

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

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Комп'ютерно-інтегрованих технологій

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розробка автоматизованої системи прогнозування споживання електроенергії за допомогою методів машинного навчання**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи КТ-41  
 спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">(підпис)</div>	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">Куц О.В. (прізвище та ініціали)</div>
Керівник	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">(підпис)</div>	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">Дідич І.С. (прізвище та ініціали)</div>
Нормоконтроль	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">(підпис)</div>	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">Чихіра І.В. (прізвище та ініціали)</div>
Завідувач кафедри	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">(підпис)</div>	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">Микитишин А.Г. (прізвище та ініціали)</div>
Рецензент	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">(підпис)</div>	<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="text-align: center;">Микулик П.М. (прізвище та ініціали)</div>

Тернопіль  
2021



## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини роботи становить 16 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 66 друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – - друкованих сторінок формату А4.

Робота складається з чотирьох розділів, в яких нараховується 22 рисунків та 4 таблиць з даними.

В роботі використано 24 літературних джерел.

Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи прогнозування споживання електроенергії за допомогою методів машинного навчання.

У даній роботі розглянуті способи прогнозування споживання електроенергії промисловими підприємствами міста. Однією з вимог ефективного прогнозування було точне передбачення споживання електроенергії на кожен годину наступної доби для оптимального розподілу ресурсів цих підприємств. Також метою роботи було вивчення можливості передбачення такого роду за допомогою даних про погоду на той же час, що і виміри споживання електроенергії, на увазі сильної залежності цих даних.

Ключові слова: ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ДАНИХ, МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ, ТОЧКИ ВИМІРЮВАННЯ, ТОЧКИ РОЗПОДІЛУ ,

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>7</b>
1.1. Постановка задачі.....	7
1.2 Огляд існуючих аналогів .....	8
<b>2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>Помилка! Закладку не визначено.6</b>
2.1. Дані про споживання енергії .....	166
2.2. Дані про погоду.....	Помилка! Закладку не визначено.8
2.3. Огляд аналогічних завдань і способів їх вирішення.....	Помилка! Закладку не визначено.
2.4. Приведення до стандартного вигляду.....	22
2.5. Методи оцінки .....	Помилка! Закладку не визначено.
2.6. Методи прогнозування .....	Помилка! Закладку не визначено.
<b>3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>29</b>
3.1 Опис моделі. Складові балансового рівняння.....	Помилка! Закладку не визначено.9
3.2. Рівень підстанцій .....	Помилка! Закладку не визначено.
3.3. Рівень обладнання підстанцій.....	40
3.4 Рівень зв'язків між енергооб'єктами .....	41
3.5 Реалізація модуля, архітектура системи.....	46
<b>4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....</b>	<b>54</b>
4.1. Організація охорони праці при роботі з системою управління .....	54
4.2. Електробезпека.....	58
4.3. Розрахунок заземлення.....	59
<b>Висновки.....</b>	<b>63</b>

## **ВСТУП**

Методи машинного навчання мають велику область практичних застосувань в автоматизації, управлінні, економічних напрямках, соціології, медицині і т.д. Машинне навчання включає в себе завдання різного спектру: від побудови графіків до оцінки якості даних. Основною проблемою області являється використання без достатнього розуміння методів і технік машинного навчання, дана робота була проведена з метою показати можливості і особливості методів області.

Ефективне енерговиробництво та енергоспоживання є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності. В особливо в ситуації, коли основним джерелом виробництва є газова енергія, яка використовується в ТЕЦ.

В даній роботі розглянуті способи прогнозування використання електроенергії промисловими підприємствами міста. Однією з вимог ефективного прогнозування являється точне передбачення споживання електроенергії на кожну годину наступної доби для оптимального розподілу ресурсів цих підприємств.

Також метою роботи було вивчення можливості передбачення такого роду за допомогою даних про погоду на той же час, що і виміри споживання електроенергії, та сильної залежності цих даних.

Завдання споживання електроенергії можна вирішувати двома способами, для цього її можна сформулювати наступним чином:

- Завдання регресії одна з найбільш поширених завдань в аналізі даних і створення прогнозів. Для вирішення цієї задачі потрібно створення функції регресії, яка присвоює

кожного набору вхідних атрибутів дійсне значення. Регресія вхідних значень проводиться після проходження етапу 'навчання', в процесі якого на вхід навчального алгоритму подаються вхідні дані з уже приписаними їм значеннями результатів.

- Завдання прогнозування часових рядів одна з найбільш розповсюджених завдань прогнозування в прикладній індустрії і актуарній математиці (оцінка ризиків). Для вирішення цього завдання використовують методи виділення закономірностей в даних, таких як: сезонність, тренд і перешкоди. Також використовуються різного роду моделювання фізичних, стохастичних та інших процесів.

Для обох завдань (особливо завдання регресії) потрібно правильно обробити дані і зафіксувати методи оцінювання отриманих результатів. В якості методів оцінки були застосовані як різному роду метрики, так і графічні підходи для візуалізації відхилень від істинних значень. У даній роботі розглянуті різні підходи до обробки даних.

.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Постановка задачі

В рамках даної роботи ставилися наступні завдання:

- Показати можливість прогнозування погодинного споживання електроенергії з використанням даних про погоду для подальшого аналізу іншими учасниками роботи
- Знайти і виправити невідповідності в даних
- Заповнити прогалини в даних про погоду
- Виділити нові параметри, що впливають на результат
- Ввести критерії оцінки прогнозування

Необхідно створити автоматизовану систему 'Баланси електроенергії', розроблену під сервер бази даних Oracle. Клієнтська частина системи повинна бути розроблена в середовищі Centura для забезпечення сумісності з існуючим програмним забезпеченням.

Створення автоматизованої системи передбачає такі завдання:

- опис точок обліку електроенергії на елементах схеми електричної мережі;
- реалізація збереження показань приладів обліку і визначення кількості електроенергії в точках обліку;
- можливість формування прийому показань, отриманих за даними АСОЕ;
- розробку і реалізацію алгоритмів з розрахунку балансів електричної енергії для:
  - обладнання енергооб'єктів (РУ, фідери);
  - енергооб'єктів (ПС, РП, ТП, ЕС);
  - ПЕС і організацій;
- розробку і реалізацію алгоритмів з розрахунку технологічних втрат електроенергії, в тому числі:
  - в обладнанні Подстанционная мережі;

- в приєднаній мережі енергооб'єкта;
- інструментальні втрати, зумовлені похибками системи обліку;
- розробку і реалізацію алгоритмів з розрахунку власних потреб підстанції в залежності від її комплектації, використовуючи встановлені норми розрахунків;
- надання детальної звітності по структурі втрат в виділених вузлах і ділянках (тобто енергооб'єктах і приєднання).

## 1.2 Огляд існуючих аналогів

Найбільш прогресивні підприємства стали пред'являти до АСОЕ (автоматизована система обліку електроенергії) більш високі вимоги. Система АСОЕ є підсистемою в загальній автоматизованій системі управління технологічним процесом (АСУ ТП) підприємства.

З'явилося нове покоління систем АСОЕ на основі мікропроцесорних лічильників і пристроїв збору та передачі даних (ПЗПД) на базі сучасних промислових контролерів. Вимоги до передачі інформації в АСОУ. Вони повинні підтримувати весь стандартний набір інтерфейсів зв'язку, що прийняті для АСУ такі як:

- послідовні інтерфейси RS-232;
- локальна мережа Ethernet;
- польові шини Profi Bus, CAN Bus.

Для передачі даних повинні використовувати стандартні протоколи зв'язку (TCP / IP, PPP, SLIP і т.п.).

Загальні вимоги до розрахункових лічильників, що застосовуються в АСОЕ:

- вимірювання електроенергії з наростаючим кінцевим значенням і обчислення усередненої потужності за півгодинні інтервали часу (при



необхідності - значення усередненої потужності за більш короткі проміжки часу);

- Можливість зберігання профілю навантаження з півгодинним інтервалом на період не менше 1-го місяця;
- Наявність цифрового інтерфейсу (RS-232);
- Наявність таймера (точність ходу не гірше  $\pm 2$  сек на добу з можливістю автоматичної корекції);
- Наявність незалежної пам'яті для забезпечення зберігання запрограмованих параметрів електролічильника та збереження останніх даних по активної та реактивної енергії при пропажі живлення;
- Ведення «журналу подій» (Фіксація кількості пропадання живлення, кількості і дат зв'язків з лічильником, що призвели до яких-небудь змін даних і т.п.);
- Наявність захисту від несанкціонованого зміни параметрів;
- Наявність автоматичної діагностики.

Комплекс технічних засобів автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи обліку електроенергії АСОЕ включає містить:

- трансформатори струму і напруги (вимірювальні);
- Лічильники СЕТ - 4ТМ.02 (електроенергії);
- МСІ, УСПД (обладнання збору та передачі даних);
- Комп'ютерне і периферійне обладнання.

Трансформатори струму і трансформатори напруги:

Вимірювальні трансформатори струму і напруги входять до складу системи АСОЕ призначені для перетворення великого струму і високої напруги мережі до рівнів відповідним струмів і напруг лічильників електричної енергії.

Лічильники електричної енергії:

При створенні системи АСОЕ з використанням мікропроцесорів (типу СЕТ-4ТМ.02, призначених для вимірювання активної та реактивної електричної потужності) інтегрування результатів вимірювання на

півгодинних інтервалах, збереження отриманих даних в пам'яті лічильника з прив'язкою до поточного часу.

Пристрої збору і передачі даних (ПЗПД):

Пристрої збору і передачі даних призначені для збору і обробки даних про електроспоживання з лічильників електроенергії формування групових вимірів, підтримка зв'язку з системами верхнього рівня, підтримання єдиного системного часу, ведення архівів заданої структури і т.д. Дані зі лічильників СЕТ - 4ТМ.02 через інтерфейс RS-232 в цифровому коді по одноканальній лінії зв'язку надходить на ПЗПД.

Для передачі даних від ПЗПД на верхній рівень можна організувати два канали один основний з використанням виділеної телефонної лінії і проводового модему, другий резервний з використанням стільникового зв'язку і GSM - модему.

Лічильники типу СЕТ - 4ТМ.02 ставлять на вихідні лінії. Даний тип СЕТ - 4ТМ.02 дозволяє вимірювати активну і реактивну потужність в двох напрямках, що приносить користь для технічного обліку, Даний тип має режим багатотарифності, дозволяє враховувати графіки електричного навантаження. Також, лічильники СЕТ-4ТМ.02 можуть використовуватись у більшому інтервалі температур, та володіють більшим міжпіврічним інтервалом. На вибір типу лічильника для АСКОЕ вплинув насамперед той факт, що лічильник СЕТ - 4ТМ 0.2 є на сьогоднішній день безумовним лідером серед аналогічних лічильників. Перевагами цього лічильника є:

1. Відкритість протоколу лічильника що дозволяє використовувати його в будь-яких АСОЕ;
2. Функціональна закінченість лічильника, тобто всі його функції реалізуються в єдиній конструкції;
3. Висока точність ходу таймера лічильника, що мінімізує пов'язану з цим систематичну похибку;
4. Прийнятна ціна.

Таблица 1 – Технические характеристики электросчётчика СЭТ-4ТМ.02

Параметр	Тип лічильника
	СЭТ – 4ТМ.02
Класс точності	0,2S
Номинальный/максимальный струм, А	1/10
Чутливість, мА	1
Рабочий діапазон температур	От – 40 °С до + 60 °С
Резервне живлення	+
Інтерфейс RS – 232	+
Цифровой вихід	2
Імпульсный вихід	1
Інфрачервоний порт	+
Захист інформації	+
Внутрішній модем	–
Порт Internet	–
Час зберігання інформації	170 діб
Споживана потужність по ланцюгах напруги, ВА / Вт	< 3 (1,3)
Швидкість обміну інформацією при зв'язку з лічильником по цифровим інтерфейсам, біт	600, 1200, 2400, 1800, 9600, 19200, 38400
Защита от несанкционированного доступа к коммерческой информации	
• пароль счётчика	+
• аппаратная блокировка	+
Точность хода часов	±0,5 сек/сутки
Самодиагностика счётчика	+
Гарантийный срок эксплуатации, лет	3
Межповерочный интервал, лет	10



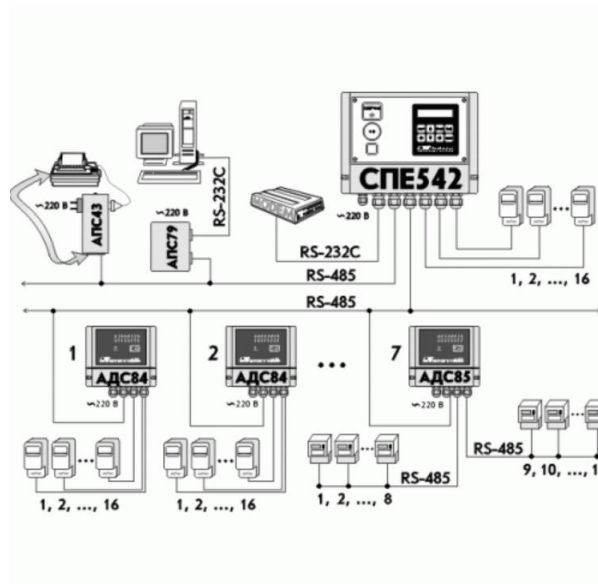
Вибір пристрою збору і передачі даних.

Крім лічильника електричної енергії необхідно вибрати пристрій збору і передачі даних (ПСПД) виходячи з технічних характеристик обраних лічильників електричної енергії типу СЕТ-4ТМ.02.

Розглянемо технічні характеристики трьох мікроконтролерів: СПЕ542, МСМ «Бджола» і «Телеучет-К1».

### Суматор СПЕ542

- Вимірює електричну енергію і потужність на 16-28 каналах;
- Має 20 входів з них 4 керованих;
- Довжина зв'язку від лічильника до суматора не повинна перевищувати 3 км .;
- Необхідний адаптер АПС79 для приєднання до ПК з інтерфейсом RS 485 (замовляється додатково - 4430 руб.)
- Необхідно програмне забезпечення «СПСеть» для організації комплексу і системи обліку

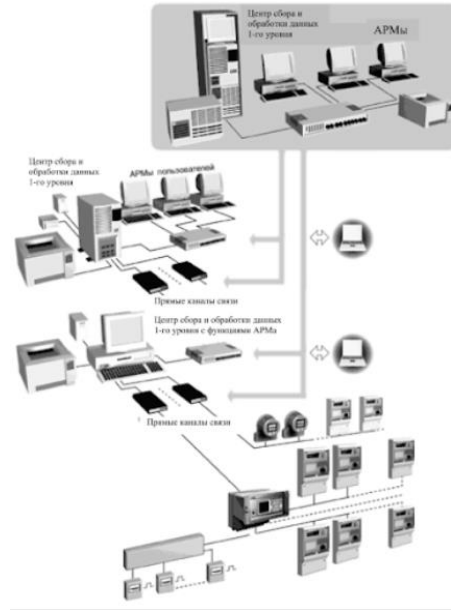


Малюнок 2 – Схема вимірювання з використанням СПЕ542

### МСМ «Бджола»

- Прийом імпульсних сигналів від первинних приладів по 16 входів.
- Прийом цифрової інформації від контролерів по інтерфейсу RS 485.
- Застосовується з архіватором «Бджола АР-3» (30000 годин, 625 діб).

- Межа робочих температур від -40 до +50.



Малюнок 3 – Схема вимірювання з використанням МСМ «Бджола»

#### «Телеучет-К1 Модель 21СТ»

- підключення 40 лічильників з імпульсними телеметричним виходами і до 30 лічильників з цифровими інтерфейсами,
- використання автономної системи енергоживлення,
- клімат. гр. 5 (-30 ... + 50 ° C),
- пиловологозахисту IP55, захист від агресивного середовища
- Наявність журналу подій (до 1000 записів),
- Вузол інтерфейсу RS-485,
- Адаптер мережі Ethernet і інтерфейс RS-232,

#### Функції УСПД «Телеучет-К1 Модель 21СТ»:

- автоматичний збір даних вимірювань з лічильників електроенергії по цифровим інтерфейсам і імпульсним телеметричним виходів
- обробка результатів вимірювань відповідно до схеми обліку і розрахунковими коефіцієнтами вимірювальних каналів
- незалежне зберігання даних енергообліку по каналах і групам обліку: профілі навантаження у вигляді збільшень енергії за час інтервалу обліку,

дані про споживання енергії за місяць, поточні показання лічильників на початок місяця і доби

- ведення та незалежне зберігання журналу подій
- включення / відключення живлення і перезапуски
- відображення даних енергообліку на вбудованому індикаторі
- передача даних на верхній ієрархічний рівень (сервер обліку) АИИС КУЕ по декількох незалежних каналах зв'язку: фізичним лініях, тональним каналах відомчого зв'язку, комутованих телефонних каналах, мережі GSM, радіоканалу і по мережі Ethernet
- синхронізація єдиного системного часу в УСПД і підключених до нього лічильниках за сигналами коригування, одержуваних від сервера обліку АИИС КУЕ, з метою забезпечення синхронності вимірювань
- захист даних енергообліку і параметрів настройки від несанкціонованого доступу на програмному та апаратному рівні.

Похибки засобів вимірювання

Межа відносної похибки вимірювального комплексу обліку електроенергії складається з вимірювальних трансформаторів струму, напруги, лічильника і сполучних проводів. Межі допустимих похибок вимірювань такого комплексу відповідно до РД 153-34.0-11.203-99 визначають за формулою:

$$\delta = \pm 1,1 \times \sqrt{\delta_I^2 + \delta_N^2 + \delta_\theta^2 + \delta_{\phi\Sigma}^2},$$

де  $\delta_I$  – струмова похибка ТТ, %;

$\delta_c$  – відносна похибка лічильника, %;

$\delta_\theta$  – відносна похибка виділеного з вимірюваного значення повного струму його активної складової, обумовлена кутовою похибкою ТТ, %;

$\delta_{\phi\Sigma}^2$  – сумарна додаткова похибка, що визнана фактором впливу (відхиленнями напруги, частоти, температури навколишнього повітря, магнітного поля і іншими факторами від нормальних значень, при яких гарантується перебування похибки всередині діапазону, відповідного класу точності), %;

## 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### Опис особливостей даних

Дані, на основі яких будується модель, мають в різні формати і отримані з різних джерел.

#### 2.1. Дані про споживання енергії

Формат даних має вигляд .xml [1] документа, який отриманий за допомогою запиту до Oracle DBMS [2]. Дані агрегованих по годинах. Виміри проведені за кожну годину років.

Нижче наведено приклад вхідних даних про електрику.

Listing 1: Споживання електроенергії

```

1<?xml version="1.0" ?>

2 <!DOCTYPE main [

3<!ELEMENT main (DATA_RECORD *)>

4 <!ELEMENT DATA_RECORD (VALUE?,
DATE?, HOUR?) +> 5 <!ELEMENT VALUE
(#PCDATA)>
6<!ELEMENT DATE (#PCDATA)>

7<!ELEMENT HOUR (#PCDATA)>

```



8 ]>

9 <Main>

10 <DATA\_RECORD>

11 <VALUE> 243887 </ VALUE>

12 <DATE> 0 1. 0 1. 2 0 0 9 0: 0 0: 0 0. 0 0 0 0 0 0 </ DATE>

13 <HOUR> 1 </ HOUR>

14 </ DATA\_RECORD>

15 <DATA\_RECORD>

16 <VALUE> 243068 </ VALUE>

17 <DATE> 0 1. 0 1. 2 0 0 9 0: 0 0: 0 0. 0 0 0 0 0 0 </ DATE>

18 <HOUR> 2 </ HOUR>

19 </ DATA\_RECORD>

20 </ Main>

---

Як видно це xml файл з фіксованою схемою даних, що яв-ляється поширеною практикою в світі СУБД.

## 2.2. Дані про погоду

Дані про погоду агрегованих з декількох джерел і включають в себе такі змінні як:

- Дата вимірювання
- Час вимірювання
- Температура
- Вологість
- Точка роси
- Атмосферний тиск
- Напрямок вітру
- Швидкість вітру
- відсоток хмарності
- Висота хмар
- Видимість
- Погодні аномалії такі, як сніг, туман, серпанок, дощ і т.д.

Основною відмінністю від даних про енергоспоживання являються заміри, що робилися кожні три години (на відміну від кожної години).

Формат даних має вигляд .xlsx [3] документа заповненого від руки с дванадцятьма листами, тобто поділом на кожен місяць.

### **Невідповідність в даних і прогалини в даних про погоду**

Так як погодні дані заповнені від руки, в них можуть закрастися помилки і складно машиноінтерпретуючі умови, такі як семантично подібні поняття і визначення, які є близькими, але не тотожними. Також, варто відзначити, що із за конфіденційності підприємств дані про погоду не можуть бути отримані з відкритих джерел, тому проведений додатковий аналіз даних.

Так як найбільш відомі і вивчені алгоритми з області машинного навчання потребують відповідності прогнозованих даних даними на основі яких відбувається прогнозування, також необхідно провести інтерполяцію для можливості застосування відомих алгоритмів регресії.

### **Нові параметри**

Як правило в задачах аналізу даних доступні змінні можуть не містити всієї інформації, яка потрібна для успішного прогнозування результатів. Але самі дані можуть містити приховані змінні, при виявленні яких результати аналізу можуть радикально покращитися [4,5]. У даній роботі прикладом такої змінної може послужити місяць вироблених вимірів.

Також не варто забувати про змінних які можна додати ззовні [6]. Саме в цій роботі можна виділити такі змінні як Святкові дні, HS index і Humidex Index.

## **2.3 Огляд аналогічних завдань і способів їх вирішення**

### **На основі даних про будинки**

Однією з аналогічних робіт є завдання передбачення зпоживання електроенергії на основі даних про 1500 будинках Гонг-Конга [7].

В роботі були зібрані дані про всі енергоспоживаючих приборах будинків і також зроблені позначки про вік і прибутку людей, які проживають в цих будинках. Вимірювання робилися щодня, проведений як взимку, так і влітку.

Після обробки проведено аналіз даних і побудовані три моделі прогнозування енергоспоживання:

- лінійна регресія [8]
- Нейронні мережі [9]
- дерева рішень [10]

Як видно з таблиці нижче кращий результат дають Нейронні мережі і Древа рішень з відхиленням від істинного значення в 5-6%.

Таблиця 2 – Результати випробування

	результати
Лінійна регресія	7.6-8.2%
Нейронні мережі	5.5-6.7%
Древа рішень	4.8-5.6%

### **Тільки на основі даних про енергоспоживання**

В іншій роботі використані інші методи аналізу даних і прогнозування результатів, в першу чергу через те, що дані цьому завданні мають інший вигляд [11]. А саме: щосекундний звіт про фактичне споживання електроенергії з кожного вузла двох кластерів коип'ютерів, що складаються з 56 і 79 вузлів. Які результувались в великому обсязі даних (близько 50 Гб).

Для обробки такої кількості інформації були використані Hadoop [1] і Pig [3], розгорнуті на кластері з 55 вузлів. Hadoop був обраний для зручного агрегування даних по годинах з використанням технології Mapreduce [12]. А Pig, будучи надбудовою над Hadoop для виконання запитів на SQL-подібному [13] мовою, використовувався для формування Mapreduce запитів.

Дані були агреговані представленим нижче способом:

---

```
x = LOAD '$ in' USING PigStorage ( ',')
```

```
y = FILTER x BY watts>= 0;
```

```
z = FOREACH y GENERATE
```

```

node, watts;

g = GROUP z BY (node_ID);

s = FOREACH g GENERATE flatten (group),
    COUNT (z), MIN (z.watts), MAX
    (z.watts), AVG (z.watts),

STORE s INTO '$ out' USING PigStorage ( ',');

```

---

Потім застосований стандартний метод аналізу часових рядів ARIMA [14], який виділяє шум, загальну тенденцію часового ряду і періодичність в окремі компоненти, для побудови спрощеної моделі часового ряду. Цій роботі варто відзначити малий набір факторів, використаний в аналізі. Однак отримані якісні результати. Можна припустити, що, в першу чергу, це обумовлено високою частотою збору даних. В результаті отримано відхилення від істинного значення в 8-9%.

### **На основі даних про будинки і погоду**

Ще однією роботою, яку варто розглянути є завдання передбачення споживання електроенергії на основі даних про погоду, жителів і будинках району міста Палермо [15].

Були зібрані дані про енергоспоживання будинків і дані про погоду в тому ж регіоні. Вимірювання проводились кожну годину.

Після обробки даних в роботі також пораховані нові змінні на основі старих:

- **індекс Humidex** [16] найбільш популярний захід дискомфорту погодних умов.

- **індекс HS** [15] Індекс Humidex з урахуванням ймовірності включення термостата в житло, в роботі моделювався ймовірносно.

Індекс Humidex може бути обчислений за такою формулою:

$$H = T + 5/9 (e - 10):$$

Де  $e$  тиск рідини в повітрі, яке може бути оцінена за такою формулою:

$$e = 6.11210[(7.5 T) / (237.7 + T)] RH / 100:$$

де  $RH$  - вологість повітря.

Моделлю прогнозування служила Рекурентна Нейронна Мережа [11] - глибока Нейромережа, що володіє властивістю пам'яті і часто використовується в аналізі тимчасових явищ.

Внаслідок отримано відхилення від істинного значення в 4%.

## Обробка даних

### 2.4 Приведення до стандартного вигляду

Спершу дані приводять до єдиного формату таким обраним форматом .csv [17], тому була розібрана .xlsx книга про погодні дані і з'єднана в один файл .csv.

Так як інформація про погоду заповнена від руки, в ній могли потенційно виявитися невідповідності. За допомогою середовища аналізу даних Rstudio і мови R [18] знайдені відсутні вимірювання і вручну внесені виправлення. Деякі значення погодніх аномалій були заповнені без використання певного формату (наприклад "Дощ" - "Дощова погода")

відповідно внесені поправки в такі дані, шляхом вибору єдиного назви для семантично подібних понять. Також побудовані гістограми значень з метою виявити аномалії. Аномалій не виявлено.

Дані про електрику надані в форматі xml лічені і записані в формат csv.

Великих відхилень не виявлено, зміни не вносилися.

Найбільшим невідповідністю даних формату був перехід на літній час в погодних даних, що усунуто приведенням часу до єдиного тимчасового формату без переходів на літній час.

### **Нові змінні**

Основним джерелом нових змінних в даній роботі є відмітка про час. Вона розділена на кілька незалежних змінних, таких як:

- День тижня

- місяць
- Номер тижня в році

З роботи [15] взята змінна Індекс Humidex.

Також виділено новий параметр 'Свята', заповнений за допомогою даних календарних свят.

### **Інтерполяція даних**

В наслідок того, що інформація про погоду дана на кожні три години, а прогнозування робиться на кожну годину подальшого дня, прийнято рішення проінтерполіровать дані.

Для категоріальних змінних, таких як напрямки вітру і атмосферні аномалії інтерполяція проведена наступним чином: для даного, попередніх і наступних годин приймаються однакові значення.

Для численних змінних розглянуті різні методи інтерполяції [19], так як результати не дали різниці в прогнозуванні обрана лінійна інтерполяція, як спосіб інтерполяції чисельних даних.



## 2.5 Методи оцінки

### Метрика $R^2$

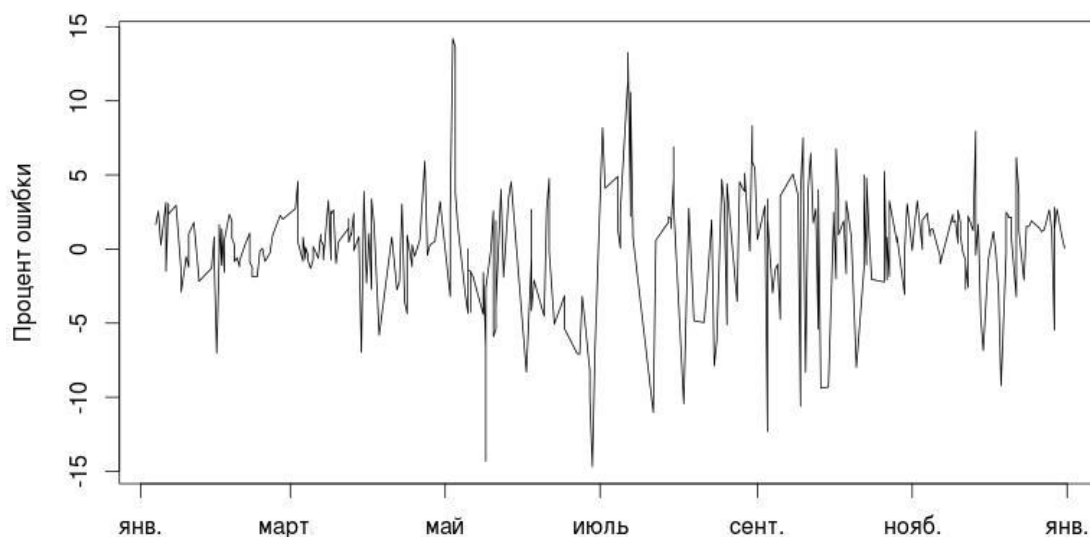
Метрика  $R^2$  [17], також відома як коефіцієнт детермінації.

Обчислюється за такою формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

Метрика обрана в першу чергу через те, що є нормованим показником якості прогнозування моделі і дозволяє порівнювати як моделі між собою, так і безпосередньо робити припущення про якість результатів. Метрика оцінює кількість поясненої варіації моделі.

### Графіки відхилень



Малюнок 4: Результати за рік

Також, щоб не покладатися лише на один одновимірний показник, прийнято рішення будувати графіки відхилень для кожного обраного способу, як, наприклад, видно на графіку для дерев рішень .

## 2.6 Методи прогнозування

### Наївний метод

Спочатку, щоб отримати базовий результат, який можна потім покращувати, випробуваний наївний спосіб прогнозування.

Він полягає в підвішеному прогнозуванні результатів на конкретну годину з використанням даних за попередні дні з різного роду вагами.

Після про граматичного перебору декількох варіантів найкращий результат показало експоненціальне зважування споживання за попередні три дні, а саме той же час попереднього дня з вагою 0.7, за день до цього з вагою 0.25 і ще один день з вагою 0.05.

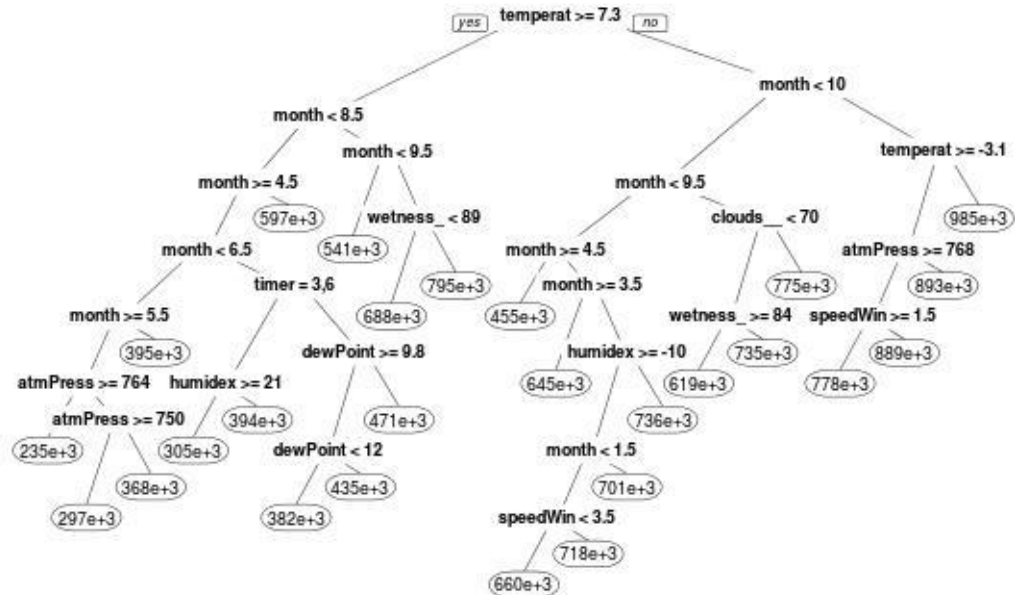
Отримано результат з метрикою  $R^2 = 0.912$

### Дерева рішень

Дерева рішень - алгоритм побудови ланцюжка if-then-else для побудови моделей прогнозування даних. Дозволяє отримувати стабільні рішення, які можна порівняти з SVM і Нейро-мережами, при цьому не використовуючи великих обчислювальних потужностей, необхідних попередніми.

Оцінка результатів проведена методом Bootstrapping'a [20]. А точніше, береться безліч вибірок (в даному випадку 100) на них кожен раз заново навчається дерево рішень і прогнозується наступного дня по кожній годині. Самі безлічі вибірок змінюються - це відрізки часу довжиною від трьох до дванадцяти тижнів, з початком в випадковий момент часу.

В підсумку отримані досить стабільні результати, навіть при варіюванні довжини проміжку навчання. Результат з метрикою  $R^2 = 0.974\ 0.009$



Малюнок 5: Одне з побудованих дерев рішень (обрізане для читабельності)

### Ліс рішень

Ліс рішень - це модифікований алгоритм дерев рішень, який будує безліч дерев на різних підмножин навчальної вибірки і, в наслідок Закону Великих чисел [21], отримує кращі результати шляхом вибору середнього з усіх прогнозів дерев.

Навчання та апробація проведено такими ж методами, як і для дерев рішень.

В підсумку отримані стабільні результати, навіть при варіюванні довжини проміжку навчання від трьох до дванадцяти місяців. Отримано результат з метрикою  $R^2 = 0.981\ 0.004$

### Вплив нових змінних на результати

Алгоритм Дерев Рішень дозволяє виділити параметри, які мають найбільший вплив на силу алгоритму. Це робиться шляхом видалення змінних, для яких проводиться оцінка важливості і розгляду різниці отриманого відхилення від початкового. Нижче представлена ця сама різниця в процентному співвідношенні.

Таблиця 3 - Різниця отриманих відхилень від початкового

	t, С	Т. Роси	Місяць	Облач.- ть	Д. Нед.	Святк.
Сниження як точно- сті	23%	18.5%	16.7%	6.5%	5.2%	0.4% (2.2%)

З отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

- Нові параметри, отримані з даних, хоч і не є самими важливими, однак вносять значний вклад в силу моделі
- Параметр ж 'Свята', отриманий ззовні, не є важливим для моделі в цілому, але має деякий вплив на дні, оголошення святами.

### 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### Можливі підходи до збору даних

##### 3.1 Опис моделі. Складові балансового рівняння

Електроенергетична система (ЕЕС) має структуру з деякими властивостями ієрархічності: підприємства та організації поділяють між собою енергетичні об'єкти, а енергетичні об'єкти мають різним устаткуванням і пов'язані між собою лініями електропередачі. При цьому є необхідність проводити розрахунок балансу електричної енергії, як на обладнанні підстанції, так і для підприємств і організацій. Виходячи з цього, потрібно розглянути структуру ЕЕС на декількох рівнях.

#### Рівень підприємств і організацій електроенергетичної системи.

Життєвий цикл електричної енергії можна представити таким чином:



При цьому в енергосистемі виконується властивість єдності виробництва і споживання електроенергії:

- енергія, вироблена генераторами ЕС, витрачається на транспортування по мережі і передається споживачам:

$$W_{\Gamma} = W_{\Pi} + W_{\Gamma}$$

В життєвому циклі електричної енергії беруть участь наступні юридичні особи:

- підприємства електричних мереж і мережеві організації; вони володіють на праві власності або іншому, встановленому федеральними законами, підставі об'єктами електричної мережі; надають послуги з передачі електричної енергії та здійснюють підключення юридичних і фізичних осіб до електричних мереж;
- генеруючі компанії; вони володіють електростанціями, що виробляють електричну енергію; можуть взаємодіяти як з мережевими компаніями, так і безпосередньо зі збутовими;
- енергозбутових компаній; вони в якості основного виду діяльності здійснюють продаж іншим особам виробленої або придбаної електричної енергії.

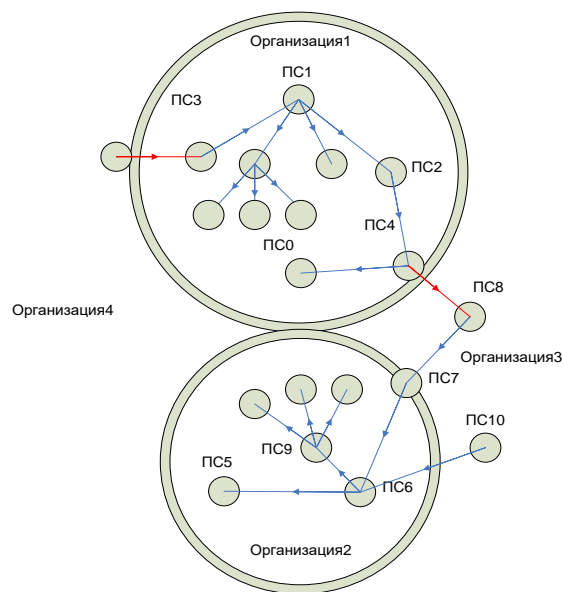


Таким чином, об'єкти енергосистеми виявляються розділеними між різними організаціями і підприємствами. Лінія поділу об'єктів між власниками називається межею балансової належності.

Якщо моделювати процес передачі електроенергії графом (що є найбільш природним), то цей граф буде мати наступні характеристики:

- вершини графа представляють енергооб'єкти мережі, електростанції і споживачів електричної енергії.
- ребра графа відповідають лініям електропередачі. При цьому наявність ребра між двома вершинами не означає існування однієї лінії передачі між відповідними енергооб'єктами, а означає факт наявності хоча б однієї такої лінії;
- граф є спрямованим - напрямок ребра збігається з напрям передачі енергії у відповідній цьому ребру лінії;

- граф може мати цикли, не має самоперетинів і не має ребер-петель (коли початок і кінець ребра збігаються);
- граф має властивість зв'язності;
- ребра графа пофарбовані в два кольори: червоні - відповідають лініям, які з'єднують об'єкти, що знаходяться на балансовій належності різних підприємств: тобто лінії перетинають межу балансової належності; синій - відповідає лініях, що з'єднують енергооб'єкти, що знаходяться на балансі одного підприємства.
- Деякі вершини графа можуть належати відразу декільком областям. Це відбувається, тому що на одній підстанції частина обладнання може належати одній організації, а частина іншої.



Малюнок 6 – Граф передачі електроенергії

На такій моделі розглянемо обчислення балансу в межах балансової належності ПЕС або мережевий організації. Для складання балансового рівняння необхідно знати видаткову і прибуткову частину енергії.

Для обчислення приходу ( $W_{\text{п}}$ ) потрібно заміряти кількість енергії, яка прийшла в мережу підприємства з мереж інших власників. Тобто знайти суму значень в точках перетину червоних ребер з відповідною кордоном (враховуючи напрямки). Корисний відпуск енергії ( $W_o$ ) споживачам і в мережі інших власників обчислюється аналогічно. Залишилося обчислити ту енергію, яка витрачена при транспортуванні по лініях мережі ( $W_{\text{сеті}}$ ). Також необхідно враховувати витрати на власні ( $W_{\text{СН}}$ ), господарські та виробничі ( $W_{\text{хіпн}}$ ) потреби всіх підстанцій, що перебувають на балансі цього підприємства.

Балансове рівняння має вигляд:

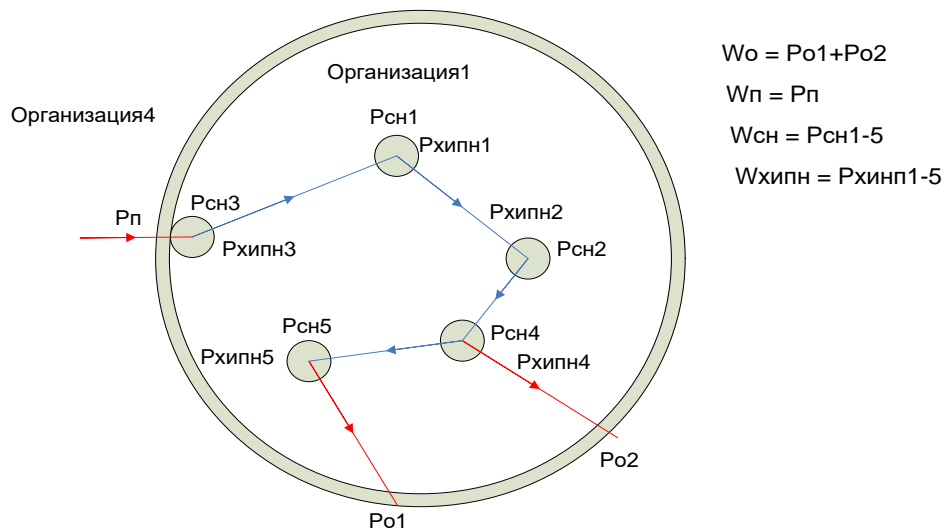
$$W_{\text{п}} = W_o + W_{\text{СН}} + W_{\text{хіпн}} + W_{\text{сеті}}$$

Оскільки в розрахунках балансу мережевої компанії інтерес представляють тільки значення енергії на межі балансової належності, то і враховувати треба тільки свідчення в точках технічного обліку, розташованих на кордоні. Для обчислення  $W_{\text{СН}}$  і  $W_{\text{хіпн}}$  потрібно зібрати свідчення по всіх точках обліку, що вимірює витрати на власні і виробничі потреби підстанцій. Таким чином, в модель представлення мережі треба додати мітки на ребрах графа, які перетинають кордони області, відповідної ПЕС. Також необхідно додати мітки на вершинах графа: в кожній вершині по 2 мітки.

Тоді алгоритм розрахунку буде наступний:

- знайти всі мітки на кордоні, визначити їх приналежність до вступу або відпустки;
- пройти по всіх вершин графа, збираючи значення міток і розділяючи їх за належністю до двох груп: власні потреби і господарські та виробничі потреби;
- знайти втрати в мережі розглянутого ПЕС.





Малюнок 7 - Алгоритм розрахунку

Розрахунок втрат є одним з найважливіших етапів розрахунку балансу електричної енергії в мережі підприємства. Визначимося з термінами. Електрична енергія є єдиним видом продукції, яка при своєму транспортуванні витрачає тільки частину себе, не вимагаючи будь-яких інших витрат. Саме ця частина електроенергії, яка витрачається на транспортування і називається втратами.

Часто використовують термін «фактичні (звітні) втрати електроенергії» - це різниця електроенергії надійшла в мережу і електроенергії відпущеної споживачам.

Ці втрати включають в себе різні складові: витрата на роботу обладнання, необхідного для передачі електроенергії; похибка в вимірювальних системах; розкрадання електроенергії. Фактичні втрати можуть бути розділені на наступні складові:

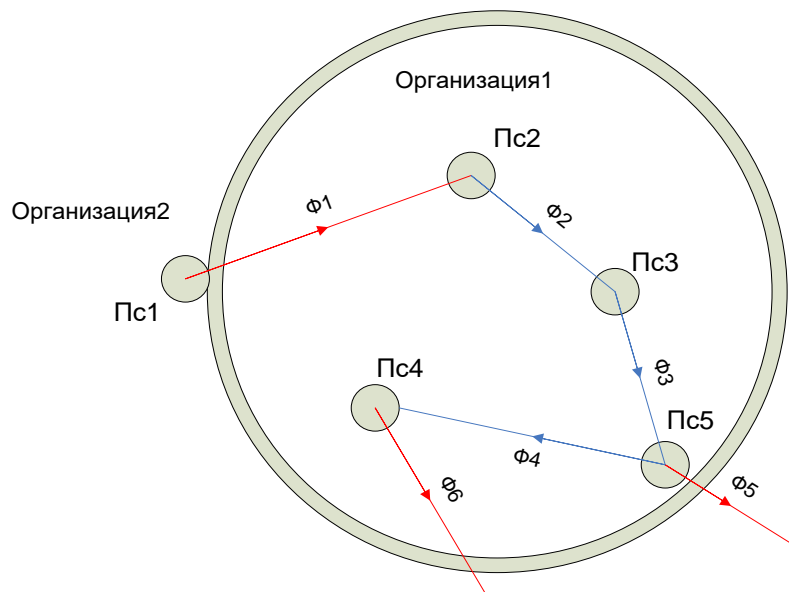
- технічні втрати електроенергії, зумовлені фізичними процесами, що відбуваються при передачі електроенергії по електричних мережах і виражаються в перетворенні частини електроенергії в тепло в елементах мереж. Технічні втрати отримують розрахунковим шляхом, вони не можуть бути виміряні.

- витрата електроенергії на власні потреби підстанцій - електроенергія, яка витрачається на забезпечення роботи технологічного обладнання підстанції. Цей вид витрат реєструється лічильниками, встановленими на трансформаторах власних потреб. Також витрати енергії на власні потреби можуть бути розраховані з використанням даних про обладнання і встановлених норм витрати.
- втрати електроенергії, зумовлені інструментальними похибками її вимірювання. Ці втрати отримують розрахунковим шляхом на основі даних про використовувані прилади.
- комерційні втрати, зумовлені розкраданнями електроенергії. Ці втрати не мають ніякої математичної природи і тому не можуть бути розраховані. Їх отримують як різницю між фактичними втратами і сумою перших трьох складових.

Перші три складові втрат, а саме технічні, інструментальні втрати і витрати на власні потреби підстанцій складають технологічні втрати.

Витрата на власні потреби вже був врахований у формулі (визначається як сума витрата на власні потреби всіх підстанцій підприємства). Для визначення інструментальних втрат також можна скласти відповідні дані по всім енергооб'єктів підприємства.

Для розрахунку технічних втрат в мережі необхідно знайти втрати в усіх ЛЕП, які перебувають на балансі даного підприємства. Звернемося до малюнка:



Малюнок 8 – Схема розрахунку технічних втрат

При розрахунку технічних втрат в мережі організації1 потрібно врахувати втрати в приєднаній мережі ПС2, ПС3 і ПС4. При цьому хоча ПС5 і знаходиться на балансі організації1, втрати в її приєднаній мережі не враховуються, а ось втрати в лінії  $\Phi_1$  повинні враховуватися, хоча ПС1 знаходиться на балансі іншої організації.

### 3.2 Рівень підстанцій

Для складання балансового рівняння для підстанції необхідна більш детальна структура. На підстанції встановлено різне обладнання: силові трансформатори, розподільні пристрої, компенсатори, різні вимикачі, запобіжники і т.д.

Прийнята наступна модель обладнання:

- обладнання ділиться на групи обладнання (по числу розподільних пристроїв високої сторони);
- кількість РУ «високої сторони» (в загальному випадку) має відповідати числу відповідних до енергооб'єкту ліній.

Для груп устаткування характерні:

одне РУ «високої сторони»;

(Необов'язково) один або кілька трансформаторів;

по числу трансформаторів в групі кількість РУ «низькою боку» (або більше);  
приєднання (елементи, які позначають відходять лінії, фідери).

При цьому важливо відзначити, що моделюється тільки схема нормального режиму енергоспоживання, і вимикачі, роздільники і т.д. виключені з опису, оскільки вважається, що їх становище відомо. Положення комутаційного обладнання та визначає послідовність елементів в моделі.

Кожну групу устаткування можна задати за допомогою дерева, яке має вершини трьох типів: РУ - вершина типу 1; фідер - вершина типу 2 і трансформатор - вершина типу 3. При цьому дерево має такі властивості:

кореневої вершиною може бути тільки вершина типу 1 (РУ);

листової вершиною може бути будь-яка з вершин;

вершина типу 3 (трансформатор) може бути пов'язана ребром тільки з вершинами типу 1 (РУ) і 3 (трансформатор);

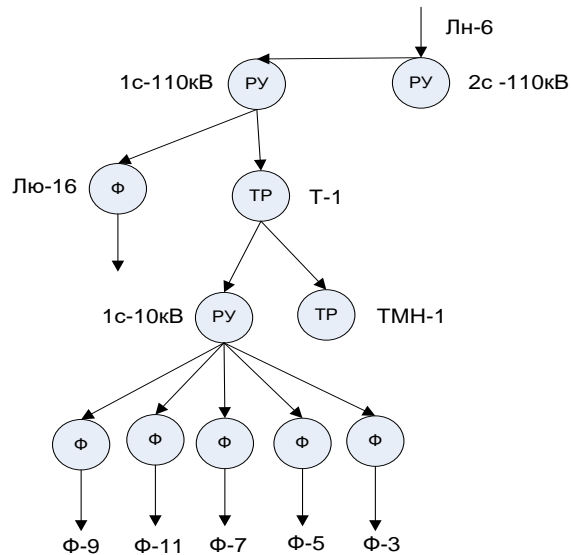
вершина типу 2 (фідер) може бути дочірньою тільки для вершин типу 1 і 2 та мати дочірні вершини тільки типу 2;

вершина типу 1 (РУ) може бути дочірньою тільки для вершин типу 1 і 3 і мати дочірні вершини будь-якого типу.

Далі на основі схеми нормального режиму і даних про стан комутаційного обладнання, можна побудувати схему всієї підстанції. Вона буде виглядати або як набір дерев, кожне з яких відповідає групі устаткування або як одне дерево, що містить в якості піддерев дерева устаткування.

На малюнку представлена схема нормального режиму роботи підстанції, а нижче - її модель. В даному випадку, до підстанції підходить одна лінія ЛН-6, вимикач між РУ високої боку включений, тому в дереві між РУ високої сторони є ребро. Можлива також ситуація, коли два РУ високої напруги будуть харчуватися кожен від своєї ЛЕП. В цьому випадку вимикач між

ними буде відключений, ребра в дереві між ними не буде, а підстанція буде представлена двома окремими деревами. Від РУ низької сторони (10кВ) відходить 5 фідерів, так як один з вимикачів відключений.



Малюнок 9 - Схема нормального режиму роботи підстанції

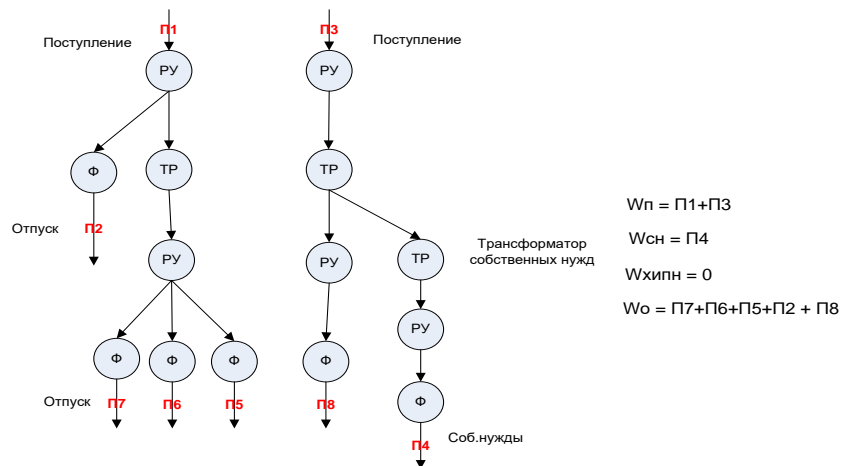
Принцип розрахунку балансу для підстанції залишається тим самим: необхідно знайти надходження і відпуск електроенергії, а також врахувати внутрішні витрати. В даному випадку під внутрішніми витратами розуміється: витрата електроенергії на власні, господарські та виробничі потреби підстанції, а також втрати в Підстанції мережі (тобто в силових трансформаторах та іншому обладнанні підстанції).

Балансове рівняння:

$$W_{\Pi} = W_o + W_{CH} + W_{хпн} + W_{\text{підстанц.мережі}} + W_{\text{обліку}}$$

Для визначення всіх складових крім  $W_{\text{підстанц.мережі}}$  (вона розраховується за спеціальними формулами) використовуються показання в точках технічного обліку, встановлених на обладнанні підстанції. Значення показань можна додати в дерево уявлення обладнання, як вага на ребрах, при цьому

треба вказати напрямок на ребрах, відповідне напрямку розподілу енергії. Для кожного об'єкта обладнання існує цілий набір показань в точках обліку, тому вага на ребрах - список значень, але для простоти на малюнках вказується тільки одне сумарне значення.



Малюнок 10 - Принцип розрахунку балансу

На малюнку зображена дуже проста ситуація: все обладнання підстанції знаходиться на балансовій належності одного підприємства, але часто буває по-іншому: частина обладнання належить одному підприємству, а частину іншому. У такій ситуації точки обліку будуть розташовуватися на межі балансової належності, і буде вказана вага для внутрішніх ребер дерева.

Завдання енергетичного балансу для підстанції на мові представленої моделі можна сформулювати наступним чином: вага, що прийшов в корінь дерева, повинен розподілитися між окремими гілками, і при цьому частина ваги може залишитися в вузлах і ребрах (це відповідає втратам).

Значення ваг на ребрах дерева визначаються на основі інформації про точках технічного обліку і значень показань в цих точках. Цю інформацію заносять користувачі системи. Також ця інформація використовується для визначення, до якої складової балансу буде ставитися кожне показання. Якщо говорити докладніше, то при описі точки обліку в системі вказується її тип. Точка може мати такі типи: власні потреби, перетікання, господарські та виробничі

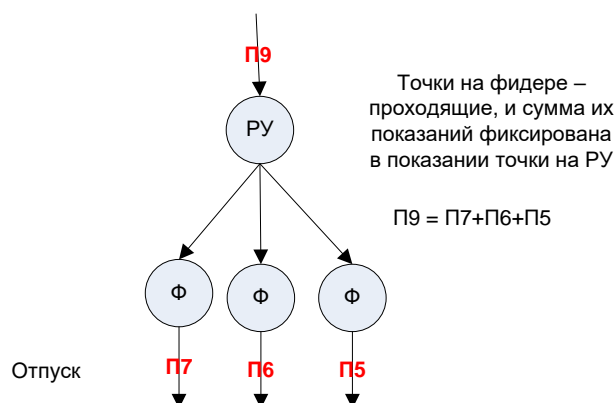
потреби, основна, генерація. Саме за допомогою типу і буде прийматися рішення про те, до якої з складових балансового рівняння відноситься показання, зафіксоване в цій точці обліку.

Алгоритм розрахунку балансу буде наступний:

- спочатку вважаємо, що втрат ваги в вузлах немає;
- прохід по кожному з дерев (або по одному дереву);
- для кожного ребра, яке має вагу, визначаємо, до якої складової балансового рівняння ця вага належить (відпустка, надходження, власні потреби або господарські та виробничі потреби). Це робиться, як було вже сказано, на основі інформації про технічні точках обліку;
- знаходимо значення загальних показників для підстанції в цілому: підсумовуємо відповідні складові, обчислені на кожному дереві окремо (якщо дерев було кілька);
- обчислюємо останні складові балансового рівняння: втрати в Подстанциионная мережі і втрати в системі обліку.

Деякі складнощі:

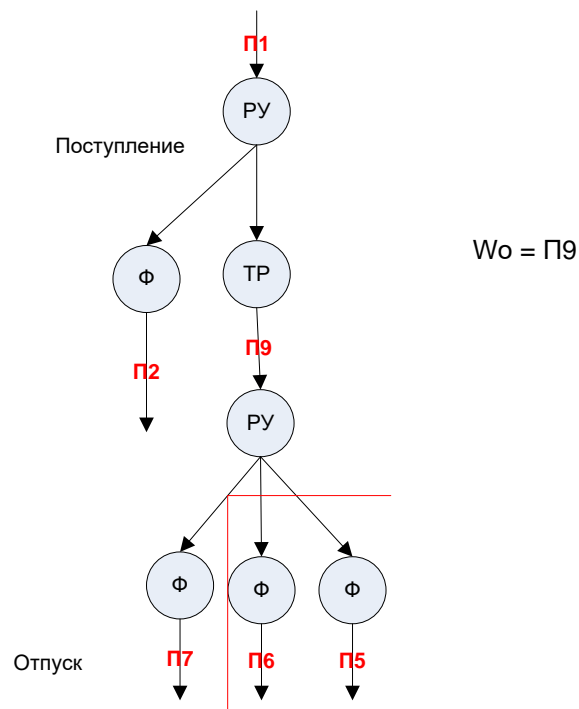
- по-перше, необхідно враховувати, що 'проходять' точки обліку. Для таких точок є старша точка, в якій вже враховані показання проходить. Існування 'проходять' точок в нашій моделі відповідає появі ваги на внутрішньому ребрі дерева:



### Малюнок 11 - Алгоритм розрахунку балансу

Значить, при обході дерева і розподілі точок по групах необхідно враховувати існування проходу точок і стежити за тим, щоб їх значення не використовувалися двічі.

- по-друге, може бути так, що частина обладнання знаходиться на балансовій належності іншого підприємства. У цьому випадку розрахунок буде вестися по урізаному дереву обладнання:



Малюнок 12 – Спрощений алгоритм розрахунку балансу

Червона смуга - межа балансової належності, розрахунок ведеться без розгляду двох фідерів, крім того, показання з П7 не враховуються, тому що є старша точка на РУ, в якій ці свідчення вже враховані.

### 3.3 Рівень обладнання підстанцій.

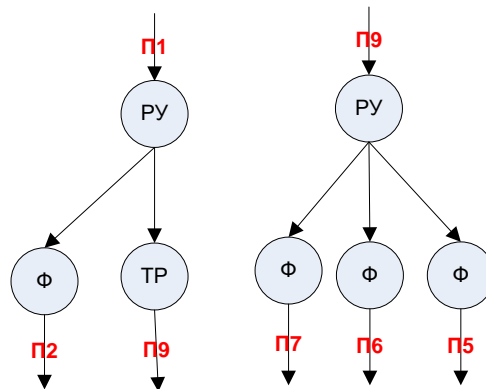
Для локалізації місця розкрадання або витоку енергії на підстанції можна розрахувати баланс на кожному з розподільних пристроїв цієї



підстанції. При цьому для розподільних пристроїв розрахунки робляться приблизно за такою ж схемою, як і для підстанцій: виділяються ті ж складові балансового рівняння - надходження, відпуск електроенергії, господарські та виробничі потреби, власні потреби і втрати[22].

Для розрахунків складових використовуються показання точок обліку, розташованих безпосередньо на самому розподільчому пристрої і на фідерах (лініях), безпосередньо підключених до цього РУ. Інакше кажучи, для розрахунків потрібна частина дерева обладнання: це розподільний пристрій і безпосередні дочірні вузли.

На малюнку показано розподільні пристрої низької і високої напруги з відповідними піддеревами:

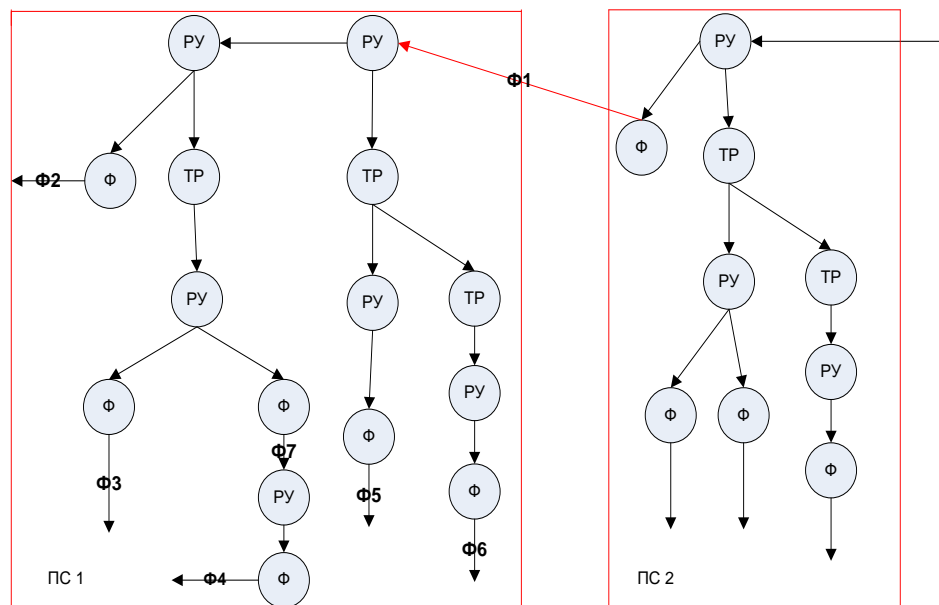


Малюнок 13 - Розподільні пристрої низької і високої напруги

Алгоритм розрахунку буде такою ж, як і для підстанції: прохід по дереву і розподіл міток-показань за складовими балансу. Зауважу тільки, що розподіл показань буде відрізнятися від того, яке було для підстанції. Наприклад, показання П9 в разі розрахунку балансу на підстанції було віднесено до відпустки, а при розрахунку балансу на РУ буде віднесено до вступу.

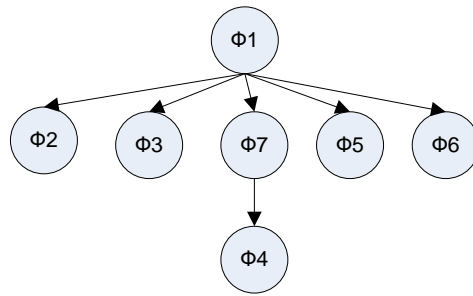
### 3.4 Рівень зв'язків між енергооб'єктами.

Отже, енергооб'єкти можна уявити одним або декількома деревами. При цьому електроенергія перетікає з одного енергооб'єкта в інший по лініях електропередачі. Кожна підстанція виявляється пов'язаною відразу з декількома підстанціями. Такий зв'язком в моделі виступають ребра, що виходять з вершин-фідерів:



Малюнок 14 – Дерево енергооб'єктів

Оскільки саме фідери (лінії) формують зв'язок між енергооб'єктами, то для представлення і збереження інформації про послідовність енергооб'єктів, досить зберігати тільки інформацію про ієрархію фідерів. Ієрархія будується дуже просто: на малюнку, наприклад, виділений фідер Ф1 буде старшим для всіх фідерів енергооб'єкта ПС1. Крім того, Ф7 є живильним для фідера Ф4.



Малюнок 15- Ієрархія фідерів

Таким чином, на основі внутрішніх схем енергооб'єктів, можна побудувати зовнішню схему, яка відображає зв'язки між енергооб'єктами в мережі. Зовнішня схема являє собою ліс з дерев, де кожне дерево - модель послідовності ліній електропередачі. При цьому, якщо якісь з фідерів енергооб'єкта у внутрішній схемою перебувають у відношенні предок-нащадок, то і в зовнішній вони повинні зберегти цю залежність (на малюнку Ф7 і Ф4). І оскільки, в кожному вершину, відповідну РУ високої напруги входить тільки одне ребро, то всі фідери, що належать одній групі обладнання і не мають в цій групі старшого фідера, матимуть одну й ту ж саму вершину-батька у зовнішній схемою (на малюнку це Ф2, Ф3, Ф7, Ф5, Ф6).

Об'єднання двох моделей: внутрішньої схеми обладнання енергооб'єктів (дерево обладнання) і зовнішньої схеми зв'язків між енергооб'єктами (дерево фідерів) моделює всю електроенергетичну систему[23].

### Розрахунок втрат

Обчислення однією зі складових балансового рівняння - втрат електроенергії виробляється не за показаннями точок обліку, а на основі обчислень. Як вже було сказано, втрати - це кількість електроенергії, яка була витрачена на транспортування. Далі будемо говорити тільки про технічні втрати. Вони обумовлені фізичними процесами. Частина

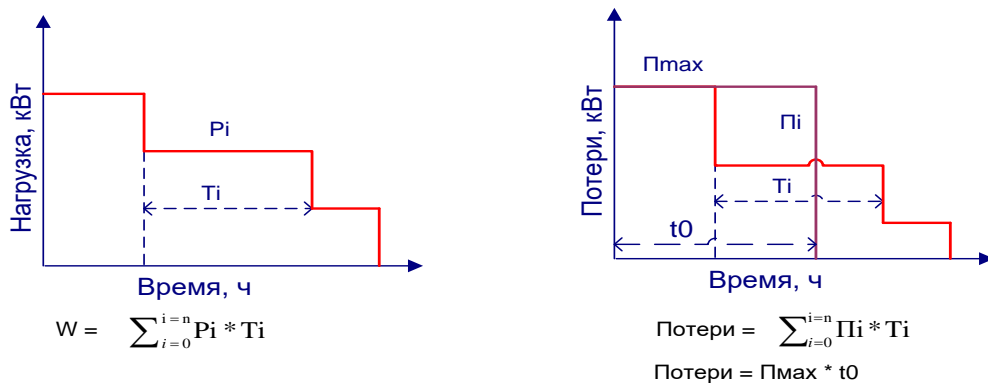
електроенергії перетворюється в тепло за законом Джоуля-Ленца. Це так звані змінні втрати, що залежать від потужності, що протікає по елементу мережі. Втрати, що не залежать від потужності навантаження, але залежні від напруги мережі, називаються постійними. До постійних втрат відносяться втрати на корону в повітряних лініях, втрати холостого ходу трансформаторів, втрати від витоку струмів через ізоляцію кабелів та ін. Обчислення постійних втрат в основному можна виконати, використовуючи питомі втрати, значення яких вказані в спеціальних довідкових таблицях. Обчислення ж навантажувальних втрат можна виконати з використанням графіка навантаження. Нехай відомий графік навантаження елемента мережі (трансформатора або лінії) за розрахунковий період. Тоді кількість енергії, передане через цей елемент, дорівнюватиме сумі творів часу роботи в і-тому режимі і величини навантаження, тобто іншими словами кількість переданої енергії - це площа фігури, обмежена графіком навантаження. Втрати потужності для кожного режиму складають: дорівнюватиме сумі творів часу роботи в і-тому режимі і величини навантаження, тобто іншими словами кількість переданої енергії - це площа фігури, обмежена графіком навантаження. Втрати потужності для кожного режиму складають: дорівнюватиме сумі творів часу роботи в і-тому режимі і величини навантаження, тобто іншими словами кількість переданої енергії - це площа фігури, обмежена графіком навантаження. Втрати потужності для кожного режиму складають:

$$P_i = (P_i * (1 + \operatorname{tg}\Phi) / U)^2 * R,$$

де  $R$  - опір елемента,  $U$  - напруга,  $\operatorname{tg}\Phi$  - коефіцієнт потужності. Використовуючи таку формулу для кожної ділянки, можна отримати графік втрат потужності за розрахунковий період. Сумарні втрати енергії будуть рівні площі фігури, обмеженої відповідним графіком. Побудуємо прямокутник з висотою максимальних втрат і площею, яка дорівнює площі всієї фігури. Ширина цього прямокутника називається числом годин

найбільших  
потужності:

втрат



Малюнок 16 - Втрати потужності для кожного режимі

Безумовно, далеко не завжди відомий весь графік навантаження за звітний період, але, маючи в своєму розпорядженні лише деяку інформацію про нього, можна обчислити втрати. Наприклад, якщо відома величина максимальної і середньої навантаження, то можна обчислити коефіцієнт заповнення графіка:  $K_{зг} = P_{ср} \setminus P_{\max}$ . Встановлено також, що число годин найбільших втрат залежить від коефіцієнта заповнення графіка наступним чином:

$$t_0 = (K_{зг} + 2 * K_{зг} * K_{зг}) / 3$$

Визначивши по  $P_{\max}$  величину максимальних втрат, можна знайти значення втрат за формулою:  $\Pi_{\max} * t_0$ . Саме такий метод використовується для знаходження навантажувальних втрат в силових трансформаторах в модулі 'Розрахунок балансів'.

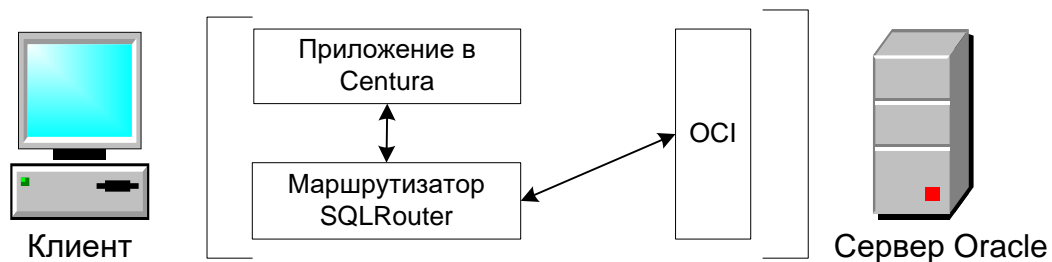
Є й інші методи розрахунку втрат, серед них - метод середніх навантажень. В цьому випадку обчислюються втрати при середній навантаження і коефіцієнт форми графіка, величина якого також виражається через коефіцієнт заповнення. Цей метод використовується для розрахунку навантажувальних втрат в лініях і силових трансформаторах.

### 3.5 Реалізація модуля, архітектура системи

Автоматизована система 'Баланси електроенергії' реалізована як частина програмного комплексу 'АСУСЕ'. Цей програмний комплекс включає в себе різні модулі і виконує безліч завдань в галузі енергетики.

При створенні модуля використане середовище Centura Team Developer (CTD) фірми Gupta, яка дозволяє розробляти програми для різних платформ. CTD являє собою набір тісно інтегрованих компонент, серед яких SQL Windows32(64) - середовище розробки клієнтської програми. До складу CTD також входять: генератор звітів Centura Report Builder, який дає можливість швидкого візуального проектування звітів; Database Explorer- засіб доступу і модифікації БД і т.п.

При реалізації використовувалася архітектура сервер \ клієнт. Для зберігання даних обрана СУБД Oracle. На малюнку показана структура системи, а нижче наведено опис складових:



Малюнок 17 – Структура системи

Система складається з наступних частин:

- клієнтське додаток, розроблене в вище згаданій середовищі Centura SQLWindows / 32. Сам додаток будується за допомогою 'швидких об'єктів' QuickObjects. 'Швидкі об'єкти' - це вже створені бібліотечні

класи компонентів, що володіють певною функціональністю і поведінкою. QuickObjects можна використовувати для створення об'єктів додатка або для побудови призначених для користувача класів, які успадковують поведінку і властивості QuickObjects. Під поведінкою розуміється реакція об'єктів класу на повідомлення, що посилаються цьому об'єкту. Поведінка компонент програмується за допомогою мови SAL - Scalable Application Language, а повідомлення можуть бути як стандартними - SAM (SQLWindows Application Messages), так і певними самим користувачем. Управління роботою додатка здійснюється за схемою[24]:



Малюнок 18 – Робочі вікна програми

- маршрутизатор - SQLRouter - спеціальна бібліотека, що поставляється разом з Centura, призначена для забезпечення зв'язку з віддаленої базою даних. Маршрутизатор перетворює передані йому дані і дії з програми в типи даних і виклики функцій, які розуміє OCI (Oracle Call Interface) - набір інтерфейсних функцій, що дозволяють маніпулювати об'єктами Oracle сервера.

Також маршрутизатор виконує і зворотну дію - приймає дані і дії з бази і перетворює їх в інформацію, доступну з додатком. Іншими словами,

SQLRouter виконує функцію перекладача між сервером Oracle і клієнтським додатком.

- сервер бази даних Oracle.

### **Серверна частина системи**

Серверна частина системи включає в себе пакети, розроблені на PL \ SQL.

Пакети можна розділити на групи відповідно до виконуваних функцій:

- зберігання значень показань точок технічного обліку;
- розрахунок і зберігання значень власних потреб підстанцій;
- розрахунок і зберігання значень технологічних втрат;
- розрахунок і зберігання значень складових балансового рівняння;

На рівні зберігання даних при реалізації найважливішу роль відіграють такі сутності:

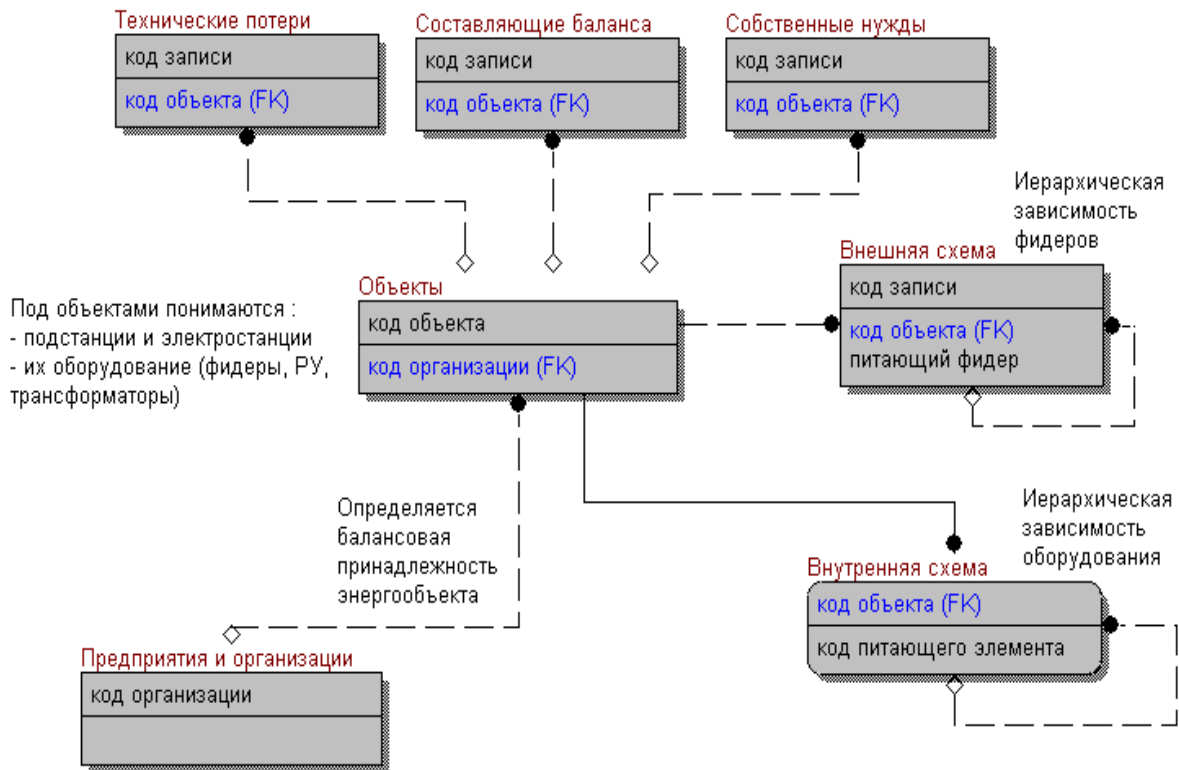
- розрахункові значення складових балансового рівняння (втрати, власні потреби за нормами, відпустка тощо);
- об'єкти енергосистеми;
- організації та підприємства;
- зовнішня і внутрішня схеми об'єктів енергосистеми.

Зв'язки між найважливішими сутностями зображені на малюнку, при цьому показані лише ключові



## ПОЛЯ

Значения составляющих балансового уравнения соотносятся с объектом энергосистемы. При этом для каждого энергообъекта может быть несколько записей, а может вообще не быть записей

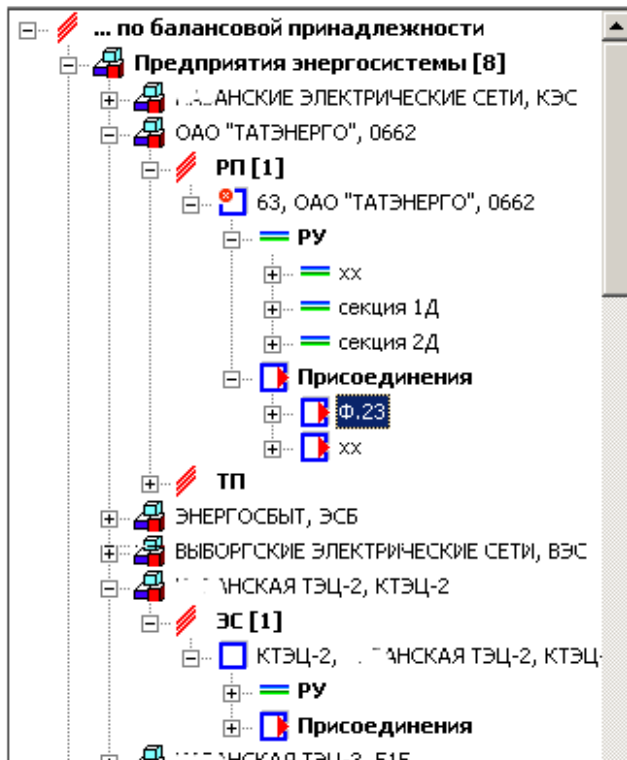


Малюнок 19 - Зв'язки між найважливішими сутностями

## Функціональність системи

В системі 'Баланси електроенергії' передбачається:

- надання графічного інтерфейсу у вигляді ієрархічної структури, починаючи з підприємств енергосистеми, закінчуючи одиницями обладнання енергооб'єктів. На малюнку представлений фрагмент екранної форми, де показана деталізація до фідера Ф.23:



Малюнок 19 - фрагмент екранної форми

- ведення показань у відповідних точках обліку. Під відповідними точками обліку розуміються:
  - для підприємства всі крапки обліку розташовані на обладнанні, яке знаходиться на балансі цього підприємства.
  - для енергооб'єктів (ПС, ЕС, ТП, РП) всі крапки обліку, розташовані на обладнанні цього енергооб'єкта;
  - для обладнання (РУ або фідер) всі крапки обліку безпосередньо розташовані на цьому обладнанні;
- розрахунок технічних та інструментальних втрати. При цьому технічні втрати розділені на:
  - втрати в приєднаній мережі (навантажувальні втрати; на корону, витік і плавку ожеледі повітряних ліній; на витік в ізоляції кабельних ліній). Втрати в повітряних і кабельних лініях

розраховуються за допомогою питомих втрат за рік. Питомі втрати залежать від властивостей ліній (напруги, перерізу проводу), а також від кліматичних умов, і їх значення зберігаються в спеціальних довідниках, доступних для редагування користувачем;

- втрати в станційної мережі (в силових трансформаторах, в компенсуючих пристроях, в іншому обладнанні). Втрати в компенсуючих пристроях і іншому обладнанні розраховуються на основі питомих значень; втрати в силових трансформаторах - на основі довідкової інформації про сам трансформаторі (опір, втрати холостого ходу) і графіків навантажень і напруг;

Є можливість не тільки побачити результуючі значення, а й окремо переглянути втрати по кожному фідера. На малюнку наведено фрагмент екранної форми, де показані навантажувальні втрати в приєднаній мережі трансформаторної підстанції:

РУ	Присоединение	Напряж. кВ	Материал провода	Длина головного участка, км	Сечение головного участка, кв.мм	Кол-во тр-ров на присоединении	Средняя мощность тр-ров, кВт	Отпуск в фидер, тыс.кВтч	Потери в присоединенной линии, тыс.кВтч
1с.с.ш.	"Общежитие № 4"	4	АС	1	95	0	0	5	0,775
1с.ш.	Ф1-4	6	АС	5	70	0	0	10	0,037
1с.ш.	Ф2-4	10	АС	5	70	0	0	0	0
1с.ш.	Ф3-4	6	АС	10	70	0	0	0	0
			Всего						0,812

Малюнок 20 - Фрагмент екранної форми, де показані навантажувальні втрати

- розрахунок витрати енергії на власні потреби підстанцій. При цьому розрахунки ведуться за нормами складових витрат. Норми вказані в

довідниках, і можуть в разі необхідності бути змінені користувачами. Значення норм залежать від кліматичних умов місцевості, де розташована підстанція. А також від властивостей самого обладнання;

- розрахунок значень всіх складових балансового рівняння і значення отриманого небалансу:
  - надходження електроенергії (сюди входить генерація, тобто вироблення електроенергії, переток- надходження з інших мереж)
  - власні потреби - розраховуються за показаннями технічних точок обліку; для підстанцій для порівняння представлені значення власних потреб по нормам
  - витрата на технічні та інструментальні втрати
  - господарські та виробничі потреби - розраховуються по точкам обліку
  - корисний відпуск - тут враховується відпуск споживачам і перетікання в інші мережі.

На малюнку представлений фрагмент екранної форми з головною вкладкою 'Баланс':

Показания		Потери		Собственные нужды		Группы		Баланс	
<div> </div> <p>ПЭС</p> <p>ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, К</p> <p>Подстанция</p> <p>ТП 4</p> <p>Отчетный период</p> <p>2009.05</p>				<p>Поступление, тыс. кВтч <input type="text" value="20,1"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>в т.ч. выработка, тыс. кВтч <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>в т.ч. переток, тыс. кВтч <input type="text" value="20,1"/> <input checked="" type="checkbox"/></p>					
				<p>Собств. нужды, тыс. кВтч <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Собств. нужды по нормам, тыс. кВтч <input type="text" value=""/> <input checked="" type="checkbox"/></p>					
				<p>Потери, тыс. кВтч <input type="text" value="1,483"/></p> <p>в т.ч. станционные, тыс. кВтч <input type="text" value="0,754"/></p> <p>в т.ч. в прис. сетях, тыс. кВтч <input type="text" value="0,729"/></p> <p>в т.ч. системы учета, тыс. кВтч <input type="text" value="0"/></p>					
				<p>Х и ПН, тыс. кВтч <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/></p>					
<p>Собств. потребление (по коммерч. точкам абонентов), тыс. кВтч <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p><b>Небаланс</b> <input type="text" value="19,346"/> тыс. кВтч</p> <p><input type="text" value="96,2487562"/> %</p>				<p>Полезный отпуск (по технич. точкам), тыс. кВтч <input type="text" value="19"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>в т.ч. переток, тыс. кВтч <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p><b>Небаланс</b> <input type="text" value="0,346"/> тыс. кВтч</p> <p><input type="text" value="1,721393034"/> %</p>					

Малюнок 21 - Фрагмент екранної форми з головною вкладкою 'Баланс':

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління**

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог ГОСТ 12. 0.004 - 79, який встановлює порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними

параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

## **4.2 Електробезпека**

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення.



Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках

під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одяг з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатики побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

### 4.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{заз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту:  $\rho = \kappa_{\text{н}} * \rho_{\text{н}} = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$ ,

де  $\kappa_{\text{н}}$  - коефіцієнт підсилення;

$\rho_{\text{н}}$  — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$l, d$  - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_{\text{в}} = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевій полосі, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{\text{л}} = (\rho / 2\pi l) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_{\text{в}} / [r_{\text{в}}] r_{\text{в}} = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.};$$

$r_{\text{в}}$  - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

$\eta_B$  - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо  $\eta_B = 0,66$  і  $\eta_r = 0,39$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0.66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою  $R$  з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_{II} / (R_B \eta_r + R_{II} \eta_B n) = 3.9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова  $R \leq [r_B]$ .

### Розрахунок штучного заземлення:

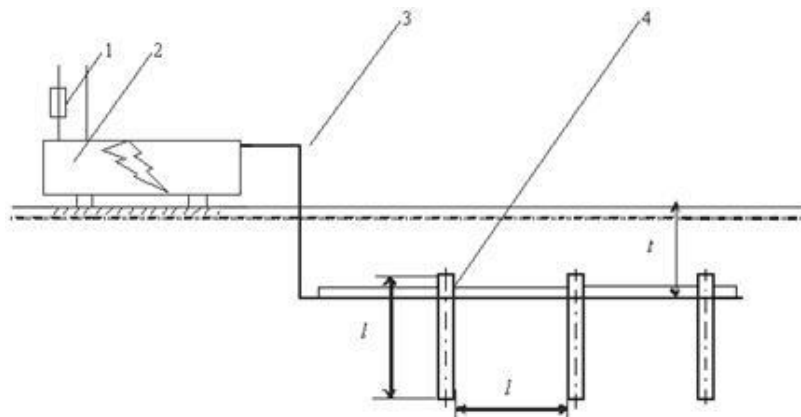
Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де  $R_{33}$  – опір захисного заземлення;

$R_c$  – опір стержневих заземлювачів;

$R_n$  - опір поперечних заземлювачів.



Малюнок 22 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

$l$  – довжина стержневого заземлювача 3 м;

$d$  – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{on} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де  $l$  – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

$b$  – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$  – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{on} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_{\text{д}}}$$

де  $R_{\text{д}}$  – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

$R_0$  – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають  $n$ , при якому  $\eta = 1$ :

Таблиця 4 - Заземлення

<b>n</b>	<b>R<sub>n</sub></b>	<b>R<sub>c</sub></b>	<b>R<sub>o</sub></b>	<b>η</b>
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

26.

## ВИСНОВКИ

У роботі було розроблено автоматизовану систему прогнозування споживання електроенергії за допомогою методів машинного навчання.

Під час роботи були вивчені і апробовані різні методи до аналізу і обробки даних. Показані можливі способи їх застосування.

Також вивчені і використані метрики і візуалізації для можливості ведення правильного аналізу даних і оцінки результатів. Проведена стандартизація і перетворення даних до єдиного вигляду. Виділено нові змінні з уже існуючих і додані нові зовнішні змінні. Перераховано можливі способи подальшого аналізу і поліпшення результатів даної роботи.

Показана можливість ефективного прогнозування погодинного споживання електроенергії, як на основі попередніх вимірювань, так і з використанням погодних даних. Що дозволить в подальшому з певністю вирішувати як схожі завдання, так і покращувати рішення запропоноване в цій роботі.





## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. XML // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:[http:// en.wikipedia.org/wiki/xml](http://en.wikipedia.org/wiki/xml)
2. Oracle DBMS. - URL:<https://www.oracle.com/database/index.html>
3. XSLX // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Office\\_Open\\_XML](http://en.wikipedia.org/wiki/Office_Open_XML)
4. D. Borsboom GJ Mellenbergh J. van Heerden. The Theoretical Status of Latent Variables // Psychological Review. - 2003.
5. Jeffrey A. Greene Scott C. Brown. The Wisdom Development Scale: Further Validity Investigations // International Journal of Aging And Human Development. - 2003.
6. Janert Philipp K. Data Analysis with Open Source Tools. - O'REILLY, 2010. - P. 59-132.
7. Geoffrey KF Tso Kelvin KW Yau. Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks // Energy. - 2007. - Vol. 32, no. 9. - P. 1761-1768.
8. Лінійна регресія // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:[http://en.wikipedia.org/wiki/Linear\\_regression](http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_regression)
9. Siegelmann Hava T., Sontag Eduardo D. On The Computational Power Of Neural Nets // JOURNAL OF COMPUTER AND SYSTEM SCIENCES. - 1995. - Vol. 50, no. 1. - P. 132-150.
10. Quinlan JR Induction of Decision Trees // MACH. LEARN. - 1986. - Vol. 1. - P. 81-106.
11. Taghrid Samak Christine Morin David Bailey. Energy Consumption Models and Predictions for Large-scale Systems // Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops PhD Forum (IPDPSW). - 2013. - Vol. 27. - P. 899-906.
12. Dean Jeffrey, Ghemawat Sanjay. MapReduce: Simplified Data

Processing on Large Clusters // OSDI'04: Sixth Symposium on Operating System Design and Implementation. – 2004

13. SQL // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:[http:// en.wikipedia.org/wiki/SQL](http://en.wikipedia.org/wiki/SQL)
14. Asteriou D. Hall S. ARIMA Models and the Box-Jenkins Methodology // Applied Econometrics (Second ed.). - 2011. - P. 265- 286.
15. Taghrid Samak Christine Morin David Bailey. Short-term prediction of household electricity consumption: Assessing weather sensitivity in a Mediterranean area // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2007. - Vol. 12. - P. 2040-2065.
16. Humidex Index // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Humidex>
17. CSV // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL: [http: //en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated\\_values](http://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values)
18. FOAS. RStudio. - 2015. - URL:<http://www.rstudio.com/>
19. Інтерполяція // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Interpolation>
20. B. Efron R. Tibshirani. An Introduction to the Bootstrap. - Chapman Hall / CRC, 1993
21. Law of Large Numbers // Wikipedia, free encyclopaedia. - 2015. - URL:[http://en.wikipedia.org/wiki/Law\\_of\\_large\\_numbers](http://en.wikipedia.org/wiki/Law_of_large_numbers)
22. А.В. Лукин ‘Электрические системы и сети’, 2006
23. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин ‘Электрооборудование станций и подстанций’, 1980
24. И.Ю. Баженова ‘SQLWindows. SAL- язык приложений баз данных с архитектурой клиент/сервер’, 1996 -252с.