумний Ю. Т., Заїка В. Т., Степаненко Ю. В. Енергозбереження: навч. посібник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. 166 с.
10. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=78046](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=78046)
11. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
12. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. Донецьк: НГУ, 2015. 540 с.
13. Осташевський М. О. Електричні машини і трансформатори. Київ: Каравклла, 2018. 452 с.

14. Червінський Л. С. Електротехнології та електроосвітлення. Київ. 2017. 690 с.
15. Бурбело М. Й., Гадай А. В. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 104 с.
16. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем. Львів: В-во НУ«ЛП», 2013. 533 с.
17. Давиденко Л. В., Коменда Н. В., Давиденко В. А., Євсюк М. М. Електропостачання промислових об'єктів: практикум. Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022. 244 с.
18. Журахівський А. В., Кінаш Б. М., Пастух О. Р. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 280 с.
19. Риндюк Д. В., Пешко В. А. Інформаційні технології. Київ: КП, 2022. 180 с.
20. Жежеленко І. В., Півняк Г. Г., Трофімов Г. Г., Папаїка Ю. А. Реактивна потужність в електричних мережах: монографія. Дніпро: НТУ«ДП», 2020. 72 с.
21. Шестерінко Е. В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця. Видавництво «Нова книга», 2004. 655 с.
22. <https://energyall.com.ua/scotts-transformer/>
23. Аніськов О. В. Електропостачання промислових підприємств: конспект лекцій. Кривий Ріг: КТУ, 2010. 95 с.
24. Казанський С. В. Надійність електроенергетичних систем. Київ: КП, 2020. 67 с.
25. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
26. Зорін Є. В., Олефір Д. О. Забезпечення надійної роботи ОЕС України – нагальна потреба сучасності. *Електропанорама*, № 4. 2007. С. 7 – 8.
27. Тісленко В. В. Системи електропостачання загального призначення. Чернігів: ЧНТУ, 2005. 341 с.

28. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. Електробезпека: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
29. Лехман С. Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві: навч. посібник. Київ: Урожай, 1993. 272 с.
30. Касьянов М. А., Ревенко Ю. П., Тищенко Ю. А. Захист населення в умовах надзвичайних. Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля., 2003. 183 с.
31. Мірошник О. О., Черкашина В. В., Мороз О. М., Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики. Харків: ФЛП Панов А. Н., 2018. 214 с.
32. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). Київ: Міненерго України, 1995. 34 с.