

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна
академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

«Інформаційна система моніторингу та управління трансформаторами
електричної підстанції »
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІВс24мг
спеціальності: 175 Інформаційно-вимірювальні
технології

_____ / Денис КАРТУЗОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / Наталія АНТОНЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

Факультет/ННІ Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

Спеціальність 175 Інформаційно-вимірювальні технології

Освітня програма Якість, стандартизація та сертифікація

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК

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

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістерського рівня вищої освіти

студенту (ці) _____ Денису КАРТУЗОВУ
(ім'я, прізвище)

1. Тема роботи «Інформаційна система моніторингу та управління трансформаторами електричної підстанції»

затверджена наказом по академії 4801-5/3664 від «06» жовтня 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «01» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Електричні параметри трансформатора. Теплові та фізичні показники. Діагностичні та аварійні сигнали. Управлінські та сервісні дані.

4. Зміст роботи (перелік питань, що їх належить розробити).

Аналіз об'єкта дослідження та постановка задачі. Призначення та принципи роботи силових трансформаторів і існуючих програмних продуктів дистанційного контролю. Огляд технологій розробки додатку, вихідні матеріали ІВ. Вибір інструментів розробки ІВ. Системи управління базами даних. Проектування інформаційної системи. Архітектура інформаційної системи. Програмна реалізація інформаційної системи. Оцінювання технічного та експлуатаційного стану трансформатора. Комплексний аналіз даних, одержаних у процесі технічної діагностики та моніторингу функціонального стану обладнання. Аналітична інтерпретація результатів, отриманих у ході контрольної-діагностичних заходів. Дослідження взаємозв'язків у масивах

даних, зібраних у процесі моніторингових спостережень. Аналіз кількісних показників із використанням регресійних моделей

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): презентація результатів дослідження виконана у Microsoft PowerPoint і містить 14 слайдів.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання “ 10 ” жовтня 2025 р.

Керівник

(підпис)

Наталія АНТОНЕНКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Денис КАРТУЗОВ

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз літературних джерел за обраною темою дослідження, формулювання завдань та плану дослідження	Жовтень	Виконано
2	Огляд призначення та принципи роботи силових трансформаторів	Жовтень	Виконано
3	Дослідження характеристик силових трансформаторів	Жовтень	Виконано
4	Розробка інформаційної системи моніторингу	Листопад	Виконано
5	Оцінка результативності інформаційної системи	Листопад	Виконано
6	Висновки і оформлення кваліфікаційної роботи	Листопад	Виконано
7	Подання роботи на рецензування та перевірку	Грудень	Виконано

Студент

(підпис)

Денис КАРТУЗОВ

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Євген КЛЮЧКА

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

КАРТУЗОВ Д. Інформаційна система моніторингу та управління трансформаторами електричної підстанції. – Рукопис.

Магістерська робота за спеціальністю 175 Інформаційно-вимірювальні технології. ХНУ імені В.Н. Каразіна, Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія». Харків, 2025.

Магістерська робота присвячена розробленню та дослідженню інформаційної системи моніторингу та управління трансформаторами електричної підстанції. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення надійності та ефективності роботи електричних підстанцій, зменшення експлуатаційних витрат і запобігання аварійним ситуаціям шляхом впровадження сучасних інформаційних технологій.

У роботі проаналізовано принципи функціонування силових трансформаторів, основні параметри їх технічного стану та сучасні підходи до моніторингу й управління обладнанням електричних підстанцій. Розглянуто існуючі інформаційні системи та засоби діагностики, визначено їх переваги й недоліки.

У практичній частині розроблено структурну та функціональну модель інформаційної системи моніторингу та управління трансформаторами, визначено склад апаратних і програмних засобів, алгоритми збору, обробки та аналізу даних. Запропоновано рішення щодо автоматизованого контролю параметрів роботи трансформаторів і підтримки прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: інформаційна система, моніторинг, управління, трансформатор, електрична підстанція, діагностика технічного стану.

ANNOTATION

KARTUZOV D. Information system for monitoring and controlling transformers of an electric substation. – Manuscript.

Master's thesis in the specialty 175 Information and measuring technologies. V.N. Karazin Kharkiv National University, Educational and Scientific Institute "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy". Kharkiv, 2025.

The master's thesis is devoted to the development and research of an information system for monitoring and controlling transformers of an electric substation. The relevance of the topic is due to the need to increase the reliability and efficiency of the operation of electric substations, reduce operating costs and prevent emergency situations by implementing modern information technologies.

The paper analyzes the principles of operation of power transformers, the main parameters of their technical condition and modern approaches to monitoring and controlling equipment of electric substations. Existing information systems and diagnostic tools are considered, their advantages and disadvantages are identified.

In the practical part, a structural and functional model of the information system for monitoring and controlling transformers has been developed, the composition of hardware and software, algorithms for collecting, processing and analyzing data have been determined. A solution for automated control of transformer operating parameters and support for making management decisions has been proposed.

Keywords: information system, monitoring, control, transformer, electrical substation, diagnostics of technical condition.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	10
АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	
1.1 Призначення та принципи роботи силових трансформаторів і існуючих програмних продуктів дистанційного контролю	10
1.2 Огляд технологій розробки додатку, вихідні матеріали ІВ	16
1.3 Вибір інструментів розробки ІВ	17
1.4 Системи управління базами даних	20
Висновки до розділу 1	21
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	22
2.1. Архітектура інформаційної системи	22
2.2 Програмна реалізація інформаційної системи	29
2.3 Оцінювання технічного та експлуатаційного стану трансформатора	32
Висновки до розділу 2	35
РОЗДІЛ 3 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ, ОДЕРЖАНИХ У ПРОЦЕСІ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ	37
3.1 Аналітична інтерпретація результатів, отриманих у ході контрольно-діагностичних заходів	37
3.2 Дослідження взаємозв'язків у масивах даних, зібраних у процесі моніторингових спостережень	46
3.3 Аналіз кількісних показників із використанням регресійних моделей	52
Висновки до розділу 3	56
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

У кожній галузі промисловості, чи то автомобільне, харчове, паливне чи будь-яке інше виробництво, використовується велика кількість різного виробничого обладнання: верстати, компресори, трансформатори, конвеєри та багато іншого. У процесі роботи підприємства обладнання може повністю зламатися або частково вийти з експлуатації; виробничі процеси необхідно оптимізувати зниження витрат; на збої у роботі та аварії необхідно реагувати своєчасно, щоб уникнути серйозних збитків. Система моніторингу дозволяє стежити за роботою обладнання на всіх етапах виробництва, керувати ним віддалено, планувати та вчасно проводити технічне обслуговування та ремонт обладнання. В останні роки зростає інтенсивність розробки та імплементації технологій перманентного моніторингу й діагностики трансформаторного обладнання.

З швидким розвитком інформаційних технологій, системи моніторингу роботи обладнання та дистанційного оповіщення співробітників через програму для мобільних пристроїв стали дуже популярні. Подібні інформаційні системи моніторингу та управління можуть принести надзвичайно високі економічні вигоди виробникам та користувачам обладнання. Користувач може стежити за параметрами трансформаторів через веб-додаток, а також віддалено перевіряти робочий стан обладнання в режимі реального часу та вчасно дізнаватися про несправність за допомогою смартфона у мобільній версії веб-додатку.

Об'єкт дослідження: процеси функціонування та експлуатації силових трансформаторів електричної підстанції в умовах автоматизованого контролю.

Предмет дослідження: методи, моделі та програмно-апаратні засоби побудови інформаційної системи моніторингу та управління режимами роботи силових трансформаторів електричної підстанції.

Метою даної роботи є розробка інформаційної системи для моніторингу та управління трансформаторами, що входять до складу електричної підстанції.

Інформаційна система складається з веб-програми, яка відображає основні параметри трансформаторів, та мобільної версії веб-додатка для віддаленого контролю за станом підстанції.

Для успішного виконання означеної мети було окреслено ключові завдання:

- Сформулювати опис та призначення інформаційної системи;
- Провести аналіз вже існуючих подібних програмних продуктів;
- Вибрати і ознайомитись з програмним забезпеченням, використовуваним на вирішення поставлених завдань;
- Виконати програмну реалізацію та тестування ІС.

Методами дослідження є:

- метод аналізу - аналіз особливостей предметної галузі, вивчення літератури, визначення інструментів та технологій, що застосовуються при розробці інформаційної системи;
- метод прототипування – створення макетів інтерфейсу користувача, створення ескізів інтерфейсу користувача;

Метод класифікації - визначення сутностей системи та його зв'язків розробки бази даних.

У роботі вперше розроблено інформаційну систему моніторингу та управління силовими трансформаторами електричної підстанції, яка поєднує:

- комплексний збір та аналіз параметрів технічного стану трансформаторів у режимі реального часу;
- використання алгоритмів оцінювання технічного стану та прогнозування аварійних режимів;
- інтеграцію функцій моніторингу та керування в єдине програмно-апаратне середовище.

Удосконалено методи обробки даних експлуатаційних параметрів трансформаторів, що дозволяє підвищити точність діагностики та оперативність прийняття керуючих рішень.

Практична значущість роботи полягає в можливості використання розробленої інформаційної системи на електричних підстанціях для:

- безперервного контролю технічного стану силових трансформаторів;
- своєчасного виявлення відхилень від нормальних режимів роботи та попередження аварій;
- підвищення надійності та безпеки експлуатації електричних підстанцій;
- зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт обладнання;
- підтримки прийняття рішень оперативним персоналом підстанції.

Результати роботи можуть бути використані при модернізації діючих систем диспетчерського управління, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців електроенергетичного профілю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Призначення та принципи роботи силових трансформаторів і існуючих програмних продуктів дистанційного контролю

Електрична підстанція являє собою комплекс інженерних споруд, який інтегрує трансформатори (або інші енергоперетворювальні агрегати), розподільчі та комутаційні пристрої, а також супутні допоміжні об'єкти. Її основне призначення полягає у здійсненні процесів розподілу та трансформації електричної енергії [1].

На рисунку 1.1 зображено електричну підстанцію



Рисунок 1.1 Електрична підстанція

Інформаційна система (ІВ) -система, для пошуку, обробки та зберігання інформації, а також технічні, фінансові, людські та інші організаційні ресурси, здатні забезпечувати та поширювати інформацію.

ІС служить для швидкого забезпечення певних людей певною інформацією, простіше кажучи для задоволення інформаційних потреб у конкретній області, а результатом її є інформаційна продукція: бази даних, інформаційні масиви, документи [4].

Термін «інформаційний моніторинг» запроваджено на початку 1990-х років та позначав технологію постійного інформаційного спостереження в інформаційному полі за обраними індикаторами та передбачуваного розвитку об'єкта [5].

Можливість спостереження за обладнанням на відстані в сучасному світі - важлива функція, що дозволяє підтримувати складне технологічне обладнання в робочому стані, запобігаючи поломкам та уникаючи виникнення інших надзвичайних ситуацій на об'єкті [6].

З технічного погляду сучасні системи моніторингу покривають безліч завдань:

- Моніторинг мереж
- Моніторинг станцій та серверів
- Моніторинг сервісів та додатків
- Надання даних
- Моніторинг бізнес-процесів

Аналогом інформаційної системи, що розробляється в рамках даної ВКР, є SCADA система TraseMode. Це великий програмний комплекс для управління різними системами автоматизації процесів та виробництв будь-якої сфери та будь-якої складності.

TeslaSCADA це HMI/SCADA для Windows, MacOS, Linux, Android та iOS. Пакет нативних мультиплатформних додатків та сервісів для розробки Людино-Машинних Інтерфейсів для контролю в режимі реального часу індустриальних

систем та процесів на базі ПЛК. Продукти TeslaSCADA дозволяють здійснювати візуальний контроль за виробництвом за допомогою будь-яких пристроїв, таких як персональний комп'ютер, смартфон, планшетний ПК або навіть «розумний годинник» [11].

Існує кілька різновидів SCADA та HMI продуктів:

- TeslaSCADA це SCADA Розробка системи для доступу до індустріальних даних та управління технологічними процесами, яка інтегрує мобільні пристрої на платформі Android, використовуючи комунікаційний протокол OPC Unified Architecture. (UA).
 - TeslaSCADA базується на бінарному протоколі OPC UA. OPC UA є високоефективним і надійним стандартом, який дозволяє передавати дані в закодованому вигляді, і вимагає авторизації для доступу до виробничих даних.
- Приклад інтерфейсу представлений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2- TeslaSCADA

TeslaSCADA2 це SCADA та HMI для операційних систем Mac OS, Windows, Linux, Android, iOS та Raspberry PI для прямого доступу до даних виробництва за допомогою найбільш популярних індустріальних протоколів – Modbus RTU, Modbus TCP, Siemens ISO/TCP, Ethernet/IP, FINS/TCP(UDP), BACnet, MQTT та OPC UA. Також є можливість розробити власні драйвера за допомогою серверів Загальний RTU і Загальний TCP. Підтримка веб-сервера. Приклад інтерфейсу представлений рисунку 1.3.



Рисунок 1.3- TeslaSCADA2

Система TeslaModbusSCADA являє собою програмний комплекс класу SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), призначений для моніторингу виробничих даних та оперативного керування. Вона забезпечує доступ до відповідних функцій через мобільні пристрої, що функціонують під управлінням операційної системи Android. В основі комунікації між компонентами системи лежить промисловий протокол Modbus TCP. Зазначений протокол Modbus є загальновизнаним стандартом і одним з найпоширеніших у сучасній промисловій автоматизації.

Приклад інтерфейсу представлений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 TeslaModbusSCADA

Система TeslaMultiSCADA являє собою рішення класу SCADA, призначене для моніторингу виробничих даних та оперативного керування процесами з використанням мобільних пристроїв на базі ОС Android. Взаємодія з виробничим обладнанням реалізується за допомогою підтримки стандартних комунікаційних протоколів, таких як Modbus TCP, Siemens ISO/TCP та Ethernet/IP [12].

Приклад інтерфейсу представлений на рисунку 1.5.



Малюнок 5- TeslaMultiSCADA

- Мобільна SCADA-платформа для операційної системи Android є універсальним програмним рішенням, що забезпечує сумісність з широким спектром пристроїв, які використовують протокол Modbus RTU.
- Функціонал системи включає можливість створення проектів візуалізації для пристроїв, що функціонують на основі наступних протоколів зв'язку:
 - Бездротова мережа (Wi-Fi): Modbus TCP та Modbus RTU over TCP (за допомогою прозорого шлюзу/конвертера);
 - Бездротова мережа (Bluetooth): Modbus RTU;
 - Інтерфейс USB: Modbus RTU.

Ключовим призначенням даної платформи є забезпечення обміну даними, а саме збору та передачі інформації, з використанням протоколів Modbus RTU та Modbus TCP від підключених пристроїв через один із підтримуваних каналів комунікації.

Окрім базових можливостей, додаток надає наступні розширені функції:

- Інтеграція з GPS-модулем для визначення географічного положення та розрахунку часу сходу/заходу сонця;
- Збір даних з тривісного акселерометра (датчика нахилу);
- Прийом інформації від датчиків, що використовують протокол Modbus (наприклад, датчиків температури, тиску, вологості);
- Наявність вбудованих системних реєстрів;
- Підтримка підключення до IP-камер через протокол RTSP (Real-Time Streaming Protocol);
- Функція відправлення та отримання SMS-повідомлень;
- Можливість відтворення аудіоконтенту;
- Функціонал архівування даних з можливістю їх графічної візуалізації, експорту у формат CSV (сумісний з Excel) та відправлення електронною поштою;
- Підтримка відтворення GIF-анімації;
- Реалізація функціоналу Modbus Slave, що дозволяє підключати та керувати численними пристроями-майстрами (masters);
- Інтеграція хмарного шлюзу для вирішення питань, пов'язаних з динамічними та "сірими" IP-адресами;
- Надання інструментів для розробки власної логіки керування за допомогою вбудованого редактора FBD (Function Block Diagram), що містить понад 20 функціональних блоків.

Єдина ліцензія програмного комплексу HMI KaScada дозволяє інтеграцію до шістнадцяти пристроїв за допомогою широкого спектра комунікаційних

протоколів та інтерфейсів. Ця можливість сприяє створенню високоскладних та розподілених систем автоматизованого керування. Дане програмне забезпечення здатне здійснювати управління як комплексними системами "розумного будинку", так і окремими компонентами або віддаленими технологічними агрегатами [13].

1.2 Огляд технологій розробки додатку, вихідні матеріали ІВ

Розглянемо вихідні дані та наведемо огляд технологій для розробки інформаційної системи у представленій предметній галузі.

У цьому підрозділі наводяться вихідні матеріали, необхідні розробки інформаційної системи для моніторингу та управління трансформаторами, які входять до складу електричної підстанції, і навіть обґрунтування вибору програмних продуктів, використовуваних під час розробки ІС.

Замовником було поставлено завдання розробити інформаційну систему для моніторингу та управління трансформаторами, що входять до складу електричної підстанції 220 кВ. Інформаційна система повинна складатися з веб-інтерфейсу з відображенням основних параметрів трансформаторів, а також мобільною версією веб-додатка для оперативного контролю стану підстанції.

Компанією замовника було надано вихідні матеріали та визначено вимоги до продукту:

- Дані повинні забиратися протоколом modbus з емулятора.
- Отримані дані мають зберігатися у БД.
- Веб-програма повинна відображати стан параметрів трансформаторів.
- Веб - програма в браузері мобільного телефону має відображати користувачеві отримані повідомлення.

Протокол Modbus – один із найпоширеніших промислових протоколів для М2М-взаємодії. Він підтримується майже всіма виробниками обладнання.

Його універсальна природа сприяє безперешкодній інтеграції обладнання, виробленого різними постачальниками. Протокол Modbus широко застосовується для агрегації даних, зокрема вимірювальних показників, від сенсорних пристроїв, контролерів та подібних джерел інформації. Мінімальні вимоги до апаратних ресурсів зумовлюють можливість його ефективної імплементації, навіть у пристроях з обмеженими обчислювальними можливостями.

Незважаючи на безліч переваг, протокол має свої недоліки. Так як він розроблявся досить давно, коли продуктивність процесорів була набагато нижчою і протоколи проводилися без захисту даних, Modbus має радий мінусів:

- Відсутність вбудованих механізмів шифрування даних та автентифікації вимагає застосування зовнішніх засобів захисту, зокрема віртуальних приватних мереж (VPN-тунелів), для гарантування безпеки обміну даними.

- Підлеглі пристрої не ініціюють передачу інформації, що зумовлює постійну необхідність у запитах з боку головного (майстер) пристрою до підпорядкованих вузлів.

- Ведені пристрої не володіють функціоналом для виявлення розриву зв'язку з головним пристроєм. Цей недолік безпосередньо впливає з попереднього обмеження [15].

1.3 Вибір інструментів розробки ІВ

У цьому розділі розглянуто основне програмне забезпечення, необхідне для розробки веб-програми ІС, що описується в поточному документі.

Веб-програма розроблена на операційній системі Windows, оскільки вона використовується на всіх персональних комп'ютерах у компанії замовника.

Для реалізації даної системи обрано мову програмування Java. Ця мова, започаткована у 1990-х роках, донині зберігає свою високу актуальність та

вважається провідною платформою у сфері веб-розробки, що має глобальне застосування у численних галузях. Вона відзначається об'єктно-орієнтованою парадигмою та забезпечує крос-платформенну сумісність, що надає їй виняткової гнучкості та універсальності. Спектр її застосування охоплює розробку різноманітних ігрових комплексів, веб-ресурсів та прикладних програм. Java є портативною мовою, що зумовлює її здатність до функціонування на множинних серверних платформах.

Ця мова має багато бібліотек і фреймворків (наприклад Spring, PrimeFaces і Dropwizard). Для роботи з веб-програмами використовується сервер Apache Tomcat, який надає середовище для виконання Java-коду.

Java розглядається як універсальна мова програмування, що характеризується широким спектром застосувань. За даними компанії Oracle, різні програми цією мовою запускаються на трьох мільярдів девайсів. Звичайно, повідомлення складно перевірити. Проте Java досить широко використовується і входить до найбільш затребуваних мов.[16]

Значна кількість програмних продуктів для веб-середовища реалізована за допомогою цієї мови програмування. Широко застосовувані програмні каркаси, такі як Spring, Struts, JSP, активно використовуються для створення різноманітних веб-орієнтованих систем. Зокрема, серед відомих реалізацій можна назвати комп'ютерну гру Minecraft.

Мобільна розробка також є однією з ключових сфер застосування Java. Додатки для пристроїв, функціонуючих на базі операційної системи Android, створюються переважно за допомогою даної мови.

Крім того, мова Java використовується для розробки клієнтських програмних застосунків. Приміром, відоме серед фахівців інтегроване середовище розробки (IDE) NetBeans було реалізовано із застосуванням Java. [17].

Крім того, сфера застосування Java охоплює обробку значних обсягів даних, розробку програмного забезпечення для наукових досліджень, зокрема, в

галузі обробки природної мови, а також проектування та створення різноманітного інструментарію, від персональних до широкомасштабних корпоративних та промислових систем.

За результатами рейтингу State of Octoverse, який розраховують за кількістю репозиторіїв відповідною мовою, що знаходяться на GitHub, 2020 Java входить до трійки найзатребуваніших мов програмування.

Java за популярністю попереду PHP, C#, C++, TypeScript та інших мов, поступається лише JavaScript та Python [18].

В індексі TIOBE, який розраховується за не простою методикою з урахуванням кількості запитів щодо мови, на березень 2021 Java також займає друге місце. [18].

Також до найпоширеніших мов веб-розробки відносяться:

- Python

Python — вважається однією з найпростіших мов для створення серверних програм. Більшість розробників використовують поєднання Python та JavaScript для написання веб-додатків. Найвідоміший фреймворк, написаний цією мовою - Django.

На Python та Django написана серверна частина Instagram та основний код YouTube та Reddit. У своїх наукових обчисленнях мова використовують NASA та Fermilab.

- PHP- PHP вважається гарним варіантом для створення динамічних веб-сторінок. PHP, мова з відкритим вихідним кодом, це означає, що її можна легко модифікувати. PHP використовують такі сайти як Вікіпедія.

- C++. Microsoft створила C++ як мову розробки під Windows. У нього багато спільного з Java та C. На C++ пишуть сайти, ігри, мобільні та веб-додатки. Наприклад, на ньому написаний двигун Unity. Мова використовують Google, Siemens, Deutsche Bank та інші компанії.

Програмне забезпечення IntelliJ IDEA, що підтримує всі останні технології, є зручним середовищем розробки Java. IntelliJ IDEA надає

інструменти для роботи та ідеально підходить для створення мобільних та веб-додатків.

1.4 Системи управління базами даних

Застосування системи керування базами даних (СУБД) MySQL є потенційно доцільним для мобільних платформ. Вона часто розглядається як оптимальний вибір для програмних рішень обмеженого масштабу. Традиційно MySQL функціонує як серверна компонента, що обслуговує запити від клієнтських програм, розташованих як локально, так і віддалено. Проте, слід враховувати, що дистрибутив цього програмного забезпечення містить бібліотеку вбудованого сервера, яка надає можливість інтеграції MySQL безпосередньо в автономні програмні продукти [19].

Перевагами MySQL є її гнучкість, підтримка величезної кількості типів таблиць, і простота використання. Якщо потрібно налаштувати сервер під себе, вона дозволяє користувачам змінити вихідний код.

Робота з таблицями баз даних MySQL зручна тим, що можна призначати рівень доступу.

Система підтримує багато різних графічних інтерфейсів. Одні можна використовувати лише на певній операційній системі. Якись лише на платній основі. Але у будь-якій версії ви підберете собі максимально комфортний формат.

Також плюсом MySQL є безпека. Безпека це один із найважливіших параметрів, за якими треба вибирати СУБД. Завдяки системі доступу, системам керування обліковими записами можна встановити найвищий рівень безпеки. Також можлива перевірка на основі хоста та використання зашифрованого пароля.

До недоліків баз даних MySQL можна віднести невеликий функціонал, більшість опцій SQL, звичайно, є, але не всі. Також недоліком є платна підтримка всіх версій (і комерційної, і безкоштовної) [20].

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу призначення та принципів роботи силових трансформаторів встановлено, що вони є ключовими елементами електричних підстанцій, від надійної роботи яких залежить безперебійність електропостачання споживачів. Основною функцією силових трансформаторів є перетворення рівнів напруги електричної енергії з мінімальними втратами за умови дотримання допустимих режимів навантаження та температурних обмежень.

Розглянуто основні експлуатаційні параметри силових трансформаторів, зокрема напругу, струм, температуру обмоток і масла, рівень ізоляції, а також вплив перевантажень і аварійних режимів на їх технічний стан та термін служби. Встановлено, що своєчасний контроль цих параметрів є необхідною умовою підвищення надійності та безпеки роботи електричних підстанцій.

Проаналізовано існуючі програмні продукти дистанційного контролю та моніторингу трансформаторів, які забезпечують збір, візуалізацію та зберігання експлуатаційних даних у режимі реального часу. Визначено, що більшість наявних рішень орієнтовані переважно на функції спостереження та сигналізації, мають обмежені можливості інтеграції з системами управління та не завжди забезпечують гнучке налаштування під конкретні умови експлуатації.

За результатами аналізу виявлено необхідність розробки комплексної інформаційної системи, яка поєднує функції дистанційного моніторингу, аналізу технічного стану та підтримки прийняття керуючих рішень. Це обґрунтовує доцільність подальших досліджень, спрямованих на створення та впровадження ефективної інформаційної системи моніторингу та управління силовими трансформаторами електричної підстанції.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Архітектура інформаційної системи

Даний розділ присвячено висвітленню системної архітектури інформаційного комплексу в цілому, а також механізмів взаємодії його структурних елементів.

Взаємодія з БД здійснюється через СУБД, що підтримує технологію доступу до БД JDBC.

Інформаційна система складається з веб-додатку, бази даних та протоколу Modbus. Веб-додаток бере дані з Modbus, зберігає в БД,

потім на вимогу користувача відображає їх на сторінці веб-програми.

Діаграма потоків даних (DFD), що демонструє архітектуру ІВ та процеси обміну даними між компонентами Системи представлена на рисунку 2.1.

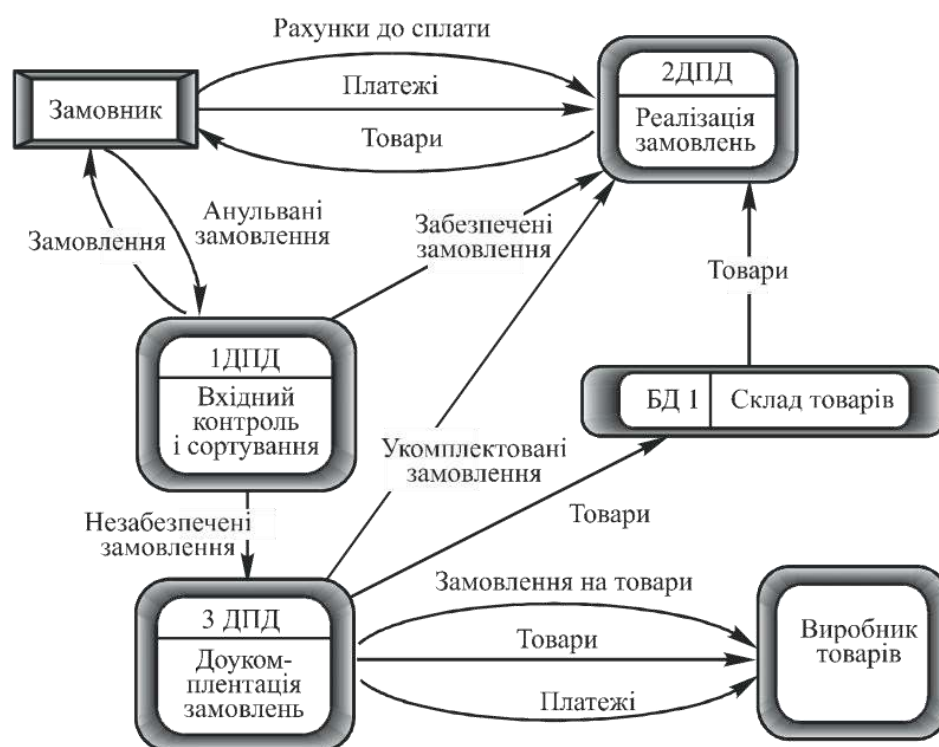


Рисунок 2.1 Діаграма потоків даних (DFD)

Веб-програма підтримує одну роль користувача.

Користувач може: зареєструватися або авторизуватися в системі, а також вийти з системи, переглядати головну сторінку веб-програми, переглядати докладну інформацію про вибраний трансформатор, переглядати загальні параметри трансформаторів, переглядати дані з БД.

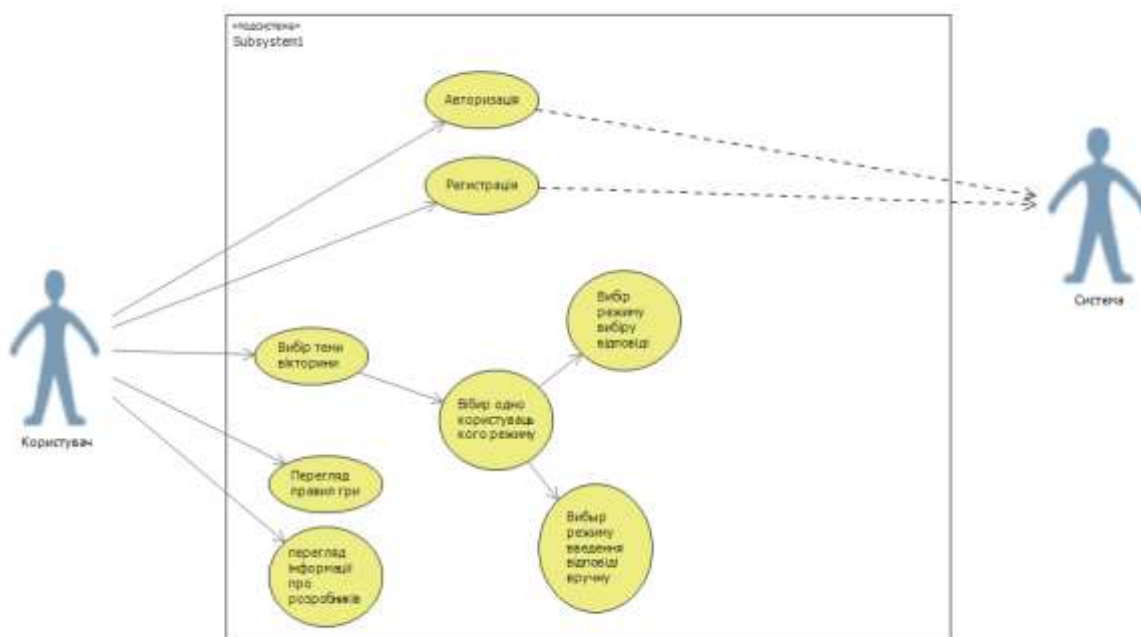


Рисунок 2.2 Діаграма варіантів використання БД

В архітектуру веб-програми входять такі пакети: "controllers", "mappers", "models", "repository", "service", "templates". Пакети та взаємозв'язки між ними представлені на рисунку 2.3.

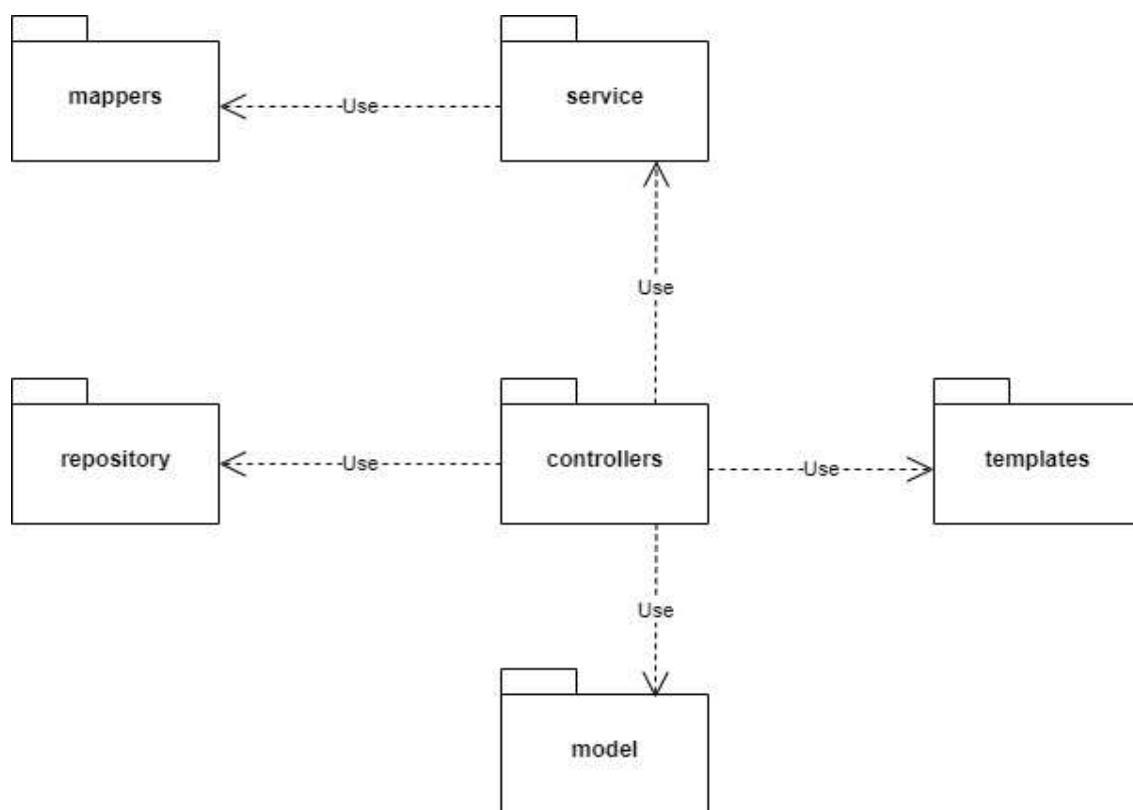


Рисунок 2.3 Архітектура веб-програми

Пакет "models" містить класи.

Пакет "repository" містить інтерфейси методів доступу до БД.

Пакет «service» містить класи реалізації інтерфейсів роботи з даними БД.

Пакет «controllers» містить класи-контролери реалізації бізнес-логіки програми та взаємодії зі сторінками веб-додатку.

Пакет "resources" містить сторінки веб-програми.

Пакет "mappers" використовується для конвертації параметрів трансформатора в БД та у зворотний бік.

Для створення та управління базою даних системи використовувалася СУБД MySQL. Коректність моделі БД підтверджується менеджером баз даних РНР MyAdmin, інтерфейс якого використовувався для побудови та редагування бази даних. На рисунку 2.4 представлена фізична модель даних БД веб-додатку.

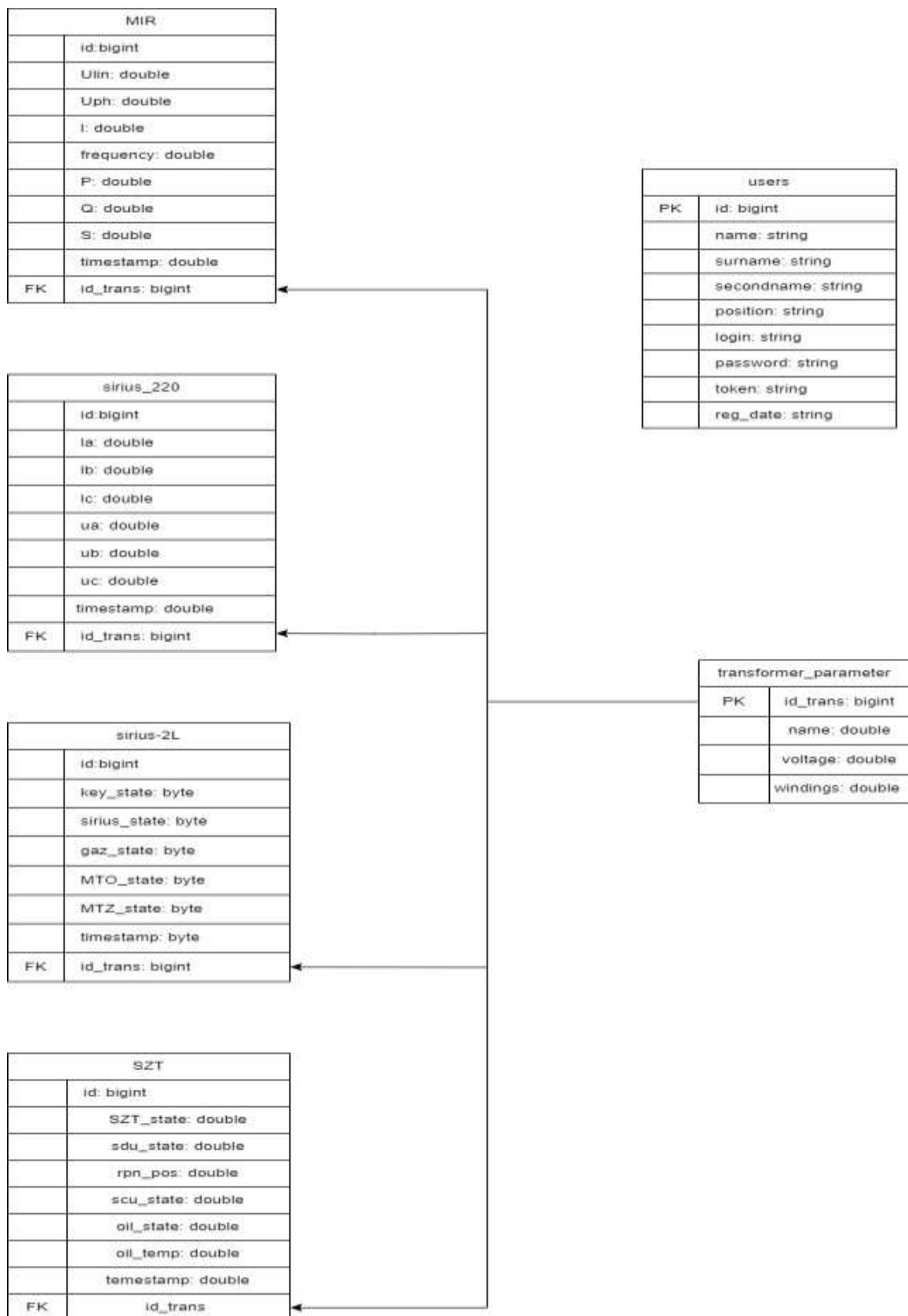


Рисунок 2.4 Фізична модель даних БД веб-програми

У БД зберігається інформація про історію, параметри, що використовуються, і результати моделювання роботи транзисторів в системі Modbus виконувани за останній місяць.

Архітектура даних інформаційної системи охоплює шість табличних сутностей.

Таблиця users містить ім'я користувача, його прізвище, по батькові, рівень доступу, логін, пароль, а також унікальний ідентифікатор та дату реєстрації.

Таблиця 2.1

Структура users

Поле	Тип	Опис
<u>Id_trans</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор запису в таблиці
<u>name</u>	<u>string</u>	Ім'я користувача
<u>surname</u>	<u>string</u>	Прізвище користувача
<u>secondname</u>	<u>string</u>	По батькові користувача
<u>position</u>	<u>string</u>	Рівень доступу
<u>login</u>	<u>string</u>	Логін
<u>password</u>	<u>string</u>	Пароль
<u>token</u>	<u>string</u>	Унікальний ідентифікатор
<u>reg_date</u>	<u>string</u>	Дата реєстрації

Таблиця transformer _ parametr містить назву трансформатора та його дані.

Таблиця 2.2

Структура transformer_parametr

Поле	Тип	Опис
<u>Id_trans</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор запису в таблиці
<u>name</u>	<u>double</u>	Назва
<u>voltage</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>windings</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора

Таблиця SZT містить дані.

Таблиця 2.3

Структура SZT

Поле	Тип	Опис
<u>Id</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор запису в таблиці
<u>SZT_state</u>	<u>double</u>	Положення
<u>sdu_state</u>	<u>double</u>	Положення
<u>rpn_pos</u>	<u>double</u>	Положення
<u>scu_state</u>	<u>double</u>	Положення
<u>oil_state</u>	<u>double</u>	Положення
<u>oil_temp</u>	<u>double</u>	Положення
<u>timestamp</u>	<u>double</u>	Час запису
<u>Id_trans</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор трансформатора

Таблиця Sirius_2L містить його дані.

Таблиця 2.4

Структура Sirius_2L

Поле	Тип	Опис
<u>Id</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор запису в таблиці
<u>Key_state</u>	<u>byte</u>	Положення
<u>Sirius_state</u>	<u>byte</u>	Положення
<u>Gaz_state</u>	<u>byte</u>	Положення
<u>MTO_state</u>	<u>byte</u>	Положення
<u>MTZ_state</u>	<u>byte</u>	Положення
<u>timestamp</u>	<u>byte</u>	Час запису
<u>Id_trans</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор трансформатора

Таблиця Sirius_220 містить його дані.

Таблиця 2.5

Структура Sirius_220

Поле	Тип	Опис
<u>Id</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор запису в таблиці
<u>Ia</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>Ib</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>Ic</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>Ua</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>Ub</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>Uc</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>S</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора
<u>timestamp</u>	<u>double</u>	Час запису
<u>Id_trans</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор трансформатора

Таблиця MIR містить дані лічильника.

Таблиця 2. 6

Структура MIR

Поле	Тип	Опис
<u>Id</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор запису в таблиці
<u>ULin</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Лінійна напруга)
<u>Uph</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Фазна напруга)
<u>I</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Струм)
<u>frequency</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Частота)
<u>P</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Активна потужність)
<u>Q</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Реактивна потужність)
<u>S</u>	<u>double</u>	Дані трансформатора (Повна потужність)
<u>timestamp</u>	<u>double</u>	Час запису
<u>Id_trans</u>	<u>bigint</u>	Ідентифікатор трансформатора

2.2 Програмна реалізація інформаційної системи

Розглянемо програмну імплементацію автоматизованої системи для моніторингу та керування трансформаторним обладнанням, інтегрованим у структуру електроенергетичної підстанції. Зазначена імплементація охоплює створення веб-орієнтованого програмного додатка, що візуалізує ключові експлуатаційні характеристики трансформаторного обладнання, а також мобільного компонента системи для дистанційного контролю за технічним станом енергетичної підстанції.

Використовувані для реалізації веб-додатку технології і представлені результати розробки веб-програми, яка відображає основні параметри трансформаторів, та мобільної версії веб-програми для віддаленого контролю за станом підстанції.

Для реалізації веб-програми були використані такі технології:

- середовище розробки IntelliJ IDEA;
- інструмент складання проекту – Maven;
- мова програмування – Java;
- СУБД - MySQL;
- Spring, Framework, HTML, CSS, JSP.



The image shows a web registration form titled "Форма реєстрації". It contains several input fields: "Ім'я" (Name) and "Прізвище" (Surname) as a pair, "Логін" (Login) with a "логін" placeholder, "Email" with "учиб@ukravia.com" as a placeholder, "Пароль" (Password) with a "пароль" placeholder, and "Підтвердження пароля" (Confirm password) with a "Підтвердження пароля" placeholder. At the bottom is a blue button labeled "Зареєструватися" (Register).

Рисунок 2.5 Приклад зовнішнього вигляду сторінки реєстрації

Для успішного входу в веб-додаток користувачеві необхідно зареєструватися в системі. Новий користувач повинен ввести нові дані для реєстрації (рисунок 2.5).

Ім'я користувача має бути унікальним. Якщо спроба зареєструвати ім'я, що вже знаходиться в базі даних, на екрані з'являється повідомлення про помилку (рисунок 2.6, 2.7).

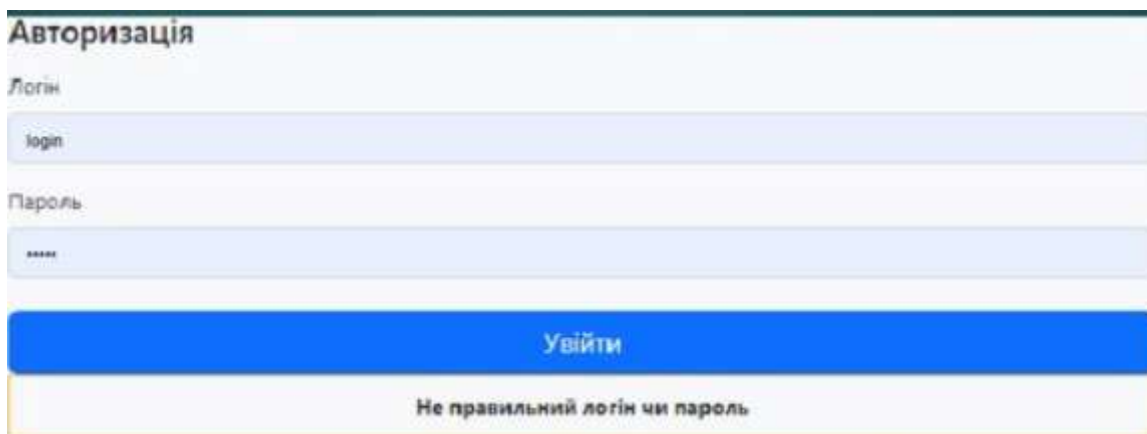


Рисунок 2.6 Приклад вигляду помилки реєстрації

Зареєстрованому користувачеві необхідно ввести логін та пароль (рисунок 2.7).

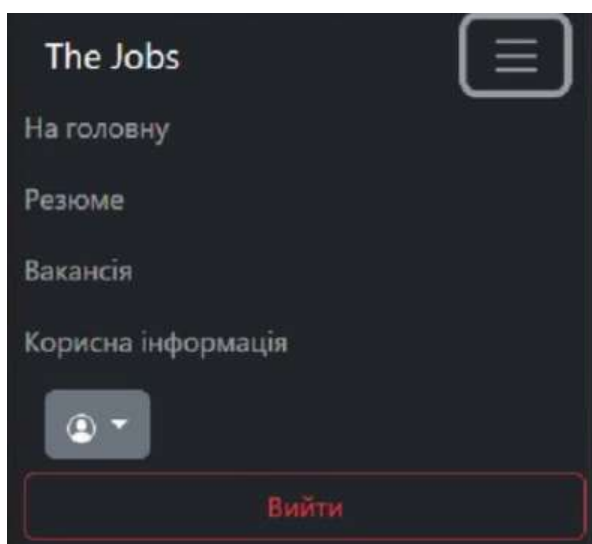
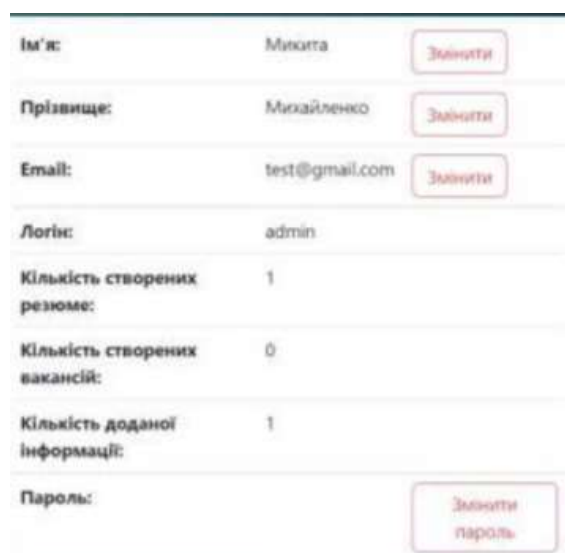



Рисунок 2.7 Вигляд сторінки застосунку вхід у систему

"Клікнувши" лівою кнопкою "мишки" у веб-додатку на ПК, або натиснувши пальцем на екрані смартфона в мобільній версії веб-додатка, користувач може переглянути докладну інформацію про трансформатор.

У разі збою в роботі трансформаторів на екрані ПК та мобільного телефону з'явиться повідомлення про аварію.

2.3 Оцінювання технічного та експлуатаційного стану трансформатора

З метою виконання функції оцінювання технічного стану та ідентифікації несправностей, до складу програмного комплексу TDM-M інтегровано експертну діагностичну систему INVA, розміщену на автоматизованому робочому місці моніторингу.

У контексті параметричної діагностики [27], контроль значень ключових параметрів трансформатора реалізується в три етапи:

1. Здійснюється верифікація актуальних значень визначальних параметрів трансформатора на предмет виходу за межі встановлених допусків, що є суттю граничної діагностики.

2. Проводиться аналіз виникнення різких, стрибкоподібних змін показників трансформатора, які корелюють з моментом появи несправності або передумов до її розвитку.

3. Виконується обчислення швидкості зміни параметрів за певний часовий проміжок, що полягає у визначенні тенденцій (трендів). Виявлення подібних варіацій свідчить про присутність у трансформаторі несправностей, які мають повільний характер розвитку.

Діагностика виходячи з математичних моделей підсистем трансформатора.

4. Виміряні значення параметрів трансформатора використовуються до роботи вбудованих математичних моделей. На основі роботи цих моделей виробляється більше поглиблена діагностика дефектних станів трансформатору.

5. Спільне застосування трендів зміни параметрів трансформатора та адаптивних математичних моделей забезпечує можливість прогнозування якісних, кількісних і часових змін його параметрів.

Відомості про поточний технічний стан трансформатора відображаються за допомогою сигнальних і статусних реле, а також у формі світлофорної індикації стану.

Результати роботи системи TDM-M за протоколом MEK 61850 передаються до систем АСУ-ТП підприємства, енергосистеми та інших рівнів керування, що забезпечує можливість отримання й перегляду повної інформації про стан трансформатора на кожному з них.

До вимірювального приладу TDM-M може бути підключено від 8 (min) до 16 (max) датчиків [25]. Чим більше первинних датчиків – тим вища інформативність:

- Три пристрої приєднання DB-2, що встановлюються на вимірювальних висновках вводів трансформатора. За допомогою DB-2 проводиться вимірювання струмів провідності вводів та часткових розрядів.
- Три (мінімум один) датчики марки IFCT-5A, призначені для вимірювання струму навантаження трансформатора. Вони встановлюються у ланцюгах вимірювальних ТТ.

Високочастотний трансформатор струму в ланцюзі нейтралі первинної обмотки трансформатора для реєстрації імпульсів часткових розрядів.

Три (не менше одного) датчики вібрації, які встановлюються на поверхні бака трансформатора та призначені для контролю технічного стану його конструктивних елементів.

Два (не менше одного) термоперетворювачі, що монтуються у верхній і нижній частинах бака трансформатора; виміряні температурні значення

використовуються в математичній моделі системи охолодження трансформатора.

Датчики контролю температури та вологості навколишнього середовища.

Датчик LTC-Monitor для моніторингу технічного стану пристрою регулювання під навантаженням (РПН) трансформатора (опційно).

Прилад контролю вмісту розчинених газів у трансформаторному маслі (опційно). Використання даних цього приладу разом з аналізом часткових розрядів у баку трансформатора підвищує достовірність діагностичних алгоритмів.

Кількість і склад первинних датчиків, що встановлюються на трансформаторі, визначаються залежно від завдань, покладених на систему моніторингу.

Конструктивно вимірювальний прилад TDM-M виконано у вигляді завершеного модуля з габаритними розмірами $240 \times 180 \times 50$ мм, до якого сполучні кабелі датчиків можуть підключатися безпосередньо. Вимірювальний пристрій системи моніторингу, як і встановлені датчики, призначений для роботи в індустріальному діапазоні температур навколишнього середовища.

У разі експлуатації системи моніторингу за нижчих температур, до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, у шафі системи необхідно передбачити встановлення додаткового нагрівального елемента.

Прилад системи моніторингу за допомогою вбудованого датчика постійно вимірює температуру всередині корпусу приладу, а при допомогі спеціального внутрішнього реле може керувати роботою нагрівача автоматично, залежно від температури.

Шафа системи TDM-M завдяки розширеному температурному робочому діапазону вимірювального приладу і датчиків монтується зазвичай у безпосередньою близькості з контрольованим трансформатором, або навіть на самому баку трансформатора.

Такий монтаж дозволяє зменшити довжину сполучних кабелів від датчиків, тобто. зменшити вплив шкідливих перешкод та підвищити чутливість роботи системи.

Технічні дані системи моніторингу TDM-M наведено в таблиці 2.7:

Таблиця 1

Технічні дані TDM- M

№	Параметр	Значення
1	Робоче напруга ВН трансформатора, кВ	110 і більше
2	Кількість контрольованих вводів	3
3	Діапазон струмів провідності вводів, мА	5 ÷ 30
4	Кількість каналів вимірювання часткових розрядів	4
5	Частотний діапазон вимірюваних часткових розрядів, МГц	0,1 ÷ 20,0
6	Інтерфейс зв'язку з системою АСУ-ТП по RS- 485	Віта пара
7	Діапазон робітників температур системи, без підігріву, град	-40 ÷ +60
8	Напруга харчування системи, В	АС/DC 120 ÷ 260
9	Споживана потужність, Вт	50
10	Габаритні розміри монтажного шафи, мм	400*500*200

Наведені технічні характеристики та склад комплектуючих дають змогу обґрунтовано обрати оптимальну кількість датчиків, необхідних для збирання даних діагностики та моніторингу силових трансформаторів. Отримана інформація забезпечує проведення аналізу, за результатами якого можна зробити висновки щодо доцільності коригування графіків планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

Висновки до розділу 2

У даному розділі виконано проєктування інформаційної системи керування роботою силового трансформатора електричної підстанції. Визначено загальну архітектуру системи, яка забезпечує інтеграцію апаратних засобів збору даних, програмних модулів обробки інформації та засобів візуалізації і керування.

Обґрунтовано вибір основних функціональних компонентів інформаційної системи, зокрема датчиків контролю електричних і теплових параметрів трансформатора, засобів передавання даних та програмного забезпечення. Розроблено структурну схему системи, яка забезпечує безперервний моніторинг ключових параметрів роботи трансформатора в режимі реального часу.

Запропоновано алгоритми збору, обробки та зберігання даних, а також алгоритми прийняття керуючих рішень на основі аналізу поточного технічного стану трансформатора. Реалізація таких алгоритмів дозволяє своєчасно виявляти відхилення від допустимих режимів роботи та формувати керуючі впливи з метою запобігання аварійним ситуаціям.

У результаті проектування забезпечено можливість масштабування та подальшої модернізації інформаційної системи, а також її інтеграції з існуючими автоматизованими системами керування електричних підстанцій. Запропоновані технічні рішення створюють основу для підвищення надійності, безпеки та ефективності експлуатації силових трансформаторів.

РОЗДІЛ 3

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ, ОДЕРЖАНИХ У ПРОЦЕСІ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ

3.1 Аналітична інтерпретація результатів, отриманих у ході контрольно-діагностичних заходів

Система TDM-M призначена для моніторингу за станом трансформатору, технічні характеристики якого наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Технічні характеристики трансформатора

Характеристики трансформатора ТРДН-25000/ 110-66		Значення	
Номінальна потужність <u>кВА</u>	обмотка ВН	25000	
	обмотка ПН	12500	
Потужність при відключеному дуття, <u>кВА</u>	ВН	17000	
	ПН	8500	
Схема і група з'єднання обмоток			
Номінальна частота, <u>Гц</u>		50	
Вид перемикання <u>відгалужень</u>		РПН	
Спосіб охолодження		Д	
Напруга короткого замикання, %		10,68	
Втрати короткого замикання, кВт		121,81	
Втрати холостого ходу, кВт		32,7	

Дані, що реєструються датчиками, поділяються на кілька категорій: параметри PD (параметри часткових розрядів), параметри введів та загальні експлуатаційні параметри. До них належать, зокрема, інтенсивність імпульсів часткових розрядів, яка вимірюється в мВт, вологість у відсотках, температура введів, що відповідає температурі трансформатора у верхній точці, температура в нижній точці бака, а також температура навколишнього повітря.

Зазначені параметри дають змогу формувати часову динаміку зміни контрольованих величин протягом заданого періоду експлуатації. Параметри часткових розрядів, наведені на рисунку 2, реєструються трьома пристроями приєднання DB-2 та високочастотним трансформатором струму, встановленим у ланцюзі нейтралі. Основними вимірюваними характеристиками є інтенсивність часткових розрядів, їх амплітуда та сумарна кількість імпульсів.

Параметри вводів також реєструються пристроями **DB-2** і термоперетворювачем, розташованим у верхній частині трансформатора. Серед них до найбільш важливих для спостереження належать ємність вводів, що вимірюється в пФ, температура вводів, а також значення тангенса кута діелектричних втрат.

Загальні параметри реєструються датчиками типу **ІФСТ-5А**, датчиками вібрації, датчиками вимірювання температури та вологості навколишнього середовища, а також термоперетворювачами. Вологість повітря є одним із найважливіших контрольованих показників, оскільки вона перебуває у прямій залежності з інтенсивністю часткових розрядів. Крім того, до ключових параметрів спостереження належать температура навколишнього повітря та рівень навантаження трансформатора.

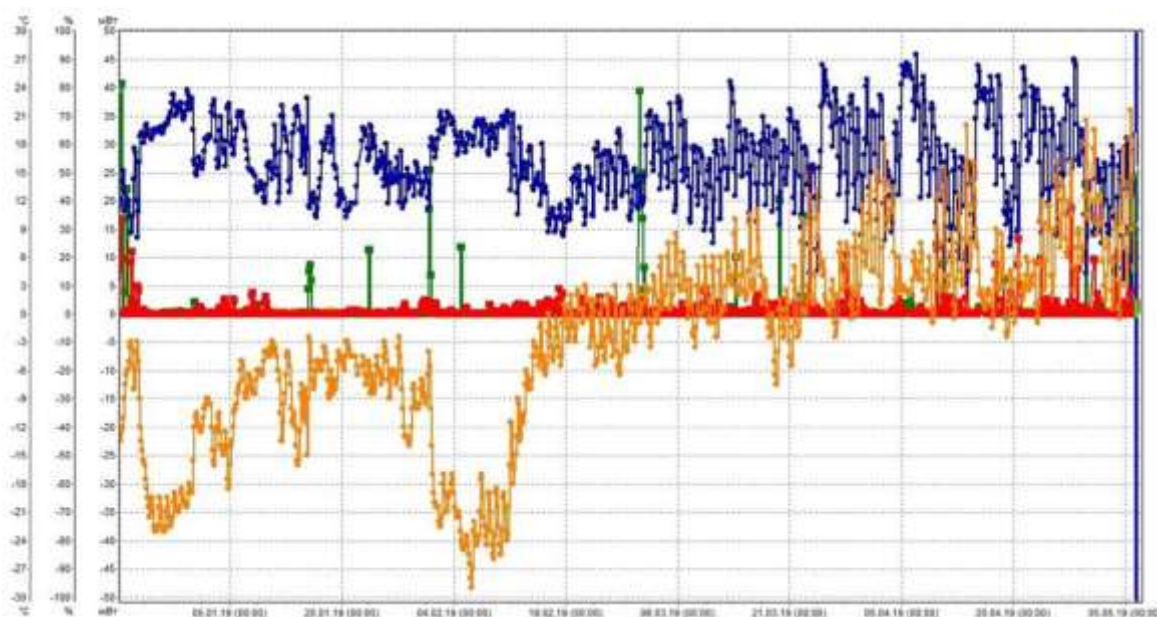


Рисунок 3.1 Динаміка усереднення по 2 найближчим значенням

Обираючи необхідні параметри, можна побудувати відповідні графіки динаміки, на яких відображаються дані кожного окремого вимірювання або усереднені значення за кожні N вимірів. Усереднення, наведене на рисунках 3.1-3.3, дає змогу згладити графіки та полегшити спостереження загальної тенденції зміни параметрів.



Рисунок 3.2 Динаміка усереднення по 20 найближчим значенням

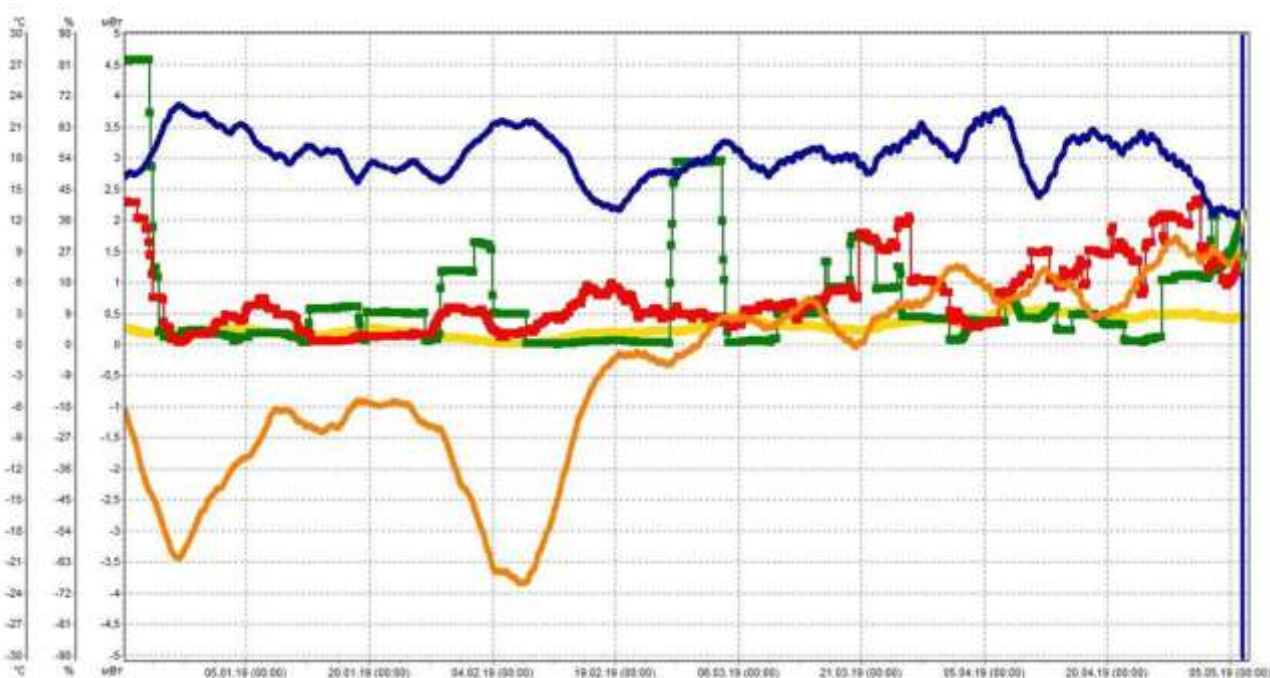


Рисунок 3.3 Динаміка усереднення по 50 найближчим значенням

На основі вибраних даних формуються двовимірні графіки залежності вимірюваних параметрів від часу (тренди), а також графіки розподілу параметрів за каналами поточного вимірювання (графіки вимірів), що наведені на рисунках 3.4-3.15.

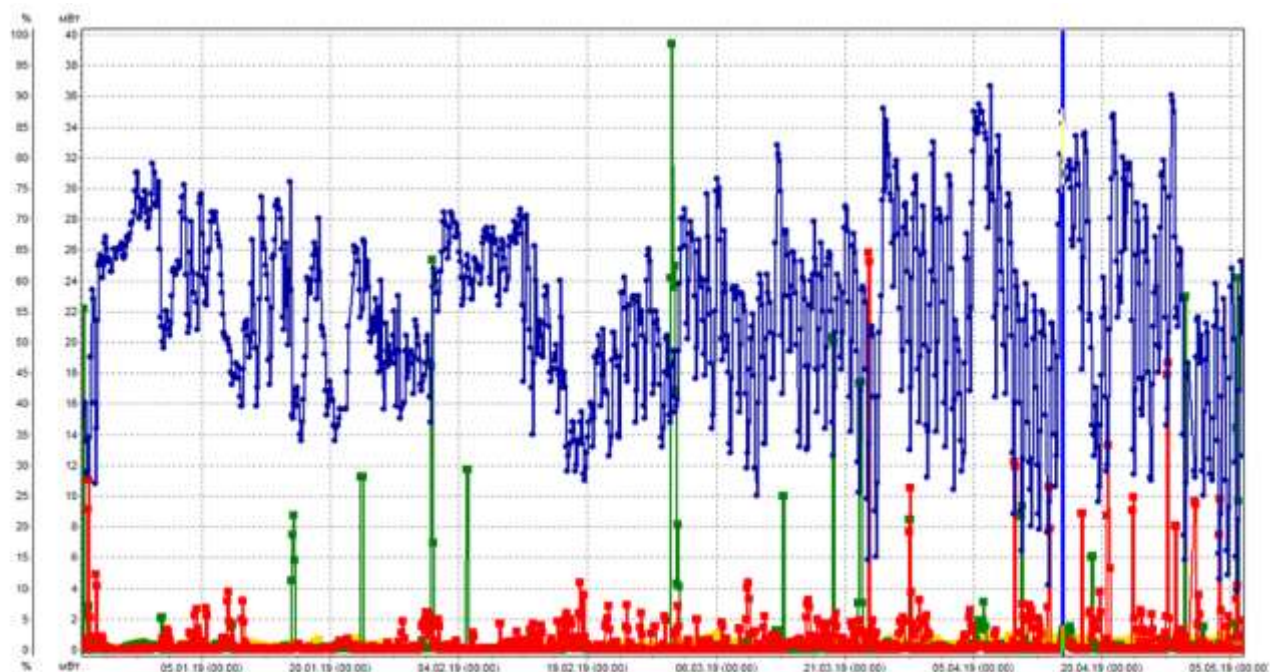


Рисунок 3.4 Динаміка вологості і інтенсивності імпульсів

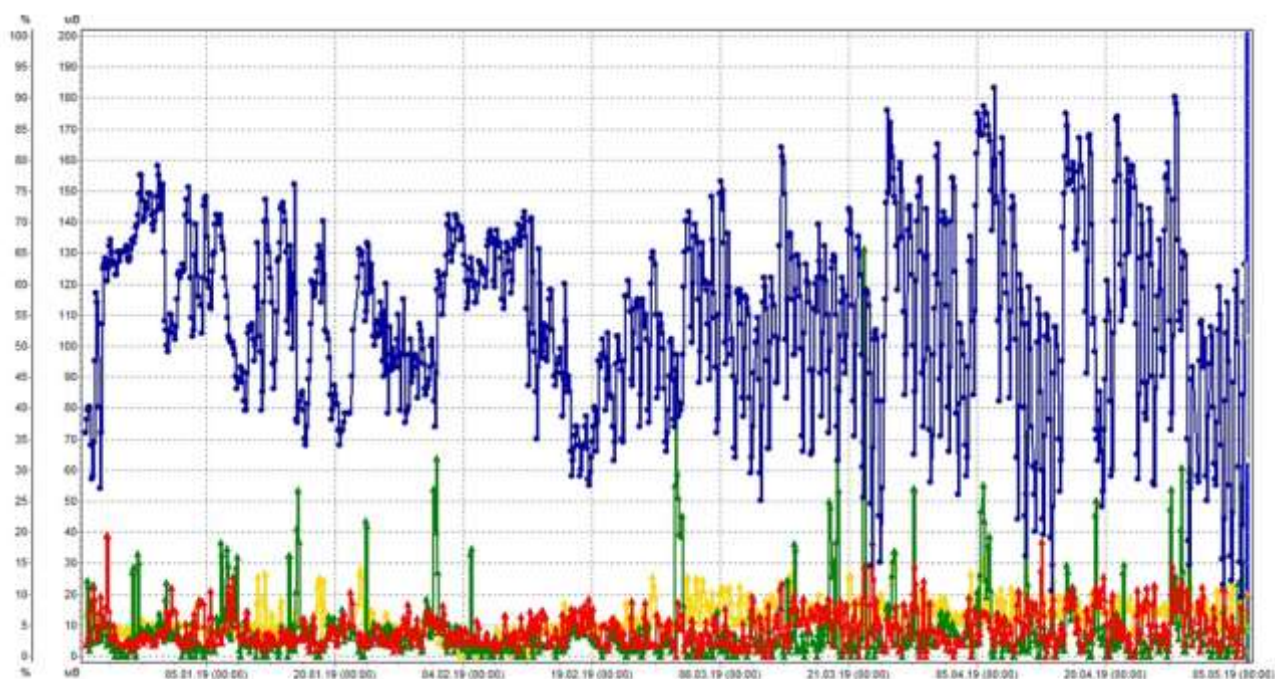


Рисунок 3.5 Динаміка вологості і амплітуди імпульсів

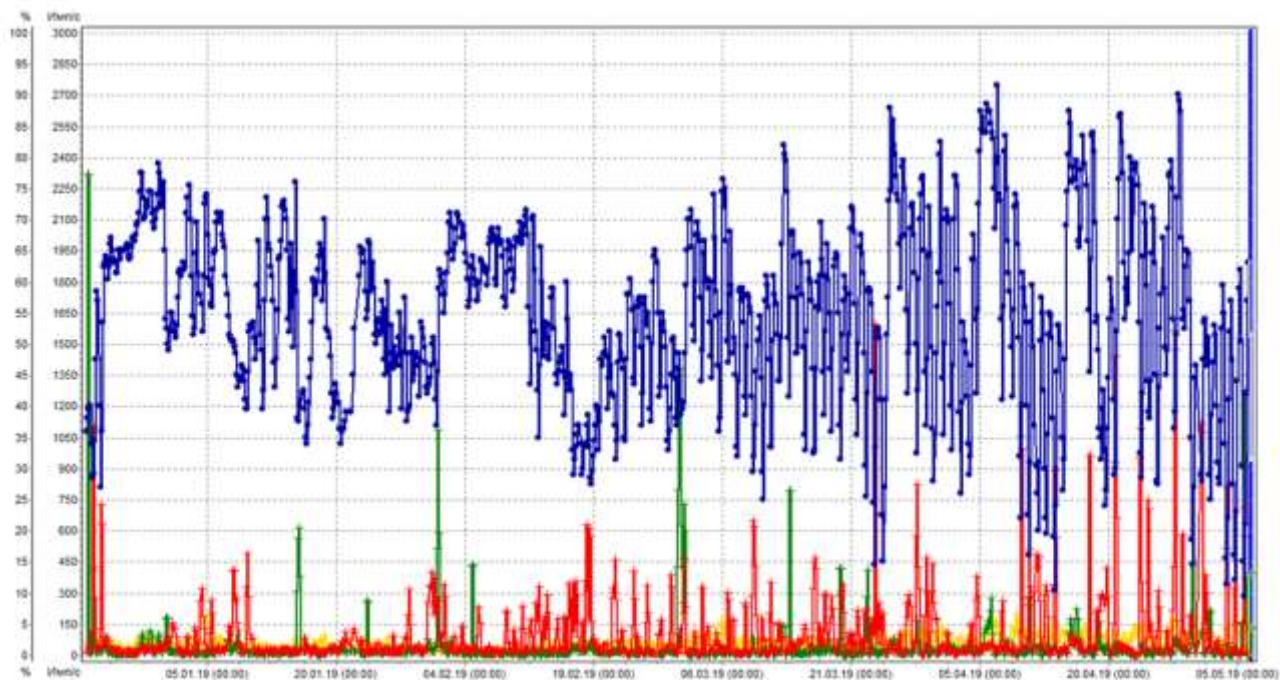


Рисунок 3.6 Динаміка вологості і сумарного числа імпульсів

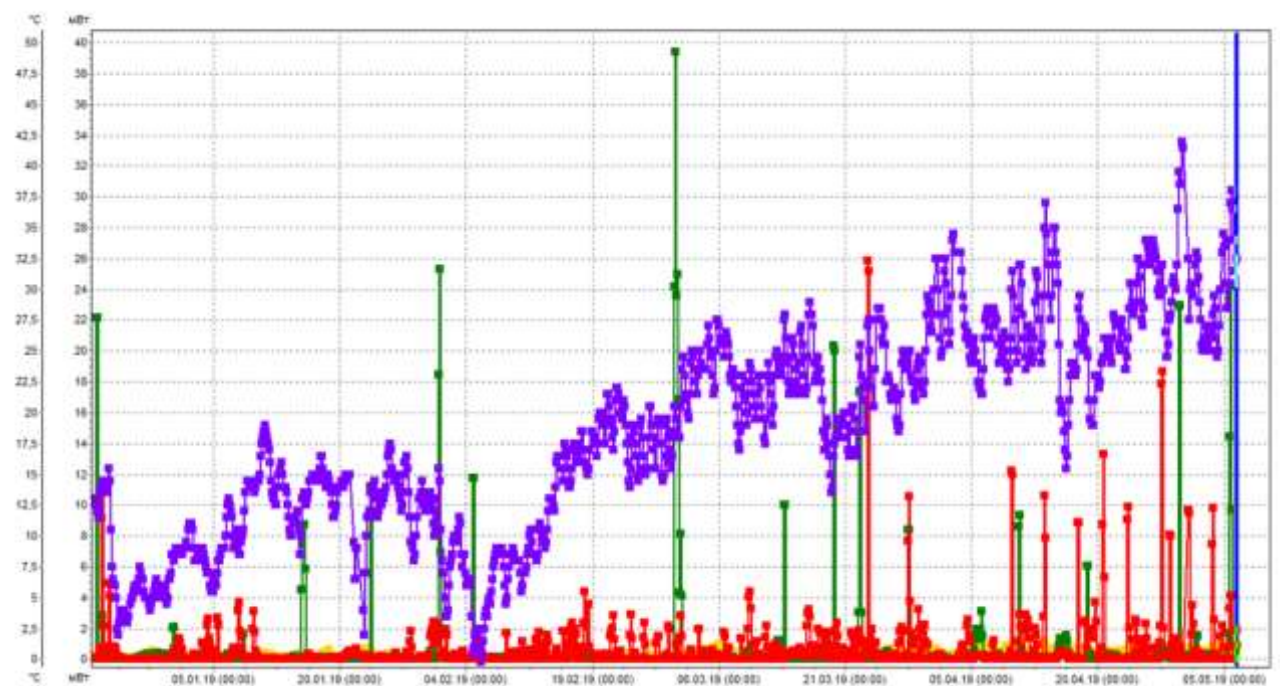


Рисунок 3.7 Динаміка інтенсивності імпульсів і температури введення

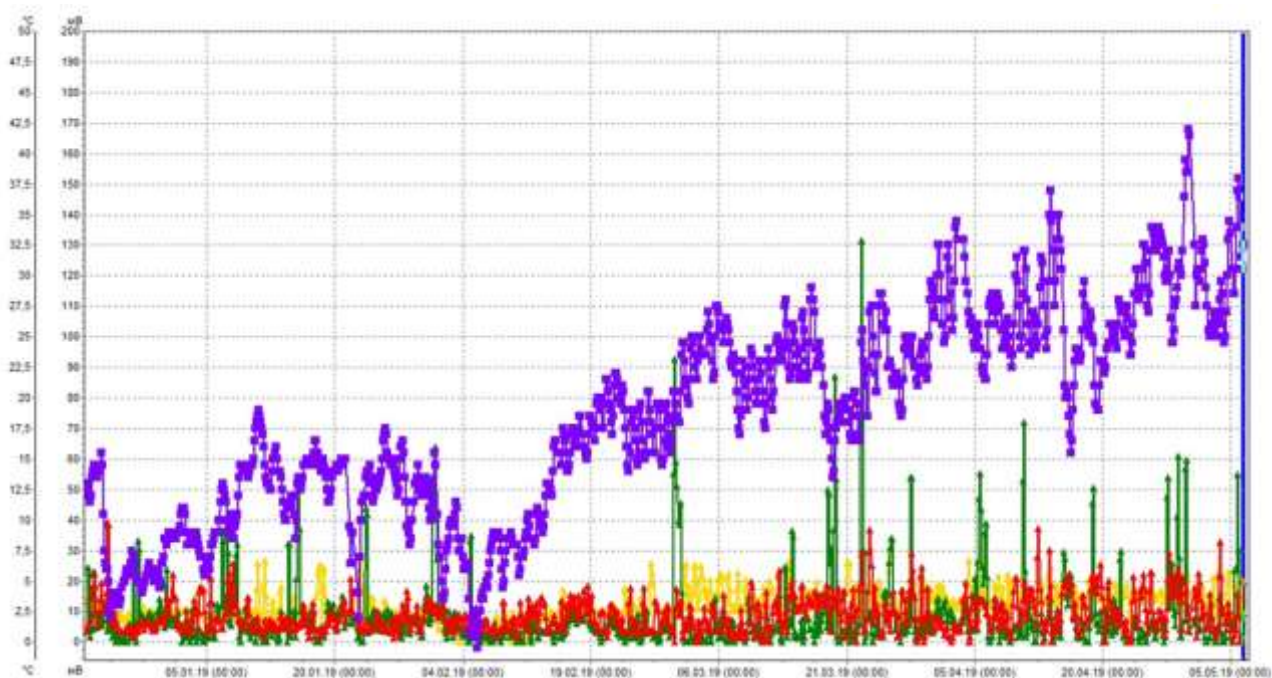


Рисунок 3.8 Динаміка амплітуди імпульсів і температури введення

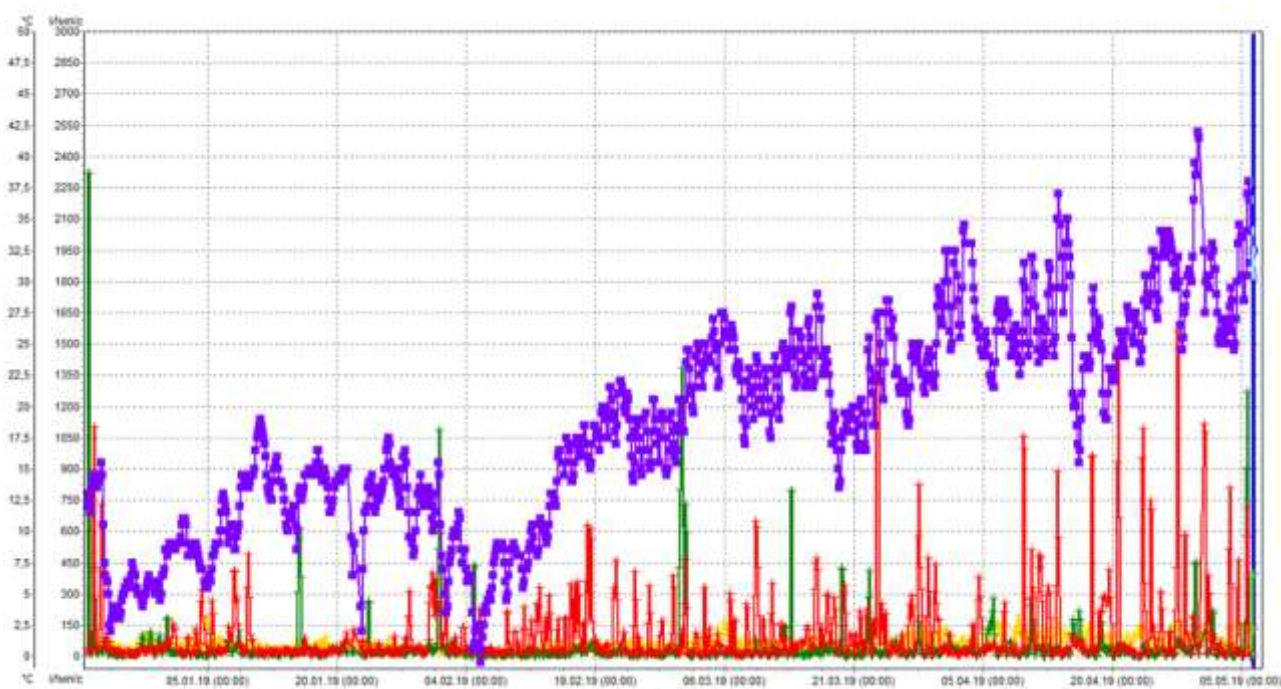


Рисунок 3.9 Динаміка сумарного числа імпульсів і температури введення

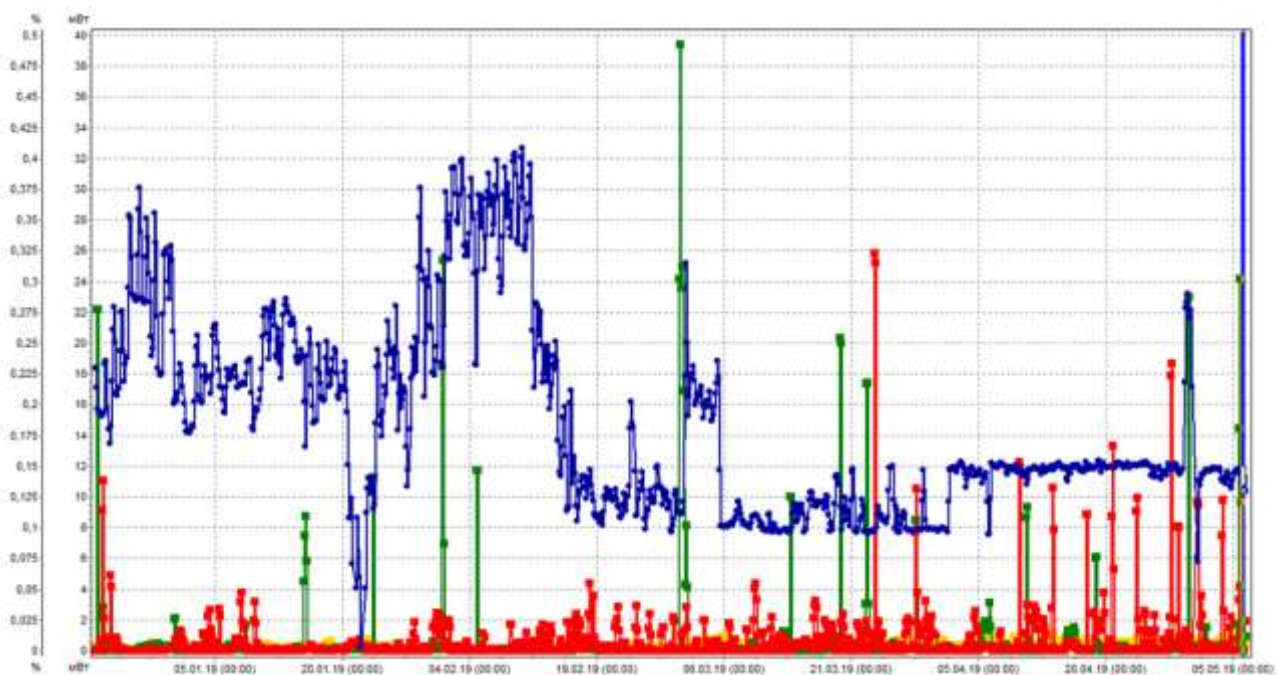


Рисунок 3.10 Динаміка інтенсивності імпульсів і навантаження

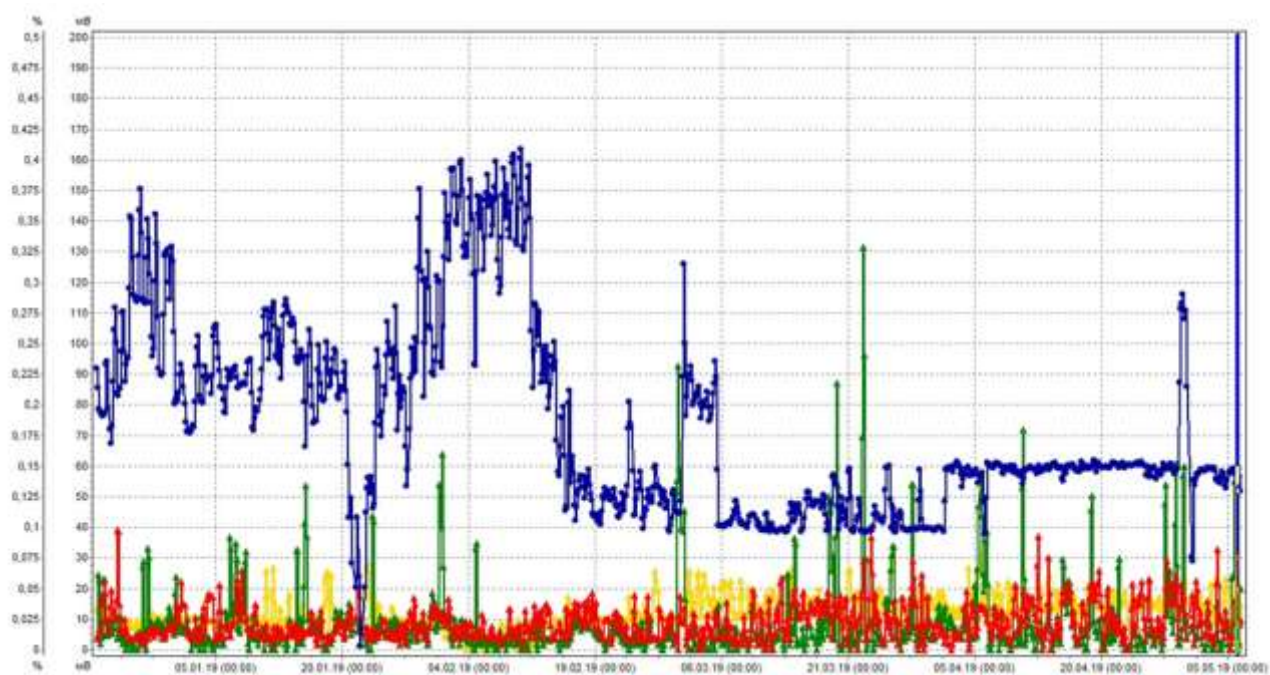


Рисунок 3.11 Динаміка амплітуди імпульсів і навантаження

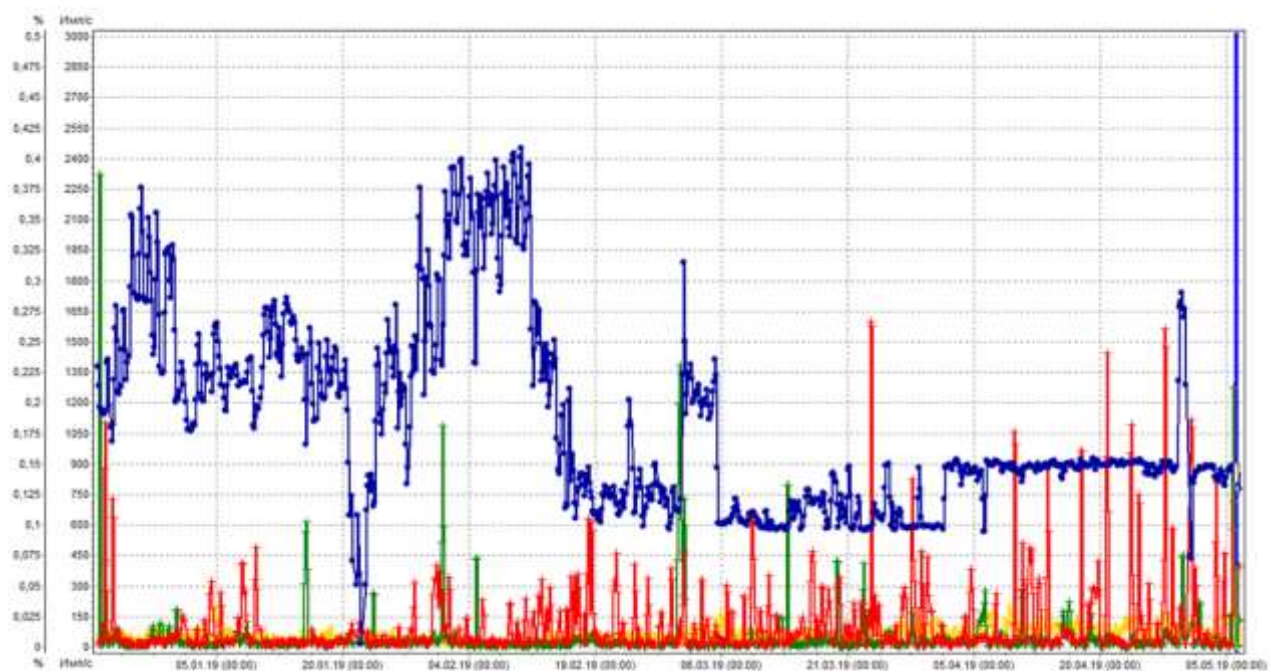


Рисунок 3.12 Динаміка сумарного числа імпульсів і навантаження

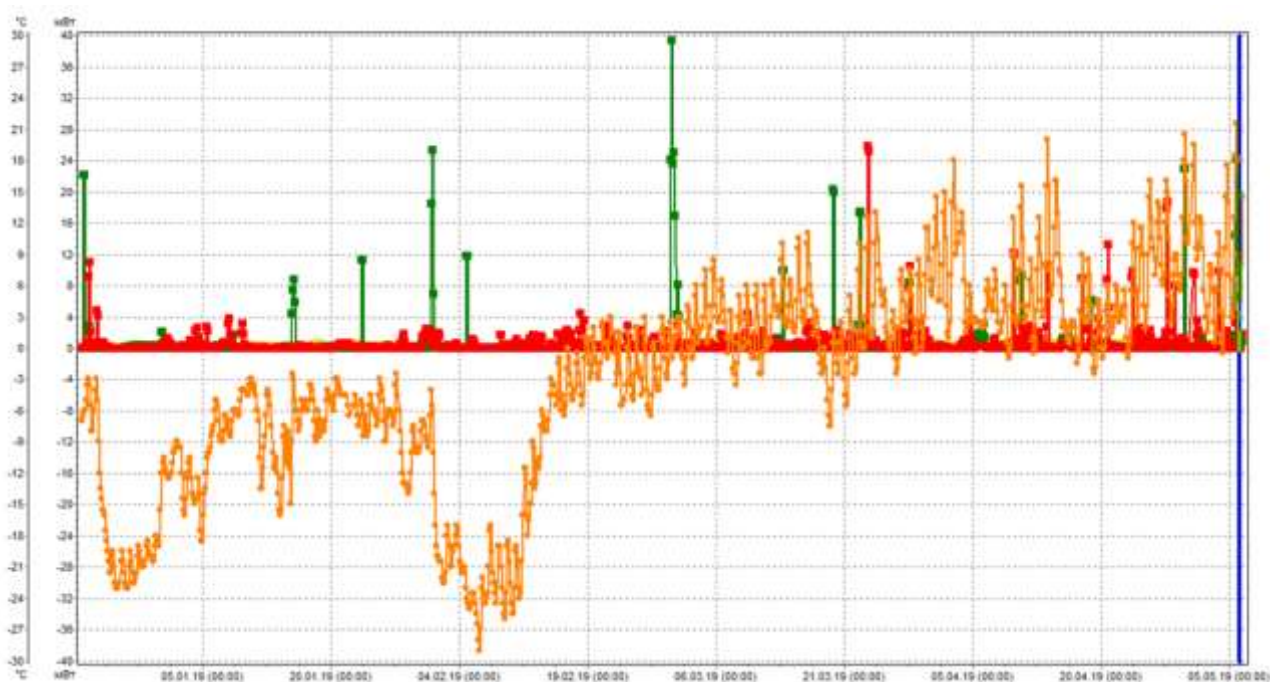


Рисунок 3.13 Динаміка інтенсивності імпульсів і температури повітря

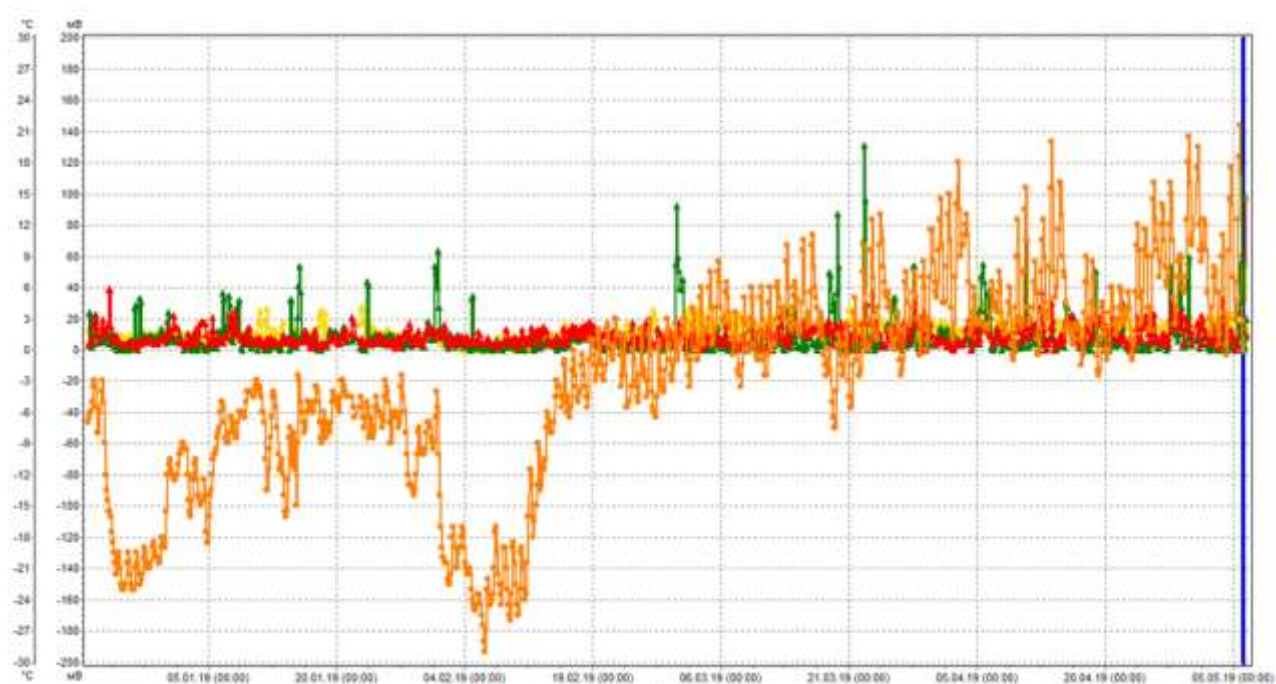


Рисунок 3.14 Динаміка амплітуди імпульсів і температури повітря

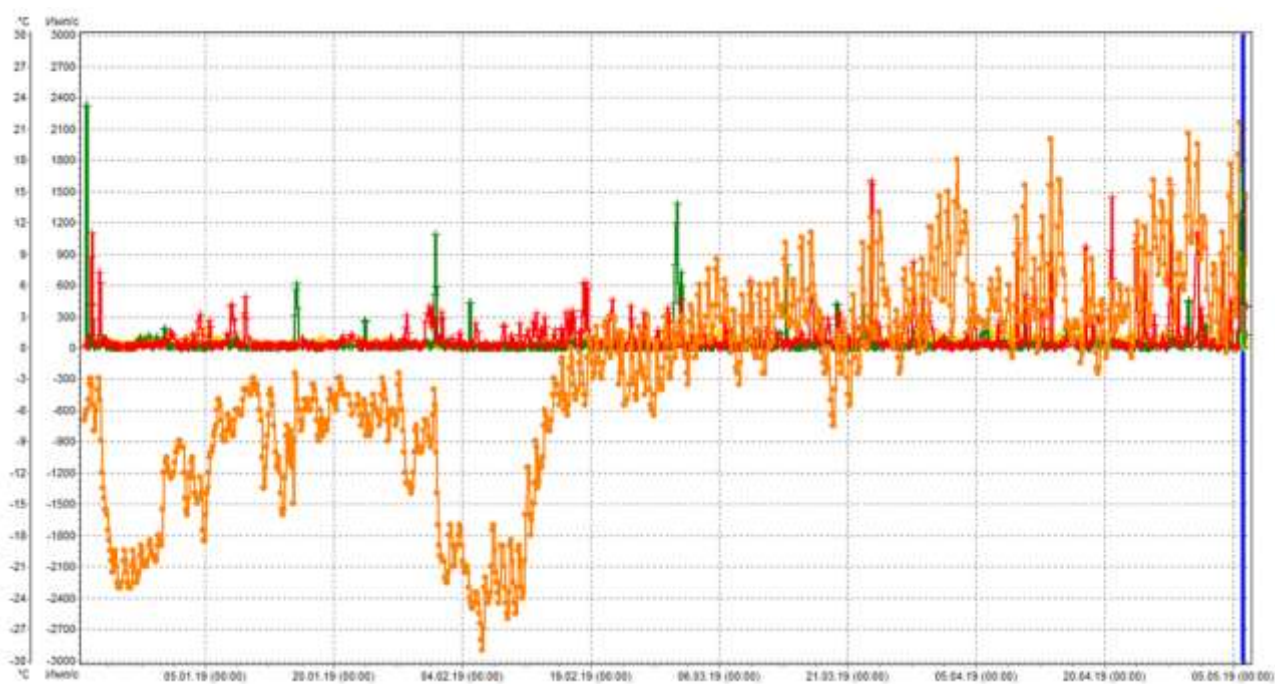


Рисунок 3.15 Динаміка сумарного числа імпульсів і температури повітря

3.2 Дослідження взаємозв'язків у масивах даних, зібраних у процесі моніторингових спостережень

Проведення кореляційного аналізу може бути здійснене шляхом імпорту одержаних даних до програмного забезпечення Microsoft Excel.

Кореляційний аналіз є широко застосовуваним методом статистичного аналізу, що слугує для визначення міри взаємозв'язку між окремими змінними. Програмний пакет Microsoft Excel містить інтегрований інструментарій, призначений для здійснення цього виду аналізу. У таблиці 3.2 наведено результати кореляційного аналізу ЧР у взаємозв'язку з такими показниками, як вологість, температура повітря та фізичне навантаження.

Значення коефіцієнта кореляції варіюється в діапазоні від +1 до -1. У випадку позитивної кореляції зростання однієї змінної обумовлює зростання іншої. Натомість, негативна кореляція свідчить про те, що зростання однієї змінної призводить до зменшення іншої. Чим вище абсолютне значення коефіцієнта кореляції, тим більш вираженим є взаємний вплив змінних.

За результатами кореляційного аналізу доступних емпіричних даних було виявлено, що інтенсивність та амплітуда імпульсів для кожної фази демонструють позитивну кореляційну залежність. Зокрема, коефіцієнт кореляції між інтенсивністю та амплітудою для фази А становить 0,773, для фази В – 0,697, а для фази С – 0,552. Слід зазначити, що сила зв'язку у фазі А є вищою порівняно з фазою С, проте у всіх випадках кореляція залишається суттєвою, перевищуючи значення 0,5. Цей взаємозв'язок вказує на те, що при зростанні інтенсивності часткових розрядів (ЧР) амплітуда імпульсів не завжди демонструє пропорційне зростання, але може зберігатися в стабільних межах протягом тривалого періоду.

Таблиця 3.2 Кореляційний аналіз результатів моніторингу

	Канал 1, Інтенсивність імпульсів, мВт	Канал 1, Амплітуда інтенсивності, мВ	Канал 1, Сумарна кількість імпульсів, Імп/с	Канал 2, Інтенсивність імпульсів, мВт	Канал 2, Амплітуда інтенсивності, мВ	Канал 2, Сумарна кількість імпульсів, Імп/с	Канал 3, Інтенсивність імпульсів, мВт	Канал 3, Амплітуда інтенсивності, мВ	Канал 3, Сумарна кількість імпульсів, Імп/с	Амплітуда U_{np} , %	Температурний коефіцієнт КТ,	Температура введення, °С	Вологість Н, %	Температура $t_{пов.}$, °С	Навантаження, %
Канал 1, Інтенсивність імпульсів, мВт	1														
Канал 1, Амплітуда інтенсивності, мВ	0,773	1													
Канал 1, Сумарне число імпульсів, Імп/с	0,925	0,578	1												
Канал 2, Інтенсивність імпульсів, мВт	0,099	0,062	0,088	1											
Канал 2, Амплітуда інтенсивності, мВ	0,205	0,147	0,160	0,697	1										
Канал 2, Сумарне число імпульсів, Імп/с	0,090	0,062	0,072	0,816	0,507	1									
Канал 3, Інтенсивність імпульсів, мВт	0,307	0,197	0,296	0,056	0,140	0,071	1								
Канал 3, Амплітуда інтенсивності, мВ	0,272	0,204	0,239	0,091	0,288	0,093	0,553	1							
Канал 3, Сумарне число імпульсів, Імп/с	0,317	0,190	0,309	0,079	0,169	0,100	0,937	0,605	1						
Амплітуда U_{np} , %	- 0,073	- 0,033	- 0,047	0,084	0,083	0,041	- 0,033	- 0,072	- 0,053	1					
Температурний коефіцієнт КТ,	0,040	0,059	0,026	0,071	- 0,003	0,066	0,000	0,008	0,022	0,165	1				
Температура введення, °С	0,603	0,586	0,522	0,062	0,083	0,034	0,191	0,164	0,198	- 0,103	0,121	1			
Вологість Н, %	- 0,133	- 0,081	- 0,160	- 0,189	- 0,151	- 0,158	- 0,359	- 0,345	- 0,443	- 0,145	- 0,143	- 0,227	1		
Температура $t_{пов.}$, °С	0,635	0,615	0,569	0,105	0,161	0,084	0,262	0,289	0,292	- 0,071	0,104	0,932	- 0,385	1	
Навантаження, %	- 0,429	- 0,499	- 0,380	- 0,045	- 0,091	- 0,028	- 0,159	- 0,227	- 0,178	0,089	- 0,026	- 0,659	0,246	- 0,793	1

Сукупна кількість імпульсів та їхня інтенсивність в межах однієї фази демонструють високі коефіцієнти кореляції, зокрема: 0,925 для фази А, 0,816 для фази В та 0,937 для фази С. Це свідчить про прямий та значний кореляційний взаємозв'язок між цими величинами. Відповідно, за умови високої інтенсивності часткових розрядів (ЧР) в одній фазі неминуче відбувається зростання сукупної кількості імпульсів у тій же фазі.

Проте, при зіставленні інтенсивності та амплітуди імпульсів між різними фазами, ступінь кореляції виявляється низьким. Зокрема, взаємозв'язок між інтенсивністю ЧР фази А та амплітудою ЧР фази А демонструє коефіцієнт кореляції 0,205, між фазами А та С – 0,272, а для фаз В та С цей показник становить лише 0,09, що характеризує вкрай слабкий взаємозв'язок. Це дозволяє зробити висновок, що зростання інтенсивності ЧР в одній фазі лише незначно корелює зі збільшенням амплітуди ЧР у суміжних фазах.

Аналогічно, пряма, проте вкрай слабка кореляція фіксується і між інтенсивностями імпульсів суміжних фаз. Це вказує на те, що зміна інтенсивності ЧР в одній фазі не справляє істотного впливу на інтенсивність в іншій фазі.

В цілому, кореляція інтенсивності ЧР між різними фазами, а також амплітуди та сукупного числа ЧР різних фаз, виявляється вкрай низькою. Цей комплекс даних підтверджує мінімальну взаємодію між параметрами окремих фаз.

Проте, кардинально відмінна картина спостерігається стосовно взаємозв'язку температури навколишнього середовища та температури вводів, а також кореляції між температурою та джерелом виникнення часткових розрядів.

Проаналізуємо взаємозв'язок часткових розрядів (ЧР) з температурою навколишнього середовища. Коефіцієнт кореляції між інтенсивністю ЧР у фазі А та температурою становить 0,635, що свідчить про наявність прямого та значного взаємозв'язку. Натомість, кореляція між температурою та

інтенсивністю імпульсів у фазах В і С є значно менш вираженою порівняно з фазою А. Можна припустити, що це може бути зумовлено тим, що критичним аспектом є процедура налаштування та калібрування вимірювальних датчиків на трансформаторі, який не перебуває під навантаженням. Внаслідок цього існує ймовірність виникнення суттєвих розбіжностей у проведених розрахунках даних.

Коефіцієнт кореляції між вологістю та температурою повітря був встановлений на рівні $-0,385$. Це негативне значення свідчить про наявність оберненої залежності між зазначеними параметрами, що означає, що зростання одного показника супроводжується зменшенням іншого. Оскільки абсолютне значення коефіцієнта є нижчим за $0,4$, це вказує на слабкий рівень кореляції між цими змінними.

Враховуючи пряму кореляцію між температурою та показниками часткових розрядів (ЧР), а також обернену залежність між температурою та вологістю повітря, можна зробити висновок, що взаємозв'язок між вологістю та інтенсивністю ЧР також є оберненим. Зниження атмосферної вологості, що типово спостерігається при підвищенні температури, корелює зі зростанням інтенсивності, амплітуди та сумарної кількості часткових розрядів. Коефіцієнт кореляції для цього зв'язку є низьким, а його абсолютне значення, що не перевищує $0,45$, свідчить про низький ступінь кореляції між цими параметрами.

Під час проведення кореляційного аналізу між навантаженням трансформатора та параметрами ЧР було виявлено обернену залежність. Слід зазначити, що навантаження на даній підстанції та, зокрема, на трансформаторі 2Т, демонструє тенденцію до зниження у літній період. Це пов'язано з тим, що підстанція обслуговує котельню, яка здійснює теплопостачання споживачів переважно у холодну пору року. Таким чином, зниження навантаження відбувається з переходом до неопалювального сезону. Цей феномен підтверджується сильною оберненою кореляцією з температурою навколишнього повітря, коефіцієнт якої становить $-0,792$. Таке високе

абсолютне значення коефіцієнта вказує на дуже тісний взаємозв'язок між цими змінними.

Коефіцієнт кореляції між навантаженням та інтенсивністю часткових розрядів (ЧР) не перевищує значення $-0,5$, що свідчить про помірний або низький зворотний взаємозв'язок між цими параметрами. Враховуючи, що дані було отримано протягом обмеженого періоду (4,5 місяця), коефіцієнти кореляції демонструють значну варіативність. Це може бути наслідком необхідності калібрування датчиків та проведення більш тривалого періоду збору даних.

Дослідження трансформатора виявили річні коливання його експлуатаційних параметрів. Кореляційний аналіз підтвердив обернену залежність інтенсивності ЧР від вологості повітря, а також прямий взаємозв'язок з підвищенням температури трансформатора. Важливо відзначити, що вологість повітря, у свою чергу, залежить від температури навколишнього середовища. Дослідження також показало, що інтенсивність ЧР демонструє зворотну залежність від навантаження, хоча рівень кореляції є незначним.

Аналіз зібраних даних та результатів вимірювань дозволяє зробити висновок, що пікова інтенсивність ЧР фіксується навесні, переважно у березні, що корелює з періодом танення снігу та переходом від негативних температур до позитивних. Аналогічно, зростання інтенсивності та амплітуди ЧР відзначається при утворенні паморозі. Крім того, спостерігається залежність від вологості повітря.

Програмне забезпечення системи контролю ізоляції (СКІ) містить вкладку "Фазова діаграма". Ця вкладка являє собою двовимірний графік тренду амплітуди U_{nn} або температурного коефіцієнта U_{nn} у полярних координатах, де фазовий зсув використовується як кутова координата [16, 17].

Представлена діаграма структурована за принципом поділу на кольорові сектори. Забарвлення кожного сектора індикує його приналежність до визначеної фази: жовтий колір відповідає фазі А, зелений – фазі Б, а червоний –

фазі С. Якщо позиція точки знаходиться у секторі, орієнтованому паралельно до осі відповідної фази, це інтерпретується як зміна її резистивних характеристик. Натомість, якщо точка розташована у секторі, що лежить перпендикулярно до осі своєї фази, це свідчить про варіації її ємнісних властивостей.

Зокрема, на фазовій діаграмі, ілюстрованій на рисунках 3.16, 3.17, зеленою індикацією виокремлено сектор, що репрезентує ємнісні характеристики фази Б. Таким чином, аналіз емпіричних даних, отриманих протягом періоду моніторингу, демонструє, що зміни в ємності фази Б не перевищують 5% від номінального значення амплітуди U_{nn} .

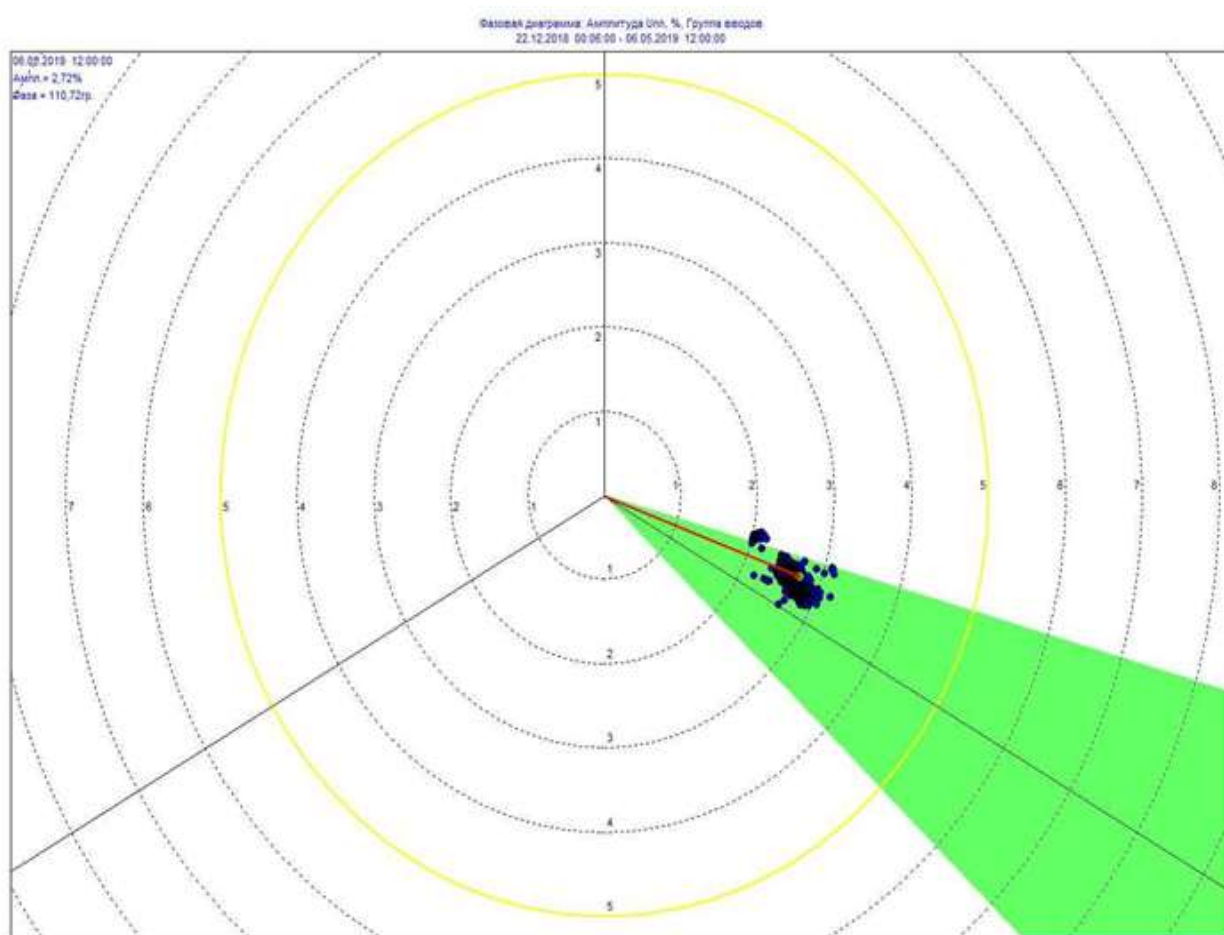


Рисунок 3.16 Фазова діаграма Амплітуди U_{nn} , %

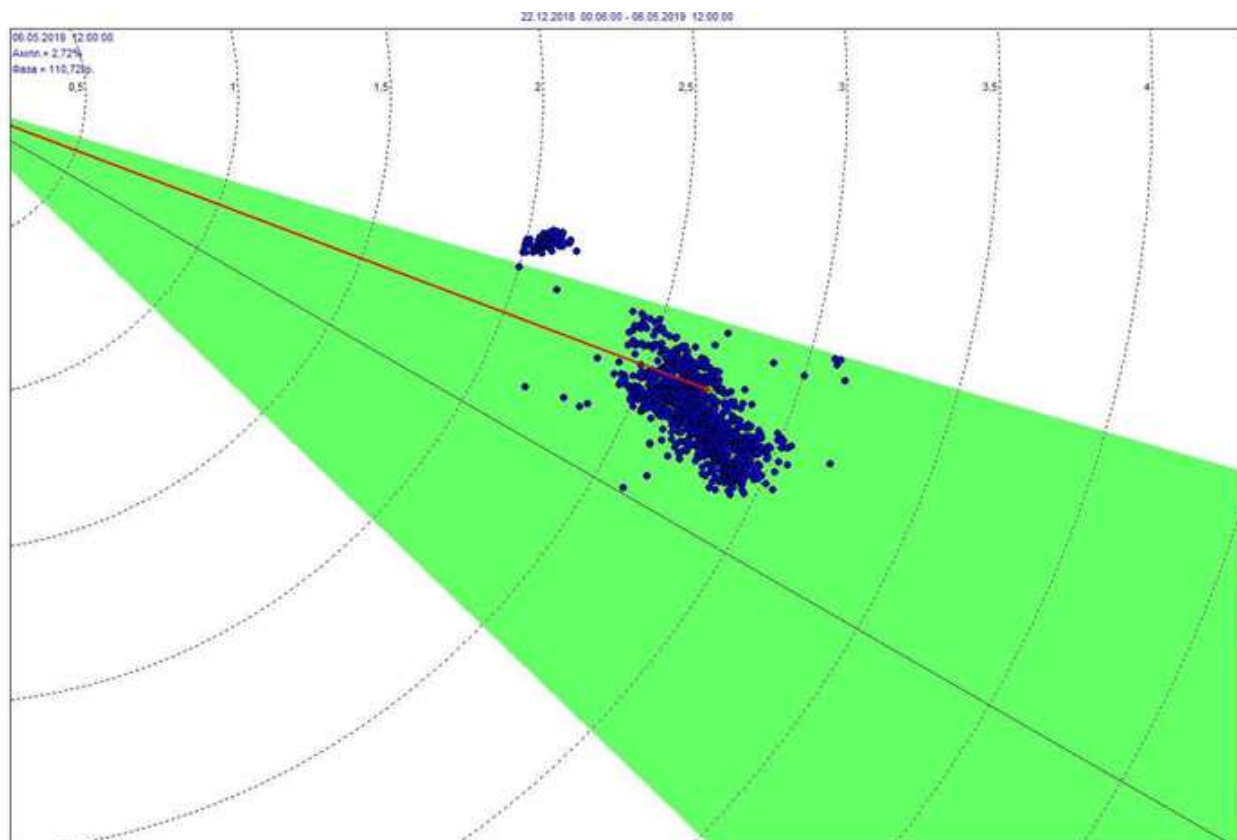


Рисунок 3.17 Фазова діаграма Амплітуди U_{np} , % (Збільшено)

3.3 Аналіз кількісних показників із використанням регресійних моделей

З метою прогнозування характеристик ЧР у високовольтних вводах трансформатора було застосовано методику простого регресійного аналізу [9]. Цей аналітичний підхід забезпечує можливість візуалізації даних у вигляді діаграм апроксимації, графіків залишків та гістограм нормального розподілу.

Серед різних типів простої регресії пріоритет було надано лінійній регресійній моделі. Математичне представлення цієї моделі має наступний вигляд:

$$y = bx + a$$

де a і b - оцінки параметрів α і β регресійної моделі, які слід знайти.

Для початку провели регресійний аналіз між даними параметра

вологості повітря та інтенсивністю ЧР фази А.

Рисунок 3.18 ілюструє графічну репрезентацію апроксимованої функціональної залежності інтенсивності фазових імпульсів від рівня вологості повітря. Відповідно, рисунок 26 надає візуалізацію залишкових відхилень для цього випадку.

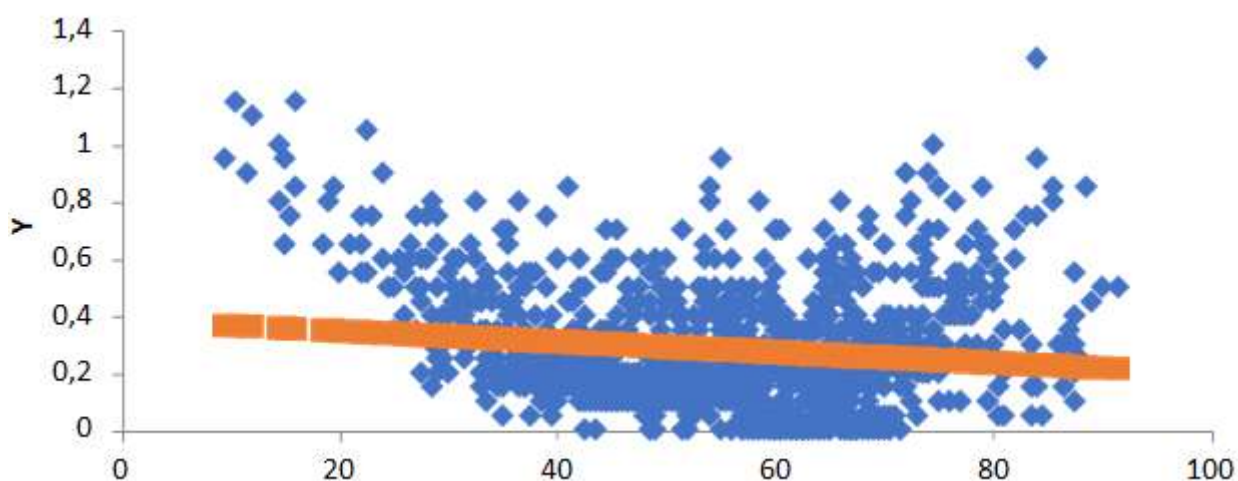


Рисунок 3.18 Графік підбору залежності інтенсивності імпульсів фази А від вологості повітря

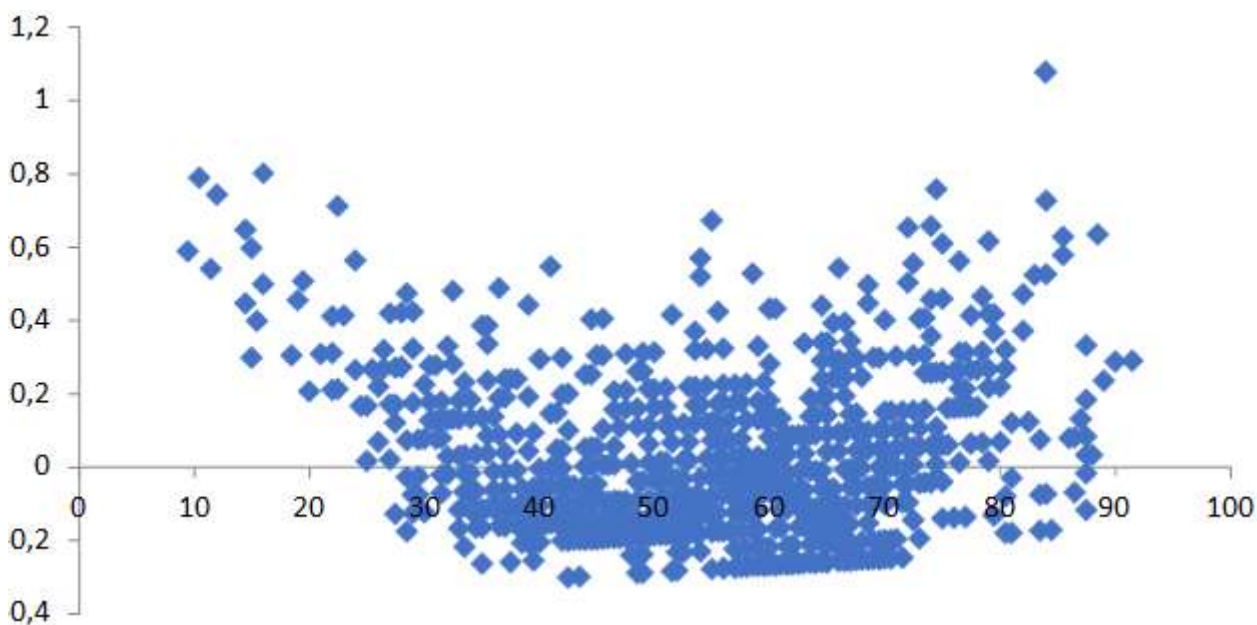


Рисунок 3.19 Графік залишків залежності інтенсивності імпульсів фази А від вологості повітря

Було сформовано рівняння лінійної регресії (1) для даного випадку:

$$y = -0,35x + 78,18$$

Це рівняння демонструє обернену залежність інтенсивності фазових імпульсів від вологості атмосферного повітря. Поясненням цього явища може слугувати той факт, що при підвищенні температури повітря рівень його вологості, як правило, знижується.

Надалі було здійснено аналіз взаємозв'язку між параметрами температури повітря та інтенсивністю часткових розрядів фази А.

На рисунку 3.20 проілюстровано графічне представлення залежності інтенсивності фазових імпульсів від температури повітря. Слід зазначити, що дана лінійна залежність має зростаючий характер.

На рисунку 3.21 представлено графік залишків для визначеної залежності інтенсивності часткових розрядів фази А від температури повітря.

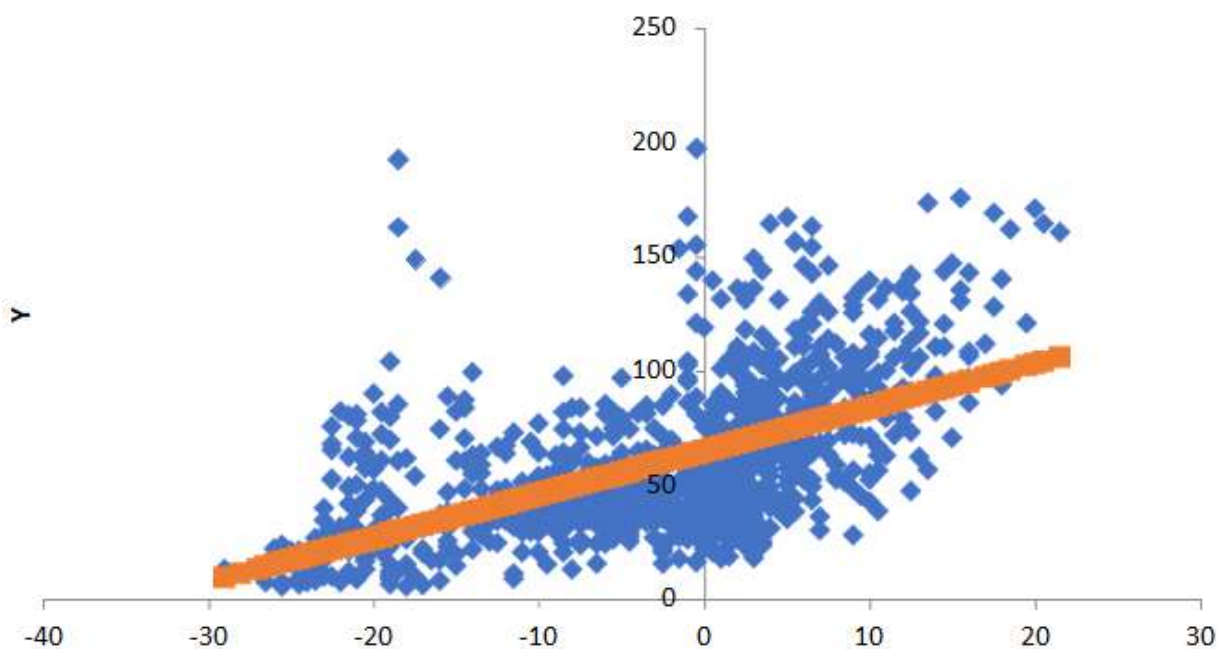


Рисунок 3.20 графік підбору залежності інтенсивності імпульсів фази А від температури повітря

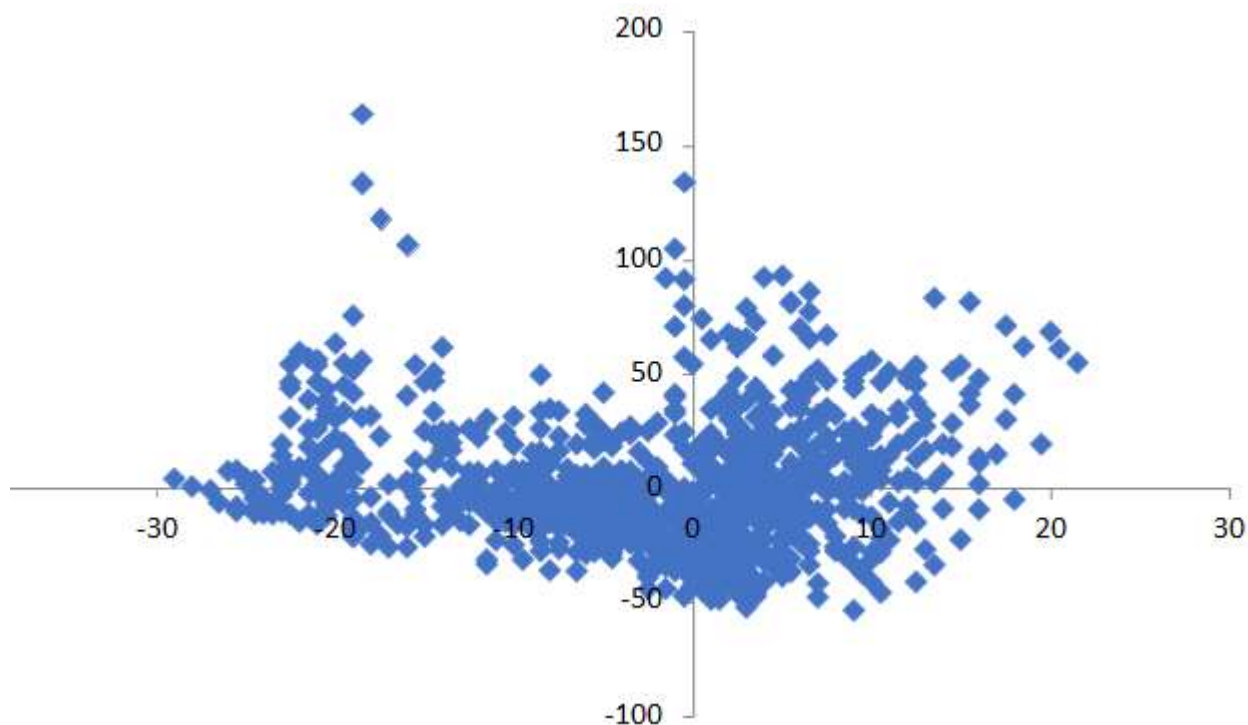


Рисунок 3.21 Графік залишків залежності інтенсивності імпульсів фази А від температури повітря

Отримали рівняння лінійної регресії зі значеннями:

$$y = 1,9 x + 64,52$$

У математичній моделі позитивний коефіцієнт при змінній x свідчить про пряму залежність між аналізованими параметрами. Збільшення температури навколишнього середовища безпосередньо корелює з підвищенням температури вхідних потоків, що, своєю чергою, зумовлює зростання інтенсивності ЧР.

Аналіз візуальних даних, представлених вище, виявляє суттєву похибку, пов'язану із застосуванням лінійної апроксимації. Відтак, замість лінійної регресії, доцільно імплементувати регресійну модель більш складної архітектури.

Висновки до розділу 3

У даному розділі виконано комплексний аналіз даних, отриманих у процесі технічної діагностики та моніторингу силових трансформаторів. Проведено систематизацію вимірюваних параметрів за категоріями, зокрема параметрів часткових розрядів, параметрів вводів та загальних експлуатаційних показників, що дало змогу оцінити технічний стан трансформаторів у різних режимах роботи.

На основі зареєстрованих даних побудовано тренди зміни параметрів у часі та графіки розподілу значень по каналах вимірювання, що забезпечило наочне відображення динаміки процесів і виявлення характерних відхилень від нормативних значень. Застосування методів усереднення дозволило згладити випадкові коливання та виділити загальні тенденції зміни контрольованих параметрів.

У результаті аналізу встановлено взаємозв'язок між окремими параметрами, зокрема вплив температури та вологості навколишнього середовища на інтенсивність часткових розрядів, а також залежність стану вводів від температурних режимів роботи трансформатора. Отримані результати підтверджують доцільність використання комплексного підходу до аналізу діагностичних даних.

Застосування інформаційної системи моніторингу забезпечує своєчасне виявлення негативних тенденцій у роботі трансформаторів, підвищує достовірність оцінювання їх технічного стану та створює передумови для переходу від регламентного обслуговування до обслуговування за фактичним станом. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації графіків планово-попереджувальних ремонтів та підвищення надійності експлуатації електрообладнання.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто та розв'язано задачу створення інформаційної системи моніторингу та управління силовими трансформаторами електричної підстанції. У процесі виконання роботи проаналізовано призначення, принципи роботи та основні експлуатаційні характеристики силових трансформаторів, а також сучасні підходи й програмні засоби їх дистанційного контролю.

У ході дослідження обґрунтовано необхідність використання комплексної інформаційної системи, яка забезпечує безперервний збір, обробку та аналіз параметрів технічного стану трансформаторів у режимі реального часу. Розроблено архітектуру системи моніторингу та управління, визначено склад апаратних і програмних компонентів, а також запропоновано алгоритми аналізу діагностичних даних і формування керуючих впливів.

У роботі виконано комплексний аналіз даних технічної діагностики, зокрема параметрів часткових розрядів, стану вводів та загальних експлуатаційних показників. Побудова трендів і графіків динаміки зміни параметрів дозволила виявити взаємозв'язки між контрольованими величинами та визначити характерні ознаки погіршення технічного стану трансформаторів.

Запропонована інформаційна система забезпечує підвищення надійності та безпеки експлуатації силових трансформаторів, своєчасне виявлення передаварійних станів і підтримку прийняття обґрунтованих рішень щодо керування режимами роботи обладнання. Використання результатів роботи створює передумови для оптимізації графіків планово-попереджувальних ремонтів та переходу до обслуговування трансформаторів за їх фактичним технічним станом.

Отримані результати можуть бути використані при модернізації діючих електричних підстанцій, впровадженні автоматизованих систем керування

технологічними процесами, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців у галузі інформаційно-вимірювальних технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білокінь В. П. *Автоматизація електричних систем: Теорія і практика* / В. П. Білокінь. — К.: Наукова думка, 2018.
2. Гнатюк С. І., Ковальчук О. М. *Системи диспетчерського контролю та управління енергетичними об'єктами* — Л.: Енергія, 2020.
3. Дубовик А. В. *Електричні підстанції: конструкція та експлуатація* — Х.: Електропром, 2019.
4. Жданов Ю. Г. *Моніторинг технічного стану обладнання підстанцій* / Ю. Г. Жданов — К.: Енергетика, 2021.
5. Іваненко П. С. *Системи автоматичного контролю та управління в енергетиці* — Одеса: ОНУ, 2022.
6. Коваленко А. І. *Сучасні інформаційні системи в електротехніці* — Дніпро: Східний видавничий дім, 2021.
7. Кузьменко В. Л. *Діагностика силових трансформаторів* — К.: Техніка, 2018.
8. Лисенко М. Ю., Петренко І. В. *Автоматизація електричних підстанцій 110–330 кВ* // Електропостачання. – 2020. – № 6.
9. Мельник О. В. *Програмно-технічні рішення для моніторингу енергетичного обладнання* — Х.: Політехніка, 2022.
10. Нормативні документи ДСТУ EN 61850 *Комунікаційні мережі та системи електротехнічного обладнання підстанцій* — К., 2021.
11. Нормативні документи ДСТУ 3476-97 *Електростанції і підстанції. Загальні технічні вимоги* — К., 2019.
12. Олексюк Т. П. *Системи управління на основі SCADA: теорія та практика* — Львів: Видавництво ЛНУ, 2020.
13. Павленко Ю. І. *Сучасні сенсори та прилади для моніторингу електроенергетичних об'єктів* // Електротехніка та Електромеханіка. – 2021. – Т. 13, № 4.

14. Петров С. Д. *Трансформатори електричні: експлуатація та обслуговування* — К.: Енергобук, 2018.
15. Романенко В. М. *Інформаційно-аналітичні системи у енергетиці* — Дніпро: Енергетика, 2022.
16. Соловійов О. Є. *Мікропроцесорні системи керування електрообладнанням* — Х.: Політехніка, 2019.
17. Ткаченко І. В. *Інтелектуальні системи моніторингу технічного стану обладнання* // Науковий вісник технічних наук. – 2021. – № 9.
18. Федорчук А. Г. *Методи обробки та аналізу даних сенсорних мереж у енергетиці* — К.: Логос, 2020.
19. Шевченко Б. О. *Програмні платформи для автоматизації об'єктів енергетики* — Одеса: Технічна книга, 2022.
20. IEEE Std C57.xx *IEEE Standards for Power Transformers* — IEEE, 2020.
21. IEC 60076 *Power transformers – International Standard* — IEC, 2018.
22. Ziegler M., Müller T. *Smart Grid Information Systems: Monitoring and Control* — Springer, 2021.
23. Singh R., Gupta P. *SCADA and Automation in Power Systems* — Wiley, 2019.
24. Li X., Wang J. *Condition Monitoring of Power Transformers Using AI Methods* // Journal of Electrical Engineering. – 2022.
25. Smith J., Brown L. *Internet of Things in Electrical Power Systems* — Elsevier, 2020.