Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження впливу відхилення напруги, несинусоїдності та несиметрії на роботу електричного обладнання

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-63
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Балящук О.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту БАЛЯЩУКУ Олегу Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу відхилення напруги, несинусоїдності та несиметрії на роботу електричного обладнання

Керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » жовтня 2024 року № 4/7-983

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень, 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Статистичні дані про електричне навантаження та споживання ПРАТ «Птахофабрика Тернопільська», схема електрична принципова електричних силових і Освітлювальних мереж, перелік технологічного обладнання та графіки його роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ
2. Проектно-конструкторський розділ
3. Розрахунково-дослідницький розділ
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставленні задачі та шляхи їх розв'язку
2. Графіки, гістограми, коефіцієнти відхилення напруги, несинусоїдальності та несиметрії
3. Схема електропостачання птахофабрики та її паспортні параметри
4. Розрахункова модель втрат в системі електропостачання
5. Схема заміщення для розрахунку на основній частоті
6. Графіки втрат потужності та відхилення напруги
7. Схема заміщення для розрахунку вищих гармонік
8. Графіки втрат активної потужності на різних гармоніках та рівня несинусоїдності напруги
9. Загальні висновки до кваліфікаційної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання жовтень 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний розділ		
2	Проектно-конструкторський розділ		
3	Розрахунково-дослідницький розділ		
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
5	Оформлення пояснювальної записки		
6	Оформлення графічної частини		

Студент _____ Балящук О.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Оробчук Б.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Балящук О.Р. Дослідження впливу відхилення напруги, несинусоїдності та несиметрії на роботу електричного обладнання. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм-63. – Тернопіль: ТНТУ, 2024.

Стор. - 66; рис. - 24; табл. - 3; плакатів - 8; джерел – 42

У кваліфікаційній роботі розглянуто теоретичні та практичні питання, що дозволяють оцінити вплив несиметрії, несинусоїдності та відхилення напруги на роботу електричного обладнання на прикладі приватного акціонерного товариства «Птахофабрика Тернопільська», яке відноситься до агропромислового комплексу.

У кваліфікаційній роботі виконано дослідження режимів несиметрії, несинусоїдності та відхилення напруги на ПРАТ «Птахофабрика Тернопільська», проведено аналіз динаміки параметрів якості електроенергії для різних періодів часу та їх вплив на електричне обладнання. Проведено розрахунки втрат електроенергії, виконано розрахунок вищих гармонік. В результаті було отримано напівемпіричну залежність втрат від споживаної електричної енергії,і на базі цієї залежності визначено оптимальне відхилення напруги.

Ключові слова: якість електричної енергії, відхилення напруги, несиметрія, несинусоїдність, вищі гармоніки, електричне обладнання, електричне навантаження, схема заміщення.

ABSTRACT

O. Balyashchuk. Study of the influence of voltage deviation, non-sinusoidal and asymmetry on the operation of electrical equipment**.** 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group ETm-63. – Ternopil: TNTU, 2024.

Page – 66; Illustrations – 24; Tables – 3; Blueprints – 8; Sources – 42

In the qualification paper, the introduction of technical measures to increase the reliability of outdoor lighting systems is proposed, in particular, the use of intelligent control systems in street lighting networks. Since outdoor lighting network systems are an important component of the modern structure of utilities and they are part of a separate technical system at powerful enterprises, it is difficult to operate large modern facilities without them, including roads, dams, bridges, and other objects.

In the qualification work, a study of an intelligent street lighting control system was also conducted, technical equipment was selected for its implementation, and the efficiency of using this system in the urban infrastructure of the city of Borshchiv was calculated.

Key words: quality of electrical energy, voltage deviation, carrier-metry, non-sinusoidal, higher harmonics, electrical equipment, electrical load, substitution scheme.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 11
1.1 Аналіз загальної характеристики досліджуваного підприємства 11
1.2 Аналіз технічних характеристик пташника 14
1.3 Аналіз споживання електроенергії на птахофабриці 18
1.4 Висновки до 1 розділу 21
2 ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ 22
2.1 Стан якості електроенергії на підприємстві за відхиленням напруги 22
2.2 Стан якості електроенергії на підприємстві за несинусоїдальністю 27
2.3 Стан якості електроенергії на підприємстві за несиметрією 34
2.4 Вплив обладнання птахофабрики на якість електроенергії 36
2.5 Вплив якості електроенергії на електрообладнання 38
2.6 Висновки до розділу 2 41
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ 42
3.1 Розрахункова модель втрат в системі електропостачання 42
3.2 Розрахунок схеми заміщення на основній частоті 45
3.3 Розрахунок схеми заміщення гармонік струму і напруги 60
3.4 Висновки до розділу 3 71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 72
4.1 Охорона праці як складова безпеки життєдіяльності 72
4.2 Аналіз причин ураження людини електричним струмом 73
4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках 77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 81

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день надзвичайно актуальними завданнями є енергозбереження та енергоефективність, для реалізації яких було прийнято та введено в дію Закон "Про енергоефективність" [1]. Відповідно до Закону досить важливим є норми положення про енергетичне планування на локальному рівні, оскільки дієві стратегічні документи (наприклад, муніципальний енергетичний план, планування сталого енергетичного розвитку і кліматичних умов) є умовою комплексного підходу при розв’язку задач підвищення стану енергетичної ефективності в територіальній громаді та шляхів розвитку альтернативних і нетрадиційних джерел енергії, що дозволить не тільки економити витрати на енергетичні ресурси, а й також зменшити негативний вплив на оточуюче середовище внаслідок зменшення викидів парникових газів. Оцінка впливу якості електроенергії на роботу електричних приймачів дозволить впровадити комплекс заходів з метою зниження втрат електричної енергії, збільшити термін служби обладнання, що дозволить підвищити енергетичну ефективність виробництва, економію електричної енергії та знизити витрати вітчизняних виробництв.

Розвиток суспільства викликає зростання споживання електричної енергії, а інтенсифікація виробничих потужностей, розвиток електричних технологій провокують значний зріст енергетичної ємності та концентрації навантажень [2].

Спостерігається значно якісніша та кількісна реформація промислових споживачів і одночасно зростає число нелінійних, несиметричних та стрімко змінних промислових споживачів електроенергії. Зокрема, це напівпровід-никові перетворювачі великої потужності металургійних підприємств, електро-лізні установки. Такі споживачі здійснюють вплив на форму кривої напруги та споживають багато реактивної потужності, викликаючи при цьому погіршення показників якості енергії [3]. Формування енергетичного ринку, структурна перебудова енергетичної галузі, впровадження енергозберігаючих технологій створюють нові взаємовідношення між персоналом електричних станцій, електромереж та споживачами. Втрати під час відсутності електропостачання, причини виходу параметрів якості електроенергії за встановлені норми та

пов’язані з цим спричинені збитки уже стають не абстрактними питаннями. Такі збитки повинні компенсувати відповідальні особи і все це вимагає комплексного підходу до проблеми якості енергії [4].

Досліджуючи в кваліфікаційній роботі питання впливу показників якості напруги на енергетичну ефективність систем електропостачання агропромислового комплексу, можна використати аналітичні дані документів, що визначають рівні електромагнітної сумісності [5]. Варто відмітити, що крім кількісних показників, електрична енергії ще має відповідати деяким якісним показникам. Зокрема в Україні якість електроенергії має відповідати вимогам державного стандарту ГОСТ 13109-97 та стандарту EN 50160 [6]. Відповідно до матеріалів цього документу здійснюється нормування таких показників якості електричної енергії як відхилення напруги, несинусоїдальність напруги, несиметрія напру-ги та відхилення частоти.

Застосування технологічного обладнання, яке може створювати нелінійне навантаження в електромережах, піднімає на перший план актуальність питан-ня електромагнітної сумісності та контролю якості електричної енергії. Під-тримка параметрів якості електричної енергії на встановленому рівні дає пози-тивний вплив на роботу електричного обладнання та, зазвичай у більшості випадків дозволяє устаткуванню відпрацювати свій ресурс в межа зазначених гарантій. Підтримка високої якості електричної енергії гарантує збільшення енергоефективності електромереж за рахунок зменшення втрат активної та реактивної потужностей. Дотримання параметрів якості електричної енергії впливає і на економічний ефект, що дозволяє підвищити матеріально-технічний потенціал нашої держави.

Методи індустріалізації сучасних птахофабрик свідчать про науково-технічний прогрес галузі, основним напрямом якого є вдосконалення електро-механічних технологій з використанням новітніх засобів та методів систем автоматизації управління та підтримкою якості електричної енергії. Птахофаб-рика представляє собою підприємство, де кури, качки, індички та інші птахи виробляють яйця та м’ясо і його можна розділити на декілька відділень, вклю-чаючи інкубаторій, м’ясний або яєчний підрозділ [7]. Кваліфікаційна робота буде

присвячена дослідженню впливу відхилення напруги, несинусоїдності та несиметрії на роботу електричного обладнання на підприємстві птахофабрики.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є оцінка впливу несиметрії, несинусоїдності та відхилення напруги на роботу електрич-ного обладнання на підприємстві агропромислового комплексу.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- виконано оцінку рівнів несиметрії, несинусоїдності і відхилень напруги та їх впливу на електричне обладнання;

- проведено аналіз даних спостережень та експериментів для визначення залежності параметрів якості від величини навантаження;

- виконано розрахунок втрат, відхилення напруги і рівня гармонік та їх динаміки у виробничому циклі агропідприємства;

- розроблено рекомендації щодо зменшення негативного впливу показни-ків якості електричної енергії на електричне обладнання та зниженню втрат.

Об’єктом дослідження є підприємство «Птахофабрика Тернопільська», яка динамічно розвивається і успішно провела модернізацію своїх основних виробничих фондів, зокрема й електрообладнання. Пташники для вирощування бройлерів оснащені сучасним високотехнологічним обладнанням, керування яких в основному здійснюється за допомогою комп’ютера.

Предметом дослідження є вплив параметрів електричної енергії на електричне обладнання пташників.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробленій математичній моделі роботи пташників протягом доби, періоду вирощування та року. За результатами моделювання було отримано залежність втрат електричної енергії від сумарного добового споживання та формули для практичного розра-хунку втрат електричної енергії в залежності від відхилення напруги системи.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в запропонованих підходах щодо застосування технічних заходів для зменшення впливу відхилення напруги, несинусоїдності та несиметрії на роботу електричного

обладнання на досліджуваній птахофабриці. Областю можливого практичного застосування є підприємства агропромислового комплексу України.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на XIII Міжна-родній науково-технічній конференції молодих учених та студентів, 11-12 грудня 2024 р. (м. Тернопіль).

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Дослідження стану якості електричної енергії за відхиленням напруги». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XIII Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2024.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (30 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини: 84 сторінки, 14 таблиць, 49 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз загальної характеристики досліджуваного підприємства

«Птахофабрика Тернопільська» розташована за 10 км від міста Тернополя поблизу селища Великі Гаї. Птахофабрика складається з 21 пташника, лабораторії, санпропускника, вагової, складу, каналізаційної насосної станції, кормового цеху та офісного приміщення. Основні напрямки роботи птахофабрики полягають в отриманні яєць та вирощуванні бройлерів. Потужність птахофабрики становить більше 4 млн. голів бройлерів із виробництвом біля 8 тисяч тонн м'яса у живій вазі за рік.

«Птахофабрика Тернопільська» відноситься до першої категорії з надійності електропостачання, оскільки порушення її електропостачання може спричинити суттєві економічні збитки. На території птахофабрики розташовані дві комплектні двотрансформаторні підстанції 10/0,4 кВ, які отримують живлення по одній повітряній та двох кабельних лініях електропередач від підстанції 110/10 кВ «Тернопільська». Для електропостачання споживачів птахофабрики використовуються переважно кабельні лінії. В електричних мережах напругою 10 кВ застосовуються радіальні, магістральні та змішані схеми.

Схема розподілу електричної енергії має бути пов'язана з технологічною схемою об'єкта наступним чином:

- живлення електричних приймачів різних паралельних технологічних потоків передбачається від різних трансформаторних або розподільчих підстанцій, магістралей, різних секцій шин однієї підстанції - щоб у випадку аварії не було зупинки обох технологічних потоків;

- в межах одного технологічного потоку всі взаємопов'язані агрегати приєднуються до однієї підстанції, РП, магістралі, секції шин – у випадку припинення живлення потоку всі електричні приймачі, що входять до його складу, повинні бути одночасно знеструмлені [8].

Для живлення двотрансформаторних підстанцій з електричними приймачами 1-ї та 2-ї категорій застосовуються більш надійні схеми розподілу

електроенергії - з подвійними магістралями (рис. 1.1). Кожна магістраль отримує живлення від різних секцій шин РП 10 (6) кВ або РП, які мають відповідати вимогам незалежних джерел живлення. Трансформатори на під-станціях у нормальному режимі працюють окремо, секційний автоматичний вимикач на 0,4 кВ у цьому випадку вимкнений, а при аварії на магістралі всі споживачі здійснюють перемикання на робочу магістраль. З цією метою автоматично або вручну обслуговуючим персоналом здійснюється введення в дію секційного вимикача.

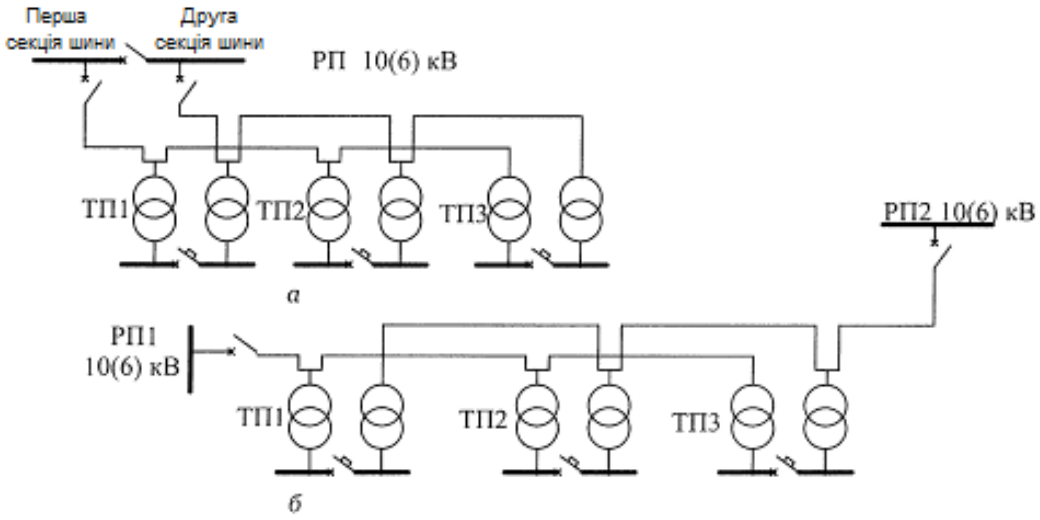


Рисунок 1.1 - Схеми з подвійними магістралями:
а) подвійна наскрізна магістраль із одностороннім живленням;
б) подвійна магістраль із двостороннім живленням.

Структура електричних приймачів птахофабрики за встановленою потуж-ністю наведена у табл. 1.1, а однолінійна схема електропостачання птахофаб-рики – на рис. 1.2.

Технологія виробництва товарної продукції птахівництва на промисловій основі передбачає використання високопродуктивної птиці, застосування збалансованих комбікормів, а також раціональні способи утримання птиці в спеціальних приміщеннях з регульованим мікрокліматом, процеси механізації та автоматизації виробничих процесів і систему ефективних зоогігієнічних та ветеринарних і санітарних заходів.

Таблиця 1.1 – Електроприймачі «Птахофабрика Тернопільська»

Назва приміщення	Встановлена потужність, кВт	Кількість споживачів	Загальна встановлена потужність	
			кВт	%
Пташник	20	21	480	83,2
Кормоцех	25	1	25	4,3
Офісне	15	1	15	2,6
Лабораторія	15	1	15	2,6
Склад	15	1	15	2,6
Санпропускник	15	1	15	2,6
Каналізаційно-насосна станція	11	1	11	1,9
Вагова	1	1	1	0,2
Разом:			**577**	**100,0**

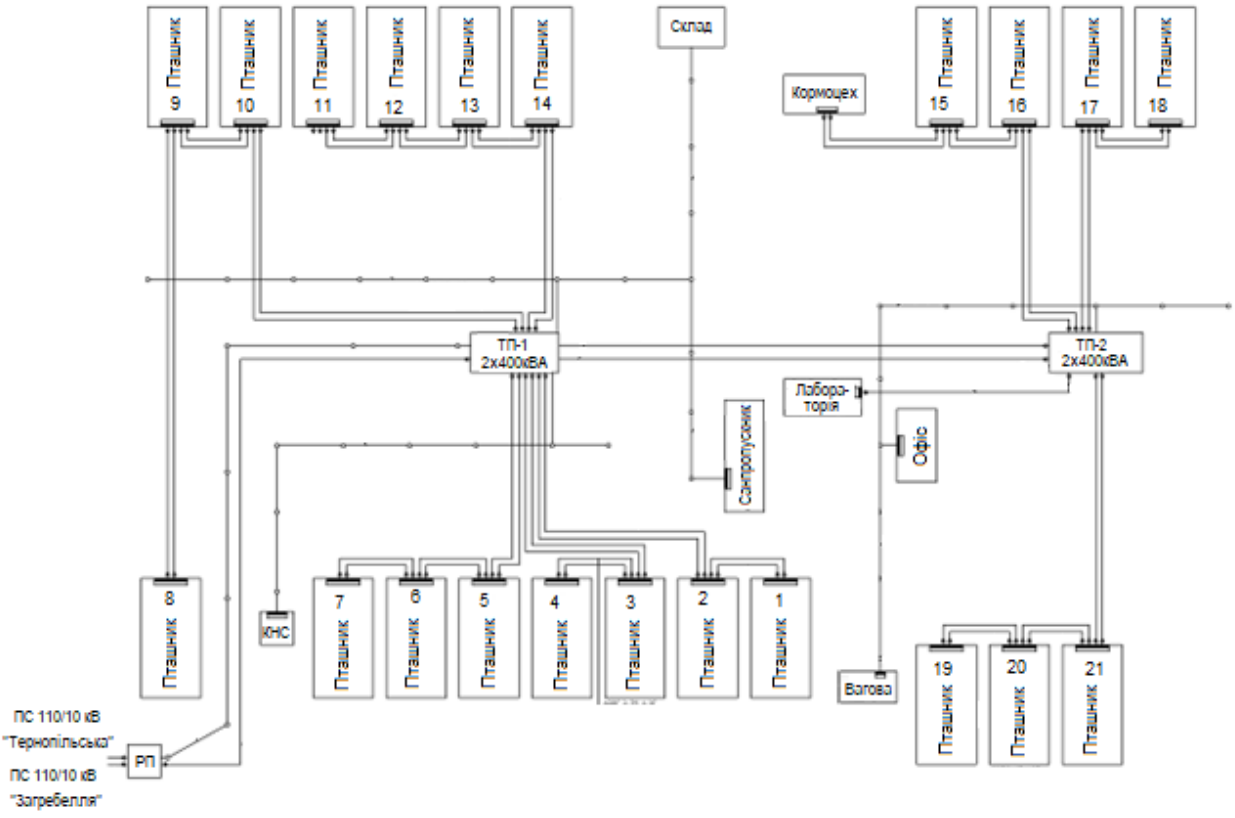


Рисунок 1.2 - Однолінійна схема електропостачання «Птахофабрика Тернопільська»

Для виробництва м'яса курей бройлерів при використанні ресурсозберігаючих технологічних прийомів вирощування задіяно на птахофабриці 21 пташник з корисною площею 1730 м². Пташники розраховані на вирощування в середньому біля семи партій бройлерів на рік [10].

Термін вирощування бройлерів становить не більше 40 днів, а вага однієї голови при забої має більше 2 кг. Щільність посадки становить 12 голів на 1 $м^2$ площі, або 20000 голів в одному корпусі. Фронт напування: 7 голів на 1 ніпель, або 20000 голів - 3030 ніпелів на корпус.

Пташники оснащені сучасним технологічним обладнанням виробництва фірми «ROXELL» та «BigDutchman». Бройлерів вирощують у клітинних батареях, на підстилці та сітчастих підлогах. На «Птахофабрика Тернопільська» застосовують підлоговий спосіб вирощування на підстилці, тобто розміщують курчат у заздалегідь підготовленому приміщенні і за 2 дні до прийому нової партії курчат у цьому приміщенні необхідно створити необхідний мікроклімат.

В якості джерела локального обігріву бройлерів використовуються газові інфрачервоні пальники GasolecM8, які доволі працездатними, надійними та простими в конструкції. Використання інфрачервоних нагрівачів дозволяє зекономити більше 30% газу за рахунок спрямованості теплового потоку на птицю.

Крім температури значний вплив на безпеку та м'ясний ріст бройлерів має повітрообмін, оптимальна швидкість руху якого в приміщенні в холодну пору року становить 0,2 м/с, а в теплу - 0,4 м/с. При зовнішній температурі більше 26°С для курчат старшого віку швидкість руху повітря може бути до 1,5 м/с.

Кількість подачі повітря в приміщення можна зменшити, якщо вміст шкідливих газів у ньому не перевищує такі концентрації:

- вуглекислий газ: 0,25% за обсягом;
- аміак: 15 мг/м³.
- сірководень: 5 мг/м³.

1.2 Аналіз технічних характеристик пташника

Пташник має павільйонну архітектуру і представляє собою будівлю із збірних залізобетонних конструкцій з 2-а рядами внутрішніх колон (прольоти 6+6+6 м), загальною шириною 18 м і довжиною 96 м. Висота приміщень біля зовнішніх стін становить 3 м, а у центрі рівна 5 м.

Пташники такого типу будують із керамзитобетонних панелей з залізобетонними перекриттями та засипкою речовиною із гравію. Підлога в приміщенні виконана з бетону, двері є дерев'яними, а між ними - цегляні перегород-ки. Усі конструкції та вироби будівлі виконані за діючими серіями, а сама будівля пташника складається з приміщення та кімнати обслуговування.

Однолінійна електрична схема пташника приведена на рис. 1.3.

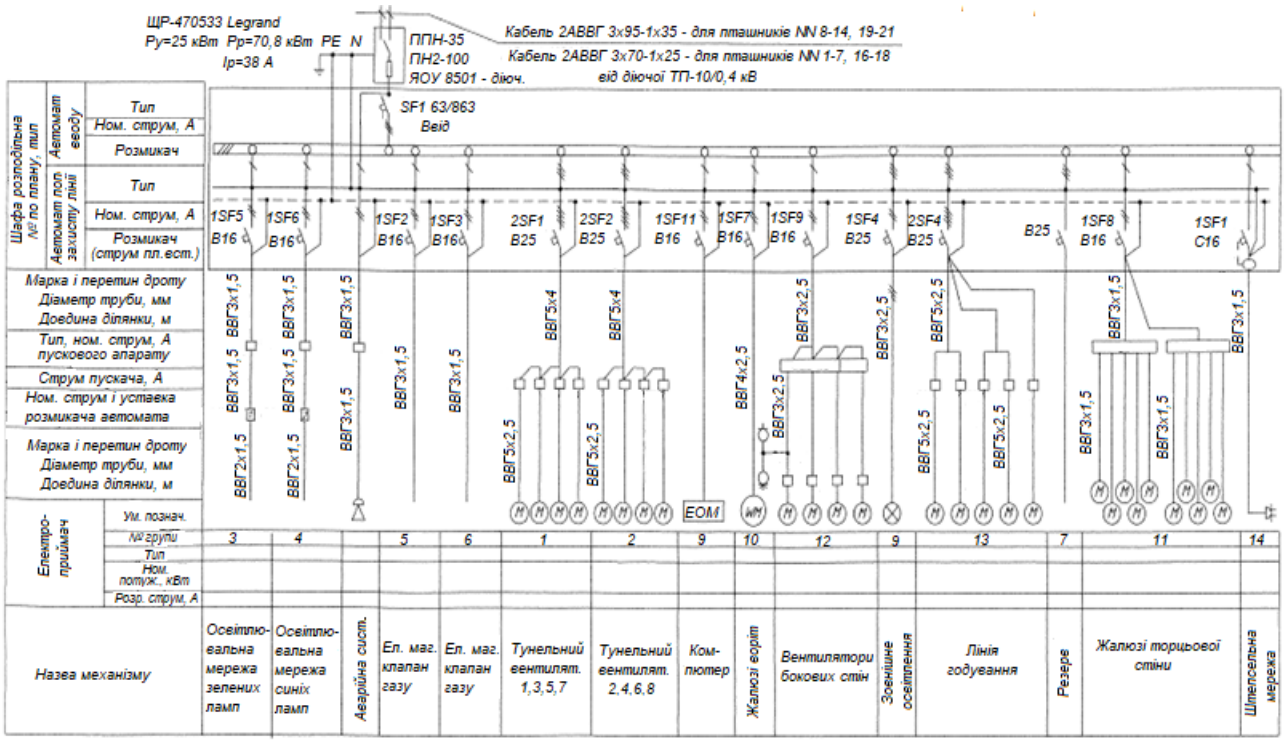


Рисунок 1.3 - Однолінійна електрична схема пташника

Птиці утримуються на підстилці при штучному висвітленні з регульова-ним світловим режимом згідно заданої програми. Процеси годування та напування на птахофабриці є механізованими за допомогою обладнання «Chore-Time». Годування птиці здійснюється сухими комбікормами, які подаються із зовнішнього бункера в приймальні бункери гнучкою спіраллю, а потім по трубах кормоподачі - до годівниці. Система напування птиці є ніпельною.

Пташник має декілька технологічних систем для забезпечення необхід-ного циклу виробництва, контролю та управління:

- система годування птиці;
- система напування птиці;
- система повітрообміну приміщення;
- система освітлення приміщення;
- система обігріву приміщення;
- система контролю та управління за технологічним процесом.

Зокрема, система годування складається з зовнішнього приймального бункера-накопичувача типу «SteadyFlow» (об'ємом 15,2 $м^3$ і масою 10 тонн, бункера-приймача (90,7 кг), поперечної лінії (довжина 20 м), 4 кормоліній з бункером-дозатором та 119 годівниць.

Система напування складається з 5 ліній напування по 606 ніпельних напувалки (3030 штук) з рекомендованим тиском води на вводі 1,8-2,5 $кг/см^2$.

Для підтримки заданого повітрообміну в пташнику встановлено систему вентиляції, що працює на принципі розрідження у трьох режимах: мініма-ль-ному, комбінованому, тунельному. При всіх режимах роботи вентиляції діє автоматичне управління роботою вентиляторів та положення бічних клапанів, припливних та витяжних камінів.

Система повітрообміну складається з:

- основної вентиляції (38 припливних клапанів із загальною продуктив-ністю 77900 $м^3$/год при розрідженні 20 Па та 4 настінних регульованих витяж-них вентиляторів Fancom 1680M із загальною продуктивністю 76000 $м^3$/год при розрідженні 30 Па);
- тунельної вентиляції (10 припливних жалюзі, розташованих у перед-ньому торці пташника та 8 витяжних вентиляторів Fancom 140 R/S, розташо-ваних у задньому торці пташника із загальною продуктивністю 271200 $м^3$/год при розрідженні 30 Па).

Світло має сильний вплив на продуктивність і поведінку птахів, зокрема забезпечення оптимального режиму освітлення є необхідною умовою отриман-ня кращих показників [11]. Більшість птахофабрик України користується

освітлювальним обладнанням фірми Gasolec (Голландія) - монохроматичними лампами червоного, синього, зеленого і білого кольору, що відповідають біологічним потребам птиці. Регулювання інтенсивності освітлення ламп здійснюють димерами, а основною перевагою цієї системи є невисока споживана потужність ламп "OrionGasolec" (в межах 11 Вт). Ці лампи є енергозберігаю-чими і дозволяють у 7-8 разів економити електроенергію в порівнянні зі звичайними лампами розжарювання при однаковій освітленості (термін служби ламп становить більше 10000 годин).

Система освітлення пташника складається з 96 світильників з лампами OrionPL (11 Вт) синього та зеленого кольорів із загальною встановленою потужністю 1,06 кВт та 2-х триступінчастих димерних регуляторів Orion (60 х11 Вт) на зелене та синє світло.

Для підтримки мікроклімату використовуються 64 газові інфрачервоні обігрівачі GasolecM8 (загальна потужність 320 кВт) та 2-х регуляторів газу NovacometBP 2303. Система управління побудована на базі комп'ютера Chore-Tronics, до якої підключено 4 термодавачі та 1 давач статичного тиску.

Комп'ютер забезпечує наступні функції:

- керування процесами вентиляції, обігріву, годування, освітлення;

- сервісні функції (облік птиці, витрата води, поточна температура, графік температури за час вирощування, облік часу роботи обігрівачів);

- сигналізація аварійних ситуацій;

- передача інформації про технологічні процеси у єдину мережу.

Пристрій C-Collect (по дві платформи на пташник) призначений для автоматичного зважування птиці, контролю добового приросту ваги, фіксації історії добових приростів і маси бройлерів, кількості зваженої птиці, однорідності стада та передачі інформацію на комп'ютера. Показники ваги отримують із тензодавачів, один тензодавач використовується спільно з блоком посилення сигналу SJB (через віддаленість до системи обробки даних).

Пристрій FeederControl призначений для автоматичного зважування корму в бункері, управління подачі корму в пташник, контролю споживання корму

протягом доби, контроль останнього подавання корму, передає інфор-мацію про процеси в комп'ютер.

Аварійна сигналізація типу СТ-1 складається з блоку сигналізації та сирени. Сигнал аварійної ситуації поступає на сирену при перевищенні значень температури або статичного тиску поза встановлені норми і при виході давачів температури з ладу, а також при відключенні електричної енергії за рахунок вбудованої акумуляторної батареї.

Встановлена потужність описаного вище обладнання приведена у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Встановлена потужність електрообладнання

№ п/п	Назва операцій	Робоча машина	К-ть	$P_{уст}$, кВт	η, %	Загальна потуж-ність, кВт
1	Вентиляція	Вентилятор 140 R/S Привод Belimo NM 230A Вентилятор 1680M Привод заслонок WM125	8 10 4 2	1,1 0,0025 0,95 0,09	79,5 100 79,5 60,0	11,1 0,03 4,78 0,3
2	Кормораздача	Двигун-редуктор 0,5 л. с. Двигун-редуктор 1 л. с.	4 1	0,37 0,75	72,0 78,5	2,1 0,96
3	Освітлення	Люмінесцентні лампи Зовнішнє освітлення	96 2	0,011 0,25	100 100	1,06 0,5
Разом:						**20,8**

1.3 Аналіз споживання електроенергії на птахофабриці

Графік споживання активної та реактивної потужності наведено на рисунках 1.4 – 1.6 (з метою покращення наочності на графіках вентиляція не показана).

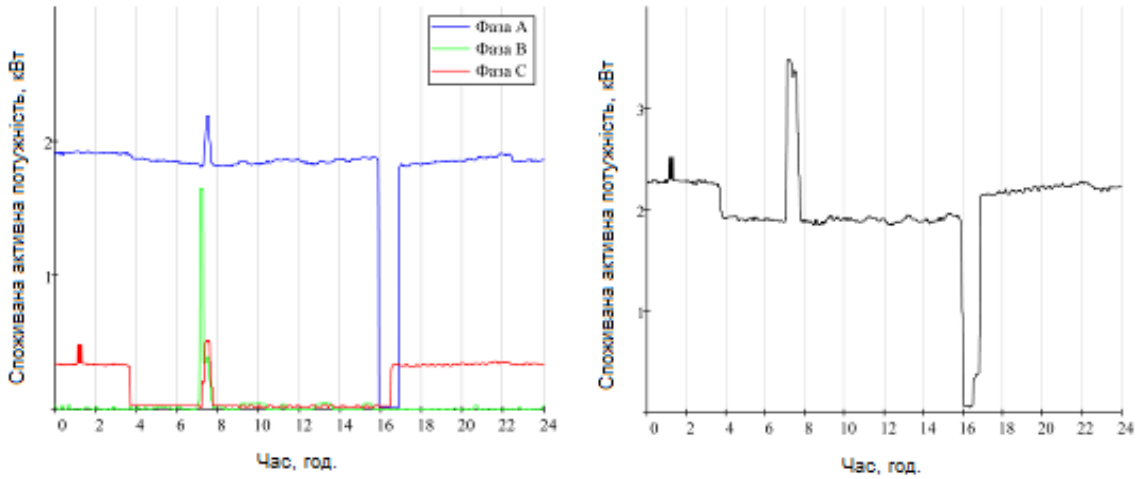


Рисунок 1.4 - Споживання активної потужності по фазах і повне

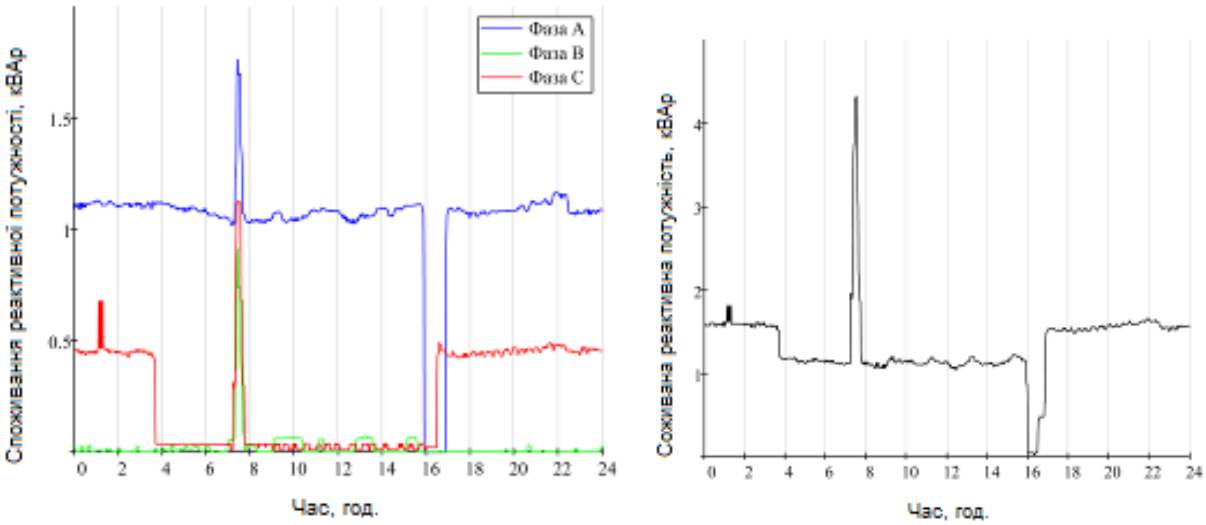


Рисунок 1.5 - Споживання реактивної потужності по фазах і повне

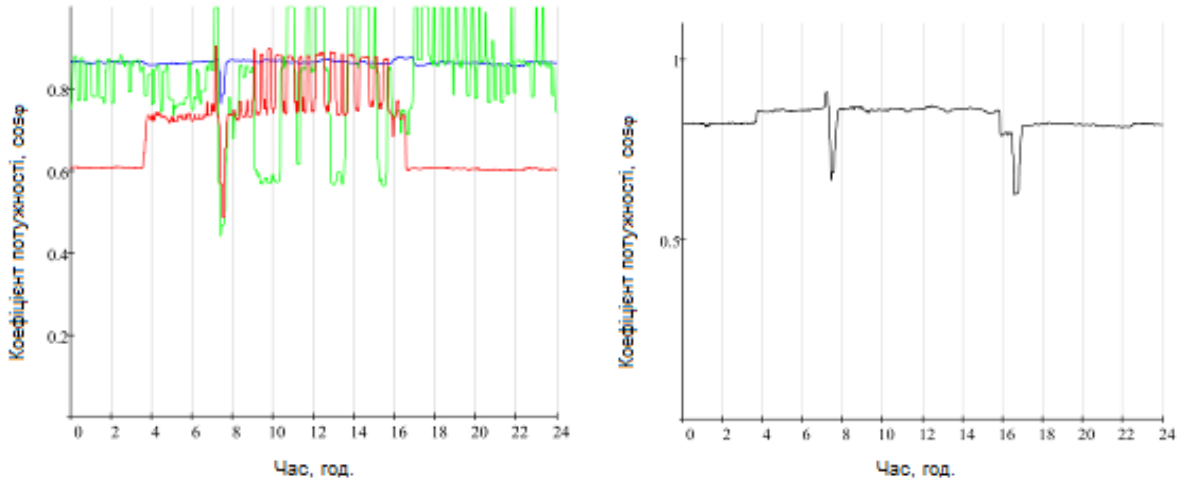


Рисунок 1.6 - Коефіцієнт потужності по фазах і повний

Виконавши аналіз отриманих даних, було побудовано добовий технологічний цикл роботи устаткування, який приведено на рис. 1.7.

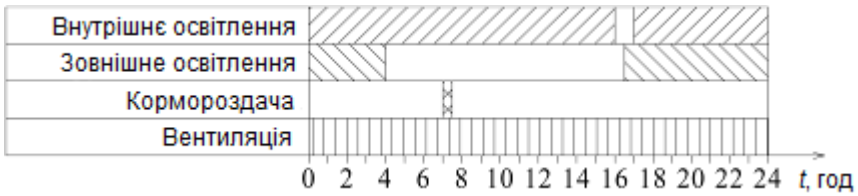


Рисунок 1.7 - Добовий графік роботи електричного обладнання

Варто відмітити, що вентиляція працює періодично протягом всієї доби $t_ц$=4,74 хв. і часом включення $t_в$=0,59 хв. Використовуючи графік роботи електрообладнання, було визначено загальну кількість спожитої електричної енергії, що приведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Споживана електрообладнанням електрична енергія

№ п/п	Назва операцій	Робоча машина	Загальна потуж-ність, кВт	Час роботи, год.	Споживана енергія, кВт·год
1	Вентиляція	Вентилятор 140 R/S Вентилятор 1680М	11,1 4,78	0 2,97	0 14,1
2	Кормораздача	Двигун-редуктор 0,5 л. с. Двигун-редуктор 1 л. с.	2,1 0,96	0,25 0,25	0,53 0,24
3	Освітлення	Люмінесцентні лампи Зовнішнє освітлення	1,8 0,375	23 11	41,4 4,13
Разом:					**60,4**

Порівнюючи отриману величину із отриманими показаннями приладу, отримуємо потужність $W_{акт}$ = 61,4 кВт. Деякі розходження в показниках можна пояснити наявністю малопотужних споживачів, зокрема комп'ютер, автоматичних давачів.

1.4 Висновки до 1 розділу

Розглянуто технологічний процес підприємства агропромислового комплексу, а саме «Птахофабрика Тернопільська», проаналізовано процес вирощування бройлерів на підстилці та фактори, які впливають на продуктивність та ефективність роботи.

Досліджено технологічні системи пташника, зокрема система освітлення, вентиляції, кормороздачі, обігріву, контролю та управління і їх взаємозв'язок та динаміка роботи протягом доби та всього періоду вирощування.

Виконано аналіз основних типів електроустаткування, порядок їх роботи, управління та контролю за виробництвом.

За даними, отриманими при вимірах на діючому підприємстві:

- визначено структуру споживання електричної енергії обладнанням пташника, виділено для подальшого розгляду основні споживачі електричної енергії;

- визначено споживання активної та реактивної потужності, коефіцієнт потужності за добовий період;

- сформовано приблизний добовий графік роботи електричного устаткування.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Стан якості електроенергії на підприємстві за відхиленням напруги

Для визначення стану якості електричної енергії для підприємства «Птахофабрика Тернопільська» застосовувався прилад "Ресурс-UF2M". Вимірник показників якості електричної енергії "Ресурс-UF2M" призначений для вимірювань характеристик напруги, включаючи основні показники якості електричної енергії, а також характеристик сили струму, потужності та енергії змінного трифазного та одно-фазного струму [11]. Прилад може працювати як в автономному режимі, так і у складі інформаційно-вимірювальних систем. На рис. 2.1 приведено схему підключення приладу для проведення дослідження стану якості електричної енергії на птахофабриці.

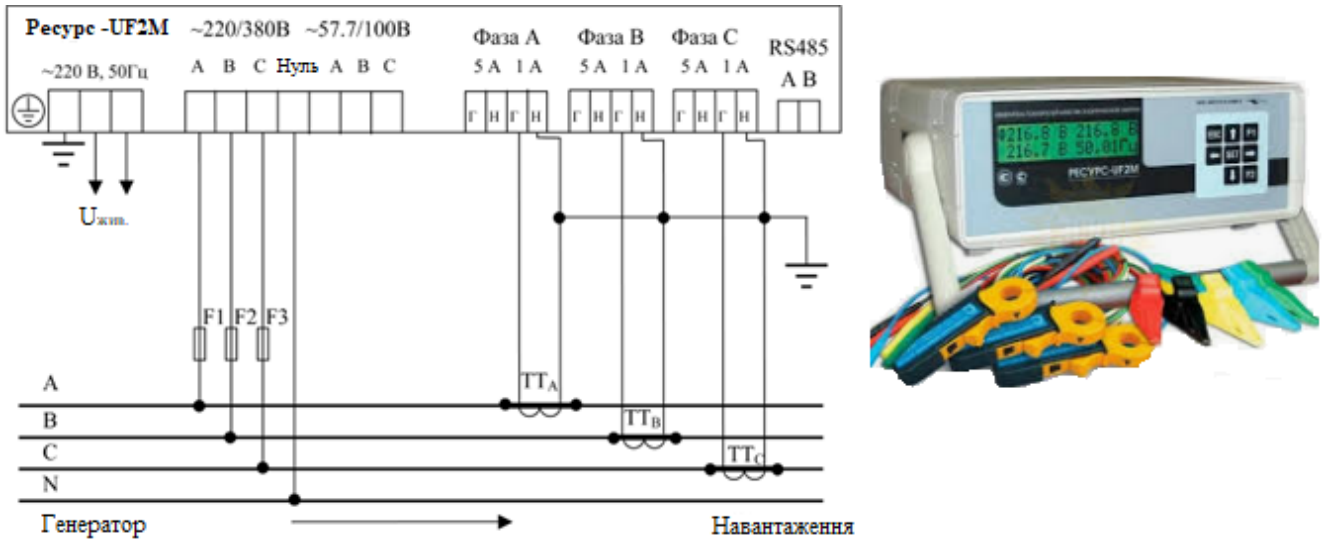


Рисунок 2.1 - Трифазна 4-провідна схема вимірювання напруги та схема вимірювання струму приладом «Ресурс-UF2M»

Режими вимірювання здійснювалися у двох точках - на відхідній лінії від комплектної трансформаторної підстанції, що живить декілька пташників і на вводі до пташника (рис. 2.2).

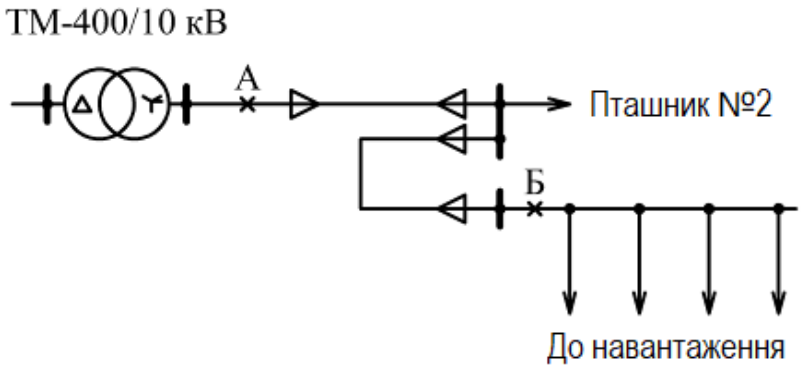


Рисунок 2.2 – Місце проведення дослідних вимірювань

Дослідження стану якості електроенергії було виконано за допомогою аналітичних методів, що використовуються для побудови графіків і гістограм, а також готових табличних даних, розрахованих за допомогою приладу "Ресурс-UF2M".

Щоб отримати гістограму розподілу, було виконано визначення кількості інтервалів розбиття за формулою Стерджесса [12]:

$$k = 1 + \log_2 n, \qquad (2.1)$$

де n – число вимірів.

Для добового графіка при інтервалі вимірювання n=24·60=1440, тоді

$$k = 1 + \log_2 1140 = 12 .$$

У методичних вказівках [12] також зазначено, що «оптимальне» значення k залежить не тільки від обсягу вибірки, а й також від виду закону розподілу та від способу групування.

При асимптотично оптимальному групуванні відносно скалярного параметра при 10, 11 інтервалах у груповаій вибірці зберігається десь біля 98% інформації, при оптимальному групуванні відносно вектора параметрів (присутні 2 параметри) для 15 інтервалів – буде біля 95%. Подальше збільшення кількості інтервалів суттєвого впливу не створює. Остаточно приймаємо значення k = 15.

Графік та гістограма відхилення напруги у точці Б приведені на рис. 2.3 і рис. 2.4.

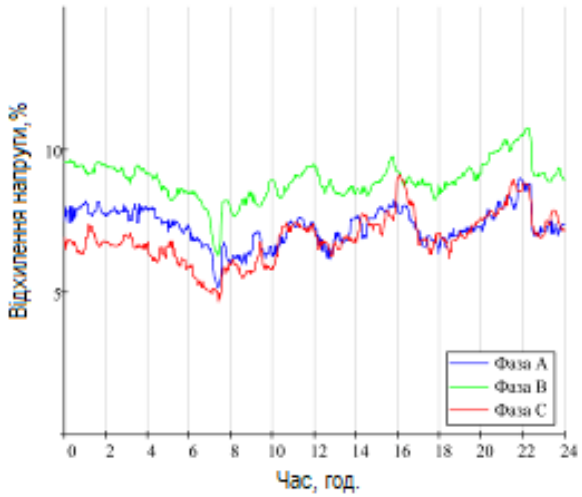


Рисунок 2.3 – Графік відхилення напруги у фазах у точці Б

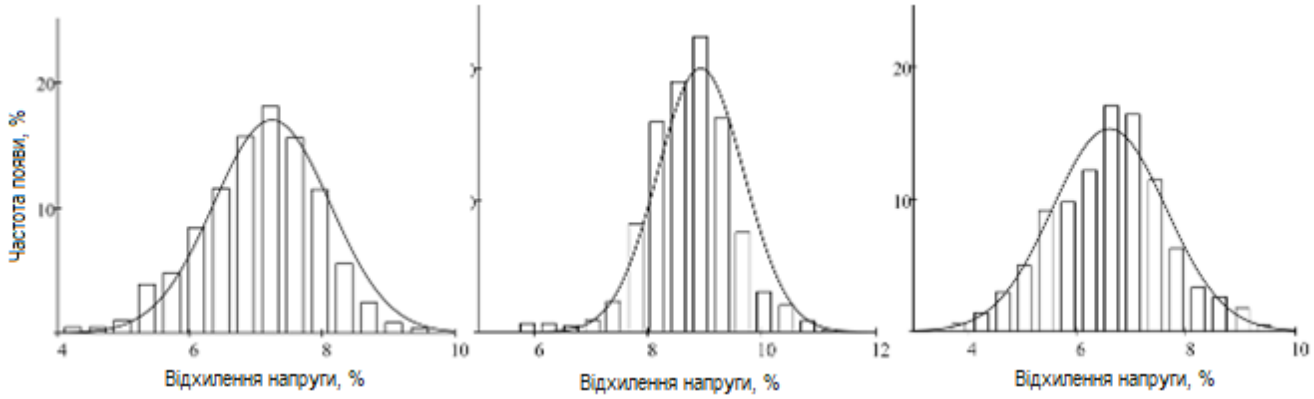


Рисунок 2.4 – Гістограми відхилення напруги у точці Б

Характеристику відхилення напруги приведено у табл. 2.1.

За результатами вимірювань на вводі в пташник №2 (йому відповідає точка Б) випливає, що значна частина часу спостереження відхилення фазних і лінійних напруг була більшою за нормально допустиме значення, а відхилення напруги фази В було більше за гранично допустиме значення.

Графік та гістограма відхилення напруги у точці А приведені на рис. 2.5 і рис. 2.6.

Таблиця 2.1 - Характеристика відхилення напруги в точці Б

Напруга	Характеристика, %											
	$\delta U^{II}_{у\,нм}$	$\delta U^{II}_{у\,н}$	$\delta U^{II}_{у\,в}$	$\delta U^{II}_{у\,нб}$	T_1^{II}	T_2^{II}	$\delta U^{I}_{у\,нм}$	$\delta U^{I}_{у\,н}$	$\delta U^{I}_{у\,в}$	$\delta U^{I}_{у\,нб}$	T_1^{I}	T_2^{I}
U_A	3,7	3,7	8,5	9,9	99,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
U_B	5,6	5,6	10,2	11,6	100,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
U_C	3,6	3,6	8,5	9,7	94,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Нормативне значення $U_ф$	-10,0	-5,0	5,0	10,0	5,0	0,0	-10,0	-5,0	5,0	10,0	5,0	0,0
U_{AB}	4,8	4,8	8,7	9,3	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
U_{BC}	5,0	5,0	8,9	9,5	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
U_{CA}	4,9	4,9	8,9	9,6	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
U_1	4,9	4,9	8,8	9,5	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Нормативне значення $U_{мф}$	-10,0	-5,0	5,0	10,0	5,0	0,0	-10,0	-5,0	5,0	10,0	5,0	0,0

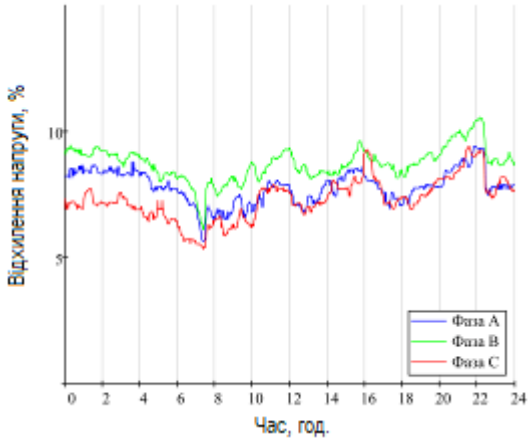


Рисунок 2.5 – Графік відхилення напруги у фазах у точці А

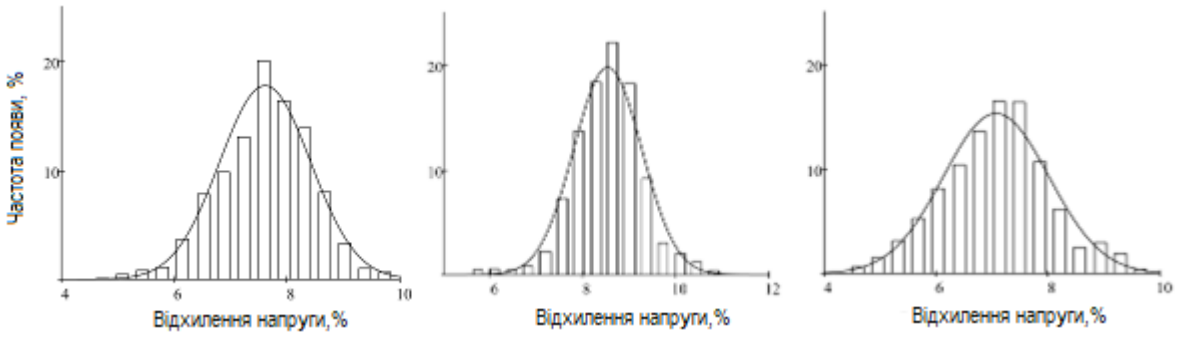


Рисунок 2.6 – Гістограми відхилення напруги у точці А

Характеристику відхилення напруги приведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Характеристика відхилення напруги в точці А

Напруга	Характеристика, %											
	$\delta U^{II}_{у\,нм}$	$\delta U^{II}_{у\,н}$	$\delta U^{II}_{у\,в}$	$\delta U^{II}_{у\,нб}$	T_1^{II}	T_2^{II}	$\delta U^{I}_{у\,нм}$	$\delta U^{I}_{у\,н}$	$\delta U^{I}_{у\,в}$	$\delta U^{I}_{у\,нб}$	T_1^{I}	T_2^{I}
U_A	4,58	4,58	9,00	10,30	99,93	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Uв	5,54	5,54	9,90	11,31	100,0	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_C	4,47	4,47	8,80	9,87	99,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Нормативне значення $U_ф$	-10,00	-5,00	5,00	10,00	5,00	0,00	-10,00	-5,00	5,00	10,00	5,00	0,00
U_{AB}	5,38	5,38	9,10	9,71	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_{BC}	5,48	5,48	9,30	9,94	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_{CA}	5,07	5,07	8,90	9,51	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_1	5,31	5,31	9,10	9,66	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Нормативне значення $U_{мф}$	-10,00	-5,00	5,00	10,00	5,00	0,00	-10,00	-5,00	5,00	10,00	5,00	0,00

З отриманими результатами вимірювань на шинах низької напруги трансформатора (у точці А) випливає, що протягом більшої частини часу спостереження відхилення фазних і лінійних напруг було більшим за нормально допустимого значення, а відхилення напруги фаз А і В було більше гранично допустимого значення.

Якщо допустити, що відхилення напруги є випадковою величиною і змінюється за законом розподілу, то тоді можна отримати середні значення відхилення для точки А та середньоквадратичні відхилення:

$$\Delta U_{A\,ср} = +7{,}8\ \%, \qquad \delta(\Delta U_A) = 0{,}8\ \%,$$
$$\Delta U_{B\,ср} = +8{,}9\ \%, \qquad \delta(\Delta U_B) = 0{,}74\ \%,$$
$$\Delta U_{C\,ср} = +7{,}3\ \% \qquad \delta(\Delta U_C) = 0{,}9\ \%.$$

Аналогічно отримуємо середні значення відхилення для точки Б та середньо-квадратичні відхилення

$$\Delta U_{A\,ср} = +7{,}2\ \%, \qquad \delta(\Delta U_A) = 0{,}88\ \%,$$
$$\Delta U_{B\,ср} = +8{,}9\ \%, \qquad \delta(\Delta U_B) = 0{,}76\ \%,$$
$$\Delta U_{C\,ср} = +6{,}8\ \% \qquad \delta(\Delta U_C) = 1{,}04\ \%.$$

З результатами розрахунку можна зробити висновок, що середнє відхилення напруги у точці Б у порівнянні з точкою А зменшується, але несуттєво. При цьому розкид, тобто середньоквадратичне відхилення, у точці Б є трохи вищим.

2.2 Стан якості електроенергії на підприємстві за несинусоїдальністю

Графік та гістограма коефіцієнтів несинусоїдності напруги в точці А приведені на рис. 2.7 – 2.10.

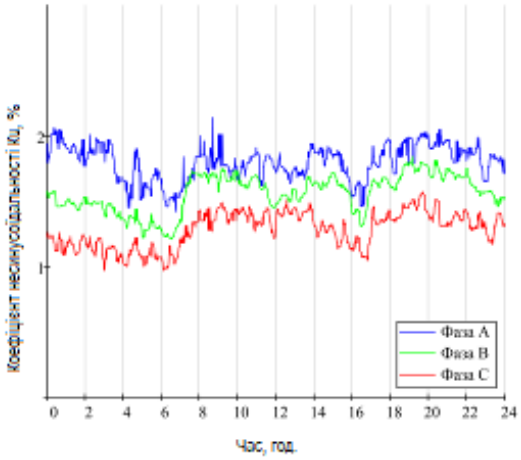


Рисунок 2.7 - Коефіцієнти несинусоїдальності напруги в точці А

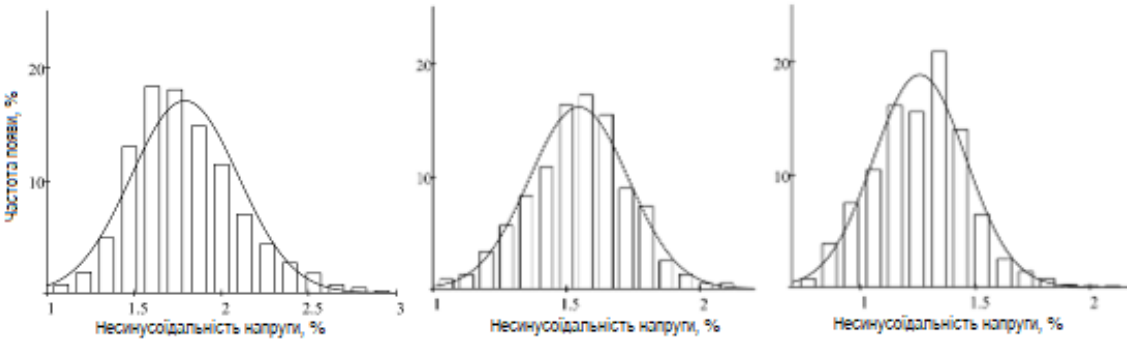


Рисунок 2.8 - Гістограми несинусоїдальності напруги в точці А

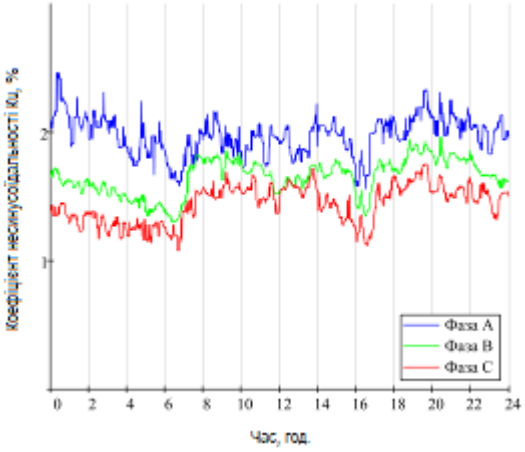


Рисунок 2.9 - Коефіцієнти несинусоїдальності напруги в точці Б

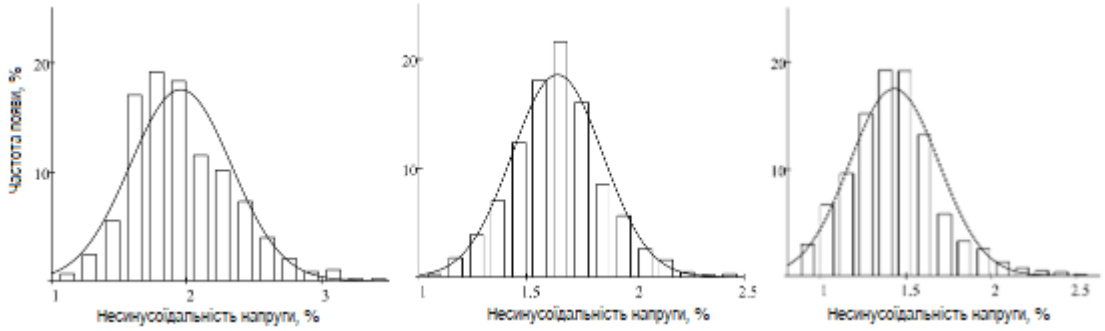


Рисунок 2.10 - Гістограми несинусоїдальності напруги в точці Б

Середні значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги та середньоквадратичні відхилення для точки А будуть наступними:

$$K_{UA} = 1{,}86\ \%, \qquad \delta K_{UA} = 0{,}31\ \%,$$
$$K_{UB} = 1{,}58\ \%, \qquad \delta K_{UB} = 0{,}19\ \%,$$
$$K_{UC} = 1{,}3\ \% \qquad \delta K_{UC} = 0{,}2\ \%.$$

Середні значення відхилення та середньоквадратичні відхилення для точки Б будуть наступними:

$$K_{UA} = 2{,}04\ \%, \qquad \delta K_{UA} = 0{,}37\ \%,$$
$$K_{UB} = 1{,}69\ \%, \qquad \delta K_{UB} = 0{,}21\ \%,$$
$$K_{UC} = 1{,}48\ \% \qquad \delta K_{UC} = 0{,}26\ \%.$$

Спектри отриманих гармонік напруги приведені на рис. 2.11 - 2.12.

Отже, можна побачити, що спектри отриманих гармонік напруги знаходяться у межах вимог державних стандартів [13].

Отримані коефіцієнти несинусоїдальності напруги наведені в табл. 2.3 – 2.4.

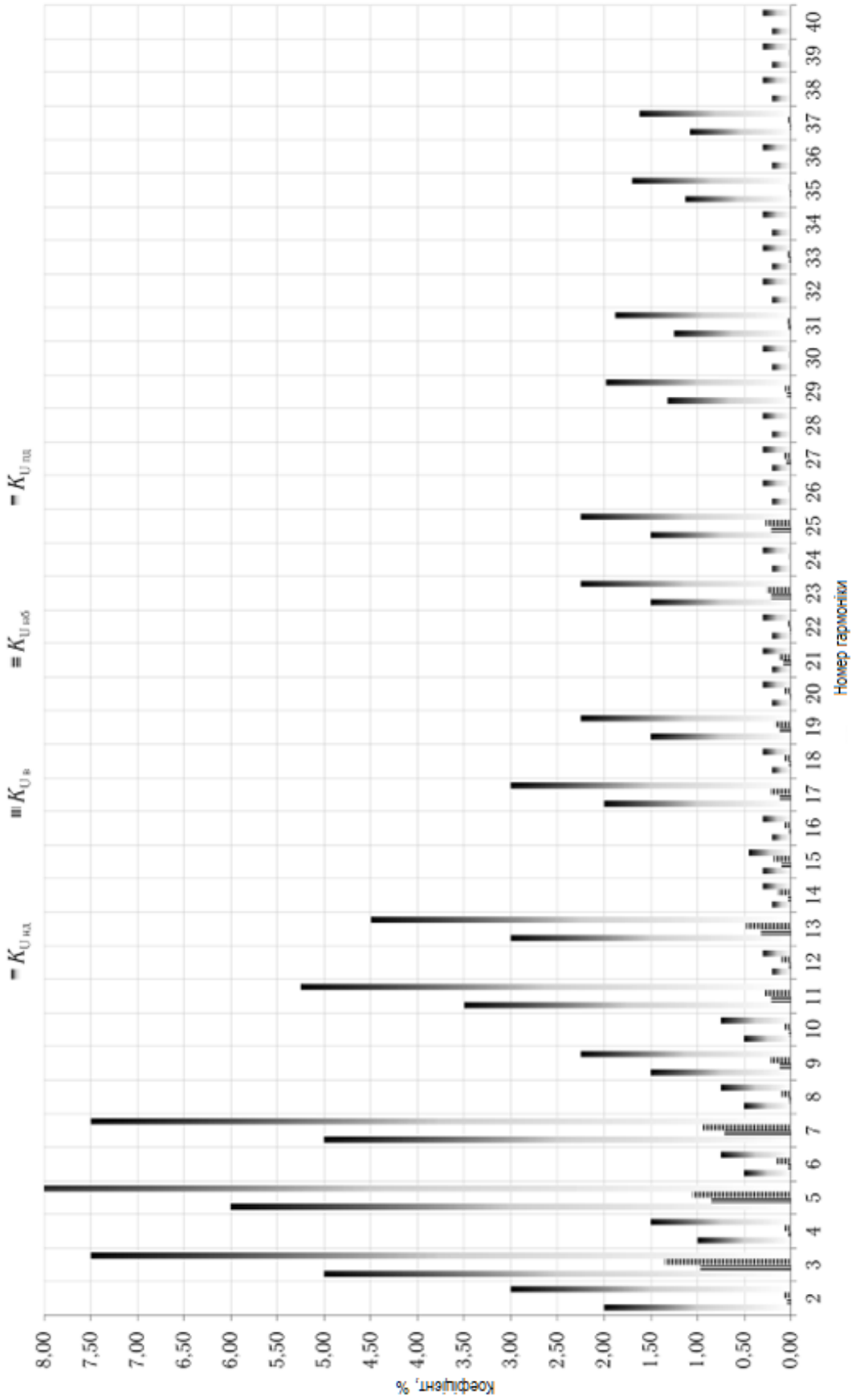


Рисунок 2.11 – Значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги у точці А

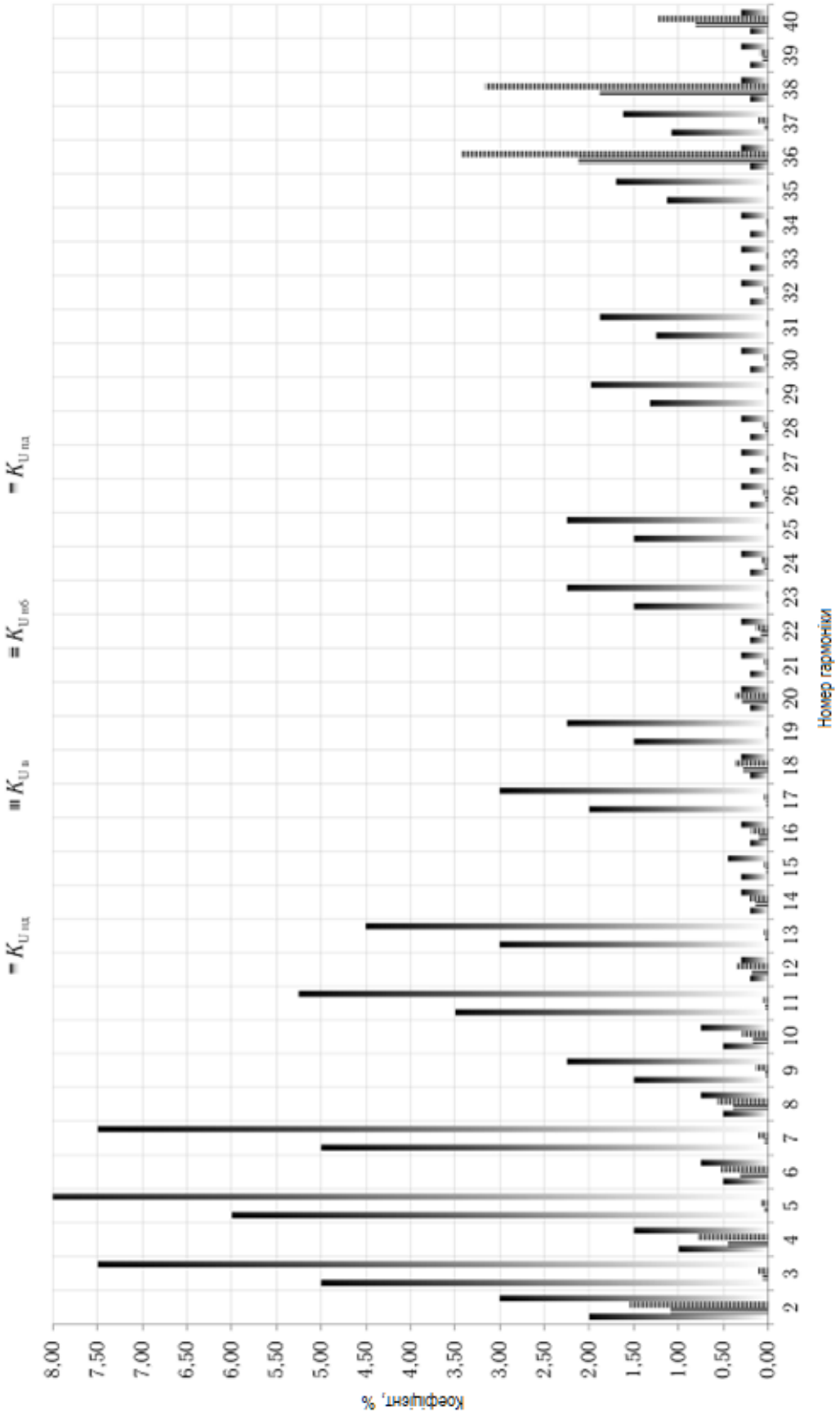


Рисунок 2.12 – Значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги у точці Б

Таблиця 2.3 - Коефіцієнти несинусоїдальності напруги в точці А

Несинусоїдальність	Характеристика, %			
	$K_{U\,в}$	$K_{U\,нб}$	T_1	T_2
K_{U_A}	1,96	3,13	0,00	0,00
K_{U_B}	1,76	3,10	0,00	0,00
K_{U_C}	2,68	4,59	0,00	0,00
$K_{U_{AB}}$	0,97	1,17	0,00	0,00
$K_{U_{BC}}$	1,30	1,55	0,00	0,00
$K_{U_{CA}}$	1,25	1,51	0,00	0,00
Нормативне значення	8,00	12,00	5,00	0,00

Таблиця 2.4 - Коефіцієнти несинусоїдальності напруги в точці Б

Несинусоїдальність	Характеристика, %			
	$K_{U\,в}$	$K_{U\,нб}$	T_1	T_2
K_{U_A}	2,21	3,05	0,00	0,00
K_{U_B}	2,05	2,37	0,00	0,00
K_{U_C}	1,95	2,50	0,00	0,00
$K_{U_{AB}}$	1,11	1,21	0,00	0,00
$K_{U_{BC}}$	1,15	1,27	0,00	0,00
$K_{U_{CA}}$	1,25	1,41	0,00	0,00
Нормативне значення	8,00	12,00	5,00	0,00

За отриманими результатами вимірювань можна зробити висновок, що несинусоїдальність напруги в точці А і точці Б відрізняється несуттєво, але рівні гармонік під номером 36 та вище в точці А є набагато меншими. Отже, кабельна лінія живлення володіє фільтруючим впливом на гармонійні складові напруги.

Графік і гістограма коефіцієнта несинусоїдальності по струму в точці А приве-дені на рис. 2.13 - 2.14.

Графік і гістограма коефіцієнта несинусоїдальності по струму в точці Б приве-дені на рис. 2.15 - 2.16.

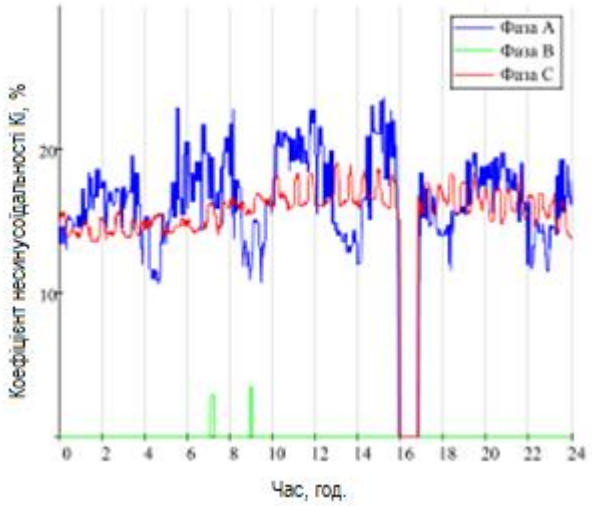


Рисунок 2.13 – Значення коефіцієнтів несинусоїдальності струму в точці А

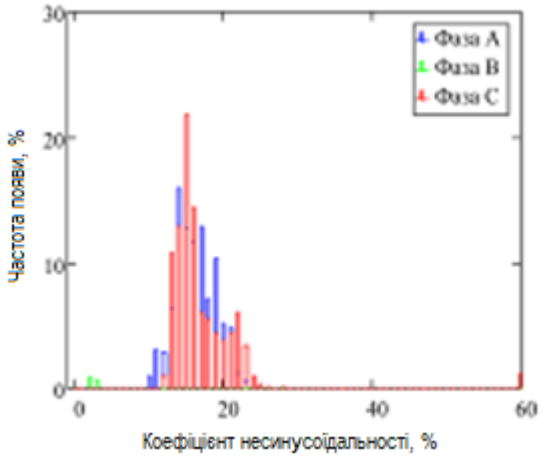


Рисунок 2.14 – Гістограма коефіцієнтів несинусоїдальності струму в точці А

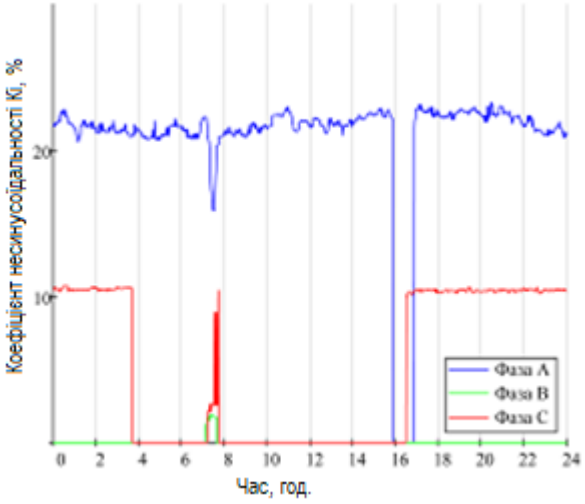


Рисунок 2.15 – Значення коефіцієнтів несинусоїдальності струму в точці Б

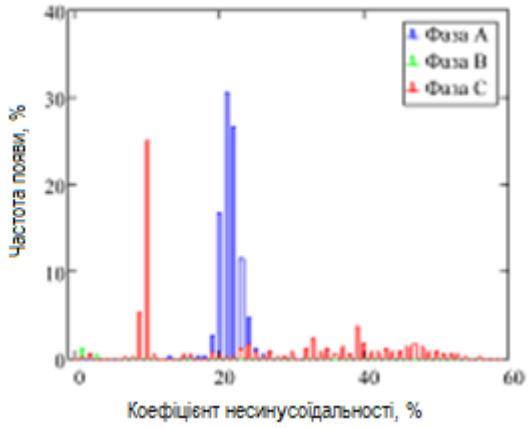


Рисунок 2.16 – Гістограма коефіцієнтів несинусоїдальності струму в точці Б

З графіків слід, що у точці А середні значення коефіцієнтів несинусоїдності дещо менше, ніж у точці Б.

На гістограмі розподілу у точці Б можна спостерігати піки значень коефіцієнтів несинусоїдності, які є характерними для окремих однотипних споживачів.

На гістограмі розподілу у точці А спостерігається значно менший діапазон зміни значень коефіцієнтів несинусоїдності у порівнянні з точкою Б. Звідси можна зробити висновок, що при накладенні струмів вищих гармонік приміщень декіль-кох пташників отримуємо результуючий спектр з меншою несиметрією гармонік по фазах.

Провівши аналіз отриманих даних, знаходимо значення коефіцієнтів несинусоїдальності для характерних споживачів, які приведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Коефіцієнти несинусоїдальності для певних споживачів

Назва споживача	Середнє значення несинусоїдальності, Кі (%)	Середньоквадратичне відхилення, δКі (%)
Робоче освітлення	21,7	1,5
Чергове освітлення	10,5	0,11
Вентиляція	22,2	13,3

2.3 Стан якості електроенергії на підприємстві за несиметрією

Графік і гістограма коефіцієнтів несиметрії за нульовою та зворотною послідовностями у точці А приведені на рис. 2.17 - 2.18.

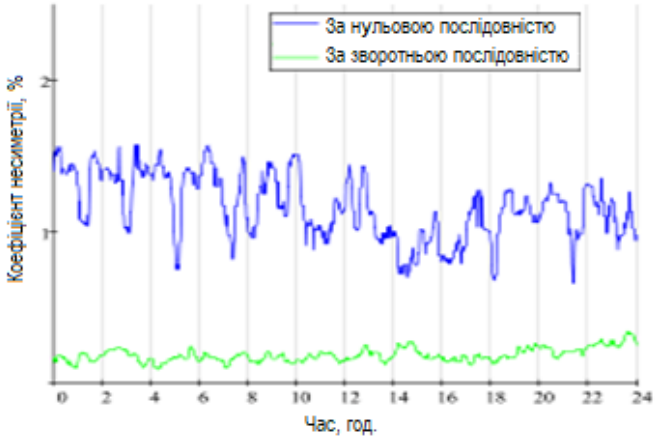


Рисунок 2.17 – Значення коефіцієнтів несиметрії

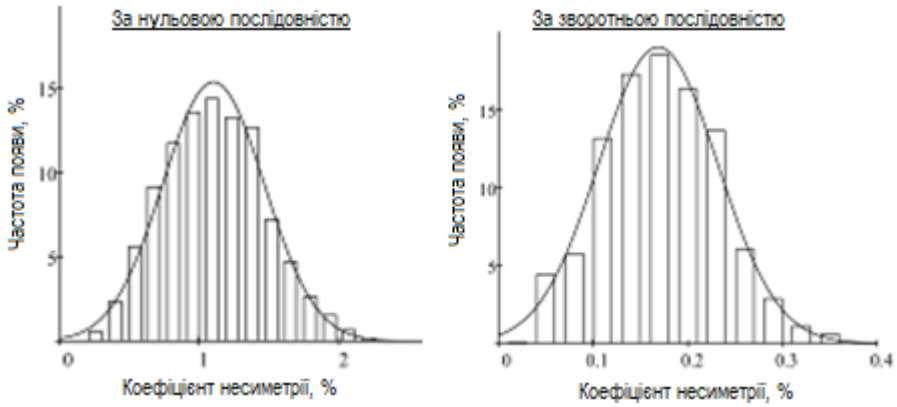


Рисунок 2.18 – Гістограма коефіцієнтів несиметрії

Якщо допустити, що коефіцієнти несиметрії вважатимуться випадковими величинами з нормальним розподілом, то можна отримати середнє значення коефіцієнтів несиметрії та їхнє середньоквадратичне відхилення в точці А:

$$K_{0\,ср} = 1{,}17\ \%, \qquad \delta K_{0\,ср} = 0{,}36\ \%,$$
$$K_{2\,ср} = 0{,}18\ \% \qquad \delta K_{2\,ср} = 0{,}06\ \%.$$

і в точці Б:

$$K_{0\,ср} = 1{,}51\ \%, \qquad \delta K_{0\,ср} = 0{,}42\ \%,$$
$$K_{2\,ср} = 0{,}16\ \% \qquad \delta K_{2\,ср} = 0{,}05\ \%.$$

Виконаємо перевірку за допомогою критерію згоди χ2, чи задовольняє розглянута величина нормальному закону розподілу аналогічно до п. 2.1 цього розділу. Отже, будемо мати

$$для\,точки\ \ А: \chi^2_{K_0} = 14{,}2; \quad для\,точки\ \ Б: \chi^2_{K_0} = 15{,}6;$$
$$\chi^2_{K_2} = 19{,}8, \qquad \chi^2_{K_2} = 20{,}8.$$

Виконується умова $\chi^2_{кр} > \chi^2$, отже гіпотеза про нормальну розподіленість коефіцієнтів несиметрії узгоджується з матеріалом проведених спостережень.

Покази приладу зі статистичної обробки даних приведені в табл. 2.6 – 2.7.

Таблиця 2.6 - Характеристика несиметрії напруги в точці А

Несиметрія напруги	Характеристика, %							
	за нульовою послідовністю				за зворотньою послідовністю			
	$K_{0\,в}$	$K_{0\,нб}$	T_1	T_2	$K_{2\,в}$	$K_{2\,нб}$	T_1	T_2
K	1,87	2,86	2,89	0,00	0,31	0,52	0,00	0,00
Нормативне значення K	2,00	4,00	5,00	0,00	2,00	4,00	5,00	0,00

Таблиця 2.7 - Характеристика несиметрії напруги в точці Б

Несиметрія напруги	Характеристика, %							
	за нульовою послідовністю				за зворотньою послідовністю			
	$K_{0\,в}$	$K_{0\,нб}$	T_1	T_2	$K_{2\,в}$	$K_{2\,нб}$	T_1	T_2
K	2,34	3,52	12,48	0,00	0,28	0,50	0,00	0,00
Нормативне значення K	2,00	4,00	5,00	0,00	2,00	4,00	5,00	0,00

Згідно отриманих результатів вимірів можна зробити висновок, що коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю підвищувався більше за нормальний допустимий рівень, але залишався в межах гранично допустимих значень.

Таким чином, коефіцієнт несиметрії за нульовою послідовністю в точці Б виявився вищим, ніж у точці А, а коефіцієнт несиметрії за зворотньою послідовністю є нижчим.

2.4 Вплив обладнання птахофабрики на якість електроенергії

На рис. 2.19 приведено схему електропостачання пташника №2.

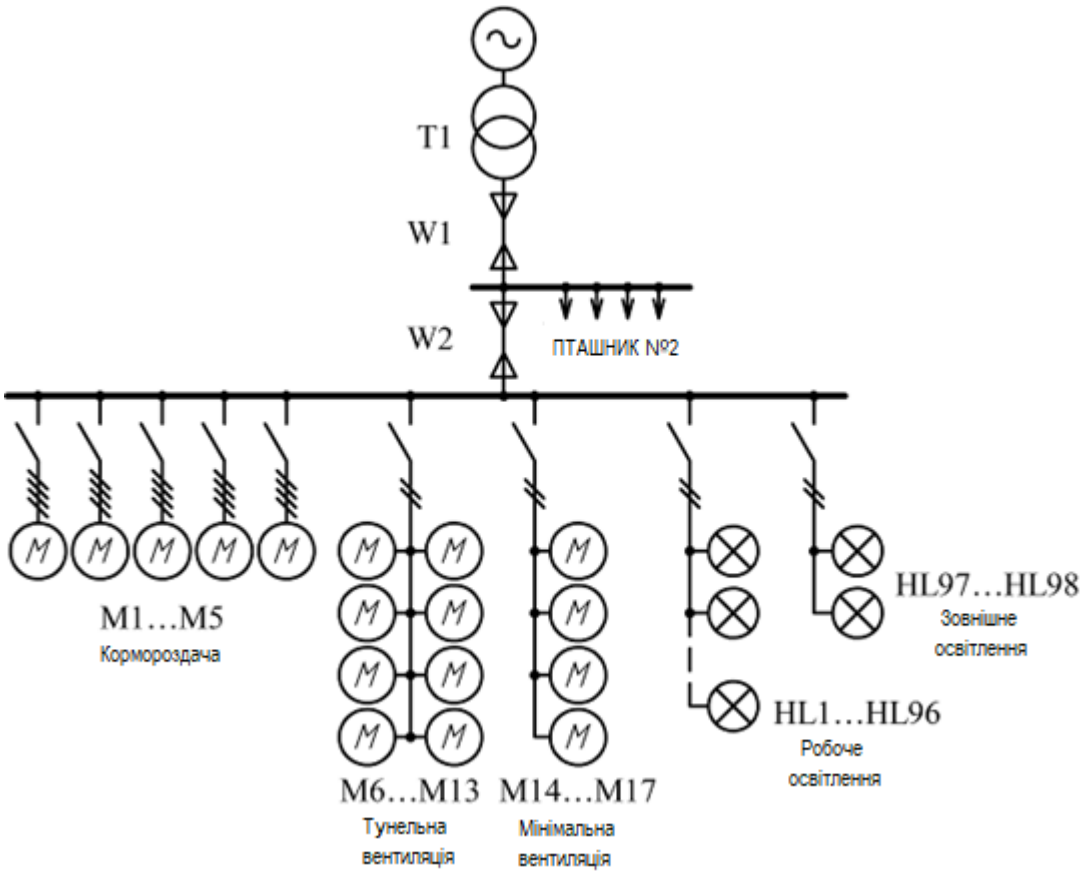


Рисунок 2.19 - Схема електропостачання пташника №2 птахофабрики

Розглянемо параметри елементів схеми електропостачання.

1) Трансформатор Т1 типу ТМ-400/10/0,4-У1-Y/Y0-0 [14]:

- номінальна потужність $S_{\text{ном}} = 400$ кВ·А;
- номінальна напруга 10/0,4 кВ;
- втрати холостого ходу $\Delta P_{\text{х.х}} = 0{,}83$ кВт;
- струм холостого ходу $I_{\text{х.х}} = 2{,}1\%$;
- втрати короткого замикання $\Delta P_{\text{к}} = 5{,}5$ кВт;
- напруга короткого замикання $u_{\text{к}} = 4{,}5\%$.

2) Кабельні лінії W1, W2 (кабель АВВГ 3х70-1х25) з такими параметрами:

- питомий індуктивний опір $x_0 = 0{,}0826$ Ом/км;
- питомий активний опір $r_0 = 0{,}568$ Ом/км;

3) Група двигунів кормороздачі складається з 4-х двигунів ліній годівлі М1…М4 та 1-го двигуна поперечної лінії М5. Двигуни М1…М4 мають наступні параметри [14]:

- номінальна потужність $P_{\text{ном}} = 0{,}37$ кВт;

- ККД $\eta = 72$ %;

- коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0{,}8$;

- коефіцієнт пуску $k_{\text{п}} = 4{,}5$.

Двигун М5:

- номінальна потужність $P_{\text{ном}} = 0{,}75$ кВт;

- ККД $\eta = 78{,}5$ %;

- коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0{,}82$;

- коефіцієнт пуску $k_{\text{п}} = 5{,}5$.

4) Група двигунів вентиляції складається з 8-ми двигунів тунельної вентиляції М6…М13 та 4-х двигунів мінімальної вентиляції М14…М17. Двигуни М6…М13 мають наступні параметри:

- номінальна потужність $P_{\text{ном}} = 1{,}1$ кВт;

- ККД $\eta = 79{,}5$ %;

- коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0{,}82$;

- коефіцієнт пуску $k_{\text{п}} = 5{,}5$.

Двигуни М14 ... М17:

- номінальна потужність $P_{\text{ном}} = 0{,}95$ кВт;

- ККД $\eta = 78{,}5$ %;

- коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0{,}82$;

- коефіцієнт пуску $k_{\text{п}} = 5{,}5$.

Група ламп робочого освітлення укомплектована 96 енергозберігаючими флуоресцентними лампами HL1…HL96 типу Gasolec (потужність 1 лампи становить 11 Вт). Вся група ламп робочого освітлення живиться від електронного

регулятора, який дозволяє поступово змінювати робочу освітленість згідно технологічних потреб.

Група ламп зовнішнього освітлення укомплектована двома ртутними дуговими лампами HL97…HL98 типу ДРЛ (потужність однієї лампи рівна 250 Вт). Для ламп зовнішнього освітлення використана стандартна пускорегулююча апаратура з індуктивним баластом.

2.5 Вплив якості електроенергії на електрообладнання

Розглянуті вище показники якості електроенергії, зокрема відхилення напру-ги і частоти, несинусоїдальність і несиметрія напруг та струмів, мають вплив на втрати потужності та електричної енергії в електричних мережах [15].

Для визначення звітних втрат електричної енергії (ΔW) необхідно враховувати технічні, технологічні та комерційні втрати. Ці втрати представляють собою різницю електричної енергії, що надійшла в мережу (Wс), і електричної енергії, що відпущена з мережі та оплачена споживачем (Wп).

Технічні втрати електричної енергії (ΔWт) обумовлені витратою на власні потреби підстанцій ($W_{ВП}$), і втрати, що обумовлені інструментальними похибками вимірювань (Wм), формують технологічні втрати - вони визначаються технологічними потребами процесу передачі електричної енергії мережами та інструментального обліку її надходження та її видачі споживачу. Комерційні втрати

$$Wк = \Delta W – \Delta Wт - W_{ВП} – W_{зм.}$$

представляють собою результат впливу «людського фактору» (це може бути і розкрадання електричної енергії, повна або часткова неоплата спожитої енергії і інші фактори).

При технологічних втратах умовно виділяють додаткові складові, що обумовлені відхиленнями режимів роботи електричного обладнання та вимірювальних приладів від номінальних або нормованих меж. Одним із факторів, що викликають такі відхилення режимів, є незадовільна якість електричної енергії.

Погіршення якості електричної енергії може викликати додаткові комерційних втрат. Зокрема, до них відноситься частина енергії, параметри якої відповідають вимогам нормативних документів або договору енергопостачання і яку

абонент може і не оплачувати. На даний час така складова втрат при розрахунках за електричну енергію при розрахунках не приймається до уваги.

Для того, щоб зрозуміти загальну суть та принципи вимірювання додаткових технологічних втрат при несинусоїдальних та несиметричних режимах роботи, необхідно розглянути баланс потужності в системі. На рис. 2.20 наведено спроще-ну схему електричної системи з спотвореним і неспотвореним навантаженням. Спотворююче навантаження при споживанні електроенергію на основній частоті прямої послідовності перетворює частину її в енергію спотворень, яка обумовлена вищими гармоніками струму і струмами зворотної та нульової послідовності, та передає назад у мережу, а це викликає появу додаткових втрат.

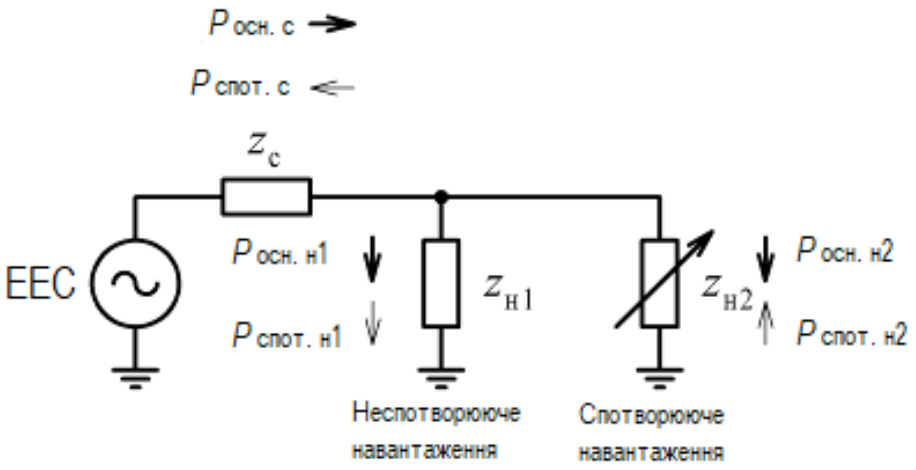


Рисунок 2.20 - Напрямки активних потужностей в системі при спотворюючому навантаженні: $z_с$, $z_{н1}$, $z_{н2}$ - опори відповідно енергосистеми, спотворюючого та неспотворюючого навантажень; $P_{осн.\ с}$, $P_{осн.\ н1}$, $P_{осн.\ н2}$ - активні потужності на основній частоті прямої послідовності відповідно енергосистеми, спотворюючого та неспотворюючого навантажень; $P_{спот.\ с}$, $P_{спот.\ н1}$, $P_{спот.\ н2}$ - активні потужності спотворень, обумовлені режимами роботи спотворюючого навантаження

Додаткові технічні втрати в мережі при несинусоїдності напруги менше 5% незначні, а при зростанні KU до 7-15% втрати від вищих гармонік можуть досягати 10-12% сумарних втрат потужності. Найбільші втрати від найвищих гармонік в елементах СЕС виникають у резонансних режимах.

Несиметрія напруги призводить до збільшення втрат потужності та електричної енергії у всіх елементах електричної мережі, що обумовлено протікан-ням струмів зворотної та нульової послідовностей. Наприклад, при

K_{2U}=2% додаткові втрати в обмотках асинхронних двигунів ($\Delta P_{доп}$) уже становлять біля 8% основних втрат прямої послідовності ($\Delta P_{осн}$), а при K_{2U}=5% $\Delta P_{доп}$ будуть рівними половині $\Delta P_{осн}$ [16].

Несиметрія напруги в електричних мережах підприємств виникає при наявності потужних однофазних навантажень та трифазних навантажень у несиметрич-ному режимі. Така трифазна система напруги може бути несиметричною у випадку живлення мережі підприємства від тягової підстанції змінного струму [15].

При несиметрії напруг у 3-фазних мережах мають місце додаткові втрати в елементах електричних мереж, скорочення терміну служби ламп та електричного устаткування, а також зниження економічних показників.

При несиметрії напруги в електромашинах змінного струму можуть виникати магнітні поля, що обертаються з синхронною швидкістю як в напрямку обертання ротора так і з подвійною синхронною швидкістю в протилежному напрямку. Як наслідок, отримуємо гальмівний електромагнітний момент та додаткове нагрівання активних частин машини (наприклад, ротора) за рахунок струмів подвійної частоти.

В асинхронних двигунах при коефіцієнтах зворотної послідовності напруг $K_{2U} \leqslant 0{,}05 - 0{,}06$ зниження крутного моменту є несуттєвим, а вплив несиметрії на втрати електричного двигуна і, відповідно, нагрівання і скорочення терміну служби ізоляції мають значний прояв.

Несиметрія напруг не має суттєвого впливу на роботу повітряних та кабельних ліній, але нагрівання трансформаторів і, відповідно, скорочення терміну їх служби можуть проявлятися досить значно. У випадку несиметрії струмів трансформатора нагрівання його масла буде трохи меншим у випадку симет-ричного навантаження при струмі фаз, що рівне струму найзавантаженішої фази. Це можна пояснити інтенсивнішим охолодженням обмотки цієї фази. Це той випадок, коли дія несиметричних навантажень не викликає виникнення струмів нульової послідовності – це має місце у мережах напругою 10 - 35 кВ промислових підприємств (мають ізольовану або компенсовану нейтраль).

При несиметрії напруг в межах 2% термін служби асинхронних двигунів внаслідок додаткових втрат активної потужності може скоротитися на 10%, трансформаторів - до 4% [16]. З метою уникнення додаткового нагрівання навантаження двигуна стараються знизити оскільки при номінальному навантаженні трансформатора та коефіцієнті несиметрії струмів (0,1) термін служби ізоляції трансформатора скорочується приблизно на 15%.

Таким чином, для оцінки ефективності передачі та розподілу електроенергії при погіршеній якості електроенергії необхідно враховувати її додаткові втрати.

2.6 Висновки до розділу 2

Можна зробити наступні висновки щодо відповідності якості напруги встановленим нормативам.

1. Більшість часу спостереження відхилення фазних і лінійних напруг було більшим за нормально допустиме значення (+5%), а відхилення напруги фаз А і В було більше за гранично допустиме значення (+10%) (час перевищення становить від 1 до 1,75 год.).

2. Коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю зростав більше нормально допустимого рівня, але залишався у межах гранично допустимих значень (час перевищення становив в точці А - 40 хв, в точці Б - 3 год.).

3. Спектр гармонік напруги в точці Б мав гармоніки від 36-ої та вище з рівнями, що перевищують гранично допустимі значення.

4. Відхилення частоти, несинусоїдності напруги відповідають встановленим нормативам [13], відповідно якість електроенергії, що одержує споживач, відповідає нормативним.

5. Причиною погіршення якості електричної енергії може бути енергопостачальна організація (відхилення напруги) та споживач з несиметричним навантаженням (коефіцієнт несиметрії).

Розглянуто споживачі електроенергії пташника, пускорегулюючу апаратуру, електричні параметри навантаження.

Описано характерні джерела вищих гармонік з теоретичної точки зору та виконано порівняння спектрів гармонік, виміряних інструментально, та спектрів, описаних у літературі. За результатами порівняння зроблено висновки:

1) виміряні рівні гармонік енергозберігаючих люмінесцентних ламп вище 3-ї виявилися вищими, ніж зазначені в літературі, що пов'язано з роботою електронних регуляторів та пускорегулюючої апаратурою;

2) виміряні рівні гармонік ламп типу ДРЛ загалом збігаються з описаними в інших роботах;

3) асинхронні двигуни є в основному споживачами вищих гармонік, як джерела гармонік двигуни можна не враховувати.

Описано структуру втрат потужності та електроенергії, виявлено складові втрат, обумовлені відхиленнями напруги, несинусоїдністю та несиметрією напруг і струмів.

Для розуміння сутності процесу поширення вищих гармонік, розглянуті напрямки активних потужностей у системі при навантаженні, що спотворює.

На основі джерел, розглянуто вплив відхилень напруги, несинусоїдності та несиметрії на обладнання, наведено розрахункові формули додаткових втрат від несинусоїдності та несиметрії, скорочення терміну служби обладнання.

Наведено основні методи розрахунку встановлених режимів вищих гармонік. Отримано схеми заміщення електрообладнання пташника, розраховано параметри елементів на різних гармоніках.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахункова модель втрат в системі електропостачання

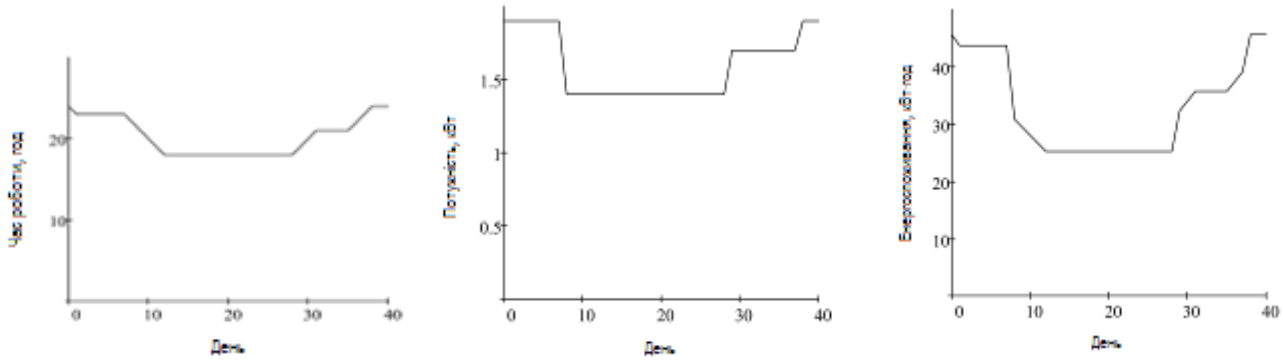
Роботу електроспоживачів кожного пташника птахофабрики організовано в автоматичному режимі згідно заданої програми з мінімальною участю оператора. Згідно технологічного графіку комп'ютер вмикає та вимикає навантаження в задані моменти часу в залежності від години доби та номера дня вирощування, що дозволяє побудувати розрахункову модель та з достатньо високою точністю розрахувати втрати в кабелях живлення і трансформаторі як протягом доби, так і в сорокаденний період вирощування птиці.

У схемі заміщення птахофабрики електричне обладнання кожного пташника замінено еквівалентним навантаженням ($Z_п$) та еквівалентним джерелом струму вищих гармонік ($J_п$). Величини навантаження та струму мають залежність від часу доби та номера дня, але передбачається стала напруга на вводі високої напруги трансформатора [17].

У якості прикладу можна привести графік роботи споживачів для першого дня виробничого циклу:

- робоче освітлення вмикається о 16.00 год. і вимикається о 17.00 год.;
- чергове освітлення вмикається о 16.30 год. і вимикається о 04.00 год.;
- мінімальна вентиляція працює на протязі усієї доби з періодичністю $t_ц$ = 4,75 хв. та часом ввімкнення $t_в$ = 1 хв.;
- кормороздача працює на протязі усієї доби із завантаженням 2,5%.

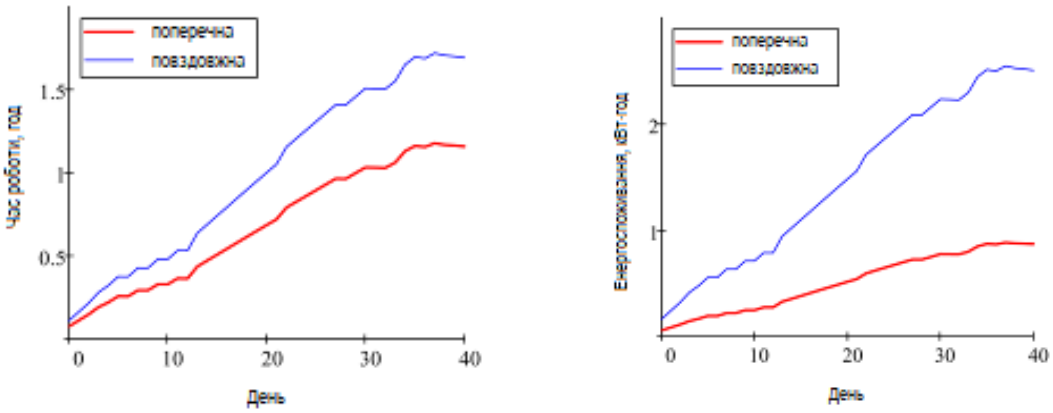
Розглянемо зміну електричних навантажень пташника в залежності від поряд-кового номера дня. Робоче освітлення працює із тривалістю 18-23 год, а тривалість роботи чергового освітлення становить приблизно 9,5 год. Графіки часу роботи робочого освітлення, його потужності та електроспоживання приведені на рис. 3.1.



а) б) в)

Рисунок 3.1 - Режим роботи робочого освітлення:
а) час роботи; б) потужність; в) добове споживання енергії

Графіки часу роботи двигунів кормороздачі та їх електроспоживання приведені на рис. 3.2.



а) б)

Рисунок 3.2 - Режим роботи двигунів кормороздачі:
а) час роботи; б) добове енергоспоживання

Як було зазначено вище мінімальна вентиляція працює протягом усього часу доби з періодичністю $t_ц$ = 4,75 хв. та часом ввімкнення $t_в$ = 1 хв. На підставі наведених вище залежностей можна побудувати графік споживання електричної енергії обладнанням одного пташника, який приведено на рис. 3.3.

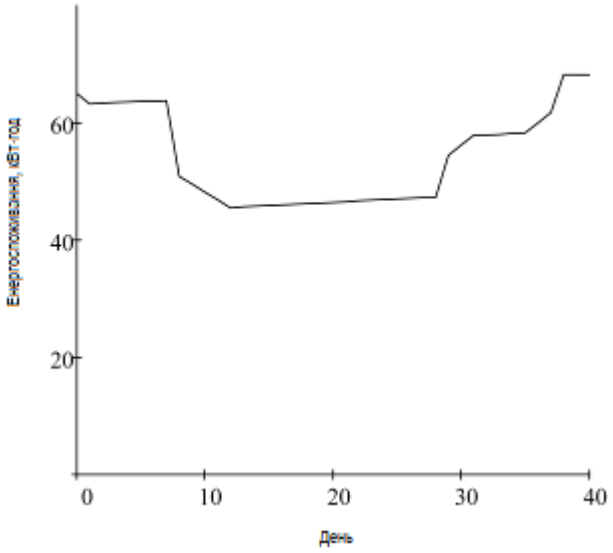
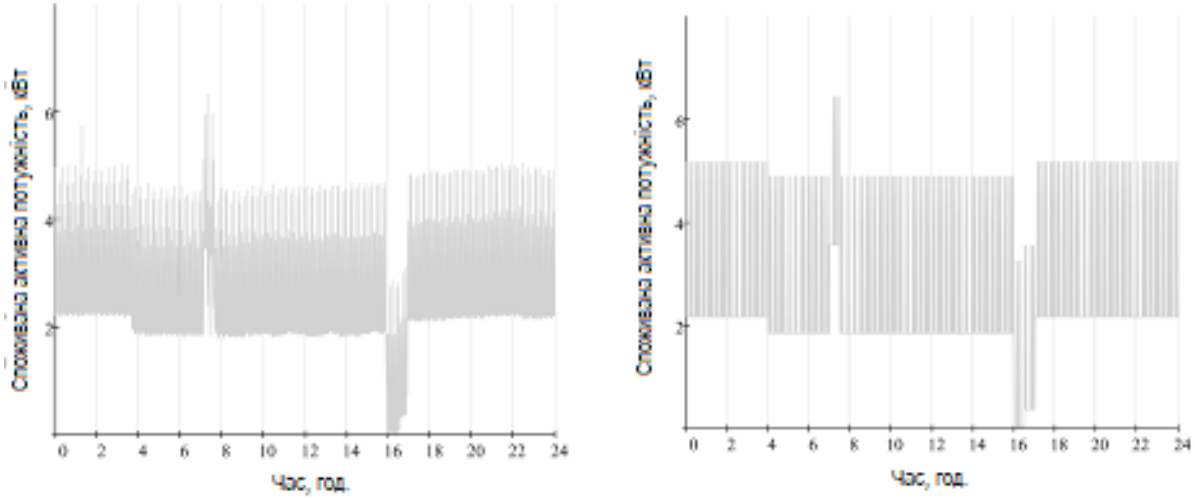


Рисунок 3.3 - Добове споживання електричної енергії для одного пташника

Для оцінки адекватності запропонованої моделі необхідно порівняти виміряні значення навантажень та змодельовані результати (рис. 3.4).



а) б)

Рисунок 3.4 - Добовий графік навантаження для одного пташника (3-я доба):
а) дослідні дані; б) розраховані значення

Бачимо, що модель розрахунку добре узгоджується з дослідними даними. Дальше розглянемо групу пташників №1-7, які підключені у нормальному режимі до одного трансформатора (ТП-1).

Оскільки виробничі цикли різних пташників є зміщеними один відносно одного, то порядковий номер дня для різних пташників буде відрізнятися.

Приймаємо, що на початку розрахунку у 1-му пташнику перша доба виробничого циклу. Номер доби для інших пташників можна знайти наступним чином:

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 + 10, \\ t_3 &= t_1 + 20, \\ t_4 &= t_1 + 30, \\ t_5 &= t_1, \\ t_6 &= t_1 + 10, \\ t_7 &= t_1 + 20. \end{aligned} \qquad (3.1)$$

3.2 Розрахунок схеми заміщення на основній частоті

Схему заміщення електрообладнання групи пташників №1-7 для виконання розрахунку на основний частоті приведено на рис. 3.5.

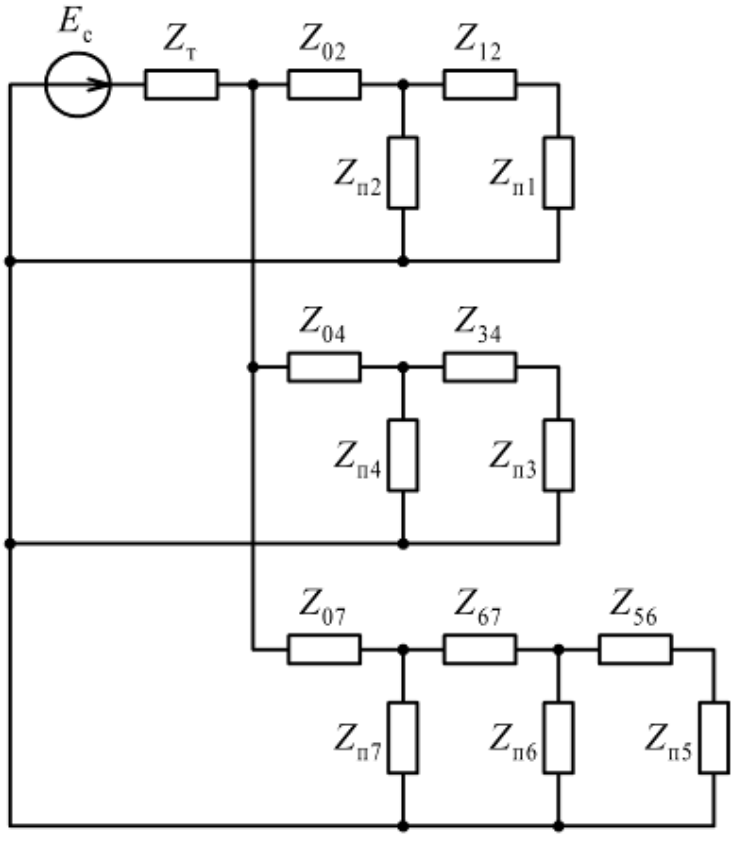


Рисунок 3.5 - Схема заміщення для розрахунку на основній частоті

Розрахуємо повні опори навантажень на основній частоті, враховуючи коефіцієнт потужності, за наступною формулою [18]:

$$Z_{\text{спож}} = \frac{U_{\text{ф}}}{I_{\text{ф спож}}} \mathrm{e}^{j \arccos \varphi_{\text{спож}}} \qquad (3.2)$$

Знайдемо повні опори навантаження двигунів кормороздачі:

$$Z_{к1} = \frac{234}{10} e^{j35^\circ} = 23 e^{j35^\circ} \text{ Ом}, \; Z_{к2} = \frac{233}{17,9} = 13 e^{j37^\circ} \text{ Ом}.$$

Визначимо повні опори навантаження двигунів вентиляції:

$$Z_{в1} = \frac{231}{17} \cdot e^{j35^\circ} = 13,6 e^{j35^\circ} \text{ Ом}.$$

Розрахуємо повні опори навантаження робочого та чергового освітлення:

$$Z_{р.о} = \frac{237}{9,1} e^{j30^\circ} = 26 e^{j30^\circ} \text{ Ом}, \quad Z_{ч.о} = \frac{235}{2,35} e^{j53^\circ} = 100 e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

Визначимо повний опір трансформатора (див. розділ 2):

$$Z_т = 0,0138 + j0,018 \text{ Ом}.$$

Визначимо повні опори ліній (див. розділ 3):

$$Z_{07} = 0,13 + j0,018 \text{ Ом}, \; Z_{12} = Z_{67} = Z_{56} = Z_{34} = 0,034 + j0,005 \text{ Ом},$$
$$Z_{04} = 0,057 + j0,0079 \text{ Ом}, \; Z_{02} = 0,1 + j0,015 \text{ Ом}.$$

Виконаємо розрахунок для першої доби та моменту часу t = 0 год. Еквівалентне навантаження для одного пташника буде наступним:

$$Z_п = \left(Z_{к1}^{-1} + Z_{к2}^{-1} + Z_{в1}^{-1} + Z_{в2}^{-1} + Z_{р.о}^{-1} + Z_{д.о}^{-1} \right)^{-1}, \qquad (3.2)$$

де $Z_{к1}$, $Z_{к2}$ – значення опорів двигунів поперечної та поздовжньої кормороздачі з урахуванням завантаження;

$Z_{в1}$, $Z_{в2}$ - значення опорів двигунів мінімальної та тунельної вентиляції;

$Z_{р.о.}$, $Z_{ч.о.}$ - значення опорів робочого та чергового освітлення.

Визначимо опір двигунів кормороздачі:

$$Z_{к1} = Z_{к1\,0} \frac{24}{T_{к1}}, \qquad (3.3)$$

$$Z_{к2} = Z_{к2\,0} \frac{24}{T_{к2}}, \qquad (3.4)$$

де $Z_{к1\ 0}$, $Z_{к2\ 0}$ - опори двигунів поперечної та поздовжньої кормороздачі при повному завантаженні;

$Т_{к1}$, $Т_{к2}$ - час роботи поперечної та поздовжньої кормороздачі за добу, год. Можна визначити за графіком на рис. 3.4.

Визначимо опір двигунів вентиляції:

$$Z_{в1} = Z_{в1\,0}\frac{24}{T_{в1}}, \qquad (3.5)$$

$$Z_{в2} = Z_{в2\,0}\frac{24}{T_{в2}}, \qquad (3.6)$$

де $Z_{в1\ 0}$, $Z_{в2\ 0}$ - опори двигунів поперечної та поздовжньої вентиляції при повному завантаженні;

$Т_{в1}$, $Т_{в2}$ - час роботи поперечної та поздовжньої вентиляції за добу, год.

Приймаємо часи роботи рівними: $Т_{в1}$, = 5,1 год.; $Т_{в2}$ = 0 год.

Опір навантаження для робочого та чергового освітлення визначити за формулами:

$$Z_{р.о} = \frac{Z_{р.о\,0}}{k_{р.о}}, \qquad (3.7)$$

$$Z_{ч.о} = \frac{Z_{ч.о\,0}}{k_{ч.о}}, \qquad (3.8)$$

де $Z_{р.о\ 0}$, $Z_{ч.о\ 0}$ - значення опорів робочого та чергового освітлення при повному завантаженні;

$k_{р.о0}$, $k_{ч.о}$ - коефіцієнти завантаження робочого та чергового освітлення.

Приймаємо коефіцієнти завантаження рівними:

$$\begin{cases} k_{мін} = 0,75, \\ k_{сер} = 0,9, \\ k_{макс} = 1. \end{cases}$$

Еквівалентні навантаження для пташників будуть наступними:

$$Z_{п1} = Z_{п5} = \left(\left(23\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{0{,}162} \right)^{-1} + \left(13\mathrm{e}^{j37^\circ} \cdot \frac{24}{0{,}111} \right)^{-1} + \left(13{,}6\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{26\,\mathrm{e}^{j30^\circ}}{1} \right)^{-1} + \left(\frac{100\,\mathrm{e}^{j53^\circ}}{1} \right)^{-1} \right)^{-1} = 12{,}7 + j8{,}9 = 15{,}4\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \text{ Ом},$$

$$Z_{п2} = Z_{п6} = \left(\left(23\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{0{,}532} \right)^{-1} + \left(13\mathrm{e}^{j37^\circ} \cdot \frac{24}{0{,}364} \right)^{-1} + \left(13{,}6\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{26\,\mathrm{e}^{j30^\circ}}{0{,}75} \right)^{-1} + \left(\frac{100\,\mathrm{e}^{j53^\circ}}{0{,}75} \right)^{-1} \right)^{-1} = 12{,}3 + j8{,}6 = 15\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \text{ Ом},$$

$$Z_{п3} = Z_{п7} = \left(\left(23\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{1{,}051} \right)^{-1} + \left(13\mathrm{e}^{j37^\circ} \cdot \frac{24}{0{,}719} \right)^{-1} + \left(13{,}6\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{26\,\mathrm{e}^{j30^\circ}}{0{,}75} \right)^{-1} + \left(\frac{100\,\mathrm{e}^{j53^\circ}}{0{,}75} \right)^{-1} \right)^{-1} = 11{,}9 + j8{,}3 = 14{,}5\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \text{ Ом},$$

$$Z_{п4} = \left(\left(23\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{1{,}506} \right)^{-1} + \left(13\mathrm{e}^{j37^\circ} \cdot \frac{24}{1{,}031} \right)^{-1} + \left(13{,}6\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{26\,\mathrm{e}^{j30^\circ}}{0{,}9} \right)^{-1} + \left(\frac{100\,\mathrm{e}^{j53^\circ}}{0{,}9} \right)^{-1} \right)^{-1} = 11{,}5 + j8{,}1 = 14\,\mathrm{e}^{j35^\circ} \text{ Ом}.$$

Замінимо еквівалентні навантаження для пташників №1 і №2 та опори ліній ТП-2 (2-1) еквівалентним опором. Значення еквівалентного опору можна визначити наступним чином:

$$Z_{e12} = Z_{02} + \left(Z_{п2}^{-1} + \left(Z_{п1} + Z_{12} \right)^{-1} \right)^{-1}, \qquad (3.9)$$

$$Z_{e12} = 0{,}1 + j0{,}015 + \left(\left(12{,}3 + j8{,}6 \right)^{-1} + \left(12{,}7 + j8{,}9 + 0{,}034 + j0{,}005 \right)^{-1} \right)^{-1} =$$

$$= 6{,}35 + j4{,}39 \text{ Ом}.$$

Еквівалентний опір, що відповідає навантаженням для пташників №3 і №4 та опорам ліній ТП-4 (4-3) можна визначити наступним чином:

$$Z_{e34} = Z_{04} + \left(Z_{п4}^{-1} + \left(Z_{п3} + Z_{34} \right)^{-1} \right)^{-1}, \qquad (3.10)$$

$$Z_{e34} = 0{,}057 + j0{,}0079 + \left((11{,}5 + j8{,}1)^{-1} + (11{,}9 + j8{,}3 + 0{,}034 + j0{,}005)^{-1}\right)^{-1} =$$
$$= 5{,}92 + j4{,}12 \text{ Ом}.$$

Еквівалентний опір, що відповідає навантаженням для пташників №5 і №7 та опорам ліній ТП-7 (7-6, 6-5) можна визначити наступним чином:

$$Z_{e57} = Z_{07} + \left(Z_{п7}^{-1} + Z_{e56}^{-1}\right)^{-1}, \quad (3.11)$$

де $$Z_{e56} = Z_{67} + \left(Z_{п6}^{-1} + \left(Z_{п5} + Z_{56}\right)^{-1}\right)^{-1}.$$

$$Z_{e56} = 0{,}034 + j0{,}005 + \left((12{,}3 + j8{,}6)^{-1} + (12{,}7 + j8{,}9 + 0{,}034 + j0{,}005)^{-1}\right)^{-1} =$$
$$= 6{,}28 + j4{,}38 \text{ Ом},$$
$$Z_{e57} = 0{,}13 + j0{,}018 + \left((11{,}5 + j8{,}1)^{-1} + (6{,}28 + j4{,}38)^{-1}\right)^{-1} =$$
$$= 4{,}24 + j2{,}89 \text{ Ом}.$$

В кінцевому результаті отримуємо схему, яка приведена на рис. 3.6.

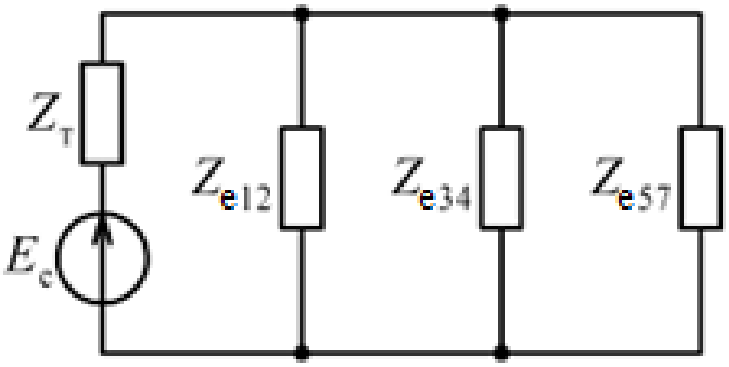


Рисунок 3.6 – Вигляд спрощеної схеми заміщення на основній частоті

Струм через трансформатор можна визначити за формулою:

$$\dot{I}_т = \frac{\dot{U}_0}{Z_т + \left(Z_{e12}^{-1} + Z_{e34}^{-1} + Z_{e57}^{-1}\right)^{-1}}, \quad (3.12)$$

$$\dot{I}_т = \frac{238}{0{,}0138 + j0{,}018 + \left((6{,}35 + j4{,}39)^{-1} + (5{,}92 + j4{,}12)^{-1} + (4{,}24 + j2{,}89)^{-1}\right)^{-1}} =$$
$$= 89{,}6 - j62 = 109\,e^{-j35^\circ} \text{ А}.$$

Напругу на виході трансформатора можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_т = \dot{E}_c - \dot{I}_т Z_т, \quad (3.13)$$

$$\dot{U}_т = 238 - 103e^{-j35^\circ} \cdot (0{,}0138 + j0{,}018) = 235{,}2 - j0{,}8 = 235e^{-j0{,}2^\circ} \text{ В}.$$

Струм в лінії ТП-2 знаходимо за формулою:

$$\dot{I}_{02} = \frac{\dot{U}_{т}}{Z_{e12}}, \tag{3.14}$$

$$\dot{I}_{02} = \frac{235\mathrm{e}^{-j0,2^\circ}}{6,35 + j4,39} = 25 - j17,4 = 30,5\mathrm{e}^{-j35^\circ} \text{ А}.$$

Напругу на вводі пташника №2 можна визначити за формулою:

$$\dot{I}_{02} = \frac{\dot{U}_{т}}{Z_{e12}}, \tag{3.15}$$

$$\dot{I}_{02} = \frac{235\mathrm{e}^{-j0,2^\circ}}{6,35 + j4,39} = 25 - j17,4 = 30,5\mathrm{e}^{-j35^\circ} \text{ А}.$$

Струм в лінії 2-1 визначаємо за формулою:

$$\dot{I}_{12} = \frac{\dot{U}_{п2}}{Z_{п1} + Z_{12}}, \tag{3.16}$$

$$\dot{I}_{12} = \frac{232\mathrm{e}^{j0,2^\circ}}{12,7 + j8,9 + 0,034 + j0,005} = 12,3 - j8,6 = 15\mathrm{e}^{-j35^\circ} \text{ А}.$$

Напругу на вводі пташника №2 можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_{п1} = \dot{U}_{п2} - \dot{I}_{12}Z_{12}, \tag{3.17}$$

$$\dot{U}_{п1} = 232\mathrm{e}^{j0,2^\circ} - 15\mathrm{e}^{-j35^\circ} \cdot (0,034 + j0,005) = 232 + j0,8 = 232\mathrm{e}^{j0,2^\circ} \text{ В}.$$

Струм в лінії ТП-4 знаходимо за формулою:

$$\dot{I}_{04} = \frac{\dot{U}_{т}}{Z_{e34}}, \tag{3.18}$$

$$\dot{I}_{04} = \frac{235\mathrm{e}^{-j0,2^\circ}}{5,92 + j4,12} = 26,7 - j18,7 = 32,6\mathrm{e}^{-j35^\circ} \text{ А}.$$

Напругу на вводі пташника №4 можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_{п4} = \dot{U}_{т} - \dot{I}_{04}Z_{04}, \tag{3.19}$$

$$\dot{U}_{п4} = 235\mathrm{e}^{-j0,2^\circ} - 32,6\mathrm{e}^{-j35^\circ} \cdot (0,057 + j0,0079) = 233,6 + j0 = 234\mathrm{e}^{j0^\circ} \text{ В}.$$

Струм в лінії 4-3 визначаємо за формулою:

$$\dot{I}_{34} = \frac{\dot{U}_{п4}}{Z_{п3} + Z_{34}}, \tag{3.20}$$

$$\dot{I}_{34} = \frac{234\,\mathrm{e}^{j0^\circ}}{11{,}9 + j8{,}3 + 0{,}034 + j0{,}005} = 13{,}2 - j9{,}2 = 16\,\mathrm{e}^{-j35^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі пташника №3 можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п3}} = \dot{U}_{\text{п4}} - \dot{I}_{34} Z_{34}, \qquad (3.21)$$

$$\dot{U}_{\text{п3}} = 234\,\mathrm{e}^{j0^\circ} - 16\,\mathrm{e}^{-j35^\circ} \cdot \left(0{,}034 + j0{,}005\right) = 233 + j0{,}3 = 232\,\mathrm{e}^{j0{,}1^\circ}\ \text{В}.$$

Струм в лінії ТП-7 знаходимо за формулою:

$$\dot{I}_{07} = \frac{\dot{U}_{\text{т}}}{Z_{\text{e}57}}, \qquad (3.22)$$

$$\dot{I}_{07} = \frac{235\,\mathrm{e}^{-j0{,}2^\circ}}{4{,}24 + j2{,}89} = 37{,}8 - j25{,}9 = 45{,}9\,\mathrm{e}^{-j35^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі пташника №7 можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п7}} = \dot{U}_{\text{т}} - \dot{I}_{07} Z_{07}, \qquad (3.23)$$

$$\dot{U}_{\text{п7}} = 235\,\mathrm{e}^{-j0{,}2^\circ} - 45{,}9\,\mathrm{e}^{-j35^\circ} \cdot \left(0{,}13 + j0{,}018\right) = 233{,}6 + j0 = 234\,\mathrm{e}^{j0^\circ}\ \text{В}.$$

Струм в лінії 7-6 знаходимо за формулою:

$$\dot{I}_{07} = \frac{\dot{U}_{\text{п7}}}{Z_{\text{e}56}}, \qquad (3.24)$$

$$\dot{I}_{67} = \frac{234\,\mathrm{e}^{j0^\circ}}{6{,}28 + j4{,}38} = 24{,}8 - j17 = 30\,\mathrm{e}^{-j34^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі пташника №6 можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п6}} = \dot{U}_{\text{п7}} - \dot{I}_{67} Z_{67}, \qquad (3.25)$$

$$\dot{U}_{\text{п6}} = 234\,\mathrm{e}^{j0^\circ} - 30\,\mathrm{e}^{-j34^\circ} \cdot \left(0{,}034 + j0{,}005\right) = 233{,}6 + j0 = 234\,\mathrm{e}^{j0^\circ}\ \text{В}.$$

Струм в лінії 6-5 знаходимо за формулою:

$$\dot{I}_{56} = \frac{\dot{U}_{\text{п6}}}{Z_{\text{п6}} + Z_{56}}, \qquad (3.26)$$

$$\dot{I}_{56} = \frac{234\,\mathrm{e}^{j0^\circ}}{11{,}5 + j8{,}1 + 0{,}034 + j0{,}005} = 12{,}2 - j8{,}3 = 14{,}8\,\mathrm{e}^{-j34^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі пташника №5 можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п5}} = \dot{U}_{\text{п6}} - \dot{I}_{56} Z_{56}, \qquad (3.27)$$

$$\dot{U}_{\text{п5}} = 234\text{e}^{j0^\circ} - 14{,}8\text{e}^{-j34^\circ}\cdot\left(0{,}034 + j0{,}005\right) = 228{,}4 + j2{,}8 = 228\text{e}^{j0{,}6^\circ}\ \text{В}.$$

Потужність активних втрат у *i*-ій лінії знаходимо за формулою:

$$\Delta P_{\text{л}\,i} = 3I_{\text{л}\,i}^2\,\text{Re}\,Z_{\text{л}\,i}, \qquad (3.28)$$

де $I_{л\,i}$ – діюче значення фазного струму лінії.

Потужність втрат у лініях будуть наступними:

$\Delta P_{02} = 3\cdot 30{,}5^2\cdot 0{,}1 = 93\cdot 10^{-3}$ кВт,

$\Delta P_{12} = 3\cdot 15^2\cdot 0{,}034 = 7{,}7\cdot 10^{-3}$ кВт,

$\Delta P_{04} = 3\cdot 32{,}6^2\cdot 0{,}057 = 61\cdot 10^{-3}$ кВт,

$\Delta P_{34} = 3\cdot 16^2\cdot 0{,}034 = 8{,}7\cdot 10^{-3}$ кВт,

$\Delta P_{07} = 3\cdot 45{,}9^2\cdot 0{,}13 = 273\cdot 10^{-3}$ кВт,

$\Delta P_{67} = 3\cdot 30^2\cdot 0{,}034 = 31\cdot 10^{-3}$ кВт,

$\Delta P_{56} = 3\cdot 14{,}8^2\cdot 0{,}034 = 7{,}4\cdot 10^{-3}$ кВт.

Потужність активних втрат у трансформаторі можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\text{т}} = 3I_{\text{т}}^2\,\text{Re}\,Z_{\text{т}}, \qquad (3.29)$$

де $I_{\text{т}}$ – діюче значення фазного струму трансформатора.

$$\Delta P_{\text{т}} = 3\cdot 109^2\cdot 0{,}0138 = 164\cdot 10^{-3}\ \text{кВт}.$$

Сумарну потужність активних втрат знаходимо за формулою:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{т}} + \sum_i \Delta P_{\text{л}\,i}, \qquad (3.30)$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \left(164 + 93 + 7{,}7 + 61 + 8{,}7 + 273 + 31 + 7{,}4\right)\cdot 10^{-3} = 0{,}919\ \text{кВт}.$$

Відхилення напруги на вводі в пташник визначається за формулою:

$$\delta U_{\text{п}} = \frac{\left|\dot{U}_{\text{п}}\right| - U_{\text{ф ном}}}{U_{\text{ф ном}}}\cdot 100\%. \qquad (3.31)$$

Відхилення напруги на вводі в пташник 1 і 5 (найвіддаленіший) буде становити:

$$\delta U_{\text{п1}} = \frac{232 - 220}{220}\cdot 100\% = +5{,}5\%,$$

$$\delta U_{\text{п5}} = \frac{228{,}5 - 220}{220}\cdot 100\% = +3{,}9\%.$$

Активну потужність, яка споживається від мережі, можна визначити за формулою:

$$P_{\text{с}} = \text{Re}\left(3\dot{U}_{\text{с}}\hat{I}_{\text{т}}\right), \tag{3.32}$$

де $\hat{I}_{\text{т}}$ - спряжений комплекс струму трансформатора.

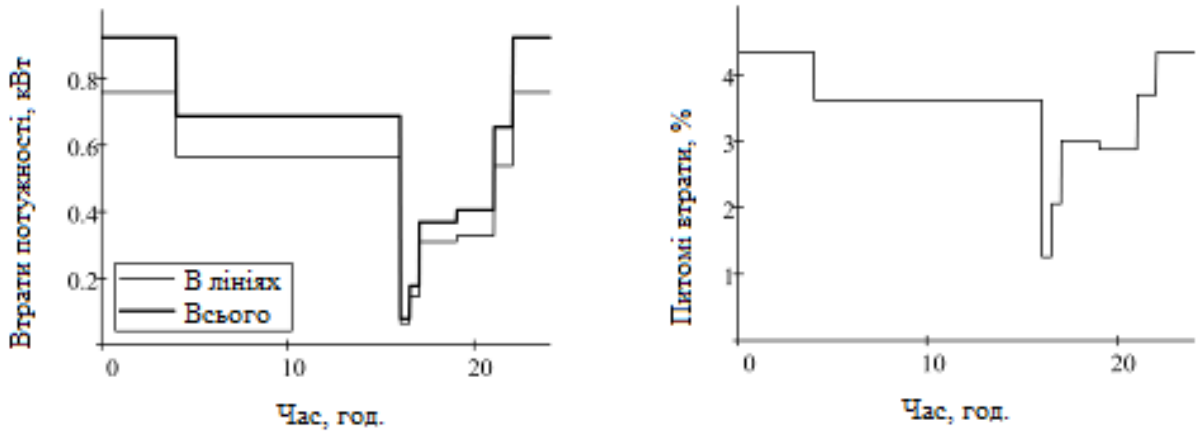
$$P_{\text{с}} = \text{Re}\left(3 \cdot 238 \cdot \left(89{,}6 + j62\right)\right) = 21{,}3 \text{ кВт}.$$

Частку втрат у загальному балансі активної потужності визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{\text{втр.}} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{\text{с}}} \cdot 100\%, \tag{3.33}$$

$$\Delta P_{\text{втр.}} = \frac{0{,}919}{21{,}3} \cdot 100\% = 4{,}3\%.$$

Всі розраховані величини втрат потужності та відхилень напруги змінюються протягом доби. Виконаємо аналогічні розрахунки інших моментів часу та побудуємо графіки втрат потужності, відхилень напруги і втрат електроенергії (рис. 3.7 – 3.8).



а) б)

Рисунок 3.7 – Графіки втрат потужності та питомих втрати за добу:
а) втрати активної потужності; б) питомі втрати

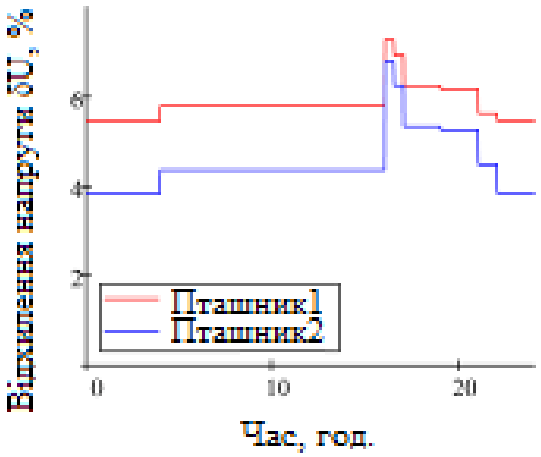


Рисунок 3.8 – Графіки відхилення напруги протягом доби

Після визначення добової динаміки активних втрат та відхилень напруги, можна визначити зміну втрат та відхилень напруги за 40-денний цикл роботи електричними приймачами пташників №1-7.

Споживання електроенергії за добу визначаємо за формулою:

$$W_{\text{спож}\,\Sigma} = \int_0^{24} P_c dt. \tag{3.34}$$

Сумарні втрати електроенергії за добу можна визначити за формулою:

$$W_{\text{втр.}\,\Sigma} = \int_0^{24} P_\Sigma dt. \tag{3.35}$$

Питома втрата електроенергії за добу визначається за формулою:

$$\delta W_{\text{втр.}\,\Sigma} = \frac{W_{\text{втр.}\,\Sigma}}{W_{\text{спож}\,\Sigma}} \cdot 100\%. \tag{3.36}$$

Для першої доби отримуємо наступні значення:

$$W_{\text{спож}\,\Sigma} = 434 \text{ кВт·год.}, \; W_{\text{втр.}\,\Sigma} = 17{,}9 \text{ кВт·год.}$$

$$\delta W_{\text{втр.}\,\Sigma} = \frac{17{,}9}{4334} \cdot 100\% = 4{,}1\%.$$

Середнє добове відхилення напруги на введенні в пташник можна визначити за формулою:

$$\delta U_{\text{п доб.}} = \frac{1}{24} \int_0^{24} \delta U_{\text{п}} dt. \tag{3.37}$$

Середнє добове відхилення напруги на вводі в пташники №1 і №5 буде становити:

$$\delta U_{\text{п1 доб.}} = +5{,}8\%,$$

$$\delta U_{\text{п5 доб.}} = +4{,}5\%.$$

Розрахуємо втрати електроенергії та відхилення напруги для 1, 12 та 40-х діб (мінімальні та максимальні навантаження) з різними відхиленнями напруги системи.

Результати отриманих розрахунків приведені у табл. 3.1 – 3.3.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку втрат та відхилень напруги ($\delta U = \pm 8\%$)

День	Втрати електроенергії, кВт·год			Середнє відхилення напруги, %		Питомі втрати, %	Загальне споживання, кВт·год
	В лініях	В трансформаторі	Всього	Пташник №1	Пташник №2		
1	13,2	4,7	17,9	5,8	4,5	4,1	434
12	10,0	3,5	13,5	6,2	5	3,6	372
40	14,5	5,0	19,5	5,7	4,3	4,3	451

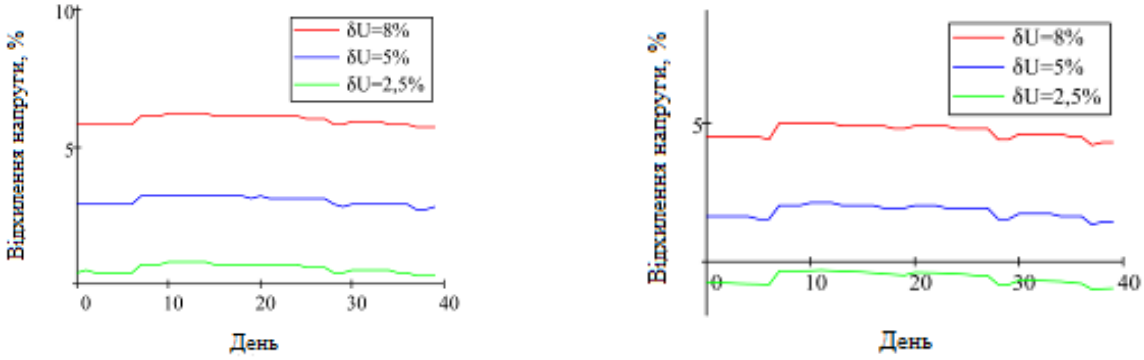
Таблиця 3.2 – Результати розрахунку втрат та відхилень напруги ($\delta U = \pm 5\%$)

День	Втрати електроенергії, кВт·год			Середнє відхилення напруги, %		Питомі втрати, %	Загальне споживання, кВт·год
	В лініях	В трансформаторі	Всього	Пташник №1	Пташник №2		
1	12,5	4,4	16,9	2,9	1,6	4,1	410
12	9,4	3,3	12,7	3,2	2,1	3,6	352
40	13,7	4,8	18,4	2,8	1,4	4,3	426

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку втрат та відхилень напруги ($\delta U = \pm 2{,}5\%$)

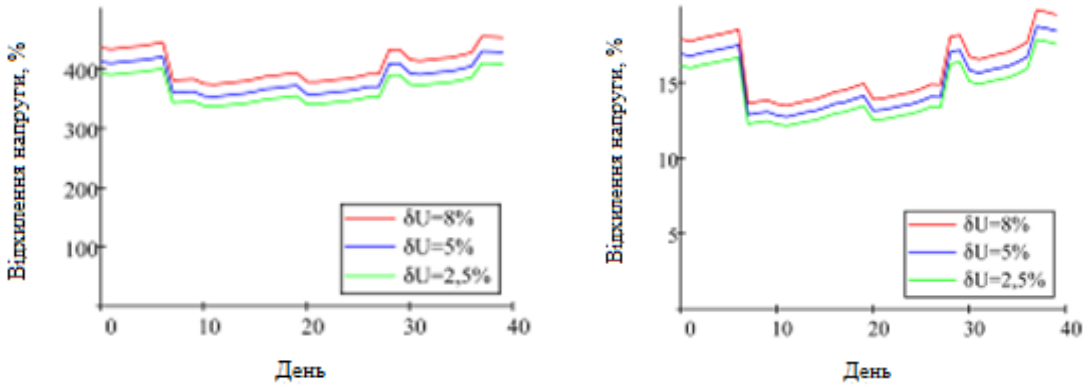
День	Втрати електроенергії, кВт·год			Середнє відхилення напруги, %		Питомі втрати, %	Загальне споживання, кВт·год
	В лініях	В трансформаторі	Всього	Пташник №1	Пташник №2		
1	11,9	4,2	16,1	0,4	-0,83	4,1	391
12	9,0	3,2	12,1	0,8	-0,36	3,6	335
40	13,0	4,5	17,6	0,3	-1,02	4,3	406

На основі отриманих розрахованих даних було побудовано графіки середньодобових відхилень напруги, енергоспоживання та сумарних втрат при різних відхиленнях напруги мережі (рис. 3.9 – 3.10).



а) б)

Рисунок 3.9 – Графіки середньодобового відхилення напруги за 40 днів:
а) пташник №1; б) пташник №5



а) б)

Рисунок 3.10 – Графіки енергоспоживання та втрати за 40 днів:
а) енергоспоживання; б) втрати

Питомі втрати, як видно з табл. 3.1 – 3.3, залежить від відхилення напруги мережі (рис. 3.11).

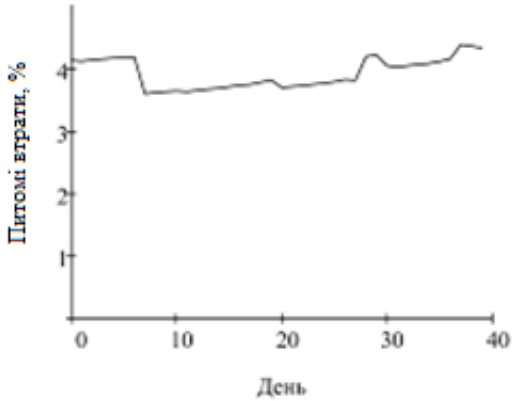
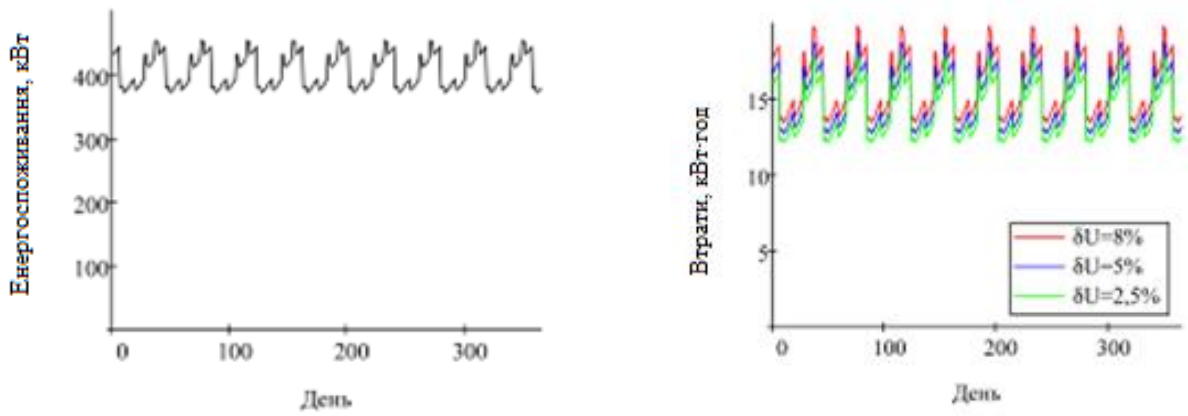


Рисунок 3.11 – Графік питомих втрат електроенергії за 40 днів

Споживання та втрати електроенергії протягом року для електричних приймачів пташників №1-7 приведені на рис. 3.12.



а) б)

Рисунок 3.12 – Графіки енергоспоживання та втрат за рік електричних приймачів пташників №1-7: а) енергоспоживання (δU = +8%); б) втрати

Загальне річне споживання електричної енергії та річні втрати приведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Загальне річне споживання електричної енергії та річні втрати для електричних приймачів пташників №1-7

Відхилення напруги в мережі δU, %	Загальне спожи-вання, кВт·год	Втрати, кВт·год	Питомі втрати, %
+8	147 620	5 799	3,9
+5	139 530	5 481	3,9
+2,5	132 970	5 223	3,9

Для з'ясування зв'язку між втратами електроенергії та відхиленням напруги мережі потрібно побудувати діаграму (рис. 3.13).

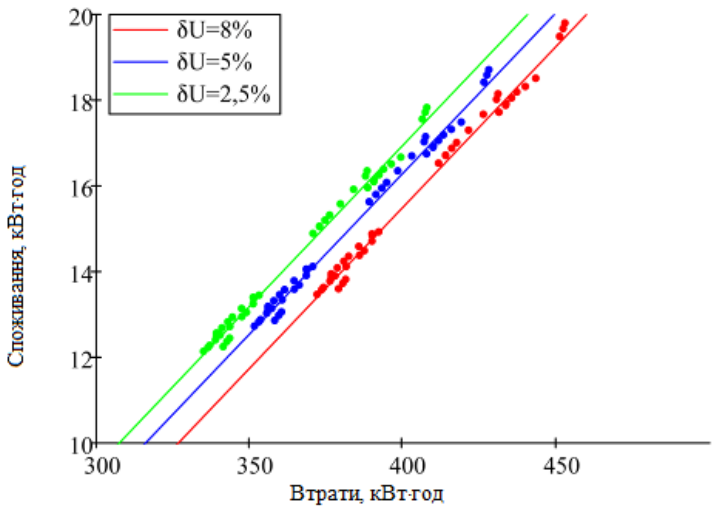


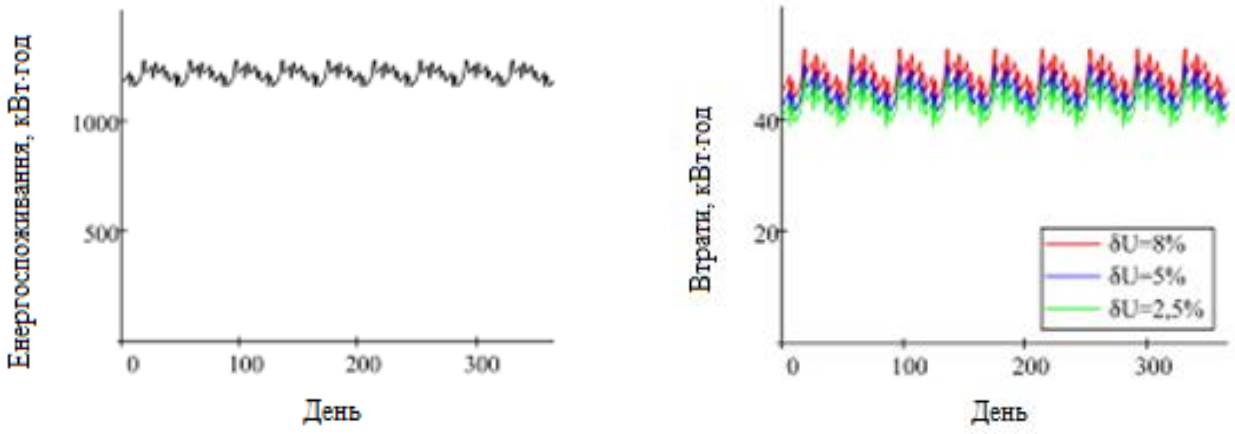
Рисунок 3.13 – Графіки залежності втрат від споживання

На діаграму нанесені точки, що відповідають отриманим добовим значенням втрат і споживання електричної енергії, а також прямі лінійної регресії, побудовані за наступними виразами:

$$\begin{cases} W_{\text{втр. }\Sigma} = 0{,}075 W_{\text{спож }\Sigma} - 14{,}6 & \text{при } \delta U = +8\%, \\ W_{\text{втр. }\Sigma} = 0{,}075 W_{\text{спож }\Sigma} - 13{,}7 & \text{при } \delta U = +5\%, \\ W_{\text{втр. }\Sigma} = 0{,}075 W_{\text{спож }\Sigma} - 13{,}1 & \text{при } \delta U = +2{,}5\%. \end{cases} \quad (3.38)$$

З графіка можна побачити, дослідні дані чітко описуються лінійними залежностями: коефіцієнт пропорційності не змінюється, але пряма зсувається вліво в міру зменшення відхилення напруги в мережі.

Тепер розглянемо споживання та втрати електричних приймачів всіх пташників птахофабрики. Застосовуючи цю самук методику зсуву графіків навантажень для трьох груп по 7 пташників, можна отримати графіки споживання електричної енергії та втрат протягом року. Споживання та втрати електричної енергії протягом року приведені на рис. 3.14.



а) б)

Рисунок 3.14 – Графіки енергоспоживання та втрат за рік для електроустаткування всіх пташників: а) енергоспоживання (δU = +8%); б) втрати

Порівнюючи графіки, приведені на рис. 3.12 і 3.14, можна зробити висновок про згладжування графіка споживання і, відповідно, втрат внаслідок неодночасності максимумів навантажень. Сумарне річне споживання електроенергії та річні втрати для електроустаткування всіх пташників наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Річне споживання електричної енергії та річні втрати

Відхилення напруги в мережі δU, %	Загальне спожи-вання, кВт·год	Втрати, кВт·год	Питомі втрати, %
+8	442 380	17 370	3,9
+5	418 140	16 420	3,9
+2,5	398 470	15 640	3,9

3.3 Розрахунок схеми заміщення гармонік струму і напруги

Схема заміщення електричного обладнання групи пташників №1-7 для розрахунку гармонік струму і напруги приведена на рис. 3.15.

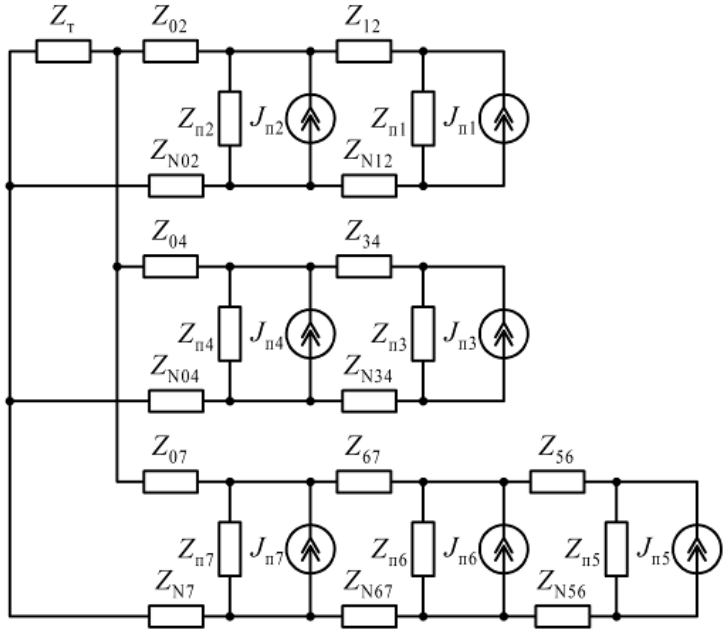


Рисунок 3.15 - Схема заміщення для розрахунку вищих гармонік

Повні опори елементів електромережі на частоті ν-ї гармоніки розраховуються відповідно до [19]. Повні опори навантаження двигунів кормороздачі можна знайти за формулою:

$$Z_{к1\,(\nu)} = j22{,}7\nu \text{ Ом}, \tag{3.39}$$

$$Z_{к2\,(\nu)} = j12{,}6\nu \text{ Ом}. \tag{3.40}$$

Повні опори навантаження двигунів вентиляції можна визначити за формулою:

$$Z_{в1\,(\nu)} = j13{,}6\nu \text{ Ом}, \tag{3.41}$$

$$Z_{в2\,(\nu)} = j1{,}96\nu \text{ Ом}. \tag{3.42}$$

Повний опір трансформатора знайдемо за формулою:

$$Z_{\text{т}(v)} = k_{R_v}\,0{,}0138 + j0{,}018v \text{ Ом}, \tag{3.43}$$

де k_{Rv} - коефіцієнт збільшення активного опору.

Повні опори ліній можна знайти за такими формулами:

$$Z_{07(v)} = 0{,}13\sqrt{v} + j0{,}018v \text{ Ом}, \tag{3.44}$$

$$Z_{12(v)} = Z_{67(v)} = Z_{56(v)} = Z_{34(v)} = 0{,}034\sqrt{v} + j0{,}005v \text{ Ом}, \tag{3.45}$$

$$Z_{04(v)} = 0{,}057\sqrt{v} + j0{,}0079v \text{ Ом}, \tag{3.46}$$

$$Z_{02(v)} = 0{,}1\sqrt{v} + j0{,}015v \text{ Ом}. \tag{3.47}$$

Опір нульових проводів враховуються при гармоніках, кратним трьом, і знаходяться за наступними формулами:

$$Z_{\text{N}07(v)} = 0{,}35\sqrt{v} + j0{,}14v \text{ Ом}, \tag{3.48}$$

$$Z_{\text{N}12(v)} = Z_{\text{N}67(v)} = Z_{\text{N}56(v)} = Z_{\text{N}34(v)} = 0{,}09\sqrt{v} + j0{,}036v \text{ Ом}, \tag{3.49}$$

$$Z_{\text{N}04(v)} = 0{,}15\sqrt{v} + j0{,}06v \text{ Ом}, \tag{3.50}$$

$$Z_{\text{N}02(v)} = 0{,}28\sqrt{v} + j0{,}11v \text{ Ом}. \tag{3.51}$$

Еквівалентні навантаження для пташників двигунів будуть рівні:

$$Z_{\text{п}(v)} = \left(Z^{-1}_{\text{к}1(v)} + Z^{-1}_{\text{к}2(v)} + Z^{-1}_{\text{в}1(v)} + Z^{-1}_{\text{в}2(v)}\right)^{-1}. \tag{3.52}$$

Струм вищих гармонік споживачів пташника розраховується за дослідними даними за формулою:

$$J_{\text{п}(v)} = k_{\text{р.о}} J_{\text{р.о}(v)} + k_{\text{ч.о}} J_{\text{ч.о}(v)}, \tag{3.53}$$

де $k_{\text{р.о.}}$, $k_{\text{ч.о.}}$- коефіцієнти завантаження робочого та чергового освітлення.

Проведемо розрахунок по 3-й гармоніці для першої доби і моменту часу t = 0 год. Далі всі отримані значення відносяться до 3-ї гармоніки. Еквівалентні навантаження для двигунів пташників будуть рівними:

$$Z_{п1} = Z_{п5} = \left(\left(3 \cdot j22{,}7 \cdot \frac{24}{0{,}162} \right)^{-1} + \left(3 \cdot j12{,}6 \cdot \frac{24}{0{,}111} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(3 \cdot j13{,}6 \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} \right)^{-1} = j183 \text{ Ом},$$

$$Z_{п2} = Z_{п6} = \left(\left(3 \cdot j22{,}7 \cdot \frac{24}{0{,}532} \right)^{-1} + \left(3 \cdot j12{,}6 \cdot \frac{24}{0{,}364} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(13{,}6 e^{j35^\circ} \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} \right)^{-1} = j167 \text{ Ом},$$

$$Z_{п3} = Z_{п7} = \left(\left(3 \cdot j22{,}7 \cdot \frac{24}{1{,}051} \right)^{-1} + \left(3 \cdot j12{,}6 \cdot \frac{24}{0{,}719} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(3 \cdot j13{,}6 \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} \right)^{-1} = j150 \text{ Ом},$$

$$Z_{п4} = \left(\left(3 \cdot j22{,}7 \cdot \frac{24}{1{,}506} \right)^{-1} + \left(3 \cdot j12{,}6 \cdot \frac{24}{1{,}031} \right)^{-1} + \right.$$

$$\left. + \left(3 \cdot j13{,}6 \cdot \frac{24}{5{,}1} \right)^{-1} \right)^{-1} = j137 \text{ Ом}.$$

$$J_{п1} = J_{п5} = 1 \cdot 1{,}89 + 1 \cdot 0{,}23 = 2{,}12 \text{ А},$$

$$J_{п2} = J_{п6} = 0{,}75 \cdot 1{,}89 + 1 \cdot 0{,}23 = 1{,}65 \text{ А},$$

$$J_{п3} = J_{п7} = 0{,}75 \cdot 1{,}89 + 1 \cdot 0{,}23 = 1{,}65 \text{ А},$$

$$J_{п4} = 0{,}9 \cdot 1{,}89 + 1 \cdot 0{,}23 = 1{,}93 \text{ А}.$$

Повний опір трансформатора буде рівний:

$$Z_{т\,(v)} = 1{,}3 \cdot 0{,}0138 + j0{,}018 \cdot 3 = 0{,}018 + j0{,}054 \text{ Ом},$$

Повні опори ліній будуть наступними:

$$Z_{07} = 0{,}13 \cdot \sqrt{3} + j0{,}018 \cdot 3 = 0{,}225 + j0{,}057 \text{ Ом},$$

$$Z_{12} = Z_{67} = Z_{56} = Z_{34} = 0{,}034 \cdot \sqrt{3} + j0{,}005 \cdot 3 = 0{,}059 + j0{,}015 \text{ Ом},$$

$$Z_{04} = 0{,}057 \cdot \sqrt{3} + j0{,}0079 \cdot 3 = 0{,}1 + j0{,}025 \text{ Ом},$$

$$Z_{02} = 0{,}1 \cdot \sqrt{3} + j0{,}015 \cdot 3 = 0{,}173 + j0{,}045 \text{ Ом},$$

$$Z_{N07} = 0{,}35 \cdot \sqrt{3} + j0{,}14 \cdot 3 = 0{,}606 + j0{,}42 \text{ Ом},$$

$$Z_{N12} = Z_{N67} = Z_{N56} = Z_{N34} = 0{,}09 \cdot \sqrt{3} + j0{,}036 \cdot 3 = 0{,}26 + j0{,}18 \text{ Ом},$$
$$Z_{N04} = 0{,}15 \cdot \sqrt{3} + j0{,}06 \cdot 3 = 0{,}09 + j0{,}147 \text{ Ом},$$
$$Z_{N02} = 0{,}28 \cdot \sqrt{3} + j0{,}11 \cdot 3 = 0{,}485 + j0{,}33 \text{ Ом}.$$

Послідовно перетворимо схему заміщення до простішого вигляду, на рисунку 3.16 приведено частину схеми заміщення (навантаження пташників № 1, 2).

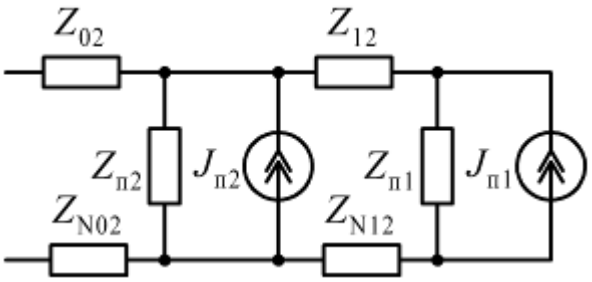


Рисунок 3.16 - Частина схеми заміщення навантажень пташників №1, 2

Отже, для двох пташників отримуємо:

$$\dot{E}_{e12} = \frac{\dot{E}_{e0} Z_{п2}}{Z_{e0} + Z_{п2}}, \tag{3.54}$$

$$\dot{E}_{e12} = \frac{(0{,}5 + j688) \cdot j167}{0{,}3 + j183 + j688} = j344 \text{ В},$$

$$Z_{e12} = Z_{02} + Z_{N02} + \left(Z_{п2}^{-1} + Z_{e0}^{-1}\right)^{-1}, \tag{3.55}$$

$$Z_{e12} = 0{,}173 + j0{,}045 + 0{,}485 + j0{,}33 + \left((0{,}3 + j183)^{-1} + (j688)^{-1}\right)^{-1} =$$
$$= 0{,}73 + j87{,}8 \text{ Ом}.$$

Еквівалентну схему заміщення приведено на рис. 3.17.

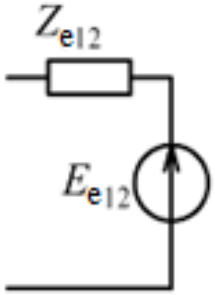


Рисунок 3.17 - Еквівалентна схема заміщення навантажень пташників №1, 2

Виконавши аналогічні перетворення, можна отримати параметри схеми заміщення (рис. 3.18).

$$\dot{E}_{e34} = j268 \text{ В},\ \dot{E}_{e57} = j445 \text{ В},\ Z_{e34} = 0{,}3 + j71{,}7 \text{ Ом},\ Z_{e57} = 0{,}9 + j82{,}8 \text{ Ом}.$$

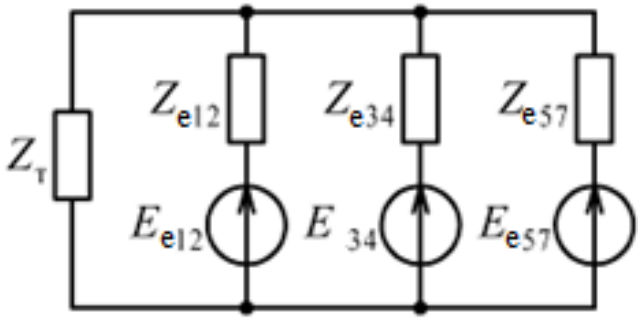


Рисунок 3.18 - Еквівалентна схема заміщення для розрахунку вищих гармонік

Напругу на шинах підвищуючого трансформатора можна визначити за формулою:

$$\dot{U}_т = \frac{\frac{\dot{E}_{e12}}{Z_{e12}} + \frac{\dot{E}_{e34}}{Z_{e34}} + \frac{\dot{E}_{e57}}{Z_{e57}}}{Z_т^{-1} + Z_{e12}^{-1} + Z_{e34}^{-1} + Z_{e57}^{-1}}, \qquad (3.56)$$

$$\dot{U}_т = \frac{\frac{j344}{0{,}73 + j87{,}8} + \frac{j268}{0{,}3 + j71{,}7} + \frac{j445}{0{,}9 + j82{,}8}}{(0{,}018 + j0{,}054)^{-1} + (0{,}73 + j87{,}8)^{-1} + (0{,}3 + j71{,}7)^{-1} + (0{,}9 + j82{,}8)^{-1}} =$$

$$= 0{,}23 + j0{,}7 = 0{,}74 e^{j72^\circ} \text{ В}.$$

Струм у трансформаторі знаходимо за формулою:

$$\dot{I}_т = \frac{\dot{U}_т}{Z_т}, \qquad (3.57)$$

$$\dot{I}_т = \frac{0{,}23 + j0{,}7}{0{,}018 + j0{,}054} = 13 + j0{,}1 = 13 e^{j1^\circ} \text{ А}.$$

Струм у лінії ТП-2 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{02} = \frac{\dot{E}_{e12} - \dot{U}_т}{Z_{e12}}, \qquad (3.58)$$

$$\dot{I}_{02} = \frac{j344 - (0{,}23 + j0{,}7)}{0{,}73 + j87{,}8} = 3{,}91 + j0{,}04 = 3{,}91 e^{j1^\circ} \text{ А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 2 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{п2} = \dot{U}_{т} + \left(Z_{02} + Z_{N02}\right)\dot{I}_{02}, \tag{3.59}$$

$$\dot{U}_{п2} = 0{,}74\,e^{j72^\circ} + \left(0{,}173 + j0{,}045 + 0{,}485 + j0{,}33\right)\cdot 3{,}91\,e^{j1^\circ} =$$

$$= 2{,}8 + j2{,}2 = 3{,}55\,e^{j38^\circ}\ \text{В}.$$

Струм, що споживається еквівалентним навантаженням пташника №2, визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{п2} = \frac{\dot{U}_{п2}}{Z_{п2}}, \tag{3.60}$$

$$\dot{I}_{п2} = \frac{3{,}55\,e^{j38^\circ}}{j167} = 0{,}013 - j0{,}017 = 0{,}021\,e^{-j52^\circ}\ \text{А}.$$

Струм у лінії 2-1 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{12} = \dot{I}_{02} + \dot{I}_{п2} - \dot{J}_{п2}, \tag{3.61}$$

$$\dot{I}_{12} = 3{,}91\,e^{j1^\circ} + 0{,}021\,e^{-j52^\circ} - 1{,}65 = 2{,}28 + j0{,}02 = 2{,}28\,e^{j0^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 1 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{п1} = \dot{U}_{п2} + \left(Z_{12} + Z_{N12}\right)\dot{I}_{12}, \tag{3.62}$$

$$\dot{U}_{п1} = 3{,}55\,e^{j38^\circ} + \left(0{,}059 + j0{,}015 + 0{,}26 + j0{,}18\right)\cdot 2{,}28\,e^{j0^\circ} =$$

$$= 3{,}5 + j2{,}6 = 4{,}4\,e^{j37^\circ}\ \text{В}.$$

Струм в лінії ТП-4 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{04} = \frac{\dot{E}_{e34} - \dot{U}_{т}}{Z_{e34}}, \tag{3.63}$$

$$\dot{I}_{04} = \frac{j268 - \left(0{,}23 + j0{,}7\right)}{0{,}3 + j71{,}7} = 3{,}72 + j0{,}02 = 3{,}72\,e^{j0^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 4 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{п4} = \dot{U}_{т} + \left(Z_{04} + Z_{N04}\right)\dot{I}_{04}, \tag{3.64}$$

$$\dot{U}_{п4} = 0{,}74\,e^{j72^\circ} + \left(0{,}1 + j0{,}025 + 0{,}09 + j0{,}147\right)\cdot 3{,}72\,e^{j0^\circ} =$$

$$= 0{,}93 + j1{,}35 = 1{,}64\,e^{j55^\circ}\ \text{В}.$$

Струм, що споживається еквівалентним навантаженням пташника №4, визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{\text{п4}} = \frac{\dot{U}_{\text{п4}}}{Z_{\text{п4}}}, \tag{3.65}$$

$$\dot{I}_{\text{п4}} = \frac{1,64\,\text{e}^{j38^\circ}}{j137} = 0,01 - j0,007 = 0,01\text{e}^{-j35^\circ}\ \text{А}.$$

Струм у лінії 4-3 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{34} = \dot{I}_{04} + \dot{I}_{\text{п4}} - \dot{J}_{\text{п4}}, \tag{3.66}$$

$$\dot{I}_{34} = 3,72\,\text{e}^{j0^\circ} + 0,01\text{e}^{-j35^\circ} - 1,93 = 1,8 + j0,01 = 1,8\text{e}^{j0^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 3 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п3}} = \dot{U}_{\text{п4}} + \left(Z_{34} + Z_{\text{N34}}\right)\dot{I}_{34}, \tag{3.67}$$

$$\dot{U}_{\text{п3}} = 1,64\,\text{e}^{j55^\circ} + \left(0,059 + j0,015 + 0,26 + j0,18\right)\cdot 2,28\,\text{e}^{j0^\circ} =$$
$$= 0,93 + j1,35 = 1,6\,\text{e}^{j55^\circ}\ \text{В}.$$

Струм в лінії ТП-7 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{07} = \frac{\dot{E}_{\text{e57}} - \dot{U}_{\text{т}}}{Z_{\text{e57}}}, \tag{3.68}$$

$$\dot{I}_{07} = \frac{j445 - \left(0,23 + j0,7\right)}{0,9 + j82,8} = 5,4 + j0,06 = 5,4\,\text{e}^{j1^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 7 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п7}} = \dot{U}_{\text{т}} + \left(Z_{07} + Z_{\text{N07}}\right)\dot{I}_{07}, \tag{3.69}$$

$$\dot{U}_{\text{п7}} = 0,74\,\text{e}^{j72^\circ} + \left(0,225 + j0,057 + 0,61 + j0,42\right)\cdot 5,4\,\text{e}^{j1^\circ} =$$
$$= 4,67 + j3,32 = 5,72\,\text{e}^{j35^\circ}\ \text{В}.$$

Струм, що споживається еквівалентним навантаженням пташника №7, визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{\text{п}7} = \frac{\dot{U}_{\text{п}7}}{Z_{\text{п}7}}, \tag{3.70}$$

$$\dot{I}_{\text{п}7} = \frac{5,72\,\text{e}^{j38^\circ}}{j150} = 0,022 - j0,031 = 0,038\,\text{e}^{-j55^\circ}\ \text{А}.$$

Струм у лінії 7-6 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{67} = \dot{I}_{07} + \dot{I}_{\text{п}7} - \dot{J}_{\text{п}7}, \tag{3.71}$$

$$\dot{I}_{67} = 5,4\,\text{e}^{j1^\circ} + 0,01\,\text{e}^{-j35^\circ} - 1,93 = 3,75 + j0,03 = 3,75\,\text{e}^{j0^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 6 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п}6} = \dot{U}_{\text{п}7} + \left(Z_{67} + Z_{\text{N}67}\right)\dot{I}_{67}, \tag{3.72}$$

$$\dot{U}_{\text{п}6} = 5,72\,\text{e}^{j35^\circ} + \left(0,059 + j0,015 + 0,26 + j0,18\right)\cdot 3,75\,\text{e}^{j0^\circ} =$$
$$= 5,9 + j4,1 = 7,1\,\text{e}^{j35^\circ}\ \text{В}.$$

Струм, що споживається еквівалентним навантаженням пташника №6, визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{\text{п}6} = \frac{\dot{U}_{\text{п}6}}{Z_{\text{п}6}}, \tag{3.73}$$

$$\dot{I}_{\text{п}6} = \frac{7,1\,\text{e}^{j35^\circ}}{j167} = 0,024 - j0,035 = 0,04\,\text{e}^{-j55^\circ}\ \text{А}.$$

Струм у лінії 6-5 визначимо за формулою:

$$\dot{I}_{56} = \dot{I}_{67} + \dot{I}_{\text{п}6} - \dot{J}_{\text{п}6}, \tag{3.74}$$

$$\dot{I}_{56} = 3,75\,\text{e}^{j0^\circ} + 0,04\,\text{e}^{-j55^\circ} - 1,65 = 2,1 - j0,01 = 2,1\,\text{e}^{j0^\circ}\ \text{А}.$$

Напругу на вводі в пташник № 5 знаходимо за формулою:

$$\dot{U}_{\text{п}5} = \dot{U}_{\text{п}6} + \left(Z_{56} + Z_{\text{N}56}\right)\dot{I}_{56}, \tag{3.75}$$

$$\dot{U}_{\text{п}5} = 7,1\,\text{e}^{j35^\circ} + \left(0,059 + j0,015 + 0,26 + j0,18\right)\cdot 2,1\,\text{e}^{j0^\circ} =$$
$$= 6,53 + j4,5 = 7,9\,\text{e}^{j35^\circ}\ \text{В}.$$

Аналогічним чином виконуємо розрахунок інших гармонік. Потужність активних втрат від вищих гармонік у *i*-ій лінії можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\text{л}\,i} = 3\sum_{\nu=2}^{40} I^2_{\text{л}\,i\,(\nu)} \operatorname{Re} Z_{\text{л}\,i\,(\nu)}, \qquad (3.76)$$

де $I_{\text{л}\,i(\nu)}$ - діюче значення *ν*-ї гармоніки струму лінії.

Потужність втрат у лініях буде мати наступні значення:

$$\Delta P_{02} = 14{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad \Delta P_{12} = 2{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ кВт},$$
$$\Delta P_{04} = 4{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad \Delta P_{34} = 1{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ кВт},$$
$$\Delta P_{07} = 34{,}7 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad \Delta P_{67} = 6{,}1 \cdot 10^{-3} \text{ кВт},$$
$$\Delta P_{56} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}.$$

Потужність активних втрат у трансформаторі знаходимо за формулою:

$$\Delta P_{\text{т}} = 3\sum_{\nu=2}^{40} I^2_{\text{т}\,(\nu)} \operatorname{Re} Z_{\text{т}\,(\nu)}, \qquad (3.77)$$

де $I_{\text{т}(\nu)}$ - діюче значення ν-ї гармоніки струму трансформатора.

$$\Delta P_{\text{т}} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}.$$

Сумарну потужність активних втрат можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\text{ВГ}\,\Sigma} = \Delta P_{\text{т}} + \sum_{i} \Delta P_{\text{л}\,i}, \qquad (3.78)$$

$$\Delta P_{\text{ВГ}\,\Sigma} = \left(14{,}5 + 2{,}3 + 4{,}5 + 1{,}4 + 34{,}7 + 6{,}1 + 2{,}5 + 11\right) \cdot 10^{-3} = 0{,}077 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати активної потужності різних гармонік приведено на рис. 3.19.

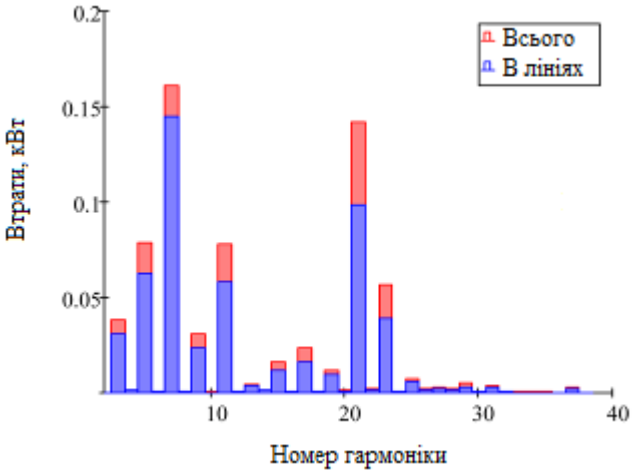


Рисунок 3.19 – Графіки втрат активної потужності на різних гармоніках

Частку втрат активної потужності вищих гармонік у загальному балансі активної потужності можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\text{втр. ВГ}} = \frac{\Delta P_{\text{ВГ}\,\Sigma}}{P_{\text{с}}} \cdot 100\%, \tag{3.79}$$

$$\Delta P_{\text{втр. ВГ}} = \frac{0{,}077}{21{,}3} \cdot 100\% = 0{,}35\%.$$

Бачимо, що втрати від найвищих гармонік є мінімальними [21]. Знайдемо коефіцієнт несинусоїдності напруги для різних моментів часу та побудуємо графіки його зміни протягом доби (рис. 3.20).

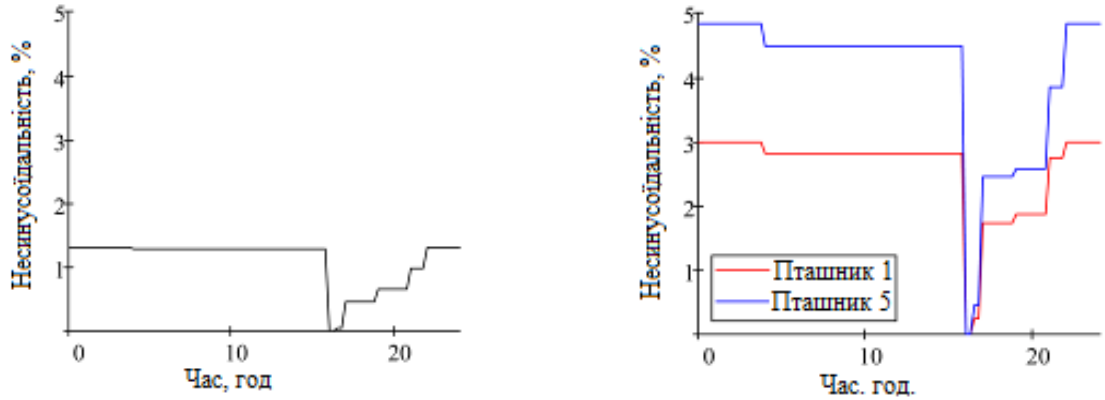


Рисунок 3.19 – Графіки рівня несинусоїдності напруги:
а) трансформатор; б) пташники

3.4 Висновки до розділу 3

За результатами проведених досліджень було запропоновано розрахункову модель електричного обладнання пташників птахофабрики для електричного розрахунку на основній частоті та на вищих гармоніках. Розрахункова модель базується на результатах виконаних вимірювань на протязі доби, 40 днів і року. Порівняння отриманої моделі з результатами вимірів показало її адекватність.

На основі виконаних вимірювань визначено розрахункові опори та величини струмів вищих гармонік, здійснено математичне моделювання на комп'ютері роботи пташників протягом доби, періоду вирощування та року. Результати моделювання дозволили провести розрахунок наступних параметрів:

- втрати електричної енергії на основній частоті та на вищих гармоніках;
- рівні відхилення напруги і несинусоїдності в пташниках і кабельних лініях живлення;
- споживану активну потужність;
- додаткові втрати активної потужності в асинхронних двигунах та трансформаторах, викликаних несиметрією та несинусоїдальністю.

На основі результатів моделювання було отримано залежність втрат електричної енергії від сумарного добового споживання та формули для практичного розрахунку втрат електроенергії в залежності від відхилення напруги системи.

Результати дослідження показують, що вплив несиметрії та несинусоїдності на роботу електрообладнання птахофабрики є незначним, а рівень додаткових втрат від даних параметрів якості значно менший втрат на основній частоті.

На втрату електроенергії впливає протікання струмів основної частоти і їх можна знизити за рахунок зменшення напруги трансформатора або заміною існуючого трансформатора на аналогічний за потужністю з пристроєм РПН.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці як складова безпеки життєдіяльності

Умови та безпека праці, їх стан та покращення – самостійна і важлива задача соціальної політики будь-якої сучасної промислово розвинутої держави, яку вирішує така невід'ємна складова БЖД, як охорона праці. Рівень безпеки будь-яких робіт у суспільному виробництві значною мірою залежить від рівня правового забезпечення цих питань, тобто від якості та повноти викладення відповідних вимог в законах та інших нормативно-правових актах [22].

Для вирішення існуючих проблем в сфері охорони праці необхідна ефективна взаємодія всіх органів державної влади та громадськості, а також реалізація як на державному, так і на місцевих рівнях відповідних програм, спрямованих на корінне покращення умов і охорони праці.

Реалізація цих програм дозволить розробити і впровадити науково обґрунтовану державну систему наглядової, навчально-методичної та контрольної діяльності у сфері охорони праці; адаптувати нормативно-правову базу з питань охорони праці до вимог директив Європейського Союзу; вирішити питання науково-методичного та інформаційного забезпечення з питань охорони праці на національному та регіональному рівнях та багато іншого, що дозволить здійснити комплексне вирішення задач охорони праці, забезпечити пріоритет життя і здоров'я працюючих по відношенню до результатів виробничої діяльності і створити безпечні та здорові умови праці на підприємствах і в організаціях усіх форм власності.

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання. Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом [23]:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними,

- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання;

- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці;

- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге – соціальне – пов’язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав.

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки [24, 25].

4.2 Аналіз причин ураження людини електричним струмом

Наслідки ураження людини електричним струмом залежить від ряду факторів, які умовно можна поділити на три групи: фактори електричного характеру, фактори неелектричного характеру і фактори довкілля [26].

Фактори електричного характеру. У випадку отримання електротравми, основним уражаючим фактором є *електричний струм*, що протікає через людину. Від величини (сили) цього струму залежать наслідки ураження. Виділяють наступні порогові значення сили струму, тобто ті мінімальні значення, що викликають певні наслідки:

− поріг чутливості – це мінімальна сила струму, яку людина сприймає у вигляді ледь відчутних подразнень (для змінного струму це значення 0,7-1,5 мА, для постійного – 5-7 мА);

− пороговий невідпускаючий струм – це мінімальна сила струму, що викликає судомне скорочення м`язів, і людина не може самостійно звільнитися від струмовідних частин (для змінного струму це значення 10-15 мА, для постійного – 50-80 мА);

− пороговий фібриляційний струм – це мінімальна сила струму, що викликає фібриляцію серця (для змінного струму це значення 100 мА, для постійного – 300 мА).

Напруга на тілі людини впливає на тяжкість ураження лише в тій мірі, в якій вона визначає силу струму, що протікає через тіло людини.

Опір кола людини. Розглядаючи випадки включення людини в електричне коло (наприклад, дотику людини до струмопровідної частини), бачимо, що

послідовно з опором тіла людини «включені» опори інших елементів: опір одягу, опір взуття і опір опорної поверхні ніг (рис. 4.1) [27].

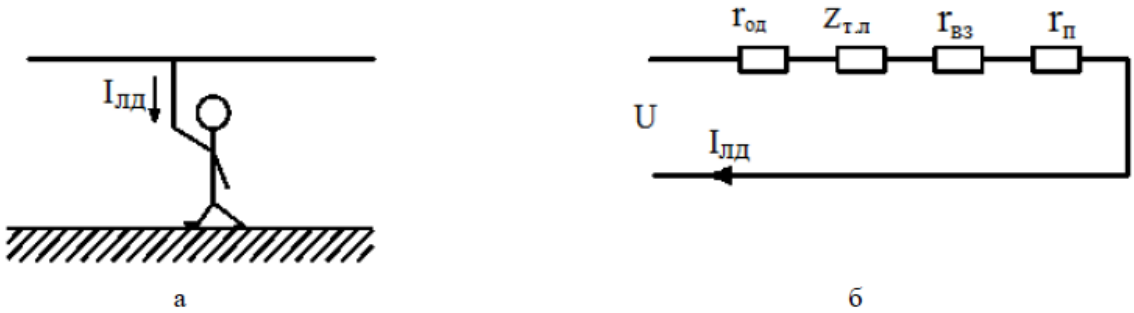


Рисунок 4.1. *Схема дотику людини до струмопровідної частини*: а – *загальна схема*; б – *еквівалентна схема*: $r_{од}$ - *опір одягу*, $z_{тл}$ - *опір тіла людини*, $r_{вз}$ - *опір взуття*, $r_{оп.п}$ - *опір опорної поверхні ніг*

Опір одягу «включається» у коло людини, якщо людина дотикається до обладнання під напругою частиною тіла, покритою одягом (наприклад, плечем, рукою у рукавичці чи ін.). Опір одягу залежить від товщини матеріалу та вологості; так, опір сухого одягу має приблизно 3-5 кОм, вологого – до 1 кОм, а мокрого – не враховується. Опір взуття «включається» у коло людини, якщо струм проходить через людину і у землю. Слід враховувати, що опори кожної ділянки підошви взуття «включаються» паралельно, якщо струм протікає так, як показано на рис. 4.1 а, і послідовно, якщо людина попадає під напругу кроку. Опір підошви взуття залежить від матеріалу, товщини і вологості підошви. Дуже високий опір має підошва з гуми та натуральної шкіри. Суха підошва має опір до 20 кОм, волога – декілька кОм, опір мокрої підошви не враховується.

Опір опорної поверхні ніг – це опір підлоги чи грунту, на яких стоїть людина. Опір опорної поверхні ноги на дерев`яній підлозі сягає 3-5 кОм, а підлоги з інших матеріалів, крім неспеціальних, мають менший опір. Опір опорної поверхні ніг на грунті теж залежить від виду, вологості і розміщення ніг на грунті та визначається залежностями:

− однієї ноги на грунті – $r_{гр.1}=3,1\rho$;

− двох ніг, «включених паралельно» і розміщених поряд – $r_{гр.2} = 2,2\rho$;

− те ж саме, розміщених на відстані кроку – $r_{гр.2} =1,6\rho$;

− двох ніг, «включених послідовно» − $r_{гр.2} = 6,2\rho$,

де ρ – питомий опір грунту, Ом·м.

Опір тіла людини. Тіло людини являє собою складний комплекс тканин, електричні параметри яких розрізняються у широкому діапазоні. Найбільшу провідність має кров, м`язи, мозок, а найменшу – шкіра, кістки, жирова тканина. Прийнята еквівалентна схема електричного опору тіла людини складається з двох послідовно сполучених складових: опору шкіри і опору внутрішніх органів. Опір шкіри представляється у вигляді двох складових: активного і ємнісного опорів ($R_{шк}$ *і* $C_{шк}$) сполучених паралельно, а опір внутрішніх органів – тільки у вигляді активного опору ($R_{вн}$), тобто характер електричного опору тіла людини є активно-ємнісним. Опір шкіри залежить від її стану, щільності та площі контактів, прикладеної напруги, сили струму та тривалості протікання цього струму. Найбільший опір має суха чиста непошкоджена шкіра. Збільшення площі та щільності контактів зі струмопровідними частинами зменшує опір шкіри. Зі збільшенням прикладеної напруги опір шкіри зменшується у результаті пробою верхнього шару. Збільшення величини струму або тривалості його протікання зумовлює збільшення нагріву верхнього шару шкіри і потовиділення у місці контакту, що також зменшує електричний опір шкіри. Ємність шкіри залежить від площі контакту і складає близько 0,02 мкФ/дм^2.

Опір внутрішніх органів також має активно-ємнісний характер, але ємнісна складова незначна і нею можна знехтувати. Опір активної складової залежить в основному, від прикладеної напруги і складає 600-300 Ом. Зі збільшенням напруги загальний опір тіла зменшується. Опір тіла людини залежить від статі і віку людей: у жінок цей опір менший, ніж у чоловіків; у дітей менший, ніж у дорослих; у молодих людей менше, ніж у людей у віці.

Оскільки опір тіла людини електричному струму є *нелінійним і нестабільним*, а проводити розрахунки з такими опорами достатньо складно, прийнято вважати для наближених розрахунків, що опір тіла людини електричному струму – величина стабільна, лінійна і складає 1000 Ом (рис. 4.2). Це відповідає більшості випадків включення людини у електричне коло (близько 150 В).

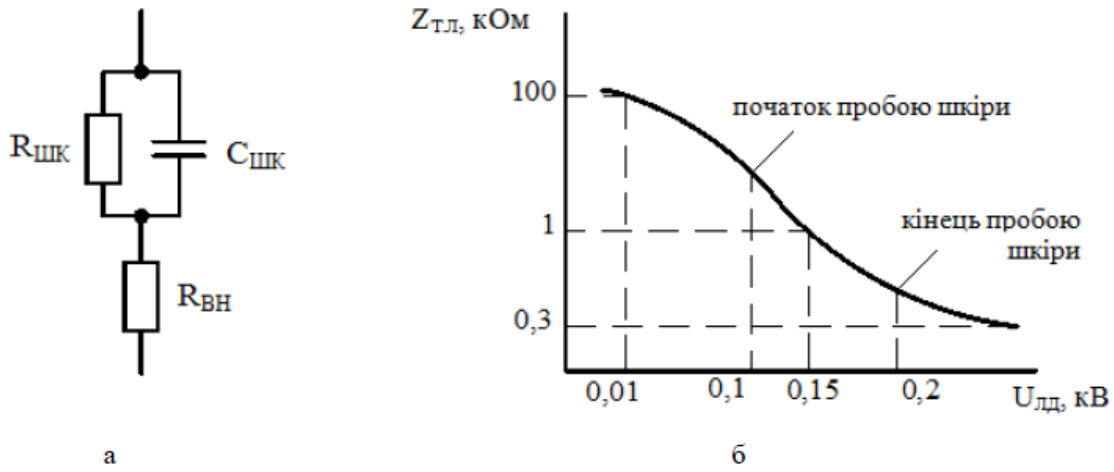


Рисунок 4.2. *Електричний опір тіла людини*:
а - *еквівалентна електрична схема* (Rшк і Сшк – *активний опір і ємність шкіри відповідно*; Rвн – *опір внутрішніх органів*); б – *залежність величини опору тіла людини від напруги, прикладеної до людини*

Вважається, що постійний струм, який проходить через тіло людини, порівняно зі змінним, викликає менш неприємні відчуття (справедливо для напруг до 300 В). Із збільшенням напруги небезпека постійного струму зростає і в інтервалі напруг 400-600 В практично дорівнює небезпеці змінного струму з частотою 50 Гц, а за напруг понад 600 В навіть перевищує її (рис. 4.3, а).

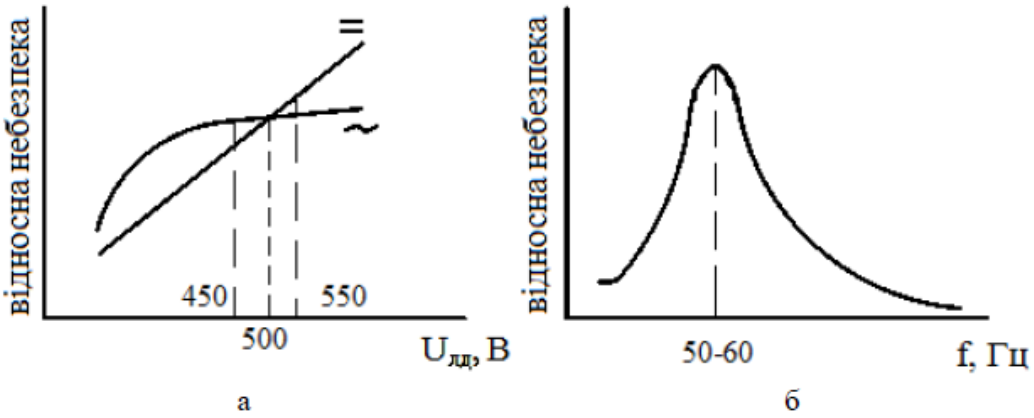


Рисунок 4.3. *Залежність небезпеки ураження людини електрострумом від*:
а – *виду струму*; б – *частоти змінного струму*

Частота змінного струму. Найбільш небезпечними для людини є струми з частотою 20-200 Гц (рис. 4.3, б). Із зменшенням чи підвищенням частоти небезпека зменшується і зовсім зникає за частоти 450 кГц та вище. Найбільш небезпечним вважається струм з частотою 50-60 Гц (промислові частоти) через те, що деякі внутрішні органи мають власні частоти коливання у цьому діапазоні, і протікання таких струмів може викликати резонансні явища.

4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках

З метою забезпечення нормальних умов праці і життєдіяльності технічного персоналу та студентів при використанні технічних в системи міського зовнішнього освітлення були застосовні такі технічні захисні заходи: мала напруга, контроль пошкодження ізоляції, забезпечення недоступності струмопровідних частин, захисне заземлення і занулення, подвійна ізоляція і захисне відключення [28].

Мала напруга - це напруга не більше 42 В між фазами і відносно землі, що застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. У виробничих умовах ПУЕ передбачають застосування двох малих напруг 12 і 36 або 42 В [29]. Напруга до 42 В включно повинна застосовуватися в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних для живлення таких електроприймачів: ручних електрифікованих інструментів без подвійної ізоляції, переносних ламп, світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами розжарювання, світильників загального освітлення звичайної конструкції з лампами розжарювання, розміщених над підлогою на висоті менше 2,5 м. Напруга до 12 В повинна застосовуватися для живлення ручних переносних ламп в особливо небезпечних приміщеннях при особливо несприятливих умовах роботи: в обмежених умовах або при зіткненні працюючого з великими металевими заземленими конструкціями.

Електрична ізоляція - це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, якими покривають поверхні струмопровідних елементів або якими струмопровідні елементи відокремлюють від інших частин. В електроустановках застосовують такі види ізоляції [28]:

робоча ізоляція - електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;

додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;

подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції;

посилена ізоляція - поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує таку ж ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Блокування безпеки - це пристрої, що запобігають потраплянню технічного персоналу і студентів під напругу внаслідок помилкових дій. В кваліфікаційній роботі було використано електричне і електромагнітне блокування.

Електричне блокування застосовується в технологічних електроустановках напругою до 1000 В і випробувальних стендах при будь-яких напругах. Блокування відключає напругу від електроустановки при відкриванні дверей огороджень і дверцят кожухів або при знятті кришок. Для відключення напруги служать блокувальні контакти, які можуть включатися безпосередньо в силове коло або в коло управління пускового апарату, якщо управління електроустановкою дистанційне.

Електромагнітне блокування (ЕМБ) вимикачів, роз'єднувачів і заземлювальних ножів широко застосовується при різних схемах з'єднання обладнання і забезпечує певну послідовність включення і відключення цих апаратів. ЕМБ дозволяє виключити виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням, включення заземлювальних ножів на ділянку лінії під напругою, подачу напруги на заземлений ділянку лінії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі вирішена актуальна наукова задача – проведено детальне дослідження впливу відхилення напруги, несинусоїдності та несиметрії на роботу електричного обладнання «Птахофабрика Тернопільська». Зокрема, виконано вимірювання базових параметрів якості електричної енергії на базі сучасних багатофункціональних приладів протягом кількох діб, що дозволило провести експеримент з визначення рівнів вищих гармонік, генерованих обладнанням.

В Аналітичному розділі розглянуто технологічний процес та структурні частини виробництва, проаналізовано структуру споживання електроенергії обладнанням птахофабрики, приблизний добовий графік роботи електрообладнання та параметри споживання електроенергії.

В Проєктно-конструкторському розділі проведено визначення стану якості електричної енергії на підприємстві та виявлено невідповідність якості електроенергії діючим нормативним вимогам, вказано імовірні причини погіршення якості. Також розглянуто основні методи розрахунку встановлених режимів вищих гармонік та приведено схеми заміщення елементів пташника з розрахунком параметрів елементів на різних гармоніках.

У Розрахунково-дослідницькому розділі розроблено розрахункову модель пташників птахофабрики для електричного розрахунку на основній частоті та на вищих гармоніках протягом доби, 40 днів та всього року. На основі результатів математичного моделювання на комп’ютері було отримано залежність втрат електричної енергії від сумарного добового споживання і формули для практичного розрахунку втрат цієї енергії в залежності від відхилення напруги системи.

Результати дослідження свідчать, що вплив несиметрії та несинусоїдності на роботу електричного обладнання птахофабрики є несуттєвим, а рівень додаткових втрат від цих параметрів якості є значно меншим за втрати на основній частоті.

Втрати електроенергії викликані протіканням струмів основної частоти і їх можна зменшити оптимальним регулюванням напруги. Зокрема, можна знизити

напругу трансформатора на 5% або замінити діючий трансформатор на аналогічний за потужністю з пристроєм РПН.

Малі втрати від несиметрії і несинусоїдності є наслідком невеликої потужності електрообладнання і генерованих ним вищих гармонік. Птахофабрика має великий запас пропускної спроможності діючих ТП птахофабрики, так як до модернізації пташники споживали більшу електричну потужність, оскільки за старим проектом використовувалося електричне опалення, а тепер - сучасне газове.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон № 1818-IX «Про енергетичну ефективність». Прийнятий Верховною Радою 21 жовтня 2021 року, надруковано в газеті «Голос України» 12.11.21 р.

2. Бараннік В. О. Стан та проблеми запровадження нової моделі функціонування електроенергетичного ринку України. Національний Інститут стратегічних досліджень. Дніпропетровськ, 2015. № 22. URL: https:// niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/stan-ta-problemi-zaprovadzhennya-novoi-modeli-funkcionuvannya

3. Бурбело М.Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Бурбело М.Й. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 159 с.

4. Романюк Р.В. Зарубіжний досвід процесів реформування регіональних ринків електроенергетики. Проблеми економіки. 2020, №4 (46). С. 113-118. URL: https://www.problecon.com/export_pdf/problems-ofeconomy-2020-4_0-pages-113_118.pdf

5. Півняк Г.Г., Жежеленко І.В., Папаїка Ю.А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.

6. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 [Чинний з 1.10.2014]. К. : Держстандарт України, 2014. 27 с.

7. Бесулін В.І., Гужва В.І., Куцак С.М. Птахівництво і технологія виробництва яєць та м’яса птиці. Біла Церква. 2003. 448 с.

8. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/ Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. 250 с.

9. Патрєва Л.С. Технологія виробництва продукції птахівництва : курс лекцій / Л.С. Патрєва, О.А. Коваль. — Миколаїв : МНАУ, 2018. — 248 с.

10. Назаренко С.О. Особливості регулювання світлового режиму для курчат-бройлерів сучасних кросів. Таврійський науковий вісник. Херсон : Айлант, 2013. № 83. С. 181–185.

11. Вимірник показників якості електричної енергії Ресурс-UF2. URL: https://www.mashprom.com.ua/ресурс-uf2-вимірник-показників-якості/

12. Методика та організація наукових досліджень : Навч. посіб. / С.Е. Важинський, Т І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 260 с.

13. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго.

14. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко / КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.

15. Оробчук Б., Терновий В. Підвищення надійності роботи силового обладнання підстанцій. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2017 р.

16. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами: підручник / Ю.О. Карпов, С.Ш. Кацив, В.В. Кухарчук, Ю.Г. Ведміцький; під ред. проф. Ю.О. Карпова – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 377 с.

17. Оробчук Б., Іванків А. Адаптивна система керування режимами електропостачання. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.

18. Розрахунок характеристик трансформаторів і електричних машин. Контрольні запитання, розрахункові завдання і методичні вказівки з дисципліни «Електричні машини» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. В.В. Шевченко, О.Ю. Юр’єва, А.В. Єгоров ; за ред. В.І. Мілих – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 32 с.

19. Форкун Я. Б. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина ІІ (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка та студентів за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Я.Б. Форкун, М.Л. Глєбова, Н.О. Сабалаєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. – 105 с.

20. Оробчук Б., Микуляк В., Волос Р. Зниження втрат електроенергії в розподільних мережах при застосуванні накопичувачів енергії. / VII Міжнародна науково-технічна конференція „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи”: Тернопіль, 2024 р. – С. 61-62

21. Бартошевський Р., Оробчук Б. Інтелектуальна система управління та контролю параметрів електричної мережі / Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “: Тернопіль, 2022 р. – С. 82-83

22. Закон України «Про охорону праці». https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/

23. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с.

24. Сєріков Я.О.. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. - Харків, ХНАМГ, 2007. - 227 с.

25. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., –156 с. Отримано з https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196

26. Кухаровський П. П. Електробезпека на виробництві та в побуті. Хмельницький: [б.в.], 2007. 240 с.

27. Бондаренко О.В., Іоргачов Д.В.. Дослідження опорів заземлювальних пристроїв у неоднорідній землі // Методичне керівництво до лабораторної та навчально-дослідницької роботи студентів. – Одеса, 2003.

28. Правила експлуатації електрозахисних засобів. Вид. офіц. Київ: Міністерство енергетики, 2002. 46 с.

29. ПУЕ - Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)/ Наказ від 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок.

30. Оробчук Б.Я., Буняк О.А., Бабюк С.М., Сисак І.М., Вакуленко О.О. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення дипломної роботи за ступенем «магістр». Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 р.