

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Оцінка відхилень напруги в мережах 0,4 кВ.**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи ЕТм-62
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

		<u>Задорожний С. О.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>(підпис)</u>	<u>Бабюк С. М.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>(підпис)</u>	<u>Мовчан Л. Т.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>(підпис)</u>	<u>Тарасенко М. Г.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>(підпис)</u>	<u>(прізвище та ініціали)</u>

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
Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 10 » листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Задорожному Сергію Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оцінка відхилень напруги в мережах 0,4 кВ.

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » листопада 2023 року № 4/7-1042

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи необхідні параметри результатів дослідження та вихідні дані об'єкта: трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ, дані щодо відхилення напруги, отримані за допомогою приладу «Metrel MI 2892»

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

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Сумарна втрата напруги під час передачі електроенергії. Схема передачі електроенергії та втрати напруги. Зовнішній вигляд приладу для аналізу ПЯЕ. Місце встановлення приладу "Metrel MI 2892". Графіки відхилення напруги у фазах виражений у %. Графік напруги протягом доби у фазах А, В, С. Спектр гармонік напруги всіх фаз за контрольну добу, виражений у %. Спектр гармонік фаз виражений у %. Коефіцієнт гармонік фаз за контрольну добу, виражений у %. Графік за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазах Графік коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги у фазах. Графіки за коефіцієнтом несиметрії напруг за зворотною та нульовою послідовністю, вираженому у %.
Розподіл причин пошкодження електрообладнання, що призводять до його відмови. Діаграма розподілу технологічних порушень, що призводять до відмов у роботі з основними елементами електричних мереж

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 13 листопада 2023 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.11.2023	
2	Аналітичний розділ	25.11.2023	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	20.11.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.12.2023	
6	Висновки	15.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2023	
8	Оформлення графічної частини	20.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Задорожний С. О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабюк С. М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Задорожний Сергій Олегович – Оцінка відхилень напруги в мережах 0,4 кВ.

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Стор.– 74; рис. - 32; табл. - 8; слайдів - 17; джерел - 24; додатків - 2.

У цій кваліфікаційній роботі проведено аналіз відхилення напруги в мережі 0,4 кВ, та розробка рекомендацій щодо нормалізації параметрів відхилення напруги.

Розглянуто питання, пов'язані з показниками якості електричної енергії, визначено вплив низької якості напруги на експлуатаційну надійність та енергоефективність, а також обґрунтовано необхідність регулювання напруги. Місцем оцінки було обрано ТП –10/0,4 кВ. Робота зі зняття ПКЕ проводилася на двох фідерах ТП – 5172. Дана робота присвячена оцінці якості напруги тільки на фідері ТП –10/0,4 кВ. Виконано реєстрацію показників якості електричної енергії на шинах ТП –10/0,4 кВ за допомогою приладу «Metrel MI 2892». На підставі отриманих даних проведено обробку та аналіз результатів, виявлено джерела, що викликають відхилення напруги, надано рекомендації щодо нормалізації параметрів відхилення напруги.

Ключові слова: ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Якість електричної енергії	9
1.1.1 Показники якості електричної енергії та їх нормування	9
1.1.2 Причини низької якості електричної енергії та вплив параметрів електроенергії на роботу електрообладнання	12
1.1.3 Відхилення напруги як ключовий параметр якості електроенергії	13
1.2 Засоби та способи регулювання напруги	14
1.2.1 Поняття регулювання напруги, завдання та обґрунтування необхідності	14
1.2.2 Можливі способи зміни та регулювання режиму напруги та їх використання при експлуатації	17
1.3 Висновки до розділу 1 та постановка завдання.	20
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Опис ТП - 10/0,4 кВ	22
2.2 Прилад для вимірювання ПЯЕ «Metrel MI 2892»	25
2.3 Зняття показань ПЯЕ ТП-10/0,4 кВ, за допомогою приладу «Metrel MI 2892»	28
2.4 Результати даних ПЯЕ на ТП-10/0,4 кВ.	29
2.5 Висновки до розділу 2	49
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	50
3.1 Аналіз отриманих результатів з оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ, Ф2 та рекомендації щодо її нормалізації	50
3.2 Аналіз та оцінка ризику відмови електрообладнання на трансформаторній підстанції	53
3.3 Методика розрахунку ризику відмов електрообладнання на ТП	56
3.4 Розрахунок ризику відмови роботи обладнання на ТП-10/0,4 кВ	59
3.5 Висновки до розділу 3	63

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	64
4.1 Безпека праці електрика по обслуговуванню трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів	64
4.2 Принципи і заходи підвищення стійкості функціонування об'єктів економіки	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72

ВСТУП

Актуальність проблеми.

На сьогоднішній день проблема якості електричної енергії є однією з найважливіших та актуальних проблем сучасної енергетики. Більшість розвинених країн давно зіткнулися з проблемою низької якості електроенергії. Так, за наявними оцінками [1], проблеми низької якості електроенергії обходяться промисловості та загалом діловому співтовариству Європейського Союзу досить дорого - близько 10 млрд. євро на рік. При цьому витрати на запобіжні заходи становлять менше ніж 5 % від цієї суми.

Також підраховані на Заході і збитки від зниження якості електроенергії по галузях промисловості, які становлять від 30000 євро/хв у телекомунікаційній сфері до кількох мільйонів євро за подію в областях з безперервним енергоємним технологічним процесом, таких як целюлозно-паперова промисловість або виробництво алюмінію [2].

Сучасні електричні мережі характеризуються щодня зростаючими навантаженнями, збільшенням генерації та споживання електричної енергії, дедалі більшою довжиною електричних мереж - усе це нерозривно пов'язані з багатоступеневістю, тобто, великою кількістю трансформацій на шляху від джерел електричної енергії до її споживачам. За таких умов наочним стає той факт, що незмінно зростає сумарна втрата напруги на шляху передачі електроенергії від джерел до приймачів.

Важливо, що будь-яке відхилення напруги від встановленого номінального значення електричної мережі є негативним. У разі зниження напруги нижче встановленого номінального рівня відбувається збільшення втрат потужності та енергії в електричній мережі. У разі встановлення рівня напруги вище номінально встановленого, відбувається скорочення терміну служби обладнання, нагрівання обмоток через перебіг по них підвищеного струму i , внаслідок цього, виникає ймовірність пробою ізоляції, а так само підвищується ймовірність аварій в електричній мережі. Отже, необхідна

підтримка у всіх вузлах електричної мережі рівня напруги в суворо встановлених межах, що визначаються ДСТУ EN 50160:2014 [3], для досягнення ефективної роботи електричних мереж.

Для зменшення впливу відхилень напруги в мережах 0,4 кВ важливо використовувати стабілізатори напруги та регулятори напруги, які допомагають зберегти напругу на допустимому рівні. Також важливо вживати заходи до моніторингу та управління напругою, щоб вчасно виявляти відхилення та реагувати на них.

Вплив відхилень напруги в електричних мережах може бути різним в залежності від конкретних обставин і обладнання, але загалом важливо дбати про стабільність напруги для забезпечення надійного та продуктивного електропостачання.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є аналіз відхилення напруги в мережі 0,4 кВ, та розробка рекомендацій щодо нормалізації параметрів відхилення напруги.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- здійснити аналіз показників якості електричної енергії;
- аналіз способів регулювання напруги в мережах 0,4 кВ;
- вивчити принцип роботи прилади для вимірювання показників якості електричної енергії;
- провести аналіз та збір даних відхилення напруги в мережі 0,4 кВ на прикладі ТП-10/0,4 кВ;
- зробити висновки щодо отриманих результатів оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ та дати рекомендації щодо його нормалізації;
- аналіз та оцінка ризику виникнення аварій на ТП-10/0,4 кВ.

Об'єкт дослідження – електричні мережі напругою 0,4 кВ.

Предмет дослідження – розробка заходів щодо нормалізації параметрів відхилення напруги в мережі 0,4 кВ.

Наукова новизна отриманих результатів.

– Дістало подальший розвиток дослідження та впровадження заходів, для зниження рівня відхилення напруги в мережі 0,4 кВ.

Практичне значення отриманих результатів.

Проведений аналіз та запропонований ряд заходів дозволить підтримувати у всіх вузлах електричної мережі рівня напруги в суворо встановлених межах, що визначаються ДСТУ EN 50160:2014, для досягнення ефективної роботи електричних мереж.

Апробація.

Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 6-7 грудня 2023 р., на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (24 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 74 сторінки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Якість електричної енергії

1.1.1 Показники якості електричної енергії та їх нормування

Питанням якості електричної енергії останнім часом приділяється дуже велика увага. І на сьогоднішній день ця проблема є однією з найбільш актуальних проблем сучасного електропостачання. З виходом у світ Закону України «Про енергетичну ефективність» [5], проблема якості електричної енергії стала розглядатися як один із ключових аспектів у питанні енергозбереження та енергоефективності.

Насправді, ця проблема існує досить давно, але ж практичне рішення в державній енергетиці почалося лише нещодавно. Вирішення цієї проблеми здійснюється на підставі ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT), та за допомогою сертифікованих приладів вимірювання якості електричної енергії [6], що дозволяють безперервно здійснювати контроль за якістю електричної енергії, визначаючи параметри її показників.

Поняття якості електроенергії та її забезпечення нерозривно пов'язані з поняттями надійності та якості електропостачання. Таким чином, вирішення проблеми низької якості електричної енергії є важливим і одним із пріоритетних державних завдань у галузі електроенергетики.

Безперечно, у державному масштабі якість електроенергії можна розглядати як ключовий показник, що безпосередньо впливає на надійність роботи державної енергосистеми в цілому, на роботу електричних мереж різного рівня напруги, на роботу технологічного обладнання та енергосистему окремо взятого підприємства.

У свою чергу зниження якості електричної енергії може призводити до дуже негативних наслідків. Насамперед, внаслідок низької якості електроенергії зростають втрати електроенергії в електричній мережі, що призводить до значних збитків, при цьому значно змінюються режими роботи електричних

приймачів, що спричиняє зменшення продуктивності робочих механізмів, а отже, відбувається погіршення якості продукції, так само скорочується термін служби електрообладнання та підвищується ймовірність аварій.

Сутність проблеми зниження якості електричної енергії безпосередньо у міських розподільчих мережах 10/0,4 кВ полягає в тому, що зі зростанням обсягів споживання електроенергії, що доставляється безпосередньо споживачам, відбувається постійне розширення територіальної розподіленості мереж, зростання нерівномірності графіків навантаження, а також широке використання нелінійних навантажень. Все це призводить до значних додаткових втрат електричної енергії та напруги, викликані також відносно великими величинами реактивних струмів, характерних для сучасних електроприймачів. Передбачити та врахувати ці аспекти на стадії проектування мережі досить складно. Тому для підвищення якості електроенергії в мережах, зниження відхилень напруги та втрат значної кількості електроенергії, необхідне широке впровадження ефективних методів контролю та аналізу якості електроенергії, заходів щодо її забезпечення.

У зв'язку з нерозривністю виробництва та споживання електроенергії питання якості електричної енергії ще більше ускладнюється. У зв'язку з тим, що якість визначається не тільки виробником – генеруючим, трансформуючим, передавальним та розподільчим обладнанням, а й споживачем, тобто характеристиками електроприймачів [4]. Таким чином, очевидно, що наявність якості електроенергії, що відповідає нормам ДСТУ EN 50160:2014, на місці виробництва зовсім означає, що в точці приєднання споживача воно буде такої ж якості. Зважаючи на це, контроль за якістю електричної енергії та його підтримання в мережах усіх рівнів напруги є в даний час вагомим і актуальним завданням.

Під якістю електричної енергії мається на увазі сукупність її характеристик, у яких приймачі електричної енергії можуть нормально працювати і виконувати передбачені у них функції. Іншими словами, якість електричної енергії – це ступінь відповідності параметрів електричної енергії їх

встановленим значенням.

Параметром електричної енергії називається така величина, яка кількісно характеризує будь-яку властивість електричної енергії. Такими параметрами електричної енергії, наприклад, напруга, частота, форма кривої електричного струму.

На стан якості електричної енергії можуть впливати різні такі фактори, як:

- зміни навантаження енергосистеми;
- аварійні режими у мережі;
- час доби;
- кліматичні умови.

Для оцінки якості електричної енергії використовують показники якості електричної енергії (ПЯЕ), які порівнюються з встановленими ДСТУ EN 50160:2014.

Показники якості електроенергії, що нормуються ДСТУ EN 50160:2014, можна умовно розділити на дві групи: основні ПЯЕ та додаткові ПЯЕ.

Основні ПЯЕ визначають властивості електричної енергії та безпосередньо пов'язані з особливостями технологічних процесів виробництва та передачі електроенергії [4].

До ПЯЕ належать [3]:

- стандартна номінальна напруга;
- зміна напруги;
- частота напруги електропостачання;
- показник довготривалого флікера (мерехтіння), який спричинений коливанням напруги;
- 95 % середньоквадратичних значень складника зворотньої послідовності напруги, усереднених на десятихвилинному проміжку;
- 95 % середньоквадратичних значень напруги кожної гармоніки, усереднених на десятихвилинному проміжку.

Ці показники характеризують випадкові електромагнітні явища та електротехнічні процеси, що виникають у системі електропостачання в

основному внаслідок комутацій електрообладнання або розрядів блискавки на лінію електропередачі.

Ці показники не нормуються, але статистична інформація про них потрібна для нормальної експлуатації електроенергетичної системи.

Варто зазначити, що нормування ПЯЕ за напругою обумовлено, в основному, техніко-економічними розрахунками, що полягає в наступному:

1. ПЯЕ по напрузі характеризують, перш за все, потужність спотворення кривої напруги та ступінь негативного впливу цього спотворення на обладнання та технологічні процеси;
2. Гранично допустимі значення ПЯЕ засновані на техніко-економічній передумові: незменшення терміну служби, найбільш ефективного використання електроприймачів, при якому досягаються кращі результати;
3. Допустимі значення напруги вказані на затискачах електричних приймачів та у вузлах електричних мереж.

1.1.2 Причини низької якості електричної енергії та вплив параметрів електроенергії на роботу електрообладнання

На сьогоднішній день для більшості розвинених країн проблема низької якості електроенергії в міських розподільчих мережах напругою 10/0,4 кВ є однією з найбільш актуальних. Очевидно, що подібна проблема є суттєвою і для електричних мереж України.

Існує ряд причин, що спричиняють порушення якості електричної енергії. Основна причина погіршення якості електроенергії – це широке поширення нелінійних навантажень, які створюють несинусоїдальні струми.

Ці струми можна представити як суми гармонік, частоти яких кратні основній частоті живильної мережі. Вищі гармоніки надають несприятливий вплив на роботу силового електрообладнання, пристроїв релейного захисту та автоматики, викликають прискорене старіння ізоляції [7].

До установок, що спричиняють погіршення якості електричної енергії, відносяться:

- зварювальні установки;
- вентильні перетворювачі;
- індукційні та дугові електричні печі;
- перетворювачі частоти;
- тягові підстанції залізниць, тролейбусів та трамваїв;
- електродугові сталеплавильні та рудотермічні печі;
- газорозрядні лампи;
- електронні технічні засоби з нелінійною вольтамперною характеристикою: телевізори, офісне обладнання (комп'ютери, сервери, принтери, блоки безперебійного живлення), протипожежні засоби, системи кондиціонування та вентиляції.

1.1.3 Відхилення напруги як ключовий параметр якості електроенергії

Як очевидно з вищевикладеного матеріалу, якість електричної енергії характеризується, передусім, таким параметром, як напруга.

Одним із особливо контрольованих параметрів розподільної мережі напругою 10/0,4 кВ є відхилення напруги, у зв'язку з тим, що відхилення напруги від номінального значення є найважливішим показником режиму системи електропостачання, що істотно впливає як на ефективність роботи електроприймачів, так і на техніко – економічні показники електричної мережі.

Даний параметр на затискачах будь-яких електроприймачів повинен дорівнювати $\pm 5\%$ з інтегральною ймовірністю 0,95 і не перевищувати відхилень напруги більш ніж $\pm 10\%$.

На сьогоднішній день відхилення напруги у розподільчих мережах 10/0,4 кВ далеко не завжди знаходяться у цих межах. Навпаки, в розподільчих мережах існує досить велике відхилення даного параметра від значень, що нормуються, зважаючи на основні фактори, що впливають на режим напруг. Такими чинниками є і характер електричних навантажень, і навіть умови регулювання напруги, які, своєю чергою, визначаються складом і характером споживачів електричної енергії.

Тому при проектуванні або модернізації електричних мереж слід застосовувати пристрої та заходи, які забезпечують необхідну Стандартом якість електричної енергії в точках приєднання електроприймачів. Насамперед, це регулювання напруги та впровадження пристроїв компенсації реактивної потужності.

1.2 Засоби та способи регулювання напруги

1.2.1 Поняття регулювання напруги, завдання та обґрунтування необхідності

Регулювання напруги є процес, спрямований на навмисне зміна режиму напруги за допомогою спеціальних технічних засобів, що сприяє забезпеченню технічно допустимих умов роботи системи електропостачання або підвищення її ефективності [8].

Завдання регулювання напруги можна сформулювати наступним чином: забезпечення нормальних технічних умов та економічності спільної роботи електромереж та виробничих механізмів [8].

У мережі процес зміни напруги нерозривно пов'язаний із зміною навантаження, режиму роботи джерела живлення та опорів ланцюга. Тому дуже важливо забезпечити економічність та безаварійність роботи будь-якого споживача. Досягнення забезпечення таких умов роботи можливе лише у разі встановлення мінімальних відхилень фактичної величини напруги, що підводиться до споживача, від встановлених норм. Тобто. відхилення в жодному разі не повинні перевищувати норм, встановлених для будь-якого конкретного електроприймача.

Відповідно до ДСТУ EN 50160:2014 на якість електроенергії більшості електроприймачів відхилення напруги від номінального значення має перевищувати $\pm 10\%$.

За технічними умовами можуть бути допущені і великі відхилення напруги, при цьому продовжуватиметься робота електроприймачів, але збільшення відхилення напруги призводить до підвищеного нагрівання ізоляції,

аж до її пошкодження; зниженню терміну служби електрообладнання, появи браку продукції, зниженню якості продукції, зменшенню продуктивності механізмів. Тобто, по суті, припустимі відхилення напруги фактично визначаються умовами економічності.

Не завжди відхилення напруги перебувають у інтервалах допустимих значень. Причинами цього є:

- а) втрати напруги, що викликаються струмами навантаження, що протікають елементами мережі;
- б) неправильний вибір перерізів струмопровідних елементів та потужності силових трансформаторів;
- в) неправильно збудовані схеми мереж.

Сучасні електричні мережі характеризуються щодня зростаючими навантаженнями, збільшенням вироблення та споживання електричної енергії, дедалі більшою протяжністю електричних мереж - все це нерозривно пов'язане з багатоступінчастістю трансформації. За таких умов наочним стає той факт, що незмінно зростає сумарна втрата напруги на шляху передачі електроенергії від джерел до приймачів.

На рис 1.1 представлено схему сумарної втрати напруги при передачі електричної енергії.

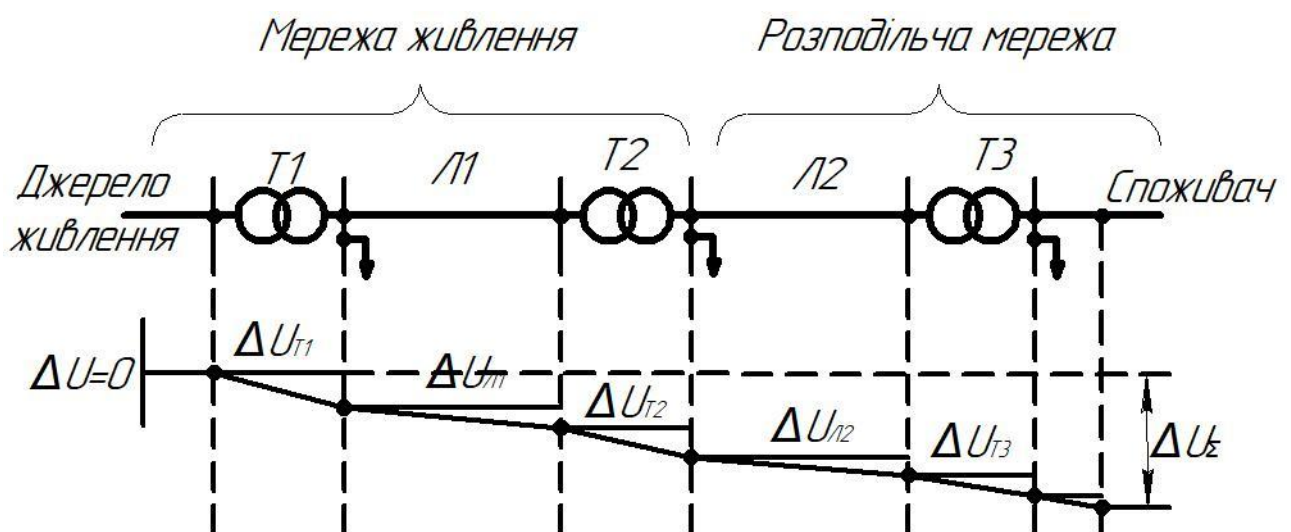


Рисунок 1.1 – Сумарна втрата напруги під час передачі електроенергії

Згідно з рис 1.1 наочно підтверджується той факт, що при передачі

електричної енергії неминуче відбуваються втрати напруги. Тому навіть за наявності напруги, що відповідає нормативним показникам на місці генерації електричної енергії, необхідною є його підтримка, тому що, як видно з рис 1.1, після генерації електричної енергії, відбуваються втрати напруги в трансформаторах, і лініях електропередач. Таким чином, з мережі живлення в розподільчу мережу вже надходить напруга зниженого рівня.

Так, наприклад, розглядаючи електричну систему, що складається із мереж з номінальною напругою 330, 110, 35, 10, 0,38 кВ, можна підрахувати сумарну втрату напруги. У кожній з перших чотирьох мереж втрата напруги становить 10%, у кожному сполучному ці мережі трансформатори - 5%, на останній ділянці мережі - 5%. Таким чином, виходить, що сумарна втрата напруги в мережі на шляху найбільшого протягу становить 60%.

Ілюстрації вищесказаного представлено на рис 1.2.

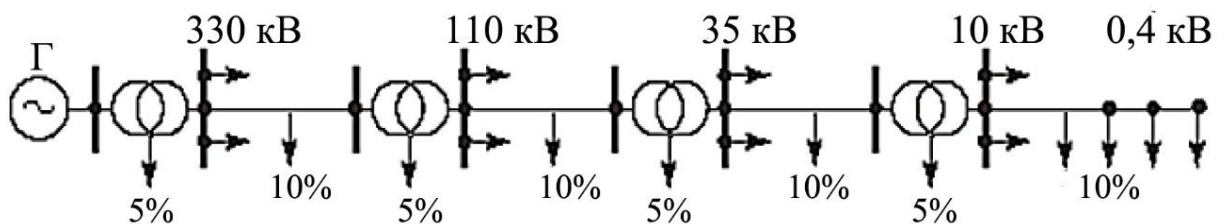


Рисунок 1.2 – Схема передачі електроенергії та втрати напруги

Зважаючи на те, що на кожному ступені трансформації значення напруги повинні знаходитися в певних межах, то без застосування спеціальних регулюючих пристроїв досягнення допустимого режиму напруги в сучасних умовах практично неможливе.

Таким чином, завдання регулювання напруги – це комплексне завдання, що включає:

- вибір засобів регулювання, вибір
- регулювальних діапазонів, вибір місця встановлення регулювальних пристроїв у мережі.

1.2.2 Можливі способи зміни та регулювання режиму напруги та їх використання при експлуатації

Для досягнення забезпечення вимог до режиму напруг застосовуються такі способи:

- 1) централізована зміна режиму напруги або регулювання напруги на шинах або виводах центру живлення;
- 2) зміна або регулювання значень втрат напруги окремих елементів мережі;
- 3) зміна та регулювання коефіцієнта трансформації лінійного регулятора або трансформатора, включеного на ділянці мережі від центру живлення до електроприймача.

Термін «зміна» передбачає проведення тривалий період одноразового заходу.

Таким може бути:

- зміна робочого положення регулювального відгалуження (ПБЗ) трансформатора;
- включення установки поздовжньо-ємнісної компенсації;
- заміна перерізу дротів.

При цих заходах режим напруги покращується, але закон зміни напруги залишається обумовленою зміною навантаження.

Під поняттям «регулювання» мається на увазі поточна зміна будь-якого параметра – напруги, коефіцієнта трансформації, втрати напруги – що застосовується з метою зміни режиму напруги.

Регулювання зазвичай здійснюється автоматично, і можливості регулювання дуже обмежені.

Типова розподільча мережа складається із двох частин:

1. Мережа середньої напруги (с.н.) – 20 – 6 кВ ;
2. Мережа низької напруги (н.н.) – 380 – 220 В .

У цих центрах живлення напруга регулюється відповідно до графіка споживання.

Застосовуються такі методи регулювання:

- централізоване регулювання напруги;
- групове централізоване регулювання напруги;
- локальне (місцеве) регулювання напруги.

Централізоване регулювання напруги відрізняється від локального безпосередньо місцем, де здійснюється регулювання напруги: при централізованому – у центрі харчування, при локальному - безпосередньо у споживача [9].

Централізоване регулювання напруги застосовується у разі споживачів, мають однотипні графіки навантажень. У цьому випадку регулювання напруги для всіх споживачів, що живляться від даного центру живлення, проводиться одночасно.

Групове централізоване регулювання напруги відрізняється від централізованого тим, що є приєднані споживачі з різнотипними графіками споживання різні часові інтервали. В цьому випадку всі споживачі сортуються та об'єднуються за критерієм схожості графіків, так формуються групи споживачів, які пізніше підключаються до різних секцій шин ЦП, які оснащені окремими регулюючими пристроями.

Локальне (місцеве) регулювання напруги також поділяється на групове та індивідуальне за тим же принципом, що централізоване. Регулювання напруги проводиться місцевими засобами регулювання – наприклад, керованими батареями конденсаторів, синхронними двигунами [9].

Зустрічне регулювання

Суть методу зустрічного регулювання полягає у зміні напруги залежно від зміни графіка навантаження електроприймача.

Відповідно до методу зустрічного регулювання напруга на шинах нижчої напруги районних підстанцій у період максимального навантаження має підтримуватися на 5% вище номінальної напруги мережі [10]. Цей стандарт взято з ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

У період мінімального навантаження ($P_{\min} < P_{\max}$) напруга на шинах 10 кВ

ПС знижується до номінальної напруги.

Трансформатори з регулюванням ПБЗ

Трансформатори з перемиканням відгалужень без збудження (ПБЗ) виготовляють із основним та чотирма додатковими відгалуженнями. Схема обмоток такого трансформатора показано на рис. 1.3.

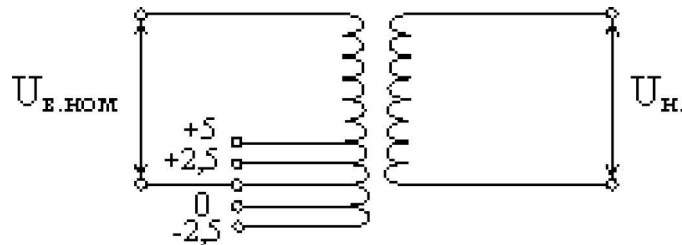


Рисунок 1.3 – Схема обмоток трансформатора з ПБВ

Основне відгалуження має напругу, що дорівнює номінальній напрузі первинної обмотки трансформатора $U_{B.ном}$. Для понижуючих трансформаторів $U_{B.ном}$ дорівнює номінальній напрузі мережі, до якої приєднується даний трансформатор.

При основному відгалуженні коефіцієнт трансформації трансформатора називають номінальним. Використовуючи чотири додаткові відгалуження, можна регулювати коефіцієнт трансформації, змінюючи його номінальне значення +5, +2,5, -2,5 та -5. Вторинна обмотка трансформатора є центром живлення мережі, підключеної до цієї обмотки, тому номінальна напруга цієї обмотки вище за номінальну напругу мережі на 5% для трансформаторів невеликої потужності.

Щоб переключити регульовальне відгалуження у трансформаторі з ПБЗ, потрібно відключити його від мережі. Такі перемикання здійснюються рідко, при сезонній зміні навантажень. Тому в режимі найбільших та найменших навантажень протягом доби трансформатор з ПБЗ працює на одному регульовальному відгалуженні та відповідно з одним і тим самим коефіцієнтом трансформації. У цьому не можна здійснити вимогу зустрічного регулювання, т.к. зустрічне регулювання можна здійснювати, тільки змінюючи іотв і коефіцієнт трансформації протягом доби.

Варто також зазначити, що вибір коефіцієнтів трансформації у нерегульованих під навантаженням трансформаторів з ПБЗ дозволяє покращити режим напруги в мережі, але зовсім не призводить до помітного зниження діапазону сумарної втрати напруги в мережі, а отже, і діапазону зміни відхилення напруг, оскільки змінювати робоче положення відгалуження можна частіше 2 разів на рік.

2.3 Висновки до розділу 1 та постановка завдання.

На сьогоднішній день досі однією з найбільш актуальних та важливих завдань електроенергетики є завдання регулювання напруги та підтримання нормованого рівня напруги у мережах різного класу напруг.

Існуюче відхилення напруги в будь-якій точці електричної мережі є ні що інше, як локальний показник якості електричної енергії, таким чином регулювання напруги може здійснюватися як при генерації та транспортуванні електричної енергії, так і при її розподілі.

Для розподільчих мереж 0,4 кВ ця проблема найбільш актуальна, оскільки в мережах саме даного класу напруг відбувається розподіл енергії безпосередньо між найбільшою кількістю споживачів.

Особливістю проблеми регулювання напруги у розподільчих мережах 0,4 кВ є найчастіше наявність нерівномірного розподілу навантажень по фазах, що призводить до значних перекосів напруг по фазах, відповідно. Вирішення даного аспекту можливе в раціональному та правильному перерозподілі навантаження по фазах А, В та С.

Регулювання напруги у мережах 0,4 кВ може здійснюватися лише двома загальновідомими методами: регулюванням напруги з допомогою пристроїв ПБЗ; зустрічним регулюванням напруги.

Варто відзначити, що від кожного з цих методів є ефект і технологічний, і економічний, що виявляється у покращенні техніко-економічних показників роботи розподільчих електричних мереж напругою 0,4 кВ, але є деякі аспекти

застосування цих методів.

Відомо, що пристроями ПБЗ забезпечені практично всі трансформатори невеликої потужності, що випускаються. При методі регулювання напруги з допомогою перемикання відгалужень ПБЗ існує досить обмежений діапазон регулювання, тобто. ступінчасте регулювання напруги в даному випадку можливе в діапазоні $\pm 5\%$.

Перемикання за допомогою пристроїв ПБЗ здійснюються лише двічі на рік, а оскільки навантаження часто змінюється протягом доби, то, відповідно, і змінюється напруга з такою ж частотою. У таких простих ситуаціях пристрої ПБЗ не можуть забезпечити вбудоване регулювання напруги. Також перемикання здійснюються за повного відключення навантаження спеціально-організованою бригадою робочих, що визначає економічні витрати на проведення перемикань.

Спосіб зустрічного регулювання дозволяє підтримувати напругу в центрі живлення на такому рівні, щоб незалежно від віддаленості споживача, у точці приєднання споживача до живлення, напруга відповідала певному ДСТУ рівню. Однак, практичне застосування досі залишає бажати кращого.

Виходячи з усього вище сказаного можна зробити однозначний висновок, що підтримання нормованої якості електричної енергії на сьогоднішній день є актуальною та значущою проблемою.

У цій роботі з оцінки одного з ключових показників якості електричної енергії – напруги на ТП-10/04 кВ необхідно:

- Здійснити аналіз та збір даних про ТП-10/0,4 кВ;
- Вивчити принцип роботи приладів для вимірювання показників якості електричної енергії;
- Здійснити виміри показників якості напруги;
- Здійснити аналіз та систематизацію результатів вимірювань;
- Зробити висновки щодо отриманих результатів оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ та дати рекомендації щодо його нормалізації.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опис ТП - 10/0,4 кВ

Місцем для проведення вимірів та зняття показників якості електроенергії, а також подальшого аналізу отриманих значень був фідер №2 понижувальної трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ.

На рис. 2.1 представлений зовнішній вигляд ТП-10/0,4 кВ.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд ТП-10/0,4 кВ.

Живлення цієї трансформаторної підстанції здійснюється від розподільчого пункту РП-36, що знаходиться під відомством Радеківського РЕМ.

Електропостачання РП-36 здійснюється по двох кабельних лініях напругою 10 кВ, виконаними кабелем марки АСБ – $3 \times 240 \text{ мм}^2$, довжиною $L_1 = 1536 \text{ м}$ та $L_2 = 1516 \text{ м}$ – фідер 6 та фідер 11, відповідно.

Через шинний міст РП – 10 кВ ТП-10/0,4 кВ здійснюється електропостачання сусідньої ТП-5171.

Електропостачання ТП-10/0,4 кВ здійснюється з комірки № 9 РП – 36 по кабельній лінії, загальна довжина якої становить 312 м, силовими кабелями, з'єднаних між собою сполучними муфтами.

Таким чином, КЛ – 10 кВ складається з кількох ділянок, довжини та марки кабелів яких представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 2.1 – Ділянки КЛ – 10 кВ, що живить секцію 1 ТП-10/0,4 кВ.

Ділянка	Довжина, м	Марка силового кабелю
1 ділянка	84	АСБ – 3×185 мм ²
2 ділянка (вставка)	105	СБ – 3×70 мм ²
3 ділянка	123	АСБ – 3×170 мм ²

На ТП-5172 – 10/0,4 встановлені силові трансформатори марки ТМ-400 кВА. РУ-10 кВ ТП складається з двох секцій (Секція I - Секція II) по три осередки в кожній секції з вимикачами навантаження типу ВНПз-10:

- секція №1 комірка №1 - ввід №1 від РП – 36 секція 1, комірка 1
- секція №1 комірка №3-силовий трансформатор 1 ТМ – 400 кВА
- секція №1 комірка №5 – секційний вимикач, марки ВНПз – 10.
- секція №2 комірка №2- секційний вимикач, марки ВНПз – 10.
- секція №2 комірка №4 - силовий трансформатор 2 ТМ – 400 кВА
- секція №2 комірка №6 - ввід №2 від РП – 36 секція 2, комірка 2

У РП – 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ ввідні комірки укомплектовані автоматичними вимикачами марки АВМ – 630 А, приладами обліку «НІС», трансформаторами струму ТШП – 300 / 5, секціонування виконано автоматичним вимикачем марки ВА – 630 з блоком АВР.

На фідері № 2 ТП-10/0,4 кВ було встановлено аналізатор показників якості електроенергії «Metrel MI 2892».

Підключення приладу здійснювалося з дозволу та під наглядом відповідального за електрогосподарство та персоналу, що обслуговує трансформаторну підстанцію.

Було встановлено, що до фідера №2 ТП-10/0,4 кВ підключено наступне навантаження:

1. Силові обладнання:
 - лабораторні стенди навчальних корпусів А, В та С;
 - кондиціонери навчальних корпусів А, В та С;
 - насоси;
 - обігрів кабелю в зливовій системі.
2. Обладнання столових приміщень навчальних корпусів А, В та С:
 - приточно-витяжна вентиляція;
 - шафи для смаження;
 - духові шафи;
 - холодильні камери.
3. Установки, що стосуються стадіону:
 - освітлювальні прожектори для футбольного поля потужністю 1 кВт;
 - підігрів холодної води у душових кабінах.
4. Обладнання технічних приміщень:
 - зварювальні установки;
 - токарні верстати;
 - компресорна станція.
5. Електроустаткування навчальних корпусів А, В та С:
 - комп'ютерна техніка;
 - телевізори;
 - інтерактивні дошки;
 - побутова та офісна техніка.

За показаннями приладу було встановлено, що за контрольну добу повна потужність у фазі А склала 1030,96 *кВА*, у фазі В – 11,3775 *кВА* і у фазі С - 1005,22 *кВА*.

2.2 Прилад для вимірювання ПЯЕ «Metrel MI 2892»

«Metrel MI 2892» – це переносний прилад для аналізу показників якості електроенергії, що безпосередньо призначений для реєстрації показників якості електричної енергії (ПЯЕ) у трифазних (трьох, чотирьох та п'ятипровідних) електричних мережах загального призначення.

Зовнішній вигляд приладу представлено на рис 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд приладу для аналізу ПЯЕ «Metrel MI 2892»

Прилад фіксує всі основні показники якості електроенергії одночасно по всіх 3-х фазах та нульовому дроту (у разі аналізу п'ятипровідної мережі), встановлені ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) відповідно до вимог цього стандарту, в тому числі:

- відхилення частоти;
- відхилення напруги;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги;
- коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю;
- коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю;
- тривалість провалу напруги;

- розмах зміни напруги (коливання напруги);
- доза флікеру;
- імпульсна напруга;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги.

Перші шість ПЯЕ перевіряються приладом на їхню відповідність вимогам ДСТУ за двома критеріями. Якість електричної енергії вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо:

- всі виміряні за кожний інтервал опосередкування протягом встановленого періоду часу (24 год.) значення аналізованого показника знаходяться в інтервалі, обмеженому гранично допустимими значеннями, а не менше 95% виміряних за цей же період часу значень показника, що аналізується, знаходяться в інтервалі, обмеженому нормально допустимими значеннями ;

- сумарна тривалість часу виходу виміряних значень аналізованого показника протягом встановленого періоду часу (24 год.) за нормально і гранично допустимі межі не перевищує встановлених ДСТУ значень.

Решта ПЯЕ перевіряється відповідно до індивідуальних вимог ДСТУ для кожного з цих показників.

Додатково вимірюються активні та реактивні потужності за всіма 40 гармоніками (включаючи першу, основну - 50 Гц) з урахуванням напрямку їхнього протікання. Реєструються графіки зміни цих потужностей у часі.

Для підключення напруги прилад комплектується чотирма стандартними з'єднувальними ізольованими проводами зі спеціальними затискачами (крокодилами) на кінцях. Струмові підключаються за допомогою чотирьох, роз'ємних трансформаторів струму («струмовимірювальні кліщі») із сполучними проводами для приєднання до приладу. Їх діапазон вимірювань становить 5–160 А. При необхідності вимірювання первинних струмів більше 160 А, прилад може, за бажанням замовника, комплектуватися додатковими вимірювальними роз'ємними трансформаторами струму з діапазонами вимірювання від 500–2000 А.

З метою спрощення правильного підключення приладу на об'єкті вимірювання передбачено спеціальний режим автоматизованого фазування.

Енергонезалежна пам'ять дозволяє зберігати всі результати вимірів та розрахунків від 2-х місяців до 2-х років.

Прилад містить вбудоване незалежне джерело живлення, що дозволяє йому залишатися (функціонувати) у робочому стані до кількох годин при зникненні напруги живлення.

Розрахований на нормальну роботу за температури навколишнього середовища від -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Поставляється у спеціальній сумці для його перенесення та зберігання.

Вимірювач має чотири канали вимірювання напруги для номінальних значень 220 або 100 і чотири канали для вимірювання струму при номінальних значеннях 5; 16; 50; 160 А.

Вимірник забезпечує вимірювання характеристик у трифазних електричних мережах та системах електропостачання із заземленою та ізольованою нейтраллю з номінальною частотою 50 Гц. Для мереж із заземленою нейтраллю 220/380, 110 кВ і вище величини потужностей визначаються як сума їх відповідних 3-ьох однофазних енергій (потужностей) у кожній фазі.

Канали вимірювання напруг можуть підключатися безпосередньо до мережі з номінальною напругою 220 В або через вимірювальні трансформатори напруги (ТН) 100 для мереж з номінальною напругою 10 кВ і вище.

Струмовимірювальні кліщі призначені для застосування як у вторинних колах стандартних ТС (5А), так і безпосередньо в колах зі струмом до 160 А, при міжфазних напругах не більше 380 В.

Вимірювач здійснює вимір усереднених значень характеристик на фіксованих часових інтервалах (інтервали усереднення).

Крім того, передбачені такі функціональні можливості, що виконуються паралельно з реєстрацією ПЯЕ та вимірюванням потужностей:

- режим «цифрового осцилографа», призначений для фіксації кривих миттєвих значень струмів та напруг на інтервалі до 50 періодів основної частоти 50 Гц при виникненні аварійних та перехідних режимів у мережі (у тому числі імпульсів напруги);
- реєстрація графіків діючих значення напруги за кожен період основної частоти на інтервалі до 60 с. при виникненні провалів напруги або перенапруг;
- реєстрація графіків хвилинних значень відхилення напруги у мережі на інтервалі 1 місяць;
- режим вимірювання електричної енергії, що дозволяє визначати величину електроенергії, що пройшла через прилад, за певний інтервал часу з точністю 2% (цей режим призначений для здійснення можливості оперативної перевірки систем обліку електроенергії безпосередньо на об'єктах без їх попереднього відключення та демонтажу).

Відображення результатів вимірювання здійснюється на кольоровому графічному дисплеї приладу. Його керування реалізовано за допомогою клавіатури. Для зручності користування комплектується сервісним програмним забезпеченням на ПК для відображення в зручному вигляді результатів вимірювань та їх аналізу, а також завдання вставок і налаштувань самого приладу. Стикування з ПК виконано на основі використання USB Flash, якими комплектується кожен прилад.

2.3 Зняття показань ПЯЕ ТП-10/0,4 кВ, за допомогою приладу «Metrel MI 2892»

Зняття показань здійснювалося приладом «Metrel MI 2892» для вимірювання показників якості електроенергії. У ході проведення вимірювань якості електричної енергії встановленим приладом «Metrel MI 2892»

фіксувалися значення по кожному ПЯЕ щохвилини, результати максимальних, мінімальних та середніх величин ПЯЕ за інтервал, що дорівнює 30 хвилин, зводилися до таблиці.

На рис 2.3 представлено місце встановлення приладу "Metrel MI 2892".

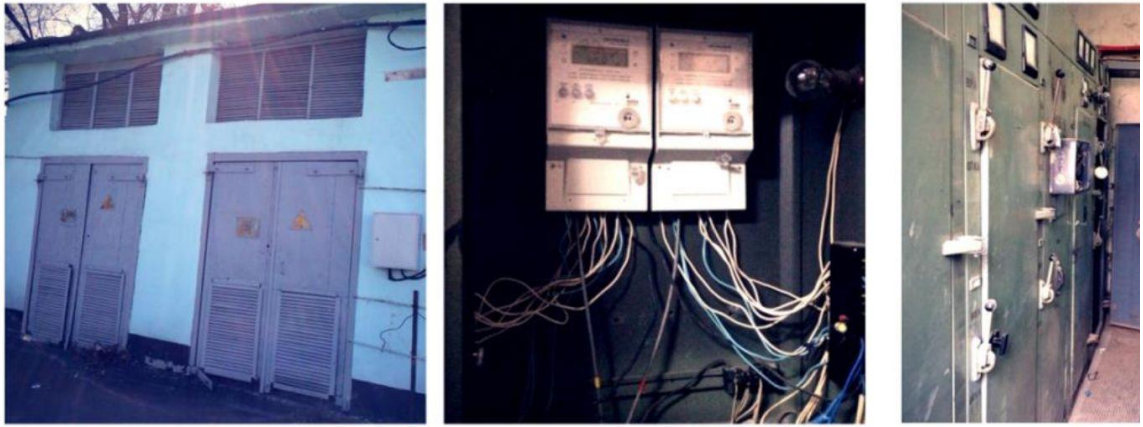


Рисунок 2.3 – Місце встановлення приладу "Metrel MI 2892".

Вимірювання проводили 1 добу: з 9 квітня по 10 квітня 2023 року. Точкою приєднання був шинний міст 0,4 кВ трансформатора Т-2.

Перевірка відповідності ПЯЕ у контрольній точці вимогам ДСТУ за такими показниками:

- відхилення напруги, що встановилися;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги;
- коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності;
- коефіцієнт несиметрії напруг по нульовий послідовності;
- відхилення частоти.

2.4 Результати даних ПЯЕ на ТП-10/0,4 кВ.

Для визначення відповідності значень ПЯЕ, що вимірюються, за винятком тривалості провалу напруги, імпульсного перенапруги, коефіцієнта тимчасового перенапруги, норм цього стандарту встановлюється мінімальний інтервал часу вимірювань, що дорівнює 24 год. [3].

З результатів вимірювань на відповідність ПЯЕ вимог ДСТУ в контрольній точці шинний міст 0,4 кВ трансформатора Т-2 встановлено наступне:

- Контрольна доба з 9 квітня 2023 р. 12:39 по 10 квітня 2023 р. 12:39:

Відхилення частоти.

Якість електричної енергії за відхиленням частоти в точці контролю відповідає встановленим вимогам, оскільки виконуються такі умови:

- всі виміряні протягом 24 годин значення контрольованого ПЯЕ належать інтервалу, обмеженому гранично допустимими значеннями ПЯЕ;
- 95% виміряних протягом 24 годин значень ПЯЕ належать інтервалу, обмеженому значеннями ПЯЕ, що нормально допускаються.

Таким чином, виміряне значення відхилення частоти протягом контрольної доби не виходили за межі нормально допустимого значення $\pm 0,2 \text{ Гц}$.

Зведену таблицю відхилень частоти наведено в Додатку А таблиці 5.

Відхилення напруги.

Якість електричної енергії за відхиленням напруги в точці загального приєднання до електричної мережі вважаються відповідними вимогами цього стандарту, якщо всі виміряні в кожен хвилину протягом встановленого періоду часу (24 години) значення відхилення напруги, що встановилося, знаходяться в інтервалі, обмеженому гранично допустимими значеннями ($\pm 10\%$), а не менше 95% виміряних за той же період часу значень відхилення напруги, що встановилося, знаходяться в інтервалі, обмеженому нормально допустимими значеннями ($\pm 5\%$).

У цьому якості електричної енергії з відхилення напруги вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо сумарна тривалість часу виходу допустимих значень становить трохи більше $\pm 5\%$ від встановленого періоду часу, тобто. 1 год 12 хв, за гранично допустимі значення - 0% від цього періоду часу [3].

У ході вимірювання якості електричної енергії були отримані дані щодо відхилення напруги за добу на фідері трансформатора Т-2 ТП-10/0,4 кВ, представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати випробувань електричної енергії з відхилення напруги, у%

Добовий режим навантаження									
Вимір х-ка	Результат вимірюв.	Нормативне значення	T ₁	T ₂	Вимір х-ка	Результат вимірюв.	Нормативне значення	T ₁	T ₂
Прямої послідовності					Фаза «А»				
δU_H	0.00	-5.0%	-		δU_H	-6.52	-5.0%	39.70	
δU_B	0.00	+5.0%			δU_B	5.22	+5.0%		
δU_{HM}	0.00	-10.0%		-	δU_{HM}	-9.50	-10.0%		0.00
δU_{HB}	0.00	+10.0%			δU_{HB}	7.38	+10.0%		
Фаза «В»					Фаза «С»				
δU_H	-4.56	-5.0%	29.34		δU_H	-13.42	-5.0%	20.55	
δU_B	3.94	+5.0%			δU_B	-1.00	+5.0%		
δU_{HM}	-6.75	-10.0%		0.00	δU_{HM}	-21.38	-10.0%		0.11
δU_{HB}	6.15	+10.0%			δU_{HB}	6.27	+10.0%		
Похибка вимірювання									
Позначення			Результат			Нормативне значення			
$\Delta_{\delta U}$			± 0.20			0.50			

Умови відповідності ДСТУ:

$$\delta U_H \geq \delta U_H^{(норм)}, \delta U_B \leq \delta U_B^{(норм)}, \delta U_{HM} \geq \delta U_{HM}^{(норм)}, \delta U_{HB} \leq \delta U_{HB}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

У цій таблиці показник T_1 виражається у відсотках і показує, скільки відсотків по кожній фазі із загальної кількості вимірювань за кожен півгодинний інтервал часу не відповідає нормально допустимим значенням.

Показник T_2 виражається так само у відсотках і показує, скільки відсотків по кожній фазі із загальної кількості вимірів за кожен півгодинний інтервал часу не відповідає гранично допустимим значенням.

Показники δU_{HM} і δU_{HB} є показниками найменшого і найбільшого відхилення напруги протягом інтервалу часу, виражені у відсотках.

Показники δU_H та δU_B – це відсоток виходу значень відхилення напруги за нижню та верхню нормально допустиму межу за встановлений інтервал часу.

З даних результатів випливає, що якість електричної енергії за відхиленням напруги (без поділу на режими найбільших і найменших навантажень) у пункті контролю **не відповідає встановленим вимогам:**

- не всі виміряні протягом 24 годин значення контрольованого ПЯЕ належать інтервалу, обмеженому гранично допустимими значеннями ПЯЕ – T_2 ;
- менше 95% виміряних протягом 24 годин значень ПЯЕ належать нормально допустимому інтервалу, обмеженому значеннями ПЯЕ, – T_1 .

За отриманими даними, можна зробити наступний аналіз.

У фазі А:

- найбільше відхилення напруга становить 7,38% , що відповідає інтервалу гранично допустимих значень встановленого відхилення напруги;
- найменше відхилення напруги становить –9,50% , що відповідає інтервалу гранично допустимих значень встановленого відхилення напруги;
- середнє значення відхилення напруги за нижню нормально допустиму межу (–5%) становить –6,52% , що перевищує норму;
- середнє значення відхилення напруги за верхню нормально допустиму межу (+5%) становить 5,22% , що перевищує норму;
- показник T_1 дорівнює 39,7% , що перевищує норму $T_1 < 5\%$ майже у 8 разів;
- показник T_2 дорівнює 0% , що відповідає нормі.

У фазі В:

- найбільше відхилення напруги становить 6,15% , що входить в інтервал гранично допустимих значень відхилення напруги, що встановилося;
- середнє значення відхилення напруги становить –6,75% , що відповідає встановленому інтервалу гранично допустимих значень;
- середнє значення відхилення напруги за нижню нормально допустиму межу становить –4,56% , що відповідає нормі;
- відсоток виходу значень відхилення напруги за верхню нормально допустиму межу становить –1,0% , що не відповідає нормі;

- показник T_1 дорівнює 20,55% , що перевищує норму $T_1 < 5\%$ у 4 рази;

- показник T_2 дорівнює 0% , що відповідає нормі.

У фазі С:

- найбільше відхилення напруга становить 6,27% , що входить в інтервал гранично встановлених допустимих значень відхилення напруги;

- найменше відхилення напруги становить $-21,38\%$, значно перевищує встановлену норму відхилення напруги;

- середнє значення відхилення напруги за нижню нормально допустиму межу становить $-13,42\%$, що перевищує встановлену норму;

- середнє значення відхилення напруги за верхню нормально допустиму межу становить 3,94% , що відповідає нормі;

- показник T_1 дорівнює 29,34% , що говорить про те, що за час вимірів були короточасні перевищення значень за встановлений інтервал часу, які у відсотковому співвідношенні сумарно за добу склали 29,34%; таким чином, T_1 перевищує норму $T_1 < 5\%$;

- показник T_2 дорівнює 0,11% , що відповідає нормі.

Приладом «Metrel MI 2892» були побудовані графіки відхилення напруги по фазах А, В та С.

На рис 2.4, 2.5 та 2,6 представлено графіки відхилення напруги у фазах А, В, С відповідно, за контрольну добу.

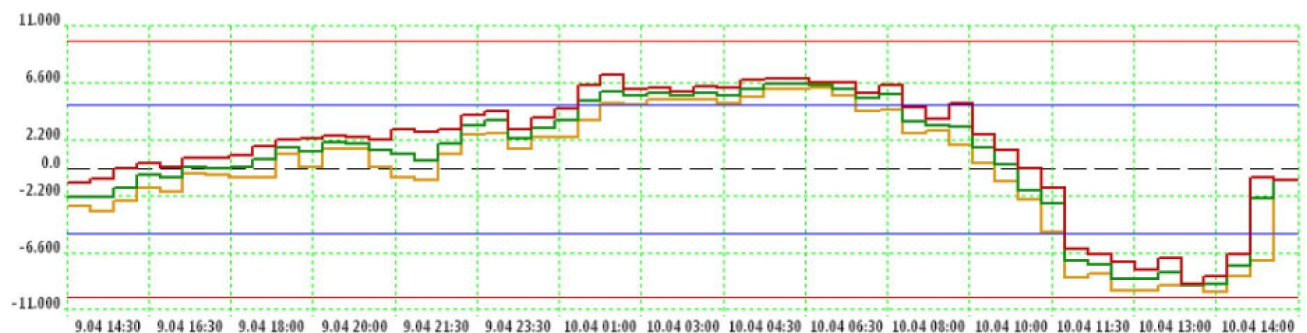


Рисунок 2.4 – Графік відхилення напруги у фазі А, виражений у %.

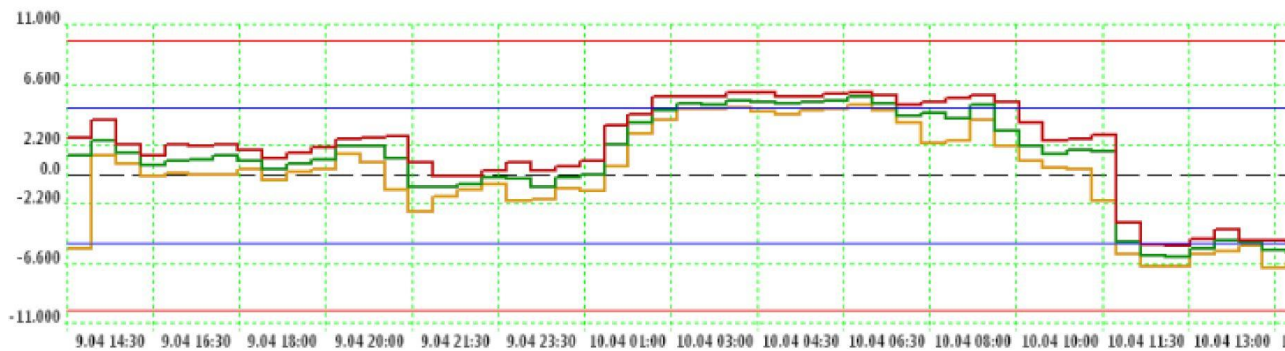


Рисунок 2.5 – Графік відхилення напруги у фазі В, виражений у %.

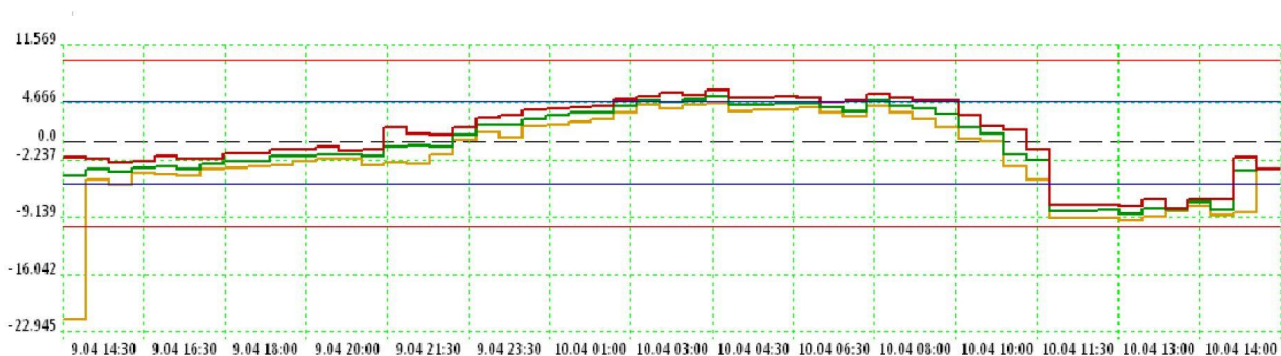


Рисунок 2.6 – Графік відхилення напруги у фазі С, виражений у %.

На графіках, побудованих приладом «Metrel MI 2892», осі абсцис приймаються значення часу 1 за контрольну добу, по осі ординат відкладаються значення відхилення напруги δU , виражені у відсотках. Будуються 3 криві, побудовані за значеннями максимальних відхилень напруги, за середніми значеннями відхилень напруги та за мінімальними значеннями відхилень напруги за контрольну добу.

Дані графіки не надто зручні для розуміння та розгляду, тому мною на підставі отриманих щохвилинних даних побудовані графіки напруги, що встановилася, за контрольну добу у фазах А, В і С.

За дані, що відкладаються по осі абсцис беремо значення часу протягом контрольної доби, по осі ординат відкладаємо значення напруги, що встановилася.

На рис. 2.7, 2.8, 2.9 представлено графіки напруги на трансформаторі Т-2 у фазах А, В, С відповідно, за контрольну добу.

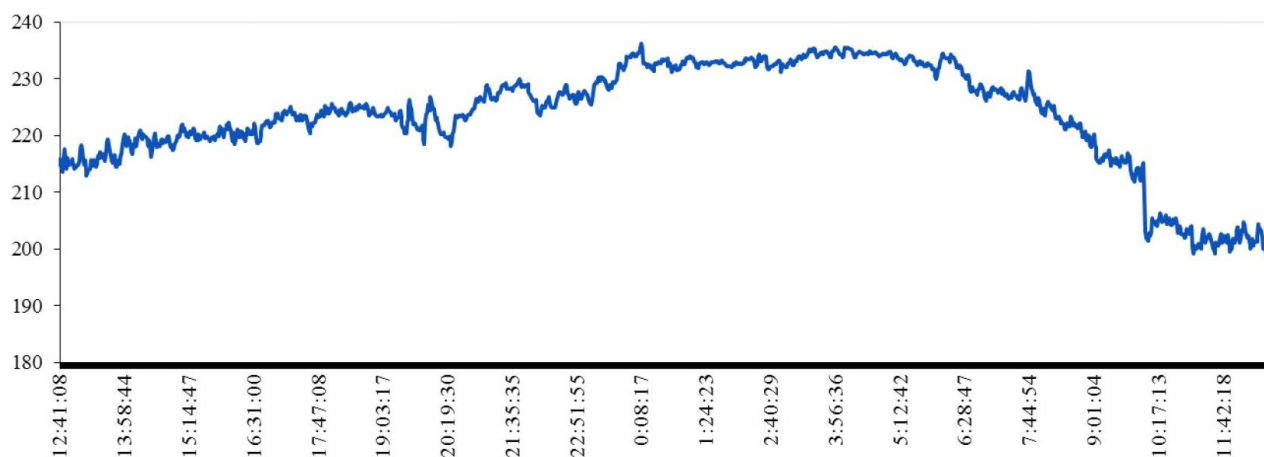


Рисунок 2.7 – Графік напруги протягом доби у фазі А

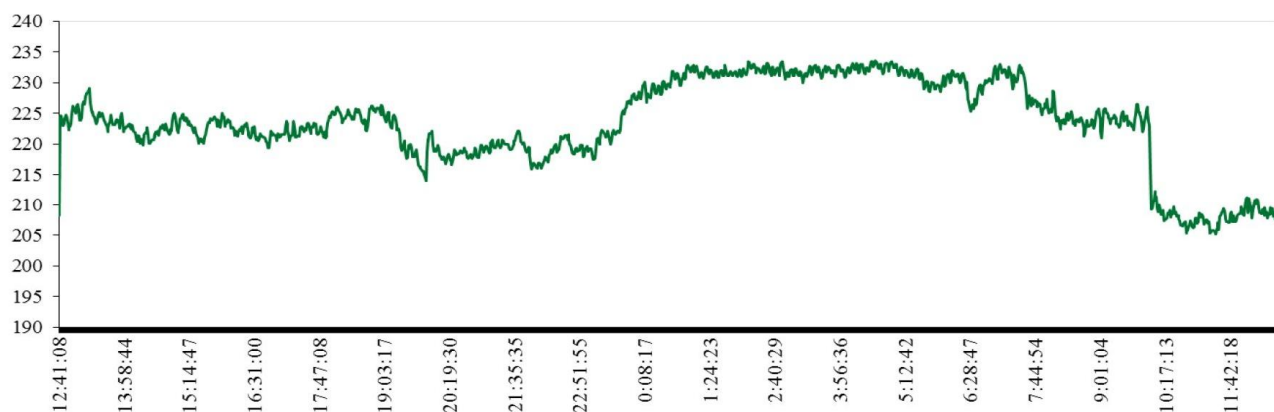


Рисунок 2.8 – Графік напруги протягом доби у фазі В

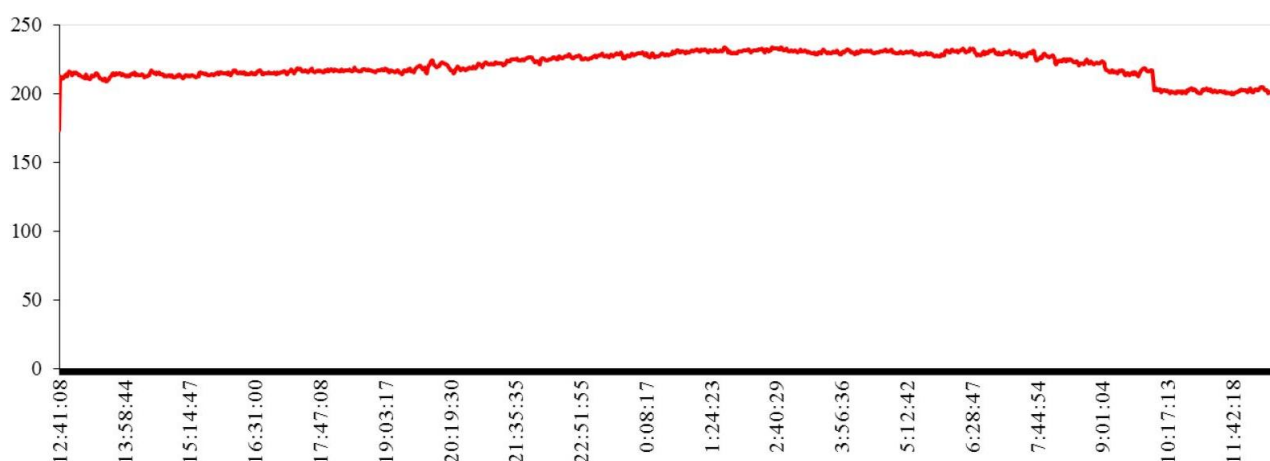


Рисунок 2.9 – Графік напруги протягом доби у фазі С

Напруга, у фазах А, В і С різна, що свідчить про різні навантаження фаз.

Коливання напруги

Розмах зміни напруги протягом всього виміру не перевищує гранично допустимих $\pm 10\%$.

Короткочасна доза флікера визначається інтервалі часу спостереження 10 хвилин. Відхилень від допустимих значень короткочасної дози флікера немає.

Варто відзначити, що даний параметр не впливає на роботу електрообладнання, але його наявність завдає дискомфорту при зоровій роботі внаслідок мерехтіння ламп.

Коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги для n з № 2 до № 40

Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги по фазі А представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги по фазі А у % .

Непарні, некрatні 3, гарм. при $U_{ном}$, кВ						Непарні гармоніки, кратні 3, при $U_{ном}$, кВ						
n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1, T_2	n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1	T_2
			$K_{u(n)нд}$	$K_{u(n)пл}$					$K_{u(n)нд}$	$K_{u(n)пл}$		
5	5,7	5,76	6,0	9,0	0,0	3	4,75	4,94	5,0	7,5	0,0	0,0
7	2,02	2,02	5,0	7,5	0,0	9	1,43	1,58	1,5	2,25	0,3	0,0
11	1,44	1,44	3,5	5,25	0,0	15	0,59	0,8	0,3	0,45	40,8	13,9
13	1,02	1,02	3,0	4,5	0,0	21	0,41	0,57	0,2	0,3	28,0	13,6
17	0,6	0,6	2,0	3,0	0,0							
19	0,49	0,49	1,5	2,25	0,0							
23	0,17	0,17	1,5	2,25	0,0							
25	0,17	0,17	1,5	2,25	0,0							
Парні гармоніки, при $U_{ном}$, кВ												
n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1	T_2						
			$K_{u(n)пл}$	$K_{u(n)пл}$								
2	1,29	1,29	2,0	3,0	0,0	0,0						
4	0,73	0,73	1,0	1,5	0,0	0,0						
6	0,25	0,25	0,5	0,75	0,0	0,0						
8	0,3	0,3	0,5	0,75	0,0	0,0						
10	0,3	0,3	0,5	0,75	0,0	0,0						
12	0,16	0,16	0,2	0,3	0,0	0,0						

Згідно з отриманими даними коефіцієнт гармонійної складової напруги у фазі А не відповідає нормально допустимим значенням і гранично допустимим значенням у 15-ій та 21-ій гармоніках.

У 15-й гармоніці показник $T_1 = 40,8\%$, що у 8 разів перевищує нормативне значення, показник $T_2 = 13,9\%$, що неприпустимо.

У 21-й гармоніці показник $T_1 = 28\%$, що більш ніж у 5 разів перевищує нормативне значення, показник $T_2 = 13,6\%$, що зовсім неприпустимо

Коефіцієнти гармонійної складової напруги у фазі А інших гармоніках перебувають у межах норми.

Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ї гармонійної складової напруги по фазі представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги за фазою В у %.

Непарні гармоніки, не кратні 3, при $U_{ном}$, кВ						Непарні гармоніки, кратні 3, при $U_{ном}$, кВ						
n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1, T_2	n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1	T_2
			$K_{u(n)нд}$	$K_{u(n)пд}$					$K_{u(n)нд}$	$K_{u(n)пд}$		
5	5,7	14,1	6,0	9,0	0,0	3	4,75	14,20	5,0	7,5	0,0	0,0
7	4,75	15,4	5,0	7,5	0,0	9	1,43	15,92	1,5	2,25	0,0	0,0
11	3,33	22,2	3,5	5,25	0,0	15	-19,7	24,56	0,3	0,45	1,5	0,0
13	2,85	8,29	3,0	4,5	0,0	21	0,21	11,78	0,2	0,3	5,66	0,02
17	1,9	20,2	2,0	3,0	0,0							
19	1,43	14,2	1,5	2,25	0,0							
23	1,43	13,8	1,5	2,25	0,0							
25	1,43	10,4	1,5	2,25	0,0							
Парні гармоніки, при $U_{ном}$, кВ												
n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1	T_2						
			$K_{u(n)пд}$	$K_{u(n)пд}$								
2	1,9	4,94	2,0	3,0	0,0	0,0						
4	0,95	4,69	1,0	1,5	0,0	0,0						
6	0,47	5,78	0,5	0,75	0,0	0,0						
8	0,47	5,86	0,5	0,75	0,0	0,0						
10	0,47	7,05	0,5	0,75	0,0	0,0						
12	0,19	15,61	0,2	0,3	0,0	0,0						

Згідно з отриманими даними коефіцієнт гармонійної складової напруги у фазі не відповідає гранично допустимим значенням в жодній з гармонік.

У 15-й гармоніці спостерігається стрибок коефіцієнта гармонійної складової напруги, таким чином, усі значення в цій гармоніці не відповідають

ні нормально допустимим значенням, ні гранично допустимим значенням, при цьому показник $T_2 = 0\%$, що відповідає нормі.

У 21 гармоніці показник $T_1 = 5,66\%$, що перевищує нормативне значення, показник $T_2 = 0,02\%$, що зовсім неприпустимо.

Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги по фазі представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги за фазою В у %.

Непарні гармоніки, не кратні 3, при $U_{ном}$, кВ						Непарні гармоніки, кратні 3, при $U_{ном}$, кВ						
n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1, T_2	n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1	T_2
			$K_{u(n)нд}$	$K_{u(n)пд}$					$K_{u(n)нд}$	$K_{u(n)пд}$		
5	5,7	35,2	6,0	9,0	0,01	3	4,75	37,17	5,0	7,5	0,01	0,01
7	4,75	31,5	5,0	7,5	0,01	9	1,43	38,96	1,5	2,25	0,01	0,01
11	3,33	116	3,5	5,25	0,01	15	36,7	73,7	0,3	0,45	33,7	19,6
13	2,85	92,4	3,0	4,5	0,01	21	0,21	29,96	0,2	0,3	5,81	0,69
17	1,9	61,6	2,0	3,0	0,01							
19	1,43	47,8	1,5	2,25	0,01							
23	1,43	24,4	1,5	2,25	0,01							
25	1,43	15,8	1,5	2,25	0,01							
Парні гармоніки, при $U_{ном}$, кВ												
n	$K_{u(n)в}$	$K_{u(n)нб}$	Норма		T_1	T_2						
			$K_{u(n)пд}$	$K_{u(n)пд}$								
2	1,9	10,83	2,0	3,0	0,01	0,01						
4	0,95	10,3	1,0	1,5	0,01	0,01						
6	0,47	265,2	0,5	0,75	0,01	0,01						
8	0,47	11,08	0,5	0,75	0,01	0,01						
10	0,47	12,0	0,5	0,75	0,01	0,01						
12	0,19	141,75	0,2	0,3	0,01	0,01						

Згідно з отриманими даними коефіцієнт гармонійної складової напруги у фазі С не відповідає гранично допустимим значенням в жодній з гармонік.

У всіх гармоніках показник $T_2 \neq 0$, що є грубим відхиленням від норми.

У 15-й гармоніці даний показник $T_2 = 19,6\%$, що майже в 20 разів перевищує норму.

На рис. 2.10 представлений спектр гармонік напруги всіх фаз за контрольну добу, побудований приладом «Metrel MI 2892».

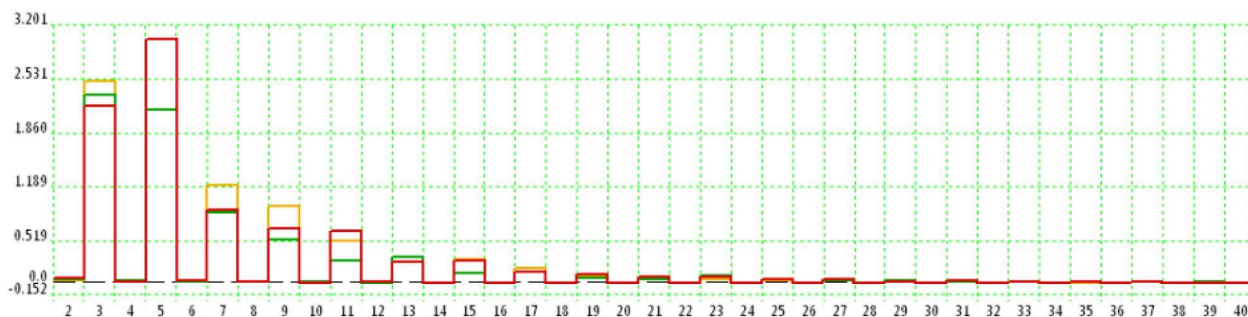


Рисунок 2.10 – Спектр гармонік напруги всіх фаз за контрольну добу, виражений у %

На даному графіку осі абсцис віддалені номери гармонік, по осі ординат значення даних величин. Фази А, В та С для наочності виділені різними кольорами. Величини гармонік напруги є сумою значень за контрольну добу.

Нижче представлені графіки спектрів гармонік за фазами А, В і С, побудовані за виміряними показниками протягом контрольної доби, у зручному форматі.

На рис 2.11, 2.12, 2.13 представлено графіки спектра гармонік фаз А, В, С відповідно, за контрольну добу.

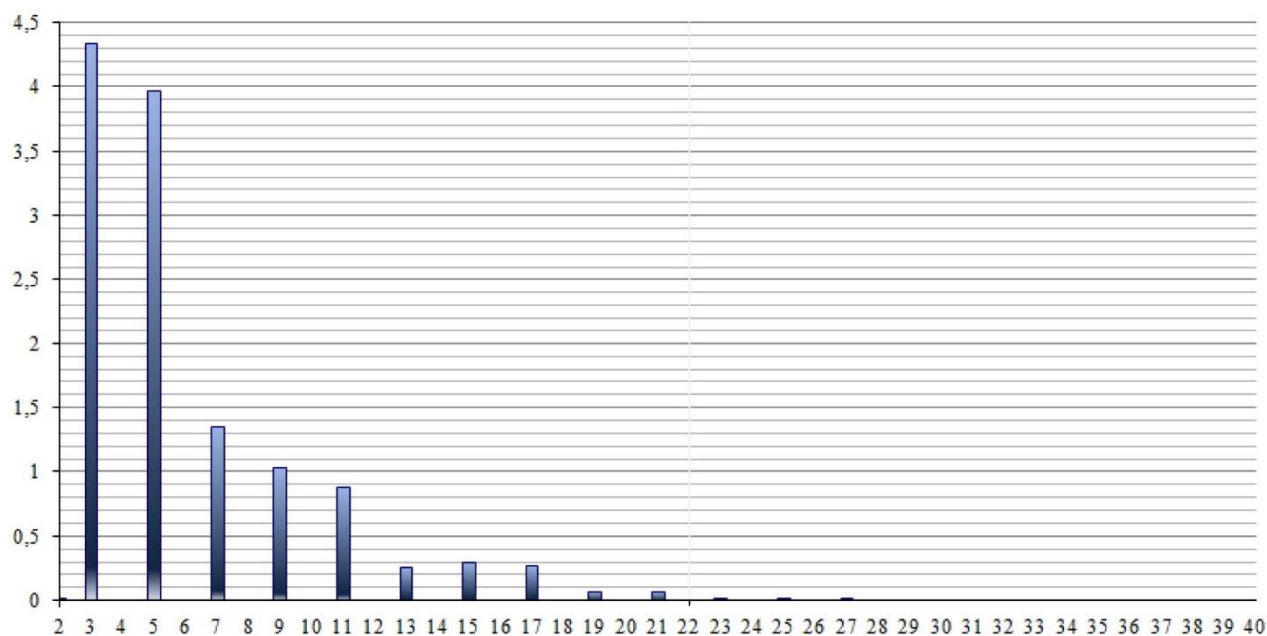


Рисунок 2.11 – - Спектр гармонік фази А, виражений у %

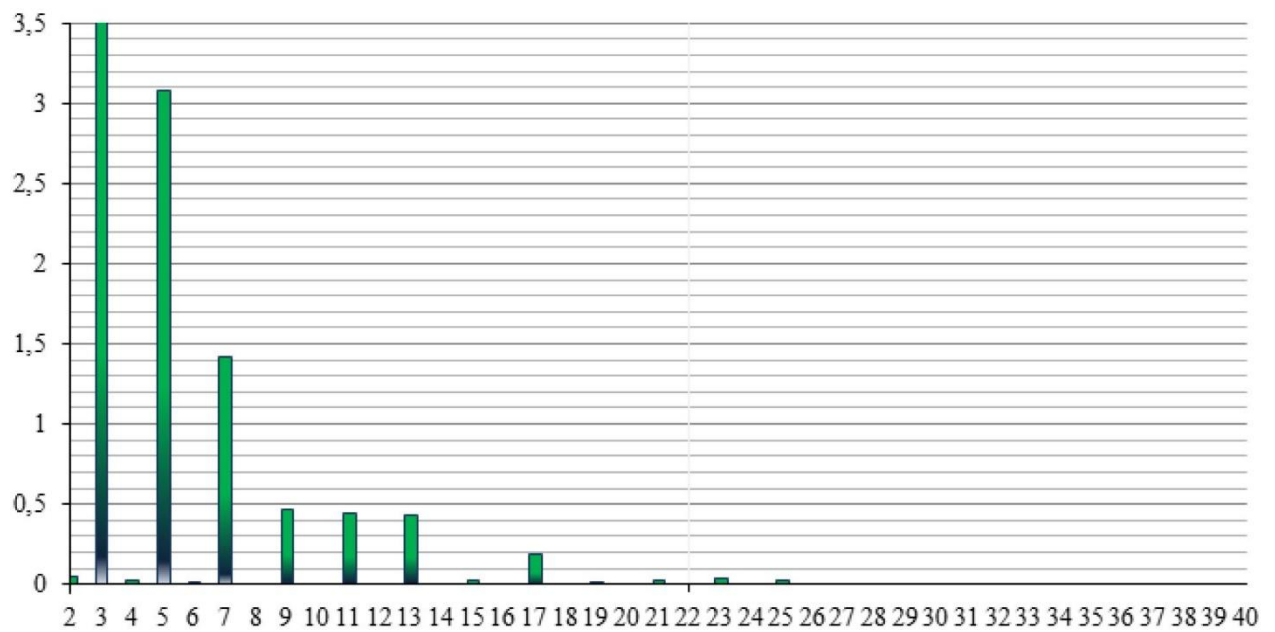


Рисунок 2.12 – - Спектр гармонік фази В, виражений у %

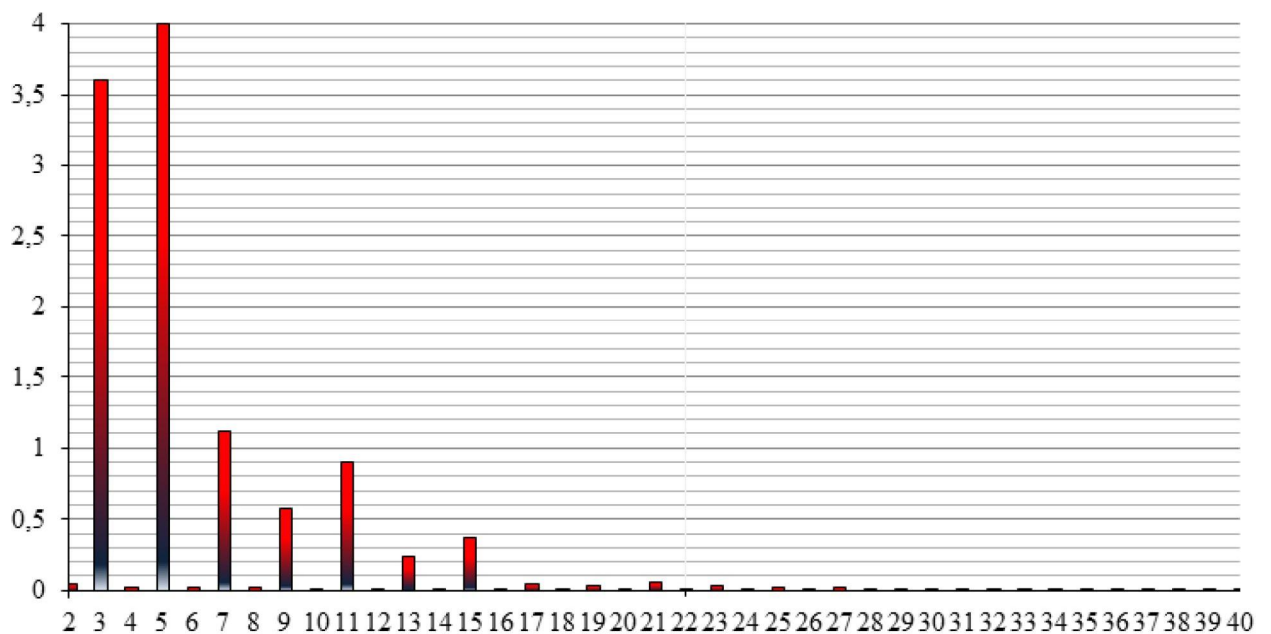


Рисунок 2.13 – Спектр гармонік фази С, виражений у %

Нижче представлені графіки гармонійного ряду за фазами А, В та С. На цих графіках можливе спостереження за зміною величин гармонік протягом доби. Вісь абсцис відповідає тимчасовому інтервалу, вісь ординат відповідає значенням гармонік напруги.

На рис 2.14, 2.15, 2.16 подано коефіцієнти гармонік фази А, В та С відповідно, за контрольну добу.

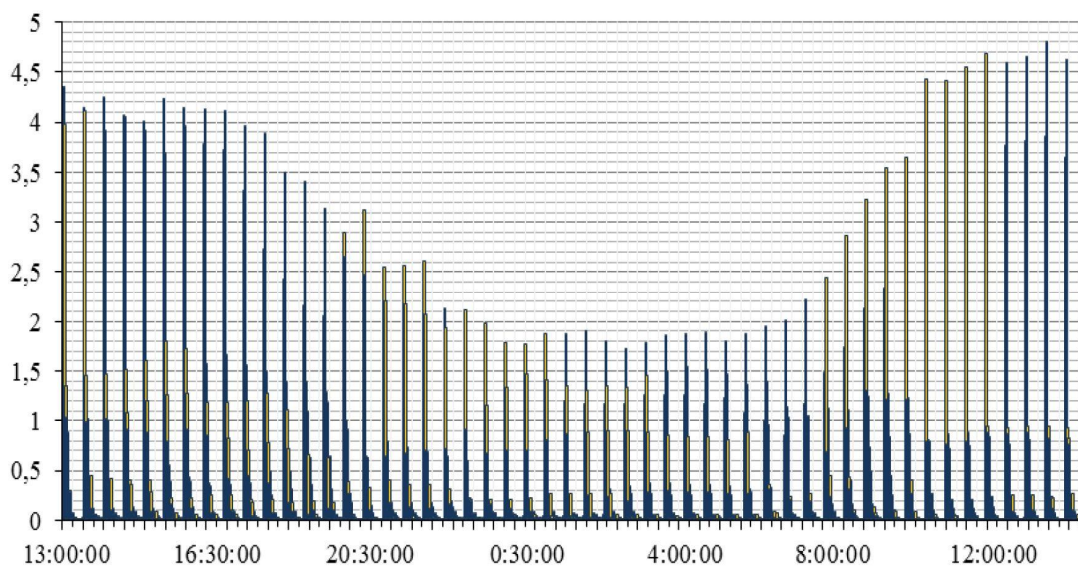


Рисунок 2.14 – Коефіцієнт гармонік фази А за контрольну добу, виражений у %

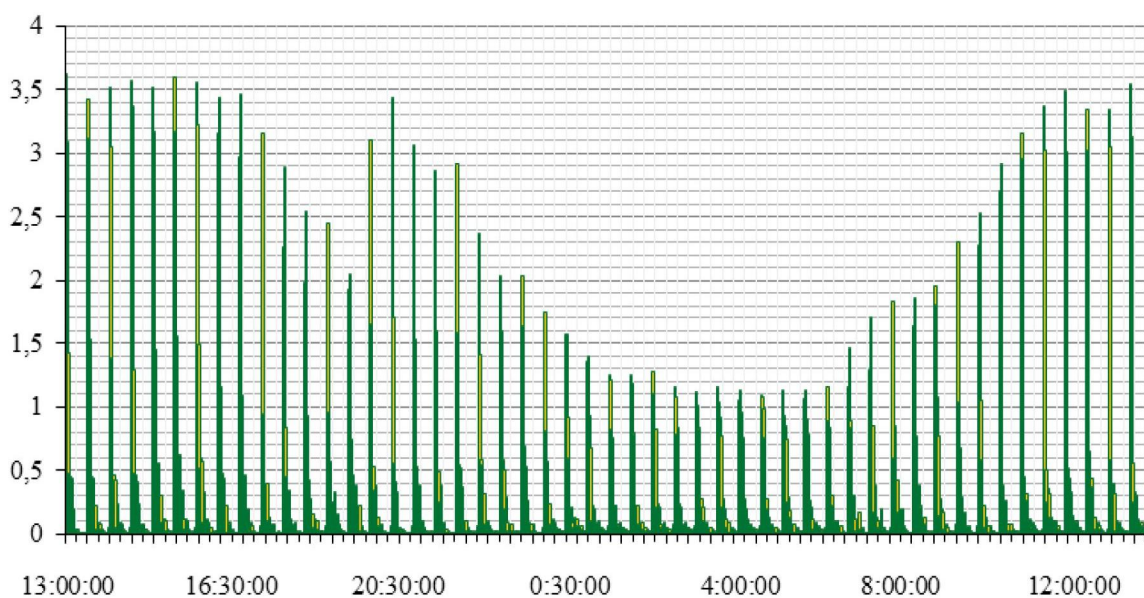


Рисунок 2.15 – Коефіцієнт гармонік фази В за контрольну добу, виражений у %

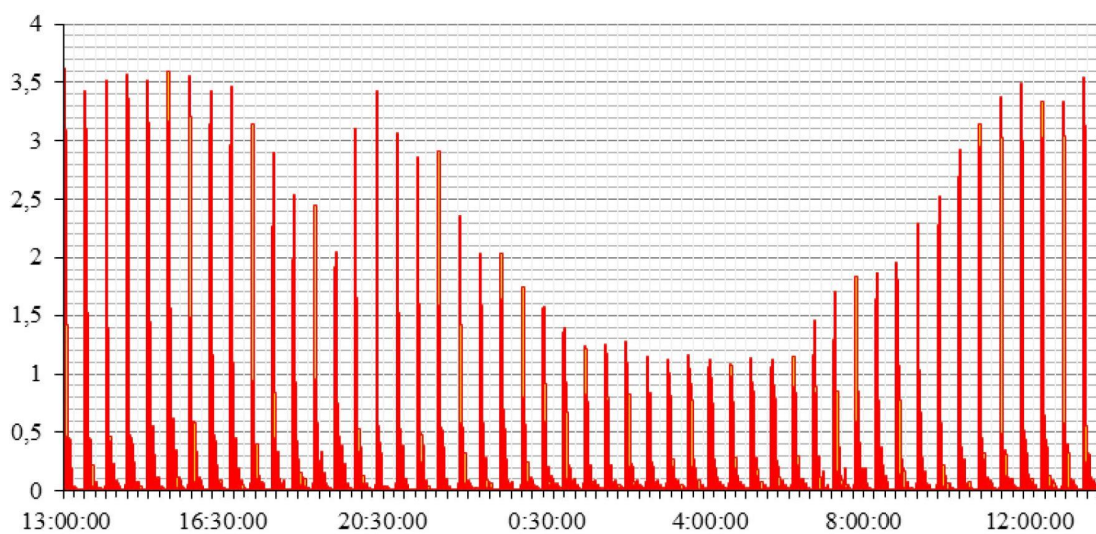


Рисунок 2.16 – Коефіцієнт гармонік фази С за контрольну добу, виражений у %

Якість електричної енергії по n -ої гармонійної складової напруги в пункті контролю не відповідає встановленим вимогам, оскільки виконуються такі умови:

- найбільше з усіх вимірних протягом 24 годин значень контрольованого ПЯЕ перевищує гранично допустиме значення ПЯЕ;
- 95% вимірних протягом 24 годин значень ПЯЕ перевищує нормально допустиме значення ПЯЕ.

Зведена таблиця коефіцієнтів гармонійних складових представлена у протоколі №1, Додаток А.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги

У таблиці 2.6 представлені результати випробувань коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги, зняті за допомогою приладу «Metrel MI 2892».

Таблиця 3.6 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги

Вимірювана характеристика	Фаза "А"			Фаза "В"			Фаза "С"		
	Результат вимірювання	T_1	T_2	Результат вимірювання	T_1	T_2	Результат вимірювання	T_1	T_2
K_{U_B}	6.88	0.00		42.81	0.01		95.11	0.02	
$K_{U_{НБ}}$	7.11		0.00	44.97		0.01	100.00		0.02

З даних результатів випливає, що якість електричної енергії за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності напруги в пункті контролю не відповідає встановленим вимогам:

- виміряні протягом 24 год значення контрольованого ПЯЕ не належать інтервалу, обмеженому гранично допустимими значеннями ПЯЕ - T_2 ;
- менше 95% вимірних протягом 24 год значень ПЯЕ належать інтервалу, обмеженому значеннями ПЯЕ, що нормально допускаються, – T_1

На рис 2.17, 2.18, 2.19 представлено графіки коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги фаз А, В та С відповідно, побудовані приладом «Metrel MI 2892».



Рисунок 2.17 – Графік за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі А

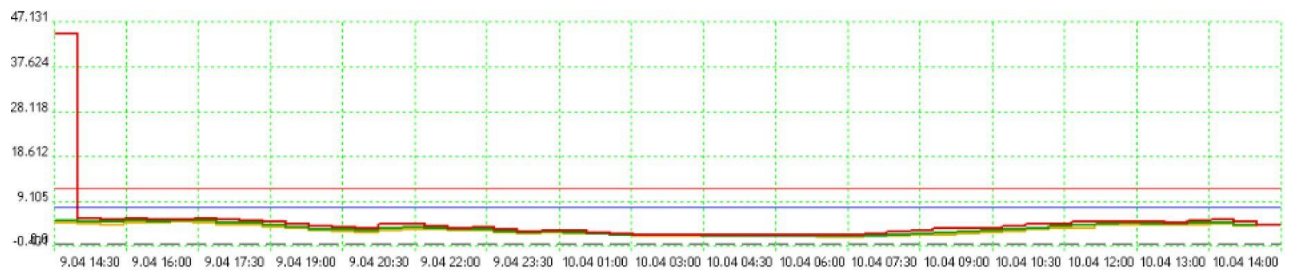


Рисунок 2.18 – Графік за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі В



Рисунок 2.19 – Графік за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги у фазі С

З представлених графіків, побудованих за допомогою приладу, досить наочним є лише графік фази А, графіки фази В і С характеризуються щільним накладенням кривих. Криві відповідають максимальним, середнім та мінімальним значенням коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги. По осі абсцис відкладено значення часу, по осі ординат - значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги.

Для наочності побудуємо графіки коефіцієнтів спотворення напруги у фазах В і С по максимальним значенням. Дані значення були обрані з тих міркувань, що показники T_2 у фазі В, і у фазі С, відмінні від значення 0. Відповідно, це є свідченням того, що зареєстровані величини не носили випадкових характер, а були зареєстровані не один раз.

По осі абсцис відкладено часові значення, виражені в годинах, по осі ординат – значення коефіцієнтів спотворення напруги, виражені у відсотках.

На рис. 2.20, 2.21, 2.22 представлений графік коефіцієнта викривлення синусоїдальної напруги у фазах А, В та С відповідно.

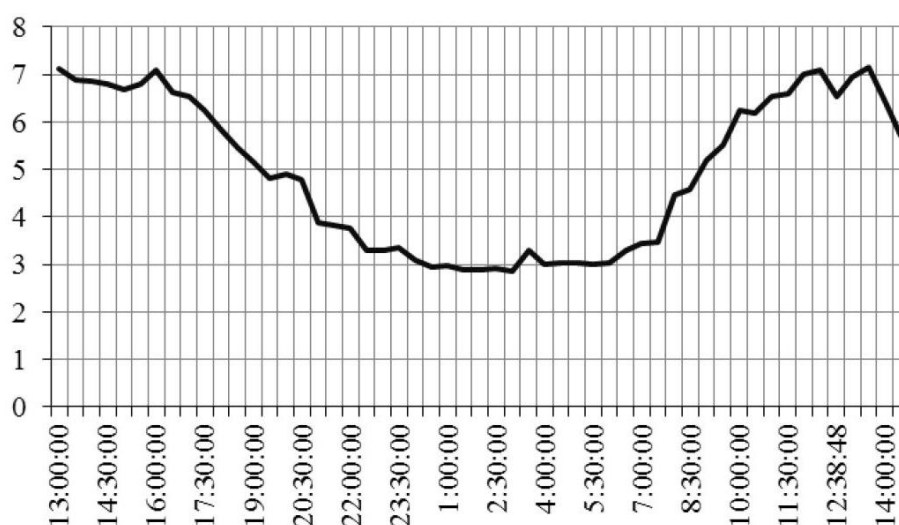


Рисунок 2.20 – Графік коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги у фазі А

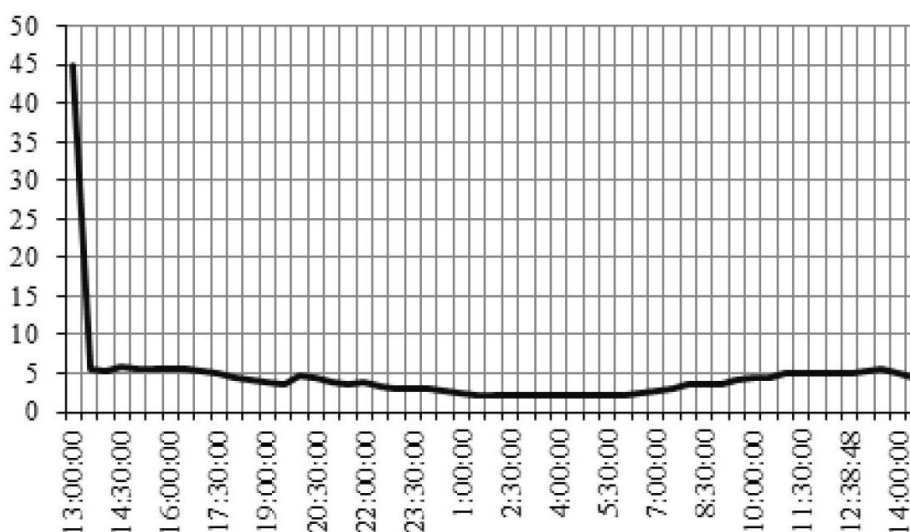


Рисунок 2.21 – Графік коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги у фазі В

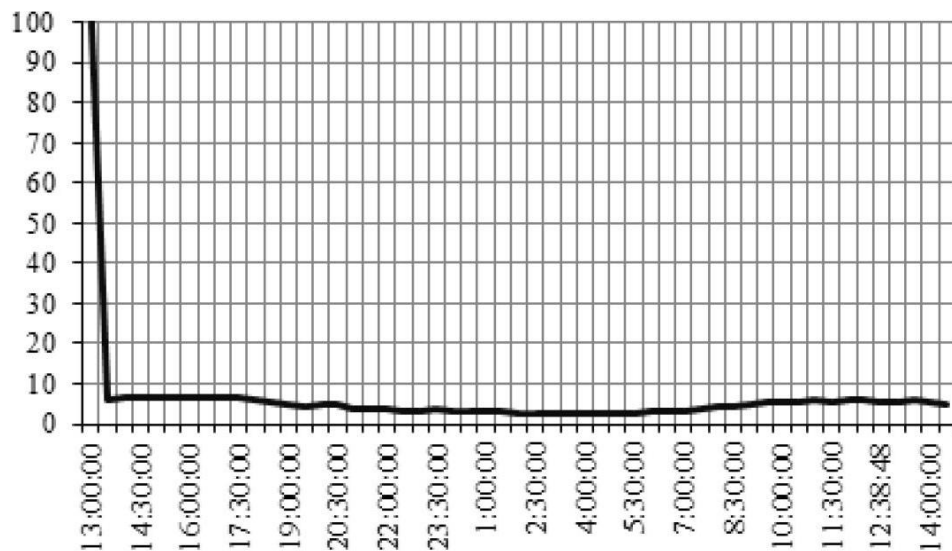


Рисунок 2.22 – Графік коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги у фазі С

Таким чином, згідно вимірювань можна дати наступний висновок про коефіцієнт спотворення синусоїдальності напруги по фазах, подане нижче.

У фазі А:

- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги знаходиться в інтервалі нормально допустимих і, відповідно, в інтервалі гранично допустимих спотворень синусоїдальності кривої напруги і становить 7,11% ;

- показник $T_1 = 0,01$, що відповідає встановленій нормі $T_1 < 5\%$;
- показник $T_2 = 0$, що нормою.

У фазі В:

- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги не відповідає нормі, значно перевищуючи значення нормально (8%) та гранично допустимого (12%) інтервалу спотворень синусоїдальності кривої напруги і становить 42,81% ;

- показник $T_1 \leq 5\%$, відповідає встановленій нормі;
- показник $T_2 = 0,01$, що не відповідає нормі.

У фазі С:

- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги не відповідає значенням нормально допустимих гранично допустимих значень спотворень синусоїдальності кривої напруги, що значно перевищує норму, становить 95,11% ;

- показник $T_1 = 0,02$, що не відповідає встановленій нормі $T_1 \leq 5\%$;
- показник $T_2 = 0,02$, що не відповідає нормі.

Коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності

Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруги за нульовою послідовністю представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруги за зворотною послідовністю.

Вимір. х-ка	Результат вимірювань	Нормативне значення	T_1	T_2
K_{2UB}	59,49	2,0	0,02	
$K_{2Uнб}$	62,62	4,0		0,02

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$K_{2UB} \leq K_{2UB}^{(норм)}, K_{2Uнб} \leq K_{2Uнб}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

На рис 2.23 представлений графік за коефіцієнтом несиметрії напруг по зворотній послідовності, побудований за отриманими даними максимальних, середніх та мінімальних значень за контрольну добу. По осі абсцис відкладено часовий параметр, по осі ординат – значення коефіцієнта несиметрії напруги за зворотною послідовністю. Зеленим кольором виділена крива, побудована за максимальними значеннями, червоним кольором - за середніми значеннями, синім кольором - за мінімальними значеннями коефіцієнта.

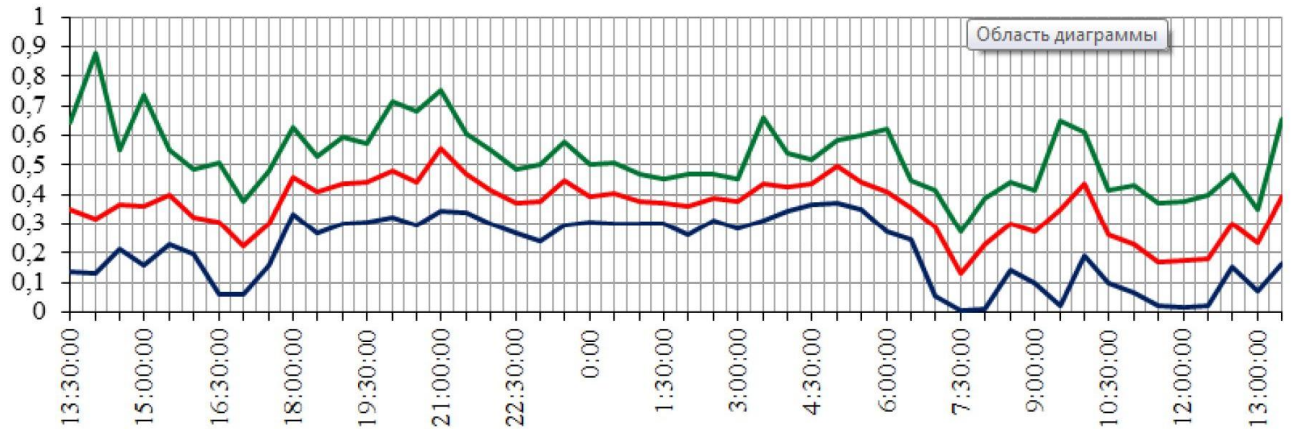


Рисунок 2.23 – Графіки за коефіцієнтом несиметрії напруг за зворотною послідовністю, вираженому у %.

Коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності в пункті контролю не відповідає нормам.

Якість електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії за зворотною послідовністю у пункті контролю не відповідає встановленим вимогам, оскільки виконуються такі умови:

- найбільше з усіх вимірювань протягом 24 годин значень контрольованого ПЯЕ перевищує гранично допустиме значення ПЯЕ – $T_2 = 0,02\%$;

- $K_{2U_6} = 59,49\%$, що значно перевищує норму.

Коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю

Коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю у пункті контролю не відповідає нормам.

Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруги за нульовою послідовністю представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруг за нульовою послідовністю.

Вимірювальна характеристика	Результат вимірювань	Нормативне значення	T_1	T_2
K_{0UB}	4,74	2,0	42,66	
$K_{0Uнб}$	64,88	4,0		0,68

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$K_{0U_B} \leq K_{0U_B}^{(\text{норм})}, K_{0U_{нб}} \leq K_{0U_{нб}}^{(\text{норм})}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0.$$

На рис. 3.24 представлений графік за коефіцієнтом несиметрії напруг за нульовою послідовністю, побудований за максимальними, середніми та мінімальними значеннями за контрольну добу.

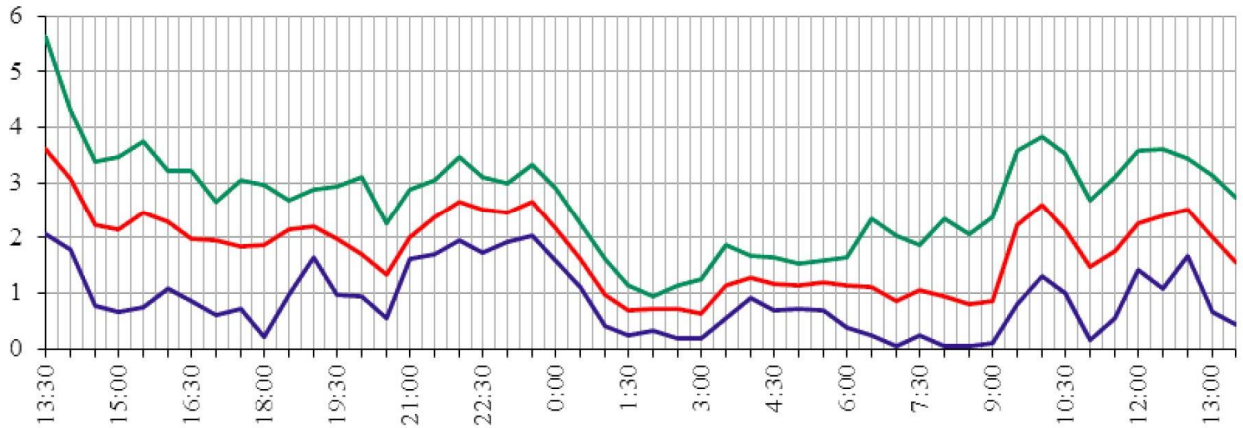


Рисунок 2.24 – Графіки за коефіцієнтом несиметрії напруги за нульовою послідовністю, вираженим у %.

Коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю у пункті контролю не відповідає нормам.

Якість електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії за нульовою послідовністю в пункті контролю не відповідає встановленим вимогам, оскільки виконуються такі умови:

- найбільше з усіх виміряних протягом 24 годин значень контрольованого ПЯЕ перевищує гранично допустиме значення ПЯЕ – $T_2 = 0,68\%$;
- менше 95% виміряних протягом 24 год значень ПЯЕ знаходяться в інтервалі нормально допустимого значення ПЯЕ – $T_1 = 42,66\%$.

2.5 Висновки до розділу 2

В даному розділі дано опис трансформаторної підстанції ТП - 10/0,4 кВ. Здійснено аналіз характеристик та розглянуто принцип роботи приладу для вимірювання ПЯЕ «Metrel MI 2892».

Здійснено зняття показів ПЯЕ на ТП-10/0,4 кВ, за допомогою приладу «Metrel MI 2892». Представлено результати даних ПЯЕ на ТП-10/0,4 кВ.

Проведено аналіз отриманих результатів з оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ, Ф2.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Аналіз отриманих результатів з оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ, Ф2 та рекомендації щодо її нормалізації

З результатів вимірювань ПЯЕ на фідері №2 ТП-10/0,4 В, наведених у Додатку А, та зіставлення їх із вимогами ДСТУ за встановлений період часу – 1 контрольну добу встановлено:

1. Відхилення частоти відповідає вимогам.

Виміряні значення відхилення частоти протягом контрольної доби не виходили за межі нормально допустимого значення $\pm 0,2 \text{ Гц}$.

2. Відхилення напруги не відповідає вимогам.

- У фазі А: $U_{\text{НБ}} = 7,38\%$; $U_{\text{НМ}} = -9,5\%$; при $T_1 = 39,7\%$, $T_2 = 0\%$.

Середнє відхилення напруги протягом доби знаходиться в діапазоні $[-5,22\%; +6,52\%]$.

- У фазі В: $U_{\text{НБ}} = 6,15\%$; $U_{\text{НМ}} = -6,75\%$; при $T_1 = 29,34\%$, $T_2 = 0\%$.

Середнє відхилення напруги протягом доби знаходиться в діапазоні $[-4,56\%; +3,94\%]$.

- У фазі С: $U_{\text{НБ}} = 16,27\%$; $U_{\text{НМ}} = -21,38\%$; при $T_1 = 20,55\%$, $T_2 = 0,11\%$.

Середнє відхилення напруги протягом доби знаходиться в діапазоні $[-13,42\%; -1\%]$.

Відповідно до норм ДСТУ встановлюються допустимі значення $\pm 10\%$, при $T_1 < 5\%$, $T_2 = 0$.

3. Коливання напруги відповідає вимогам.

Розмах зміни напруги протягом всього виміру не перевищує гранично допустимих $\pm 10\%$.

4. Коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги для п з №2 по №40 відповідає вимогам.

У фазі А коефіцієнт гармонійної складової напруги 95% вимірних даних відповідає вимогам, лише 15 і 21 гармоніки цей показник відповідає нормативним значенням. У фазі коефіцієнт гармонійної складової напруги не відповідає гранично допустимим значенням в жодній з гармонік. У 21 гармоніці показник $T_2 = 0,02\%$, що неприпустимо. У фазі С також спостерігається невідповідність жодне зі знятих значень нормативному. У 15-ій гармоніці показник $T_2 = 19,6\%$, що майже в 20 разів перевищує норму.

5. Коефіцієнт спотворення кривої синусоїдальної напруги не відповідає вимогам.

У фазі А даний показник становить 7,11%, що відповідає встановленим нормативам, що допускають граничну величину коефіцієнта 8% за $T_1 < 5\%$, $T_2 = 0$. У фазі вимірюваний показник дорівнює 42,81%, що значно перевищує норму і не відповідає вимогам. У фазі С коефіцієнт спотворення становить 95,11%, що відповідає нормі.

6. Коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності відповідає вимогам.

Даний параметр $K_{2U_6} = 59,49\%$, що значно перевищує нормативне значення $K_{2U_6} = 2\%$, при цьому $T_2 = 0,02\%$, що неприпустимо. Найбільше значення $K_{2U_{нб}} = 62,62\%$, що також перевищує гранично допустиме значення $K_{2U_{нб}} = 4\%$.

7. Коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю відповідає вимогам.

Даний параметр $K_{0U_6} = 4,74\%$, що перевищує нормативне значення $K_{0U_6} = 2\%$ при $T_1 < 5\%$, $T_2 = 0$, в даному випадку $T_1 = 42,66\%$ і $T_2 = 0,68\%$, що не відповідає вимогам. Найбільше значення $K_{0U_{нб}} = 64,88\%$, що також перевищує гранично допустиме значення $K_{0U_{нб}} = 4\%$.

Таким чином якість електричної енергії, а саме відхилення напруги, коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги для n з №2 по №40, коефіцієнт

спотворення кривої напруги синусоїдальної, коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності, коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності на фідері №2 ТП-10/0,4 кВ не відповідає вимогам ДСТУ.

Причинами такого відхилення якості напруги є різнохарактерне навантаження. Навантаження даного фідера включає лабораторні стенди навчальних корпусів А, В і С; теплові завіси навчальних корпусів; насоси; обігрів кабелю в зливовій системі, обладнання столових приміщень навчальних корпусів А, В і С, що включають в себе припливно-витяжну вентиляцію, шафи для смаження, духові шафи, холодильні камери; освітлювальні прожектори для футбольного поля; підігрів холодної води в душових кабінах; зварювальні установки; токарні верстати; компресорну станцію; комп'ютерну техніку; телевізори у навчальних приміщеннях.

Отже, необхідне застосування заходів щодо стабілізації цього показника. Як можливі способи для даного конкретного об'єкта можна запропонувати:

1. Сезонне регулювання напруги за допомогою перемикачів відгалужень трансформатора, тобто ПБЗ.

На ТП-10/0,4 кВ встановлений трансформатор типу *ТМ* – 400 кВА, йому відповідає перемикач відгалужень обмоток (ПБЗ) рейкового типу *ПТР* – 6 – 10 / 63, який забезпечує регулювання напруги обмотки ВН чотирма ступенями 2,5% при відключеному від мережі трансформаторі.

2. Раціональна організація та розподіл навантаження за фазами А, В, та С.

3. Встановлення компенсуючого пристрою на шини низької напруги ТП-10/0,4 кВ.

За рахунок послідовного включення компенсуючої установки, можливе отримання резонансних частот нижче за частоти критичних гармонік, тобто. 5-й, 7-й, 11-й, 13-й, що призводить до помітного зниження спотворення синусоїдальної кривої напруги, введення коефіцієнта несиметрії напруги у відповідну норму [11]

3.2 Аналіз та оцінка ризику відмови електрообладнання на трансформаторній підстанції

Трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ є невід'ємним елементом електричної мережі, що виконує важливу роль у системі електропостачання. ТП-10/0,4 кВ призначені для перетворення та перерозподілу прийнятої електричної енергії.

Порушення нормального режиму роботи трансформаторної підстанції може бути пов'язане з такими причинами:

- автоматичне відключення обладнання при короткому замиканні;
- природне старіння та знос ізоляції;
- пробою ізоляції внаслідок систематичного перегріву обмоток трансформатора;
- комутаційні перенапруги;
- помилкові дії персоналу.

Всі перелічені вище причини можуть призвести до відмови роботи електрообладнання, що призводить до аварій і тяжких наслідків, аж до порушення нормального режиму роботи великої ділянки електричної мережі.

Розподіл причин ушкодження електрообладнання, що призводять до його відмови представлено на рис 3.1 [12].

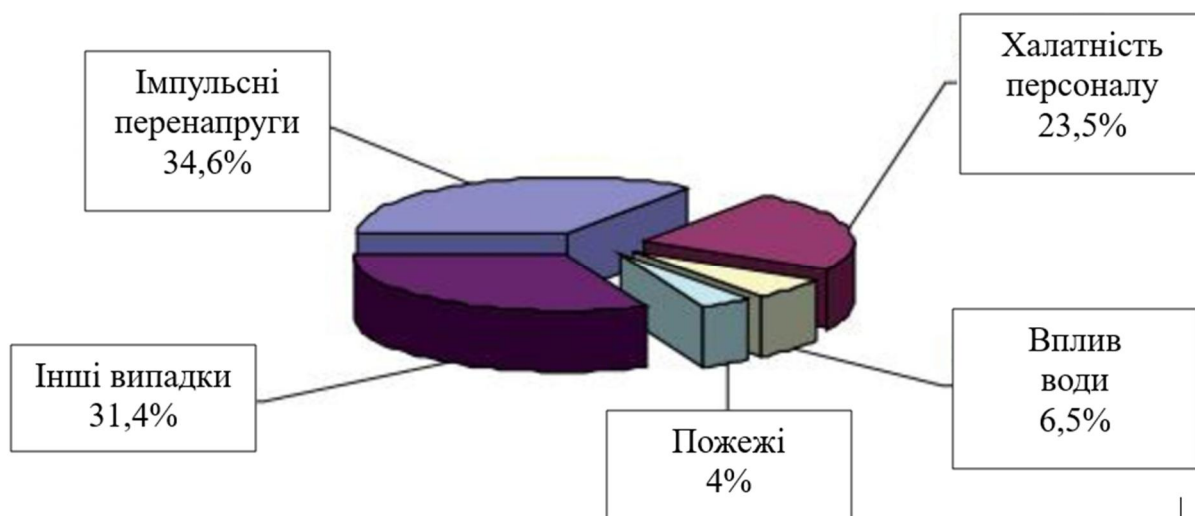


Рисунок 3.1 – Розподіл причин пошкодження електрообладнання, що призводять до його відмови

Існують статистичні дані [13] щодо розподілу технологічних порушень щодо елементів електричної мережі, представлені на рис 3.2.

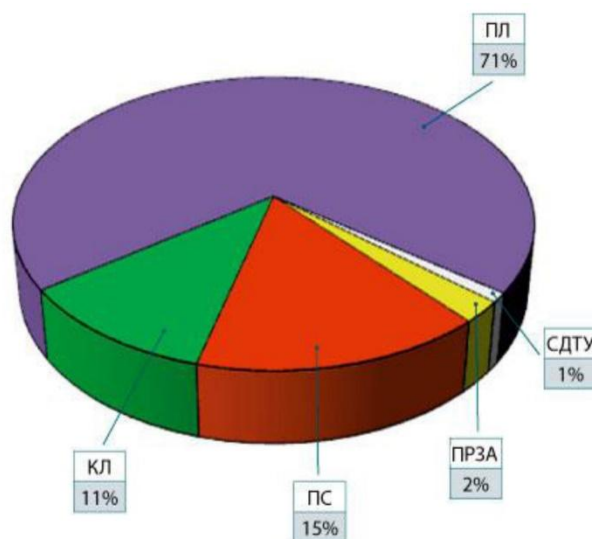


Рисунок 3.2 – Діаграма розподілу технологічних порушень, що призводять до відмов у роботі з основними елементами електричних мереж

Із загальної кількості відмов електрообладнання електричних мереж всіх рівнів напруги на електрообладнання напругою 0,4–10 кВ доводиться до 70–75% відмов.

Аварії на трансформаторних підстанціях мають несподіваний характер і, як правило, більшою мірою призводять до значної економічної шкоди. Тому аналіз, розрахунок та кількісна оцінка ризику виникнення аварій є досить новою та надзвичайно актуальною темою.

Відповідно до Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки [14] під ризиком аварії розуміється міра небезпеки, що характеризує можливість виникнення аварії на небезпечному виробничому об'єкті та тяжкість її наслідків.

Завдання аналізу ризику аварій зводиться до систематичного використання всієї доступної інформації визначення небезпек і оцінки ризику можливих небажаних подій.

Отримані результати аналізу ризику можуть бути використані при обґрунтуванні технічних рішень щодо безпеки, страхування, економічного аналізу безпеки.

Таким чином, оцінка ризику аварії - це процес, необхідний для визначення ймовірності (або частоти) та ступеня тяжкості наслідків реалізації небезпек аварій для здоров'я людини, майна чи навколишнього природного середовища.

Оцінка ризику включає аналіз ймовірності (або частоти), аналіз наслідків та їх поєднання.

Кількісною характеристикою ризику є функція від частоти аварій та очікуваної шкоди.

Аварійний ризик обчислюється в одиницях збитків, віднесених на час [13].

Співвідношення для прогнозування оцінок аварійного ризику представлено у виразі:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Оцінка} \\ \text{аварійного} \\ \text{ризик} \end{array} \right] = \sum \left[\begin{array}{c} \text{Частота} \\ \text{аварійного} \\ \text{процесу} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{Шкода від} \\ \text{аварійного} \\ \text{процесу} \end{array} \right].$$

Статистичні дані, отримані в ході експлуатації електричного обладнання різного призначення, показують, що фізичне зношування та інтенсивність відмов елементів істотно змінюються в різні періоди експлуатації.

Класична залежність інтенсивності відмов λ елементів складних систем від терміну служби представлена на рис 3.3.



Рисунок 3.3 – Загальний вид залежності інтенсивності відмов елементів.

Таким чином, як видно з рис. 3.3, найбільша інтенсивність відмов електрообладнання спостерігається в період початкової експлуатації обладнання – приробітку ($0 < t < t_1$). Цей період охоплює момент виходу обладнання з цехів заводу ($t = 0$) і характеризується високою інтенсивністю відмов, що поступово падає. Дані відмови обумовлені технологічними, виробничими або конструкційними недоліками, властивими як самому виробу, так і виробництву, а також необхідністю правильного монтажу та встановлення, налаштування з урахуванням усіх факторів сумісності, а також у період старіння, що пояснюється зносом обладнання.

У період нормальної експлуатації ($t_1 < t < t_2$) відмов обладнання мало спостерігається, тобто інтенсивність відмов обладнання практично зведена до 0. У цей період можуть відбуватися раптові відмови, які мають випадковий характер. Регулярність подій у період нормальної експлуатації немає. Закон розподілу відмов у період експоненціальний.

У періоді старіння та зносу ($t > t_2$) спостерігається різке збільшення інтенсивності відмов, що обумовлено інтенсивним зносом та старінням, незворотними фізико-хімічними процесами у матеріалах, з яких виготовлені елементи та їх частини.

3.3 Методика розрахунку ризику відмов електрообладнання на ТП

Оцінка ризику відмов електрообладнання переважно пов'язана з оцінкою травмування людей, екологічними наслідками та матеріальними збитками.

Ризик відмов електрообладнання є імовірнісною величиною.

Отже, ризик виникнення аварій характеризується двома показниками: ймовірністю несприятливого події та наслідками, тобто. шкодою, за його наступі [15].

Окремо виділяють та розглядають ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови.

Ймовірність безвідмовної роботи – це ймовірність того, що час безвідмовної роботи T буде більшим за час експлуатації t :

$$p(t) = P(T > t)$$

Можна уявити цю залежність у вигляді кривої, показаної на рис. 3.4.

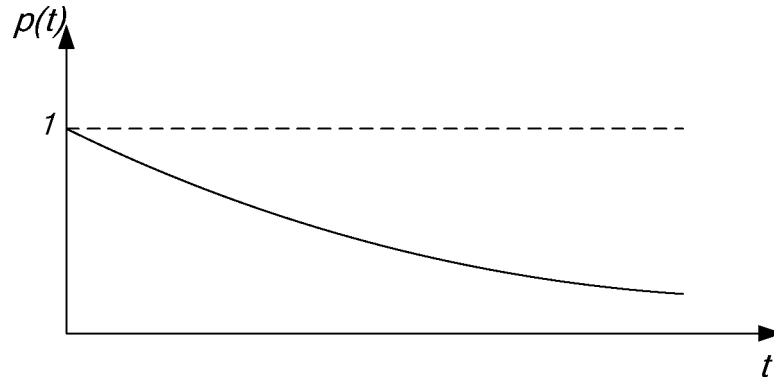


Рисунок 3.4 – Крива ймовірності безвідмовної роботи

З визначення та графіка очевидно, що $p(t)$ – не зростаюча функція часу не більше від 0 до 1, тобто $p(0) = 1$, $p(\infty) = 0$.

Найбільш зручною характеристикою є можливість відмови $q(t)$, що визначається як протилежна подія, тобто. це ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відбудеться хоча б одна відмова. Або ж це ймовірність того, що час безвідмовної роботи T буде меншим за час експлуатації t :

$$Q(t) = 1 - p(t) = P(T < t)$$

Ймовірність відмови визначається також як функція розподілу випадкової величини напрацювання до відмови (або на відмову).

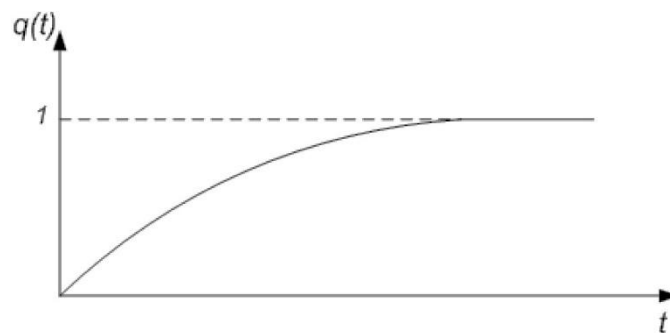


Рисунок 3.5 – Крива ймовірності відмов.

Частота відмов $a(t)$ - диференціальна функція розподілу або щільність розподілу ймовірностей, тобто часу роботи елемента до відмови - відношення числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до початкового числа випробуваних елементів.

Імовірнісне визначення $a(t)$:

$$a(t) = q'(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dp(t)}{dt}$$

Таким чином, наочно видно, що знаючи величину частоти відмов електрообладнання, можна обчислити і можливість безвідмовної роботи та її характеристики.

Випадків відмови електрообладнання на ТП-10/0,4 кВ немає, тому розрахунок ризику відключення електрообладнання буде зроблено не на основі статистичних даних, а матиме аналітичний характер і проводитиметься за допомогою табличних величин та необхідних паспортних даних електрообладнання.

Ризик відмов електрообладнання обчислюється за виразом:

$$P_{BE} = Q(t) \cdot B_{ВД}$$

де P_{BE} – ризик відмови електрообладнання;

$Q(t)$ – можливість відмови електрообладнання;

$B_{ВД}$ – важливість відмови електрообладнання.

Приймемо, що все обладнання постійно перебуває в експлуатації та працює з номінальною величиною завантаження. Тоді величину ймовірності відмов електрообладнання розрахуємо за статистичними значеннями інтенсивності відмов за поданою формулою:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

де $Q(t)$ – ймовірність відмови електрообладнання;

λ – інтенсивність відмови електрообладнання;

t – час зносу обладнання з номінальним навантаженням.

Варто зазначити, що значення ймовірності відмов у електрообладнання будуть різними, залежно від величини напрацювання.

Характеризується величина виробітку ресурсу електрообладнання коефіцієнтом напрацювання K_H , що визначається за формулою:

$$K_H = \frac{K_{\text{ресурс}} - K_{\text{експл.}}}{K_{\text{ресурс}}}$$

де $K_{\text{ресурс}}$ – нормативний ресурс обладнання;

$K_{\text{експл.}}$ – величина виробітку ресурсу обладнанням за термін експлуатації.

Таким чином, ймовірність відмови різних видів електрообладнання залежить від величини виробітку ресурсу за період експлуатації.

3.4 Розрахунок ризику відмови роботи обладнання на ТП-10/0,4 кВ

Визначимо коефіцієнт напрацювання трансформатора, використовуючи його каталожні дані. Так як на ТП-10/0,4 кВ встановлені два однакові трансформатори $TM - 400\text{кВА}$, то немає потреби розраховувати ризик для кожного окремо:

$$K_H = \frac{40 - 38}{40} = 0,05 \text{ в.о.}$$

Час зносу електрообладнання – це розрахунковий час, який менше періоду експлуатації, протягом цього часу, вважається, що обладнання працювало постійно з номінальним навантаженням протягом.

Виходячи з цього припущення визначається еквівалентний час зносу обладнання з номінальним навантаженням:

$$t = \frac{35}{40} = 0,875 \text{ в.о.}$$

З обліком напрацювання ресурсу величина ймовірності відмов визначається за виразом:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda K_H},$$

Отримаємо:

$$Q(t) = 1 - e^{-0.091 \cdot 0,05 \cdot 0,8756} = 0,39 \text{ в.о.}$$

Визначено ймовірність відмови трансформатора, тепер можливо визначити ризик відмови трансформатора, враховуючи, що важливість відключення для масляного трансформатора приймається рівною наступному значенню – $B_{ВИМ} = 0,76 \text{ в.о.}$

$$P_{EO} = 0,39 \cdot 0,76 = 0,296 \text{ в.о.}$$

Таким чином, переводячи ризик відмови силового трансформатора $ТМ - 400 \text{ кВА}$ до відсоткового співвідношення, становить 29,6%.

Визначимо можливість безвідмовної роботи для автоматичного вимикача.

Інтенсивність відмов згідно з табличними даними – $\lambda = 0,29 \frac{1}{\text{рік}}$ [16].

Тоді ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-10 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,99 \text{ в.о.}$$

Тепер визначаємо можливість відмови для автоматичного вимикача:

$$Q(t) = 1 - 0,99 = 0,01 \text{ в.о.}$$

Таким чином, можна розрахувати ризик відключення автоматичного вимикача, враховуючи коефіцієнт важливості відключення – $B_{ВИМ} = 0,729 \text{ в.о.}$

У відсотковому вираженні ризик відключення автоматичного вимикача $АВМ - 630$ становить приблизно 0,7% .

На ТП-10/0,4 кВ встановлені трансформатори струму типу $ТШП - 300 / 5$.

Інтенсивність відмов приймаємо за табличними даними – $\lambda = 0,29 \frac{1}{\text{рік}}$

[16].

Імовірність безвідмовної роботи трансформатора струму визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-10 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,62 \text{ в.о.}$$

Тепер визначаємо можливість відмови для автоматичного вимикача:

$$Q(t) = 1 - 0,62 = 0,38 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо ризик відключення трансформатора струму, приймаючи коефіцієнт важливості відключення $B_{ВИМ} = 0,39$ в.о.:

$$P_{EO} = 0,48 \cdot 0,39 = 0,186 \text{ в.о.}$$

У відсотковому вираженні ризик відключення автоматичного вимикача ТШП – 300/5 становить приблизно 18,6%.

На ТП-10/0,4 кВ встановлені запобіжники типу ПН – 400 для захисту силових та допоміжних ланцюгів електроустановок при перевантаженнях та коротких замиканнях.

Інтенсивність відмов приймаємо за табличними даними – $\lambda = 0,8 \frac{1}{\text{рік}}$ [16].

Імовірність безвідмовної роботи трансформатора струму визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-10 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,85 \text{ в.о.}$$

Тепер визначимо можливість відмови для автоматичного вимикача:

$$Q(t) = 1 - 0,85 = 0,15 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо ризик відключення трансформатора струму, приймаючи коефіцієнт важливості відключення $B_{ВИМ} = 0,21$ в.о.:

$$P_{EO} = 0,15 \cdot 0,21 = 0,031 \text{ в.о.}$$

У відсотковому вираженні ризик відключення автоматичного вимикача ПН – 400 становить приблизно 3,15%.

Приймемо кабельну лінію напругою 10 кВ, що проходить від РП до ТП-10/0,4 кВ, що працює 10 років. Для визначення ймовірності безвідмовної роботи КЛ розглянемо два варіанти:

- 1) середній час відновлення лінії становить 24 години;
- 2) лінія не підлягає відновленню.

Варіант 1.

Параметр потоку відмов за довідковими даними становить $\omega = 0,20 \frac{1}{\text{рік}}$

Знаючи час відновлення, що дорівнює 24 години, визначимо інтенсивність відновлення за формулою:

$$\mu = \frac{8760}{t_B} = \frac{8760}{24} = 365 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Імовірність безвідмовної роботи для першого варіанта розраховується за формулою:

$$P(t) = \frac{\mu}{\omega + \mu} \cdot \left(1 + \frac{\omega}{\mu} \cdot \exp[-t \cdot (\omega + \mu)] \right) /$$

Щодо поставлених умов розрахунку отримано:

$$P(10) = \frac{365}{0,2 + 365} \cdot \left(1 + \frac{0,2}{365} \cdot \exp[-10 \cdot (0,2 + \mu) 365] \right) = 0,8995 \text{ в.о.}$$

Тоді ймовірність відмови для кабельної лінії становить:

$$Q(t) = 1 - 0,8995 = 0,1005 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо ризик відключення кабельної лінії, приймаючи коефіцієнт важливості відключення $B_{ВИМ} = 0,512 \text{ в.о.}$

$$P_{EO} = 0,1005 \cdot 0,512 = 0,486 \text{ в.о.}$$

У відсотковому вираженні ризик відключення КЛ напругою 10 кВ становить приблизно 4,9% .

Варіант 2.

Для другого варіанта необхідно використовувати простішу формулу:

$$P(t) = e^{-10 \cdot 0,2} = 0,368 \text{ в.о.}$$

Тоді ймовірність відмови для кабельної лінії становить:

$$Q(t) = 1 - 0,368 = 0,632 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо ризик відключення кабельної лінії, приймаючи коефіцієнт важливості відключення $B_{ВИМ} = 0,512 \text{ в.о.}$

$$P_{EO} = 0,632 \cdot 0,512 = 0,319 \text{ в.о.}$$

У відсотковому вираженні ризик відключення КЛ напругою 10 кВ становить приблизно 31,9% .

Тобто. як видно з розрахунку, відсутність відновлення кабельної лінії за заданих умов знижує надійність енергопостачання споживачів на 62,3% , при цьому підвищуючи ризик виходу з ладу до 31,9% .

Інтенсивність відмов приймаємо за табличними даними – $\lambda = 3,1 \frac{1}{\text{рік}}$
[16].

Ймовірність безвідмовної роботи повітряної лінії:

$$P(t) = e^{-10 \cdot 3,1 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,78 \text{ в.о.}$$

Тепер визначаємо ймовірність відмови повітряної лінії:

$$Q(t) = 1 - 0,78 = 0,22 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо ризик відключення повітряної лінії, приймаючи коефіцієнт важливості відключення $B_{ВИМ} = 0,63 \text{ в.о.}$

$$P_{EO} = 0,22 \cdot 0,63 = 0,138 \text{ в.о.}$$

У відсотковому вираженні ризик відключення ПЛ напругою 10 кВ становить приблизно 13,8% .

3.5 Висновки до розділу 3

В даному розділі проведено аналіз отриманих результатів з оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ та здійснено розробку рекомендацій щодо її нормалізації.

Проведено аналіз та оцінка ризику відмови електрообладнання на трансформаторній підстанції.

Здійснено розрахунки ризику відмови роботи основного електричного обладнання на ТП-10/0,4 кВ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Безпека праці електромонтера по обслуговуванню трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів

До робіт на трансформаторних підстанціях і в розподільних пунктах пред'являються підвищені вимоги у безпеці праці. Ще до призначення на самостійну роботу електромонтерові необхідно пройти навчання безпечним методам праці, ввідний інструктаж по безпеці праці, первинний інструктаж на робочому місці, первинну перевірку знань ПТБ, ПТЕ, правил пожежної безпеки і інструкцій в об'ємі необхідному для цієї професії, дублювання в течії декількох змін під керівництвом досвідченого наставника. І тільки після проходження усіх східців підготовки електромонтер може приступити до самостійної роботи.

В процесі роботи електромонтер по обслуговуванню трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів повинен проходити повторні інструктажі (не рідше за 1 раз в місяць), спеціальну підготовку (не рідше за 1 раз в місяць), контрольне протиаварійне тренування (не рідше за 1 раз в 3 місяці), контрольне протипожежне тренування (не рідше за 1 раз в підлогу року), періодичну перевірку знань ПТБ, ПТЕ, правил пожежної безпеки і інструкцій (1 раз на рік), а також медичний огляд - 1 раз в 2 роки.

Велике значення надається екіпіровці. Це спеціальний одяг і взуття, захисна каска, протигаз, захисна маска або окуляри, а у разі потреби - запобіжний монтерський пояс. Особлива розмова про інструменти. Вони мають бути справні і знаходитися на своїх місцях.

Інструмент з ізолюючим руків'ям в процесі експлуатації піддається періодичним електричним випробуванням. Захисні засоби мають бути випробувані і мати штамп з вказівкою терміну придатності. Електромонтерові необхідно пам'ятати, що від справності приладів і інструментів, спецодягу і пристосувань залежить його життя.

Майстерня ділянки - це постійне робоче місце електрика. Тут треба дотримуватися порядку, усьому має бути своє місце. Перед початком роботи необхідно прибрати зайві предмети, відрегулювати місцеве освітлення так, щоб робоча зона була досить освітлена, але, при цьому, світло не зліпило ока.

Основна робота, яка проводиться на трансформаторній підстанції, - це планово-запобіжні ремонти, періодичні і позачергові огляди. Більшість робіт по профілактичному обслуговуванню і ремонту трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів здійснюються з відключенням електроустаткування.

Ці роботи вимагають ретельно підготовки робочого місця, при якій мають бути виконані організаційні і технічні заходи, спрямовані на безпечне виконання робіт. Для цього майстер оформляє наряд з призначенням відповідальних осіб за безпечне виконання робіт. Залежно від групи по електробезпеці, досвіду, досвіду електроустановки і складності схеми електрик може бути призначений в якості того, що допускає, виконавця робіт або члена бригади.

Що допускає або виконавець робіт отримавши від майстра наряд або усне розпорядження знаками бригаду зі змістом роботи, залежно від якої підбираються необхідні спецодяг, захисні засоби, інструменти, пристосування і матеріали. Підготувавши усе необхідне бригада вирушає до місця проведення робіт.

По прибуттю на місце бригада отримує дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск від чергового. Ні в якому разі не можна давати такий дозвіл заздалегідь. Дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск оформляється в наряді. Підготовку робочого місця робить той, що допускає спільно з виконавцем робіт.

Для підготовки робочого місця при роботі що вимагає зняття напруги необхідно зробити вказані в наряді перемикання в електроустановці. У електроустановках з кожного боку звідки може бути подана напруга на робоче місце має бути видимі розрив, що утворюється від'єднанням шин і дротів, відключенням комутаційних апаратів, зняттям запобіжників. Усі відключення тут виконують в діелектричних рукавичках.

Знімати і встановлювати запобіжники слідуює при знятій напрузі, але якщо обставини не дозволяють зробити це, то необхідно скористатися ізолюючими кліщами, штангою із застосуванням рукавичок і захисних окулярів. Після того, як комутаційна апаратура відключена необхідно вжити заходи, що перешкоджають її мимовільному включенню, тобто вимикачі навантаження, ручні приводи у відключеному стані закриваються на замок.

Після виконаних вище дій, необхідно перевірити справність показчика напруги за допомогою спеціальних приладів або струмоведаччих частин тих, що свідомо знаходяться під напругою, а потім за допомогою його ще раз переконатися у відсутності напруги.

У електроустановках напругою більше 1000 В використати показчик напруги необхідно в діелектричних рукавичках. У електроустановках понад 1000 В перевіряти відсутність напруги дозволяється одному працівникові з чергового або оперативно-чергового персоналу з 4 групою по електробезпеці, а в електроустановках до 1000 В з 3 групою. Тут для перевірки відсутності напруги можна використати двополюсний показчик фазної і лінійної напруги.

Електроустановка заземляється шляхом включення заземляючих ножів або установкою переносних заземлень. Їх спочатку приєднують до заземляючого пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановлюють на струмоведаччі частини.

У електроустановках понад 1000 В заземлення встановлюються двома працівниками - одним з 4 групою по електробезпеці з числа оперативного персоналу, іншим з 3 групою по електробезпеці. Застосування діелектричних рукавичок і ізолюючої штанги обов'язкове! Затиски переносних заземлень слід закріплювати за допомогою штанги або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках.

На підготовлених робітниках місцях вивішуються плакати "Працювати тут". Що залишилися під напругою струмоведаччі частини захищаються і вивішуються плакати "Стій. Напруга".

Отже, підготовка робочого місця закінчена. Первинний допуск бригади по нарядах і розпорядженнях повинен проводитися безпосередньо тут же на робочому місці. При цьому той, що допускає зобов'язаний перевірити відповідність складу бригади вказаному в наряді по іменних посвідченнях, довести бригаді відсутність напруги, показом заземлень або перевіркою відсутністю напруги і подальшим дотиком рукою до токоведущим частин якщо заземлення не видно з робочого місця, провести цільовий інструктаж виконавцеві робіт, що спостерігає і членам бригади, що передбачає вказівки по безпечному виконанню конкретної роботи.

Виконавець робіт зі свого боку також повинен провести цільовий інструктаж членам бригади. Без проведення цільового інструктажу і реєстрації його в наряді при первинному допуску до роботи забороняється. Допуск оформляється таким, що допускає і виконавцем робіт в наряді з вказівкою дати і часу. Після допуску нагляд за дотриманням бригадою вимог безпеки покладається на виконавця робіт. Він повинен вести контроль за бригадою, знаходиться, по можливості, на ділянці робочого місця, де ведеться найбільш небезпечна робота.

Після повного закінчення роботи по наряді виконавець робіт повинен видалити бригаду з робочого місця, спільно з тим, що допускає зняти встановлені обгороджування, плакати, заземлення. Повне закінчення робіт оформляється в наряді. Після цього, слід повідомити працівника, що видав дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск про повне закінчення роботи для можливості включення електроустановки.

Включення електроустановки виконує з числа оперативного і оперативно-ремонтного персоналу, що входить в склад бригади. Це може бути особа, що дає допуск або виконавець робіт. Після цього необхідно прибути в диспетчерську і здати наряд, а після закінчення робочого дня привести в порядок майстерню і спецодяг.

4.2 Принципи і заходи підвищення стійкості функціонування об'єктів економіки

Доцільною межею підвищення стійкості може вважатися значення параметра вражаючого чинника, що викликає такі міри і характер руйнувань (ушкоджень) на об'єкті, при яких його відновлення буде реальним. Наприклад, якщо основний цех об'єкту при $\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа отримає руйнування, при яких випуск продукції не може бути налагоджений, то підвищення стійкості інших елементів об'єкту вище за цю межу недоцільно. Межу стійкості об'єкту необхідно підвищувати саме до межі стійкості цього цеху. Проте якщо доведеться при цьому підвищувати межі стійкості багатьох елементів, що зажадає значних матеріальних витрат, то доцільну межу необхідно зменшити.

Перерахуємо основні принципи підвищення стійкості — функціонування промислових об'єктів.

1. Стійкість об'єкту має бути такою, щоб забезпечувалося його функціонування як у військовий, так і в мирний час в умовах НС природного і техногенного характеру з обліком можливості терористичних дій.

2. Підвищення стійкості функціонування повинне здійснюватися на усіх об'єктах незалежно від їх форми власності і профілю.

3. Усі заходи по підвищенню стійкості функціонування об'єкту повинні здійснюватися завчасно.

4. Планування і здійснення заходів по підвищенню стійкості функціонування об'єктів повинні проводитися з урахуванням економічних, природних особливостей території і міри реальної небезпеки виникнення НС.

5. Підвищення стійкості функціонування об'єктів повинне здійснюватися силами і засобами об'єктів, міністерств і відомств, органів місцевого самоврядування, органів виконавчої влади. При недоліку вказаних сил і засобів притягуються сили і засоби державного рівня.

6. Підвищення стійкості об'єкту повинне забезпечити рівностійкість усіх елементів об'єкту.

7. Підвищення стійкості об'єкту повинне здійснюватися до доцільної межі.

На основі цих принципів розробляються заходи підвищення стійкості функціонування об'єкту.

Стійкість об'єкту підвищується:

— шляхом збільшення надійності системи захисту робітників і службовців об'єкту;

— підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкту (його фізичній стійкості);

— виключення або обмеження ураження від вторинних чинників;

— забезпечення надійності управління і матеріально-технічного постачання;

— підготовки об'єкту до відновлення.

Організаційні заходи включають підтримку в постійній готовності системи сповіщення; будівництво на об'єкті притулків для укриття найбільшої працюючої зміни у військовий час і ПРУ в заміській зоні для відпочиваючої зміни і членів сімей робітників і службовців. Плануються і виконуються підготовчі роботи (створюються запаси будівельних матеріалів і конструкцій) по будівництву БВУ на об'єкті і ПРУ в заміській зоні. Виробничий персонал і членів їх сімей готують до розосередження і евакуації в заміську зону. На об'єкті накопичують, зберігають і підтримують в готовності ЗІЗ. Робітників і службовців навчають діям з сигналів сповіщення, формування ЦЗ готують до проведення аварійно-рятувальних і інших невідкладних робіт.

Інженерно-технічні заходи включають себе ряд дій. У промислових будівлях масивні перекриття міняють на легші; а важкі дахи — на м'яку покрівлю з вогнетривких матеріалів. Низькі промислові будівлі обваловують землею, посилюють стіни, встановлюють додаткові опори для перекриттів. Високі споруди (колони, етажерки, вишки та ін.) встановлюють на потужніші фундаменти, закріплюють їх відтяжками, «здатними витримати швидкісний натиск ударної хвилі. Надійно кріплять трубопроводи, укладені на естакадах, зміцнюють естакади урівноважуючими розтяжками. Влаштовують підземні

сховища для ємностей з отруйними і легкозаймистими речовинами, заглиблюють їх в ґрунт або обваловують, встановлюють ребра жорсткості для підвищення механічної міцності місткостей. Розміщують важке устаткування на нижніх поверхах, міцно закріплюють верстати на фундаментах. Найбільш цінне і нестійке до ударів устаткування розміщують у будівлях з підвищеними характеристиками міцності або в спеціальних захисних спорудах, а менше цінне устаткування — у будівлях павільйонного типу, що окремо стоять, руйнування яких не вплине на його збереження. Комунально-енергетичні мережі і технологічні комунікації заглиблюють або розміщують на низьких естакадах і обваловують ґрунтом. У вибухонебезпечних приміщеннях встановлюють пристрої, що локалізують вибух (панелі, вибухові клапани та ін.). Легкозаймісті конструкції просочують вогнетривкими розчинами, фарбують і обмазують різними запобіжними і вапняними розчинами. Створюють дублюючі джерела електроенергії, води, пара, газу. Також здійснюються технологічні заходи. Максимально скорочують час на зупинку процесу виробництва або підготовку до переходу на знижений режим роботи. Розробляють технологічний процес, що передбачає у військовий час заміну отруйної і легкозаймистої сировини менш отруйним і менш горючим. Розробляють і будують установки по утилізації факельних скидань, що дозволяють забезпечити світломаскування і безаварійну зупинку підприємства. Проводять заходи по запобіганню розливу отруйних і горючих речовин при ушкодженні сховищ і комунікацій. 225 Скорочують запаси сировини і зберігають його поза підприємством в цистернах на спеціальних майданчиках. Видаляють склади від основних цехів на 1,5-3,0 км, використовують для зберігання і укриття сировини підземні і напівпідземні сховища. Розосереджують запаси сировини і готової продукції, окремо зберігають речовини, які утворюють вибухонебезпечні, самозаймісті суміші і шкідливі гази. Створюють запаси дегазуючих речовин поблизу сховищ небезпечних шкідливих речовин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній роботі проведено аналіз відхилення напруги в мережі 0,4 кВ, та здійснено розробку рекомендацій щодо нормалізації параметрів відхилення напруги.

Отримані наступні результати:

- Здійснено аналіз показників якості електричної енергії та їх нормування. Доведено, що будь-яке відхилення напруги від встановленого номінального значення електричної мережі є негативним.
- Представлено причини низької якості електричної енергії та вплив параметрів електроенергії на роботу електрообладнання.
- Проведено аналіз засобів та способів, а також обґрунтовано необхідність регулювання напруги в мережах 10 кВ. Подано можливі способи зміни та регулювання режиму напруги та їх використання при експлуатації.
- Дано опис трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ.
- Здійснено аналіз характеристик та розглянуто принцип роботи приладу для вимірювання ПЯЕ «Metrel MI 2892».
- Проведено зняття показів ПЯЕ на ТП-10/0,4 кВ, за допомогою приладу «Metrel MI 2892». Представлено результати даних ПЯЕ на ТП-10/0,4 кВ.
- Проведено аналіз отриманих результатів з оцінки якості напруги на ТП-10/0,4 кВ та здійснено розробку рекомендацій щодо її нормалізації.
- Представлено аналіз та оцінку ризику відмови електрообладнання на трансформаторній підстанції.
- Здійснено розрахунки ризику відмови роботи основного електричного обладнання на ТП-10/0,4 кВ.

Як рекомендації щодо нормалізації якості електроенергії пропонується сезонне регулювання напруги за допомогою ПБЗ, раціональний розподіл навантажень по фазах, застосування компенсуючого пристрою на шини низької напруги.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Isakov, A. J., & Abdullaev, Z. S. (2020, December). Study on increase of operation efficiency of electrical energy and electrical equipment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
2. Kusko A., Thompson M. Power Quality in electrical networks. DodekaXXI, 2010, 336 p.
3. ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT)
4. Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування // PATRIOT-NRG. Міжнародний портал з енергозбереження [Веб-сайт]. - Київ. - URL: <https://patriot-nrg.com/content/yakist-elektroenergiyi-ta-yiyi-vplyv-na-elektrospozhyvannya-i-nadiynist-roboty> (дата звернення: 23.10.2023).
5. Закон України «Про енергетичну ефективність»: Закон №1818-IX від 21.10.2021. База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 23.10.2023).
6. Аналіз якості електроенергії // SATEC Ltd [Веб-сайт]. - Київ. - URL: <https://www.satec-global.com.ua/analiz-yakosti-elektroenergi/> (дата звернення: 25.10.2023).
7. Володарський Є.Т. Система моніторингу якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання / Є.Т. Володарський, А.В. Волошко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №. 318 (69). – С. 10–18.
8. . Буняк, О., Бабюк, С., & Сисак, І. (2019). Інтелектуальний пристрій автоматичного регулювання параметрів електомережі. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій “присвячена 80-ти річчю з дня народження професора ЯІ Проця, 268-270.

9. Тютюнник, Н.Л. Аналіз пристроїв регулювання напруги / Н.Л. Тютюнник, Г.О. Шеїна // Наукові праці ДонНТУ : Всеукр. наук. зб. – Покровськ, 2020. – Серія : Електротехніка і енергетика. - № 2(23). – С. 44-47.
10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
11. Клочков, І. О. (2023). Підвищення енергоефективності електротехнологічних комплексів шляхом компенсації реактивної потужності (Bachelor's thesis, КПІ ім. Ігоря Сікорського).
12. Матеєнко, Ю. П., & Петрівський, М. М. (2019). МЕТОДИ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики", 193-195.
13. Михайлів, Я. А. АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ. II НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ МАГІСТРАНТІВ ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ пам'яті професора, 51.
14. Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Наказ міністерство праці та соціальної політики України від 4 грудня 2002 року N 637.
15. Березуцький В.В. , Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
16. Казанський, С. В. Надійність електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, Б. М. Сердюк ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 6,95 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с.

17. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : Державні будівельні норми і правила // ДП "Укрархбудінформ". Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 169 с.
18. Технічна політика: Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2014. 250 с.
19. М.С. Сегеда «Електричні мережі та системи». Підручник - Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.
20. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.
21. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 2, 82-83.
22. Design of an intelligent system to control educational laboratory equipment based on a hybrid mini-power plant. Orobchuk, B., Buniak, O., Babiuk, S., Sysak, I. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2(9-122), pp. 59–72. ISSN 1729-3774
23. Orobchuk B., Sysak I., Babiuk S., Rajba T., Karpinski M., Klos-Witkowska A., Szkarczyk R., Gancarczy J. Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). IEEE, Buharest, vol. 1, September 2017, pp. 210–214.
24. 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.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Результати випробувань електричної енергії з відхилення напруги за добу, (у %).

Добовий режим навантаження									
Вимірювальна характеристика	Результат вимірювань	Нормативне значення	T ₁	T ₂	Вимірювальна характеристика	Результат вимірювань	Нормативне значення	T ₁	T ₂
Прямі послідовності					Фаза «А»				
δU_H	0.00	-5.0%	-		δU_H	-6.52	-5.0%	39.70	
δU_B	0.00	+5.0%			δU_B	5.22	+5.0%		
δU_{HM}	0.00	-10.0%		-	δU_{HM}	-9.50	-10.0%		0.00
δU_{Hb}	0.00	+10.0%			δU_{Hb}	7.38	+10.0%		
Фаза «В»					Фаза «С»				
δU_H	-4.56	-5.0%	29.34		δU_H	-13.42	-5.0%	20.55	
δU_B	3.94	+5.0%			δU_B	-1.00	+5.0%		
δU_{HM}	-6.75	-10.0%		0.00	δU_{HM}	-21.38	-10.0%		0.11
δU_{Hb}	6.15	+10.0%			δU_{Hb}	6.27	+10.0%		
Похибка вимірювань									
Позначення			Результат			Нормативне значення			
$\Delta_{\delta U}$			± 0.20			0.50			

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$\delta U_H \geq \delta U_H^{(норм)}, \delta U_B \leq \delta U_B^{(норм)}, \delta U_{HM} \geq \delta U_{HM}^{(норм)}, \delta U_{Hb} \leq \delta U_{Hb}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

Таблиця А.2 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом викривлення синусоїдальності кривої напруги (у %).

Вимірювальна характеристика	Фаза «А»			Фаза «В»			Фаза «С»			Нормативне значення
	Результат вимірювань	T ₁	T ₂	Результат вимірювань	T ₁	T ₂	Результат вимірювань	T ₁	T ₂	
K _{UB}	6.88	0.00		42.81	0.01		95.11	0.02		8.00
K _{U_{Hb}}	7.11		0.00	44.97		0.01	100.00		0.02	12.00
Похибка вимірювань										
Позначення			Результат			Нормативне значення				
Δ_{Ku}			± 5.0			± 10.0				

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$K_{UB} \leq K_{UB}^{(норм)}, K_{UHb} \leq K_{UHb}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

Таблиця А.3 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруг по зворотній послідовності (у %).

Вимірювальна характеристика	Результат вимірювань	Нормативне значення	T ₁	T ₂
K _{2U_B}	59.49	2.0	0.02	
K _{2U_{нб}}	62.62	4.0		0.02
Похибка вимірювань				
Позначення	Результат	Нормативне значення		
Δ _{K_{2u}}	±0.20	0.30		

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$K_{2U_B} \leq K_{2U_B}^{(норм)}, K_{2U_{нб}} \leq K_{2U_{нб}}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

Таблиця А.4 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруги за нульовою послідовністю (у %).

Вимірювальна характеристика	Результат вимірювань	Нормативне значення	T ₁	T ₂
K _{0U_B}	4.74	2.0	42.66	
K _{0U_{нб}}	64.88	4.0		0.68
Похибки вимірювань				
Позначення	Результат	Нормативне значення		
Δ _{K_{0u}}	±0.20	0.50		

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$K_{0U_B} \leq K_{0U_B}^{(норм)}, K_{0U_{нб}} \leq K_{0U_{нб}}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

Таблиця А.5 – Результати випробувань електричної енергії щодо відхилення частоти (в Гц).

Вимірювальна характеристика	Результат вимірювань	Нормативне значення	T ₁	T ₂
Δf _н	-0.04	-0.2	0.00	
Δf _в	0.03	+0.2		
Δf _{нм}	-0.05	-0.4		0.00
Δf _{нб}	0.04	+0.4		
Похибки вимірювань				
Позначення	Результат	Нормативне значення		
Δ _{Δf}	±0.02	0.03		

Умови відповідності вимогам ДСТУ:

$$\Delta f_n \geq \Delta f_n^{(норм)}, \Delta f_v \leq \Delta f_v^{(норм)}, \Delta f_{нм} \geq \Delta f_{нм}^{(норм)}, \Delta f_{нб} \leq \Delta f_{нб}^{(норм)}, T_1 \leq 5\%, T_2 = 0$$

Таблиця А.6 – Результати випробувань електричної енергії за коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги (y %).

n	Результат вимірювань												Нормативн е значення	
	Фаза «А»				Фаза «В»				Фаза «С»					
	$K_{U(n)B}$	$K_{U(n)H}$	T_1	T_2	$K_{U(n)B}$	$K_{U(n)H}$	T_1	T_2	$K_{U(n)B}$	$K_{U(n)H}$	T_1	T_2	$K_{U(n)H}$	$K_{U(n)ПД}$
2	1.29	1.29	0.00	0.00	1.90	4.94	0.00	0.00	1.90	10.83	0.01	0.01	2.00	3.00
3	4.75	4.94	0.00	0.00	4.75	14.20	0.00	0.00	4.75	37.17	0.01	0.01	5.00	7.50
4	0.73	0.73	0.00	0.00	0.95	4.69	0.00	0.00	0.95	10.03	0.01	0.01	1.00	1.50
5	5.70	5.76	0.00	0.00	5.70	14.06	0.00	0.00	5.70	35.19	0.01	0.01	6.00	9.00
6	0.25	0.25	0.00	0.00	0.47	5.78	0.00	0.00	0.47	265.2	0.01	0.01	0.50	0.75
7	2.02	2.02	0.00	0.00	4.75	15.40	0.00	0.00	4.75	31.48	0.01	0.01	5.00	7.50
8	0.30	0.30	0.00	0.00	0.47	5.86	0.00	0.00	0.47	11.08	0.01	0.01	0.50	0.75
9	1.43	1.58	0.03	0.00	1.43	15.92	0.00	0.00	1.43	38.96	0.01	0.01	1.50	2.25
10	0.30	0.30	0.00	0.00	0.47	7.05	0.00	0.00	0.47	12.00	0.01	0.01	0.50	0.75
11	1.44	1.44	0.00	0.00	3.33	22.24	0.00	0.00	3.33	116.1	0.01	0.01	3.50	5.25
12	0.16	0.16	0.00	0.00	0.19	15.61	0.00	0.00	0.19	141.7	0.01	0.01	0.20	0.30
13	1.02	1.02	0.00	0.00	2.85	8.29	0.00	0.00	2.85	92.35	0.01	0.01	3.00	4.50
14	0.06	0.06	0.00	0.00	0.19	7.52	0.00	0.00	0.19	12.99	0.01	0.01	0.20	0.30
15	0.59	0.80	40.85	13.91	-19.74	24.56	1.50	0.00	36.70	73.70	33.67	19.59	0.30	0.45
16	0.08	0.08	0.00	0.00	0.19	5.66	0.00	0.00	0.19	10.89	0.01	0.01	0.20	0.30
17	0.60	0.60	0.00	0.00	1.90	20.21	0.00	0.00	1.90	61.57	0.01	0.01	2.00	3.00
18	0.19	0.19	0.00	0.00	0.19	5.08	0.00	0.00	0.19	10.83	0.01	0.01	0.20	0.30
19	0.49	0.49	0.00	0.00	1.43	14.22	0.00	0.00	1.43	47.75	0.01	0.01	1.50	2.25
20	-0.16	0.52	1.09	0.41	0.19	2.90	0.16	0.00	0.19	12.88	0.01	0.01	0.20	0.30
21	0.41	0.57	28.01	13.59	0.21	11.78	5.66	0.02	0.21	29.96	5.81	0.69	0.20	0.30
22	0.18	0.18	0.00	0.00	0.19	9.25	0.00	0.00	0.19	21.37	0.01	0.01	0.20	0.30
23	0.17	0.17	0.00	0.00	1.43	13.78	0.00	0.00	1.43	24.42	0.01	0.01	1.50	2.25
24	0.03	0.03	0.00	0.00	0.19	3.70	0.00	0.00	0.19	24.19	0.01	0.01	0.20	0.30
25	0.17	0.17	0.00	0.00	1.43	10.43	0.00	0.00	1.43	15.78	0.01	0.01	1.50	2.25
26	0.03	0.03	0.00	0.00	0.19	7.69	0.00	0.00	0.19	8.26	0.01	0.01	0.20	0.30
27	0.10	0.10	0.00	0.00	0.19	7.82	0.00	0.00	0.19	19.26	0.01	0.01	0.20	0.30
28	0.03	0.03	0.00	0.00	0.19	6.83	0.00	0.00	0.19	10.62	0.01	0.01	0.20	0.30
29	0.08	0.08	0.00	0.00	1.25	3.53	0.00	0.00	1.25	16.37	0.01	0.01	1.32	1.98

n	Результат вимірювань												Нормативн е значення	
	Фаза «А»				Фаза «В»				Фаза «С»					
	$K_{U(n)B}$	$K_{U(n)H}$	T_1	T_2	$K_{U(n)B}$	$K_{U(n)H}$	T_1	T_2	$K_{U(n)B}$	$K_{U(n)H}$	T_1	T_2	$K_{U(n)H}$	$K_{U(n)пд}$
30	0.02	0.02	0.00	0.00	0.19	6.95	0.00	0.00	0.19	13.24	0.01	0.01	0.20	0.30
31	0.07	0.07	0.00	0.00	1.19	5.66	0.00	0.00	1.19	13.68	0.01	0.01	1.23	1.85
32	0.02	0.02	0.00	0.00	0.19	4.42	0.00	0.00	0.19	10.75	0.01	0.01	0.20	0.30
33	0.05	0.05	0.00	0.00	0.19	6.75	0.00	0.00	0.19	11.14	0.01	0.01	0.20	0.30
34	0.02	0.02	0.00	0.00	0.19	3.91	0.00	0.00	0.19	10.10	0.01	0.01	0.20	0.30
35	0.04	0.04	0.00	0.00	1.07	4.72	0.00	0.00	1.07	9.40	0.01	0.01	1.09	1.64
36	0.01	0.01	0.00	0.00	0.19	5.47	0.00	0.00	0.19	10.38	0.01	0.01	0.20	0.30
37	0.04	0.04	0.00	0.00	1.02	5.75	0.00	0.00	1.02	11.84	0.01	0.01	1.03	1.55
38	0.01	0.01	0.00	0.00	0.19	2.16	0.00	0.00	0.19	8.90	0.01	0.01	0.20	0.30
39	0.03	0.03	0.00	0.00	0.19	7.99	0.00	0.00	0.19	11.08	0.01	0.01	0.20	0.30
40	0.01	0.01	0.00	0.00	0.19	5.08	0.00	0.00	0.19	9.47	0.01	0.01	0.20	0.30